

Bewertung des akustischen Einflusses von Gleisbögen für die Erstellung von Lärmkarten **BEGEL**

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2012
(VIF2012)

Dezember 2015



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Renngasse 5
A - 1010 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A - 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

Technische Universität Wien
Institut für Verkehrswissenschaften
Karlsplatz 13/230-2
A-1040 Wien



psiacoustic Umweltforschung und Engineering GmbH
Lastenstraße 38
A-1230 Wien



TAS Sachverständigenbüro für Technische Akustik SV GmbH
Emil-Rathenau Straße 1
A-4030 Linz



HY-POWER Produktions und Handels GmbH
Hauptstraße 40
A-3021 Pressbaum



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Bewertung des akustischen Einflusses von Gleisbögen für die Erstellung von Lärmkarten BEGEL

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2012)

AutorInnen:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Maly
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Ostermann
Florian Biebl, BSc
Dipl.-Ing. Heinz Hoislbauer
Dipl.-Ing. Manuel Gunacker
Vojislav Djurdjev

Ansprechpartner ÖBB:

Dr. Günter Dinhobl
Ing. Harald Meidl

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
ÖBB-Infrastruktur AG
Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

Technische Universität Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für
Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen

INHALTSVERZEICHNIS

0. EXECUTIVE SUMMARY	7
0.1. DEUTSCH.....	7
0.2. ENGLISCH.....	8
1. EINLEITUNG	10
1.1. PROBLEMSTELLUNG	10
1.2. LITERATURÜBERBLICK	10
1.3. BEGRIFFSDEFINITIONEN.....	14
2. MESSQUERSCHNITTE UND OBERBAUEIGENSCHAFTEN	17
2.1. MESSKAMPAGNE 1 - KLEINSCHWECHAT, S7 (K1).....	20
2.2. MESSKAMPAGNE 2 - EICHGRABEN, WESTBAHN (K2).....	25
2.3. MESSKAMPAGNE 3 - MÜRZZUSCHLAG, SÜDBAHN (K3)	31
2.4. MESSDATEN VON ANDEREN MESSSTELLEN	35
3. AUTOMATISIERTE ERKENNUNG VON AUFFÄLLIGKEITEN IN SCHALLEMISSIONEN	36
3.1. EMPIRISCHE ERHEBUNG VON AUFFÄLLIGKEITEN.....	36
3.2. ABLEITUNG GEEIGNETER BEWERTUNGSPARAMETER.....	44
3.3. ALGORITHMUS ZUR ERKENNUNG	52
3.4. GRENZEN DER ERKENNUNG.....	54
4. ANSÄTZE ZUR ERKENNUNG DER BOGENSEITE DER SCHALLENSTEHUNG MITTELS SCHIENENBESCHLEUNIGUNGEN	56
4.1. AUSBLENDUNG VON FEHLMESSUNGEN.....	56
4.2. BREITBANDIGE AUFFÄLLIGKEITEN	58
4.3. TONALE AUFFÄLLIGKEITEN.....	62
4.4. EINSCHÄTZUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT DER ERKENNUNG.....	64
5. ANALYSE VON EINFLUSSGRÖSSEN	66
5.1. ZUGKATEGORIE.....	66
5.2. BOGENRADIUS	84
5.3. GESCHWINDIGKEIT	85
5.4. SCHIENENKOPFKONDITIONIERUNG.....	88
5.5. FLANKENSCHMIERUNG.....	102
5.6. GLEISABKLINGRATE	105
5.7. SCHIENENRAUHEIT	109
5.8. WITTERUNGSBEDINGUNGEN.....	114

6. LOKALISIERUNG VON AUFFÄLLIGKEITEN	128
6.1. GEGENÜBERSTELLUNG SCHALLEMISSIONEN AN BOGENINNEN- UND -AUßENSEITE..	128
6.2. VERGLEICH DER SCHIENENBESCHLEUNIGUNGEN VON INNEN- UND AUßENSCHIENE	139
6.3. ZUGKATEGORIEBEZOGENE ACHSAUSWERTUNG.....	145
7. ABSCHÄTZUNG VON TERZSPEKTREN.....	157
7.1. TERZSPEKTREN BEI AUSBLENDUNG VORHANDENER AUFFÄLLIGKEITEN	157
7.2. TERZSPEKTREN BEI ANHALTENDEN AUFFÄLLIGKEITEN.....	161
8. KORREKTURFAKTOREN	164
8.1. LÄNGENBEZOGENE SCHALLLEISTUNGSPEGEL	164
8.2. ABGLEICH DER MESSERGEBNISSE MIT ONR 305011	167
8.3. ERMITTLUNG DER KORREKTURFAKTOREN	169
8.4. IMPLEMENTIERUNG	185
8.5. BEISPIELBERECHNUNGEN	190
9. ZUSAMMENFASSUNG.....	194
10. LITERATURVERZEICHNIS	203
ANHANG A SCHIENENBESCHLEUNIGUNGEN - VARIATION DER GRENZWERTE ZUR BEWERTUNG VON BREITBANDIGEN AUFFÄLLIGKEITEN	206
ANHANG B TERZSPEKTREN BEI AUSBLENDUNG VORHANDENER AUFFÄLLIGKEITEN	209
B.1 MESSKAMPAGNE 1 (KLEINSCHWECHAT, S7).....	209
B.2 MESSKAMPAGNE 2 (EICHGRABEN, WESTBAHN)	210
B.3 MESSKAMPAGNE 3 (MÜRZZUSCHLAG, SÜDBAHN)	211
ANHANG C EINFLUSSFAKTOREN.....	212
C.1 GESCHWINDIGKEIT	212
C.2 ABKLINGRATE.....	215
C.3 TEMPERATUR	217
C.4 NIEDERSCHLAG	221
ANHANG D DIFFERENZSPEKTREN ZUM VERGLEICH DER VERSCHIEDENEN MIKROFONPOSITIONEN	226
D.1 MANUELL BEWERTETE VORBEIFAHRTEN DER STICHPROBE (MESSKAMPAGNE 1) ...	226
D.2 AUTOMATISCHE ERKENNUNG DER VORBEIFAHRTEN ALLER MESSKAMPAGNEN.....	231

ANHANG E ZUGKATEGORIEBEZOGENE ACHSAUSWERTUNG VON BREITBANDIGEN AUFFÄLLIGKEITEN 232

E.1	MESSKAMPAGNE 1, KATEGORIE S4020, 12 UND 24 ACHSEN.....	232
E.2	MESSKAMPAGNE 1, KATEGORIE 80-33, 12 UND 16 ACHSEN.....	233
E.3	MESSKAMPAGNE 1, KATEGORIE 80-33, 20 ACHSEN	234
E.4	MESSKAMPAGNE 1, KATEGORIE S4024, 10 UND 20 ACHSEN.....	235
E.5	MESSKAMPAGNE 2, KATEGORIE 80-33, 16 UND 20 ACHSEN.....	236
E.6	MESSKAMPAGNE 2, KATEGORIE 80-33, 40 ACHSEN	237
E.7	MESSKAMPAGNE 2, KATEGORIE S4024, 10 ACHSEN	238
E.8	MESSKAMPAGNE 3, KATEGORIE RAILJET, 32 ACHSEN.....	239

ANHANG F ZUGKATEGORIEBEZOGENE ACHSAUSWERTUNG VON TONALEN AUFFÄLLIGKEITEN..... 240

F.1	MESSKAMPAGNE 1, KATEGORIE S4020, 12 UND 24 ACHSEN.....	240
F.2	MESSKAMPAGNE 1, KATEGORIE 80-33, 12 UND 16 ACHSEN.....	241
F.3	MESSKAMPAGNE 1, KATEGORIE 80-33, 20 ACHSEN	242
F.4	MESSKAMPAGNE 1, KATEGORIE S4024, 10 UND 20 ACHSEN.....	243
F.5	MESSKAMPAGNE 2, KATEGORIE 80-33, 16 UND 20 ACHSEN.....	244
F.6	MESSKAMPAGNE 2, KATEGORIE 80-33, 40 ACHSEN	245
F.7	MESSKAMPAGNE 2, KATEGORIE S4024, 10 ACHSEN	246
F.8	MESSKAMPAGNE 3, KATEGORIE RAILJET, 32 ACHSEN.....	247

ANHANG G ACHSAUSWERTUNG DER ZUGKATEGORIE S4020 MIT VARIATION DER TRIEBWAGENPOSITION (MESSKAMPAGNE 1) 248

G.1	BREITBANDIGE AUFFÄLLIGKEITEN.....	248
G.2	TONALE AUFFÄLLIGKEITEN.....	250

ANHANG H TERZSPEKTREN BEI ANHALTENDEN AUFFÄLLIGKEITEN .. 252

H.1	MESSKAMPAGNE 1 (KLEINSCHWECHAT, S7).....	252
H.2	MESSKAMPAGNE 2 (EICHGRABEN, WESTBAHN).....	253
H.3	MESSKAMPAGNE 3 (MÜRZZUSCHLAG, SÜDBAHN)	254

ANHANG I VERGLEICHSBERECHNUNGEN OKTAVSPEKTREN - EINZAHLWERTE..... 255

ANHANG J BEISPIELBERECHNUNGEN GLEISBÖGEN..... 277

J.1	FREIE SCHALLAUSBREITUNG.....	277
J.2	SCHALLAUSBREITUNG BEI 2 M HOHER LÄRMSCHUTZWAND	295

0. EXECUTIVE SUMMARY

0.1. Deutsch

Das von Schienenfahrzeugen in engen Gleisbögen erzeugte tonale oder/und breitbandig hochfrequente Kurvengeräusch stellt für die betroffenen Anrainer eine besondere Lärmbelästigung dar. In vorliegendem Projekt wurden daher Kurvengeräusche im Hinblick auf potentielle Einflussparameter und auf die Prognose der Erhöhungen von Schalldruckpegel untersucht.

Im Detail wurden durch infrastrukturseitige Messungen Schallemissionen und Schienenbeschleunigungen an repräsentativen Gleisbögen mit unterschiedlichen Radien und zum Teil mit aktiver Schienenkopfkonditionierung erfasst. Zur Auswertung der großen Anzahl an Vorbeifahrten (14213 Züge) wurde ein Algorithmus zur automatisierten Erkennung von auffälligen Geräuschkomponenten, welche durch Spurkranzanlauf (breitbandiges Kurvenkreischen) oder durch lateralen Slip-Stick-Effekt (tonales Kurvenquietschen) hervorgerufen werden, entwickelt. Darauf aufbauend wurden Einflussparameter wie Bogenradius, Geschwindigkeit und Zugkategorie näher untersucht. Auch wurden der Entstehungsort (Bogeninnen- oder -außenseite) anhand erfasster Schienenbeschleunigungen abgeschätzt, sowie zur Lokalisation innerhalb des Zugverbands ausgewählte Züge achsbezogen ausgewertet. Für eine emissionsgerechte Prognose wurden zudem frequenzabhängige Korrekturfaktoren ermittelt und exemplarische Simulationen durchgeführt.

Die Untersuchungen konnten die erwartete Zunahme sowohl von tonalen wie auch von breitbandig hochfrequenten Erhöhungen in den Emissionen mit sinkendem Bogenradius bestätigen, während sich eine Erhöhung der Häufigkeiten von Auffälligkeiten durch größere Achsabstände unterschiedlicher Zugkategorien nicht zeigte. Die Reduktion der Emissionen bei Regen konnten anhand der Daten belegt werden, wobei sich der Effekt mit zunehmender Schientemperatur verringerte. Die Wirkung von Schienenkopfkonditionieranlagen wurde als Folge von Problemen bei der Mittelaufbringung für verschiedene Szenarien auf theoretischem Weg abgeschätzt.

Bei den erfassten Zügen traten tonale Auffälligkeiten bei höheren Fahrgeschwindigkeiten zumeist an der Bogeninnenseite auf, während für breitbandige Auffälligkeiten kein eindeutiges Verhalten abgeleitet werden konnte. Innerhalb des Zugverbands bestand hingegen eine Abhängigkeit der jeweiligen Zugkategorie. Beispielsweise konnten

breitbandige Auffälligkeiten der Kategorie S4020 überwiegend im Bereich der Triebwagen und tonale Komponenten vermehrt im Bereich der Zwischenwagen beobachtet werden. Des Weiteren wurden Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige und akustisch auffällige Ereignisse gegenüber ONR 305011 aus den gemessenen längenbezogenen Schalleistungspegeln abgeleitet. Es hat sich gezeigt, dass die Korrekturfaktoren in einem ähnlichen Bereich liegen, wie diejenigen aus der Literatur (0 bis 8 dB), allerdings größere Streuungen aufweisen. Für Bogenradien über 300 m liegen sie unterhalb des Wertes von CNOSSOS, bei Güterzügen für die VzG-Geschwindigkeiten (zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit) sogar deutlich. Die ermittelten Korrekturfaktoren wurden in einem standardisierten Schallausbreitungsberechnungsverfahren implementiert und Beispielberechnungen in Form von Raster- bzw. Differenzlärmkarten durchgeführt.

0.2. Englisch

For the residents exposed to railway noise, tonal and/or high frequency broadband noise emitted by railway vehicles in tight curves is crucial for noise annoyance. For this reason the following project investigated the noise emissions at track curves, its influencing parameters and the increase of the pass-by noise levels compared to the straight track.

With the use of in-situ measurements of the noise emissions and acceleration levels were carried out at representative track curves with different radius and with partially activated rail head lubrication. To analyse the vast amount of data (14213 trains), an algorithm for automatic detection of the characteristic sound components, which are generated by flange contact with the rail head (broadband flanging noise) or lateral stick-slip effect (tonal squeal noise), was developed. This information was used to evaluate the influence of specific parameters like the curve radius, the train speed and train category. Furthermore, the location (inner or outer rail of the track curve) was estimated by using the data of the acceleration signals from both rails and for the localisation within the train, selected trains were analysed on an axle level. In order to enhance the accuracy of noise mapping models frequency depended correction factors were derived and exemplary sound propagations were simulated with these factors.

As expected, the increase of tonal curve squeal and broadband flanging noise with decreasing curve radius can be confirmed. The increase of these effects with higher bogie wheelbases of different train categories however could not. The measured data showed the positive effect of rain on the likelihood of tonal and broadband noise, with a reduced effect for higher rail temperatures. Due to some problems of the application of

lubricant the effect of a top of the rail friction modification system was estimated theoretically for different scenarios.

For the measured trains, tonal noise was mostly located at the inner rail of the track curve, whereas the occurrence of broadband noise could not be linked to a specific location. Within the train set the occurrence of this specific curve noise was highly dependent to the train type. For example, broadband noise occurred on trains of the category S4020 was located mainly at the area of the power unit, whereas tonal noise was mainly in the area of the centre units.

In addition, correction factors for the pass-by noise level at track curves with and without tonal and broadband noise were calculated from length related sound power levels which can be opposed to the values of the ONR 305011. It could be shown that these factors are of similar magnitudes as described in the literature (0 to 8 dB), however with greater variance. For curve radii greater than 300 m all factors are lower than the values of CNOSSOS. In the case of freight trains the factors with respect to the VzG-velocity (permissible maximum velocity of the track) are significantly lower. The correction factors were implemented in standardized sound propagation software and sample noise maps were produced.

1. EINLEITUNG

1.1. Problemstellung

Das von Schienenfahrzeugen in engen Gleisbögen erzeugte tonale und/oder breitbandig hochfrequente Kurvengeräusch stellt für die betroffenen Anrainer eine besondere Lärmbelastung dar. Bei der lärmtechnischen Planung konnten solche Phänomene bislang nur pauschal berücksichtigt werden. In der ONR 305011 [1] ist ein Anpassungswert für Kurvenquietschen von 5 dB für Bogenradien <300 m vorgesehen. Zudem wird für den Verschub ein Schalleistungspegel von 79 dB, der für eine Wagengruppe pro Stunde in Gleisbögen <300 m gilt, angegeben.

In der Berechnungsvorschrift der Europäischen Kommission für die Erstellung von Umgebungslärmkarten CNOSSOS-EU [2], welche spätestens im Jahr 2021 in die nationalen Gesetzgebung einfließen muss, wird zur Berücksichtigung von Bogengeräuschen ein genereller Korrekturfaktor für Bogenradien <300 m von 8 dB und für Bogenradien >300 m und <500 m von 5 dB angegeben.

Sowohl die ONR 305011 als auch CONOSSOS-EU sieht keine Möglichkeit vor, durch Maßnahmen wie zum Beispiel Schienenkonditionieranlagen, diesen Anpassungswert zu reduzieren.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die akustischen Zusammenhänge bei der Bogenfahrt zu erforschen, Korrekturfaktoren zu ermitteln und diese in gängige, dem Stand der Technik entsprechende Rechenmodelle zu implementieren.

Wie in Kap. 1.2 dargestellt, existieren zwar mehrere Arten von Kurvengeräuschen, jedoch konzentrieren sich vorliegende Untersuchungen auf die zwei für die Lärmbelastung relevant erscheinenden Geräuscharten im Bogen. Zum einen können im Bogen tonale Geräusche auftreten, welche durch die Querbewegung des Rades und dem damit verbundenen Stick-Slip Effekt entstehen. Durch das schnelle aneinander folgende Verspannen und Entspannen kann die Radscheibe angeregt werden, in einer deren Eigenfrequenzen zu schwingen, wodurch tonale Emissionskomponenten entstehen.

Zum anderen können breitbandige Geräuschen bei höheren Frequenzen auftreten, welche durch den Anlauf des Spurkranzes an der Flanke des Schienenkopfes verursacht werden.

1.2. Literaturüberblick

Der Entstehungsmechanismus von Kurvengeräuschen ist zwar weitgehend bekannt, die Faktoren welche das Auftreten dieser Auffälligkeiten beeinflussen sind jedoch zahlreich

und bis dato gibt es kein Modell das die Entstehung von Kurvengeräuschen mit all seinen Einflussparametern abbilden kann.

Thompson [3] beschreibt Kurvenquietschen als tonales Geräusch zwischen 250 Hz und 5 kHz welches durch die Eigenfrequenz des Rades bestimmt ist. Dabei führt er an, dass das „Quietschen“ durch lateralen Stick-Slip Effekt am Schienenkopf meist vom führenden inneren Rad ausgeht. Als zweites Geräusch, welches ebenfalls zu beträchtlichen Belästigungen von Menschen führen kann, wird der Kontakt zwischen Spurkranz und inneren Seite des Schienenkopfes beschrieben. Das dadurch entstehende Spurkranzgeräusch („flanging noise“) besitzt eine wesentlich höhere Fundamentalfrequenz, niedrigere Pegel und ist wesentlich breitbandiger.

Krüger et al. [4] beschreibt vier unterschiedliche Anregungsmechanismen für Kurvengeräusche:

- Spurkranzanlaufen und damit die Reibung zwischen Spurkranz und Schienenkopf als Ursache für breitbandige, hochfrequente Zischgeräusche
- Schlupf aufgrund unterschiedlicher zurückgelegter Wege auf der Innen und Außenschiene als Ursache für hochfrequente Geräusche
- Riffel auf der Fahrfläche der Schiene als Ursache für tieffrequente Rumpelgeräusche
- Stick-Slip Effekt des Rades als Ursache für tonale Geräusche

Von den vier beschriebenen Anregungsmechanismen wird im vorliegenden Projekt vorrangig auf das durch den Spurkranzanlauf entstehende breitbandige Kurvenkreischen, sowie auf das durch den lateralen Stick-slip Effekt erzeugte tonale Kurvenquietschen eingegangen. Der von Krüger beschriebenen Anregungsmechanismen „Schlupf“ wird in der vorliegenden Untersuchung nicht betrachtet, da dieser nicht als relevanter Faktor für die Entstehung von Kurvenquietschen angesehen wird (vgl. z.B. Thompson [3]). Die als Ursache von „tieffrequenten Rumpelgeräusch“ beschriebenen Riffeln sind Teil des Rad-Schiene Kontaktes und werden als Einflussfaktor „Schienenrauheit“ im Kapitel 5.7 betrachtet.

Othman [5] stellt in seiner Arbeit eine umfassende Beschreibung des Phänomens Kurvenquietschen für den schienenengebundenen Nahverkehr dar. Neben grundsätzlichen Betrachtungen des Anregungsvorganges werden auch in-situ Messungen auf einem Bogen einer Straßenbahn durchgeführt und mit den Ergebnissen ein Simulationsmodell validiert. Außerdem werden Konzepte zur Minderung von Kurvenquietschen am Fahrzeug und am Fahrweg untersucht. Es werden drei Parameter identifiziert, welche für das Auftreten von Kurvenquietschen erforderlich sind: Ein hoher Reibwert zwischen Rad und

Schiene, eine gering gedämpfte Schwingungsform und ein hoher Anfahrwinkel. Als Entstehungsort wird bei einem zweiachsigen Fahrwerk das vordere bogeninnere Rad und das hintere bogenäußere Rad angegeben. Als wirksame Maßnahmen zur Reduktion von Kurvenquietschen werden vor allem der Einsatz von Radschallabsorber sowie der Einsatz von Schmiermitteln oder Reibwert-Modifizierern genannt.

Fourie et al. [6] beschreibt die Erkenntnisse einer Untersuchung von Kurvengeräuschen an einem Bogen mit großem Radius ($r = 1000 \text{ m}$). Dabei wird auch ein Verfahren entwickelt um sowohl die Achse als auch die Schiene zu identifizieren an der Kurvenquietschen auftritt. Dafür wurden auf beiden Seiten der Strecke je ein Mikrofon in 7,5 m Entfernung zur Gleisachse aufgestellt, sowie Dehnmessstreifen zur Erfassung der vertikalen und lateralen Kräfte an beiden Gleisen installiert. Die Identifizierung erfolgt über die Differenz zwischen innerem und äußerem Mikrofon sowie der Lokalisierung des Punktes an dem es auf Grund des Dopplereffektes zu einer Frequenzverschiebung kommt. Dabei wurde festgestellt, dass das Auftreten von Kurvenquietschen hauptsächlich durch den Kontakt zwischen der Kante des Schienenkopfes und dem Spurkranz bei hohen Anfahrswinkeln auftritt.

Curley et al. [7] beschreibt die Erkenntnisse aus in-situ Messungen von Schallemissionen bei Flanken- und Schienenkopfkonditionierung. Im Zuge dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass entgegen den bisherigen Erkenntnissen die Flankenschmierung eine wesentlich höhere Wirkung bei der Reduktion von Kurvenquietschen erreichte. Zudem wurde auch festgestellt, dass Schienenkopfkonditionierung, nur an der bogeninnenliegenden Schiene keine Wirkung zeigte, während bei der Konditionierung beider Schienen Reduktionen erreicht wurden und damit die Entstehung von Kurvenquietschen an diesem Bogen auf der bogenäußeren Schiene lokalisiert werden konnte.

Das Europäische Forschungsprojekt ACOUTRAIN befasste sich mit der Optimierung und Vereinfachung des akustischen Zulassungsprozesses von Schienenfahrzeugen. Hierbei ging es besonders um die Entwicklung von virtuellen Testverfahren und damit der Reduzierung der Kosten für die Neuzulassung von Schienenfahrzeugen. Ein Arbeitspaket befasste sich auch mit dem Thema „Brems- und Kurvengeräusche“ [8]. Hierbei wurden Einflussparameter aufgezeigt (siehe Tab. 1-1) und auch ein neues Messkonzept für die Erhebung von Bogengeräuschen erarbeitet, welche eine Möglichkeit bieten sollen, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Kurvenquietschen eines Testfahrzeuges zu ermitteln. Das Messkonzept beinhaltet auf der einen Seite fahrzeugseitige Messung mit

Parameter	Track/vehicle/ environment	Remarks
Bogie design	vehicle	Including bogie stiffness and mass, axle flexibility
Wheel design/dynamics	vehicle	Including wheel mobilities, axial vibration modes most relevant
Wheel damping	vehicle	For axial wheel vibration modes
Wheel base b	vehicle	Squeal for $R/b < 100$
Exact flange distance	vehicle	Can affect contact position
Wheel surface profile and wear	vehicle	Can affect contact position
Speed		Can affect contact position
Vertical contact force and vehicle dynamics	Vehicle/track	Depends on loading, unsprung mass, total mass, suspension properties and other
Friction coefficient	Vehicle/track	Dependent on surface roughness, materials, surface moisture, dust, lubricants
Curve radius R	Track	Strongest for $R < 200$ m
Rail surface profile and wear	Track	Can affect contact position
Track cant	Track	Can affect contact position; relation with speed
Track type, components and dynamics	Track	Including railhead mobilities
Exact rail gauge	Track	Can affect contact position
Air Humidity	Environment	Can affect rail humidity
Rail humidity	Environment	Linked to air humidity and rail temperature
Air Temperature	Environment	Can affect humidity
Wheel and rail temperature	Environment	Can affect humidity

Tab. 1-1: Parameter welche das Auftreten von Kurvenquietschen beeinflussen; Quelle: ACOUTRAIN [8]

welchen das Verhalten eines Fahrzeuges in Bögen mit unterschiedlichen Radien ermittelt wird und auf der anderen Seite infrastrukturseitige Messungen an einem Bogen, um einen Vorbeifahrtpegel mit Kurvenquietschen zu ermitteln. Für die Detektion von Kurvenquietschen bei den fahrzeugseitigen Messung wird die Verwendung des

10. Perzentils L_{10} herangezogen und die Bogendurchfahrt mit den Werten einer geraden Referenzstrecke verglichen. Sobald in einem Terzband die Differenz von $L_{10} > 5$ dB zwischen dem Bogen und der geraden Referenzstrecke aufweist und die Nachbarterzen jeweils um mehr als 5 dB darunter liegen, wird die Bogendurchfahrt als „quietschend“ definiert. Für jenen Bogen bei dem die höchsten Pegel für Kurvenquietschen detektiert wurden, werden infrastrukturseitige Messungen durchgeführt. Das Messkonzept sieht vor, dass zumindest drei Vorbeifahrten mit einer Differenz des A-bewerteten Vorbeifahrtpegel $L_{pA,eq,Tp} < 3$ dB erfasst werden. Fahrten ohne Kurvenquietschen werden dabei nicht berücksichtigt. Ein Kriterium dafür, welche Vorbeifahrten als „Fahrten mit Kurvenquietschen“ eingeordnet werden können, wird für die infrastrukturseitigen Messungen nicht beschrieben.

1.3. Begriffsdefinitionen

Die Wahl der Bezeichnungen für verschiedene Ausprägungen von Kurvengeräuschen ist in der deutschsprachigen Literatur nicht einheitlich. So beschreibt Othman [5] unter anderem Zischelgeräusche, welche durch Reibung infolge des Spurkranzanlaufs an der Schienenflanke verursacht werden, und Quietschen bzw. Kreischen (später unter Kurvenquietschen subsummiert), welches aufgrund von Reibung zwischen Rad und Schiene entstehen kann und sich durch hochfrequente Tonalität auszeichnet. Glocker et al. [9] verwendet für Kurvengeräusche mit einer Frequenz von etwa 4 kHz hingegen den Begriff Kurvenkreischen und unterscheidet dies zu breitbandigen Geräuschen aufgrund des Spurkranzanlaufs.

In der englischsprachigen Literatur werden tonale Kurvengeräusche häufig als „curve squeal noise“ bezeichnet, während für das durch den Spurkranzanlauf erzeugte Geräusch mit breitbandigerem Charakter „flanging noise“ oder „flange squeal“ verwendet wird (vgl. [3]). Aber auch hier existieren begriffliche Variationen: so bezeichnet Fourier [10] die tonalen Kurvengeräusche als „top of rail wheel squeal“.

Demgegenüber wird in Berechnungsmodellen hingegen nicht zwischen verschiedenen Ausprägungen des Kurvengeräusches unterschieden. So berücksichtigt das für die Berechnung von Schallimmissionen derzeit maßgebliche Werk ONR 305011 (Berechnung der Schallimmission durch Schienenverkehr - Zugverkehr, Verschub- und Umschlagbetrieb, [1]) zwar Kurvenquietschen, definiert dessen Charakteristiken aber nicht weiter. Ebenso werden in dem zukünftigen europaweit einheitlichen Berechnungsmodell für die strategische Lärmkartierung (Common Noise Assessment

Methods in Europe - CNOSSOS-EU, [2]) für Kurvengeräusche („curve squeal“) zwar für das gesamte Schalleistungsspektrum konstante Korrekturfaktoren in Abhängigkeit von Klassen der Bogenradien definiert. Jedoch findet auch hier keine weitere Unterscheidung nach deren akustischen Eigenschaften dieser Geräusche statt.

Aufgrund dieser Begriffsvielfalt wird in vorliegendem Bericht folgende, einheitliche Begriffskonvention festgelegt:

- Kurvenkreischen
breitbandige Schallemissionsanteile, welche durch Spurkranzanlauf hervorgerufen werden und im Vergleich zum Kurvenquietschen höhere Fundamentalfrequenzen aufweisen, werden als Kurvenkreischen bezeichnet.
- Kurvenquietschen
Unter Kurvenquietschen werden tonale Anteile in der Schallemission verstanden, welche durch Verspannungen und ruckweise laterales Gleiten (stick-slip) angeregt werden.

In vorliegendem Projekt werden Schallemissionen erfasst und im Hinblick auf Auffälligkeiten, welche bei Kurvenquietschen und -kreischen auftreten können, analysiert. Jedoch geht aus der Literatur nicht restlos hervor, ob bei Spurkranzanlauf ausschließlich breitbandige Schallemissionsanteile entstehen, oder ob Kurvenkreischen auch tonale Geräuschanteile beinhalten kann. Zudem können auch andere Schallquellen existieren, welche bei Fahrt tonale oder breitbandige Geräusche emittieren (beispielsweise Bremsquietschen, Geräusche von Wagenaufbauten, etc.). Aus diesem Grund kann bei Erkennung von auffälligen, tonalen oder breitbandigen Anteilen in den Emissionen von Bogenfahrten im Rahmen dieses Projekts nicht mit 100%iger Sicherheit auf die beiden Phänomene Kurvenquietschen und -kreischen rückgeschlossen werden. Um diesen Sachverhalt zu unterstreichen werden im folgenden Bericht folgende Auffälligkeitskategorien begrifflich verwendet:

- breitbandige Auffälligkeiten (kennzeichnend für Kurvenkreischen)
Unter breitbandigen Auffälligkeiten werden im Weiteren Pegelerhöhungen, welche sich durch erhöhte arithmetische Mittelwerte im Frequenzbereich von 8 bis 12,5 kHz auszeichnen, verstanden.
- tonale Auffälligkeiten (kennzeichnend für Kurvenquietschen)
Unter diesem Begriff werden Auffälligkeiten verstanden, welche im Frequenzbereich von 1,25 bis 6,3 kHz des Terzspektrums eine markante Erhöhung eines Terzpegels oder zweier benachbarter Terzpegel aufweisen.

- hochfrequente, tonale Auffälligkeiten

Hochfrequente, tonale Auffälligkeiten weisen die gleiche Art der Pegelerhöhungen wie tonale Auffälligkeiten auf, jedoch wird bei diesen tonalen Auffälligkeiten der Frequenzbereich von 8 bis 12,5 kHz betrachtet. Die mit steigender Terzmittenfrequenz zunehmenden Terzbandbreiten erschweren jedoch eine Erkennbarkeit von schmalbandigen Komponenten und damit die Unterscheidbarkeit zu breitbandigen Auffälligkeiten.

Details zur Begründung dieser Definitionen von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten werden in Kap 3 näher erläutert.

Für die Beschreibung des Klanges von (Stör-)Geräuschen werden anstatt einer Angabe zeitlicher und spektraler Eigenschaften üblicherweise beschreibende Begriffe verwendet. So gibt es im Bereich der Straßenfahrzeuge zahlreiche Begriffe für verschiedene Störgeräusche im Fahrzeuginneren und in den Schallemissionen (vgl. [11] und [12]). Jedoch erscheinen diese aufgrund ihrer Ausrichtung nicht passend für die Charakterisierung von Kurvengeräuschen von Schienenfahrzeugen. Aus diesem Grund werden folgende beschreibende Begriffe definiert:

- Zischen: Geräusch welches bei Reibung von Metallen entsteht und im Frequenzbereich von einigen Kilohertz breitbandigen, zeitlich konstanten Charakter aufweist
- Zischeln: während einer Zugvorbeifahrt zeitlich variierendes Zischen, jedoch meist mit geringerer, mittlerer Intensität
- Heulen: tonale Komponenten im Frequenzbereich von mehreren Hundert Hertz
- Schienensingen: Übermenge an Geräuschen mit meist geringer Intensität, die bereits von den Schienen emittiert werden, während sich der Zug noch bzw. bereits in einiger Entfernung befindet

2. MESSQUERSCHNITTE UND OBERBAUEIGENSCHAFTEN

Für die in-situ Messungen wurden drei Bögen mit unterschiedlichen Radien ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, Streckenabschnitte mit möglichst identen Oberbauparametern zu finden um die Zahl von variierenden Einflussparametern zu begrenzen. Um neben den Schallpegeln im Standardmesspunkt (7,5 m Entfernung zur Gleisachse und 1,2 m über der Schienenoberkante (SOK)) auch die gem. ÖNORM S5026 [13] normgerechte Ermittlung der Schalleistungspegel erfassen zu können, sollte ein Messquerschnitt mit drei zusätzlichen Messpositionen ausgerüstet werden. Dieser Messquerschnitt wurde anschließend als Grundlage für die Ermittlung von Umrechnungsfaktoren herangezogen, mit welchen die Schalleistungspegel für die anderen zwei Messquerschnitte ermittelt werden konnten.

Bei allen drei Messkampagnen, welche im Zuge des Projekts BEGEL durchgeführt wurden, sowie auch für die Erfassung der Daten der vorangegangenen Projekte kam ein mobiles acramos® Messsystem (acoustic railway monitoring system) zum Einsatz. Mit diesem, vom Projektpartner psiacoustic entwickelten System können die Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen des Regelbetriebs automatisch und fahrzeugselektiv gemessen werden.

Durch die im Messgleis installierten Radsensoren wird das Messsystem gestartet und die Geschwindigkeit jeder einzelnen Achse (Abbremsen / Beschleunigen) sowie das Achsmuster und damit die Kategorie des Zuges erfasst. Alle Messkanäle werden simultan mit einer Abtastrate von 32 kHz aufgezeichnet und mit Hilfe des Achssignals den einzelnen Achsen zugeordnet.

Die Messung wird automatisch gestartet, sobald die erste Achse eines Zuges den vorgelagerten Radsensor überrollt. Je nach Einstellung wird die Messung nach einer



Abb. 2-1: acramos® Messsystem

vorher definierten Nachlaufzeit (z.B. 5 Sekunden nach der letzten Achsdetektion) beendet. Die erfassten Daten werden anschließend automatisch analysiert, die wichtigsten Parameter in Form von ASCII-Dateien abgelegt und in eine interne Datenbank übertragen.

Die Software **acramos®** analysiert vollautomatisch die Rohdaten nach jeder Zugvorbeifahrt. Mithilfe der Achssignale werden die jeweiligen Zeitbereiche definiert, über die der Pegel gemittelt werden soll. Dies passiert einerseits über die Gesamtlänge des Zuges und andererseits über einen festgelegten Bereich um die einzelnen Achsen.

Das **acramos®** Messsystem besteht aus einer zentralen Mess- und Steuereinheit, welche in einem Schaltschrank untergebracht ist, und beinhaltet einen Industrierechner mit zwei 8-Kanal A/D Wandlerkarten, einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), die Auswertemodule der Radsensoren, sowie ein Modul zur Fernabschaltung und für den Fernzugriff. Der Rechner ist über ein GSM Modem mit dem Internet verbunden, um per Fernzugriff eine einfache Wartung der Anlage zu ermöglichen.

In Tab. 2-1 ist die Kanalbelegung des Systems, sowie die genaue Bezeichnung der Sensoren aufgelistet.

Für die Erfassung der Schalldruckpegel wurden Klasse I Mikrofone verwendet und sowohl vor als nach jeder Messkampagne mittels geeichten Kalibrator (CAL200) kalibriert.

Kanal	Messposition	Sensor	SN
1	M1 7,5/1,2 ü. SOK, Gl.1	Mikrofon GRAS46AE	195314
2	M2 7,5/13 ü. SOK, Gl.1	Mikrofon GRAS46AE	195315
3	M3 10,6/10,6 ü. SOK, Gl.1	Mikrofon GRAS46AE	195316
4	M4 13/7,5 ü. SOK, Gl.1	Mikrofon Gefell-ICP	1568
5	M5 2,25/0,5 ü. SOK, Gl.1/Gl.2	Mikrofon GRAS46AE	77308
6			
7	V1, Schiene I, vertikal, Gl.1	IMI 352C03	144764
8	H1, Schiene I, horizontal, Gl.1	IMI 352C04	139368
9	V2, Schiene II, vertikal, Gl.1	IMI 352C05	139525
10	H2, Schiene II, horizontal, Gl.1	IMI 352C06	139524
11			
12			
13	R2.1 Gl.2	Radsensor Altpro ZK-24	
14	R1.1 Gl.1 (Auslöser)	Radsensor Mikrofon	
15	R2.0 Gl.2 (Auslöser)	Radsensor Altpro ZK-24	
16	R1.0 Gl.1	Radsensor Frauscher	
USB	Schiene I, Gl. 1	Schientemperatursensor Müller	
USB		Funk-Wetterstation Professional USB	

Tab. 2-1: Kanalbelegung acramos®

Für die Erfassung der Schientemperaturen kam ein PT100 Widerstandsthermometer der Fa. Müller Industrie-Elektronik GmbH zum Einsatz, welcher am Schienenfuß mit Klemmen fixiert wurde und dessen Daten nach jeder Vorbeifahrt ausgelesen wurden.

Zur Erfassung der meteorologischen Daten (Wind, Regen, Lufttemperatur, Feuchte) wurde eine Funk-Wetterstation der Fa. Conrad Electronic der Type Professional USB sowie der Software Easyweather verwendet. Die Daten der Wetterstation wurden im 5 Minuten Takt in einer Log-Datei gespeichert und anschließend automatisiert nach jeder Vorbeifahrt den Messdaten zugeordnet.

Für die Messung der Oberflächenrauheit der Schienen wurde ein stationär zu bedienendes Schienenrauheitsmessgerät des Typs ODS TRM-05 verwendet. Auf einer Messbasis von 1,2 m wird während eines Messdurchgangs das vertikale Oberflächenprofil mit drei Sensoren entlang dreier Messspuren parallel erfasst und aufgezeichnet. Der dynamische Messbereich der Messsensoren beträgt 1 mm, die Messauflösung beträgt mindestens 0,06 mm.

Die Erfassung der Schienenabklingrate (Track Decay Rate, TDR) erfolgte mithilfe des Software-Tools PBA (pass-by-analysis) der holländischen Forschungsanstalt TNO, welche für gerade Streckenabschnitte entwickelt wurde. Die Software benötigt als Input die Signale eines vertikalen und horizontalen Beschleunigungsaufnehmers, die Fahrzeuggeometrie und die Geschwindigkeit. Für die Berechnung der Abklingrate werden die Ergebnisse von mehreren Vorbeifahrten gemittelt.

Zusätzlich zum rechnerischen Verfahren wurde die Schienenabklingrate an einer Messstelle auch die gem. EN 15461 [14] durch Impulsanregung des (unbelasteten) Gleises erhoben (Impulshammermethode). Dabei wurden die Signale des



Abb. 2-2: Schienenrauheitsmessgerät ODS TRM-05



Abb. 2-3: Messung der Schienenabklingrate mittels Impulshammermethode

Impulshammers und der Beschleunigungsaufnehmer mit einem 8-Kanal Analysesystem MEDA der Fa. Wölfel aufgezeichnet. Die Auswertung der erfassten Daten erfolgte im Labor. Für die Ermittlung der vertikalen bzw. horizontalen Abklingrate wurden die mittels Hammer erzeugten vertikalen bzw. horizontalen Impulse den Beschleunigungen des jeweiligen auf der Schiene platzierten Beschleunigungsaufnehmers gegenüber gestellt.

Die folgende Sensorik kam für die Erfassung der Schienenabklingrate zum Einsatz:

Impulshammer:	PCB, type 086D05, Seriennr. 31723, Medium Impact Cap (Metal)
Beschleunigungsaufnehmer:	1 PCB, 393A03 (vertikal und lateral)
Schwingungskalibrator:	MF VC10; Seriennr. 960202
Messsystem:	MEDA, Fa. Wölfel Messsysteme Software GmbH & Co.KG, software version 8.102, serial no 08/695-2

2.1. Messkampagne 1 - Kleinschwechat, S7 (K1)

Für die erste Messkampagne wurde ein Bogen an der Strecke S7 nahe Kleinschwechat bei km 11,4 ausgewählt. Der Einbau der Sensorik erfolgte am 18.10.2013. Im Bereich des Messquerschnitts ist die Strecke auf der den Mikrofonpositionen gegenüberliegenden Seite mit einer etwa 3 m hohen Wand begrenzt, an welcher schallabsorbierende Abdeckplatten befestigt sind. Auf der anderen Seite der Strecke befindet sich ein Erdwall auf welchem auch die Mikrofone installiert wurden. Die Positionen der Mikrofone M1, M2, M3 und M4 befanden sich auf der Bogenaußenseite während das Mikrofon M5 an der Bogeninnenseite von Gleis 1 (zwischen den Gleisen) installiert war.

Abb. 2-4 liefert einen Überblick über den Messquerschnitt und die Lage der einzelnen Mikrofonpositionen. Die Oberbaubedingungen am untersuchten Streckenabschnitt sind in

Kampagne 1: Kleinschwechat, S7	
Streckenkilometer	11,4
Bogenradius	256 m
Schienentyp	UIC60
Überhöhung	70 mm
Neigung in Regelfahrtrichtung Gleis 1 (lt. Abb. 2-4)	11,1 ‰
Oberbau	Schotter
Schwellen	Betonschwellen
VzG	60 km/h
v_a	39 km/h

Tab. 2-2: Streckeneigenschaften von Gleis 1 Kampagne 1, Kleinschwechat, S7



Abb. 2-4: Übersicht Messquerschnitt Kampagne 1, Kleinschwechat, S7

Tab. 2-2 dargestellt. Zusätzlich wurden dort auch die Geschwindigkeit gemäß dem Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten (VzG), sowie die ausgeglichene Geschwindigkeit v_a (vgl. Kap 5.3) angegeben.

Neben dem Standardmesspunkt (M1) in 7,5 m Entfernung zur Achse von Gleis 1 und 1,2 m über Schienenoberkante (SOK) wurde auch ein Mikrofon zwischen den Gleisen 2,25 m von der Schienenachse und 0,5 m über SOK installiert (M5), welches für die Zuordnung von Bogengeräuschen zur jeweiligen Schiene herangezogen wurde.

Für die Berechnung der längenbezogenen Schalleistungspegel wurde im Unterschied zu den anderen Messkampagnen an drei zusätzliche Messpositionen (M2, M3 und M4) entsprechend den Vorgaben der ÖNORM S5026 [13] gemessen welche entlang eines Halbkreises mit Radius 15 m um die Gleisachse positioniert wurden.

Auf Gleis 1 wurden sowohl an der Bogenaußenschiene (V1/H1) als auch an der Bogeninnenschiene (V2/H2) Beschleunigungssensoren am äußeren Schienenkopf

(horizontale Beschleunigung) sowie an der Unterseite des Schienenfußes (vertikale Beschleunigungen) mit Hilfe von Magneten befestigt.

Die induktiven Radsensoren R1 und R2 (Gleis 1) sowie R3 und R4 (Gleis 2) wurden für den Start der Aufzeichnung der Sensorsignale sowie für die Kategorisierung der Vorbeifahrten und die Zuordnung der Emissionen zu den einzelnen Achsen im Zeitsignal verwendet.

Die Messkampagne dauerte vom 18.10.2013 bis 07.07.2014. In der Nacht vom 07. auf 08.02.2014 wurde auf Gleis 2 eine Flankenschmieranlage (nicht als Teil des Projektes) in Betrieb genommen. Am 18.06.2014 wurde vom Projektpartner HY-POWER eine Schienenkopfkonditionieranlage auf Gleis 1 bei km 11,7 (etwa 250 m vor dem Messquerschnitt) mit zwei Konditionierleisten an der Innenschiene montiert und in Betrieb genommen. Am 24.06.2014 wurde zwei weitere Konditionierleisten auch an der Außenschiene montiert und in Betrieb genommen. Der Abbau der Anlage erfolgte am 03.07.2014.

Am 27.02.2014 wurde auf Gleis 1 die akustische Schienenrauheit gemessen. Abb. 2-5 zeigt die Ergebnisse der mittleren Aufnehmer an beiden Schienen. Die Rauheit der Innenschiene (gelb) weist eine deutliche Überschreitung der Grenzkurve gemäß

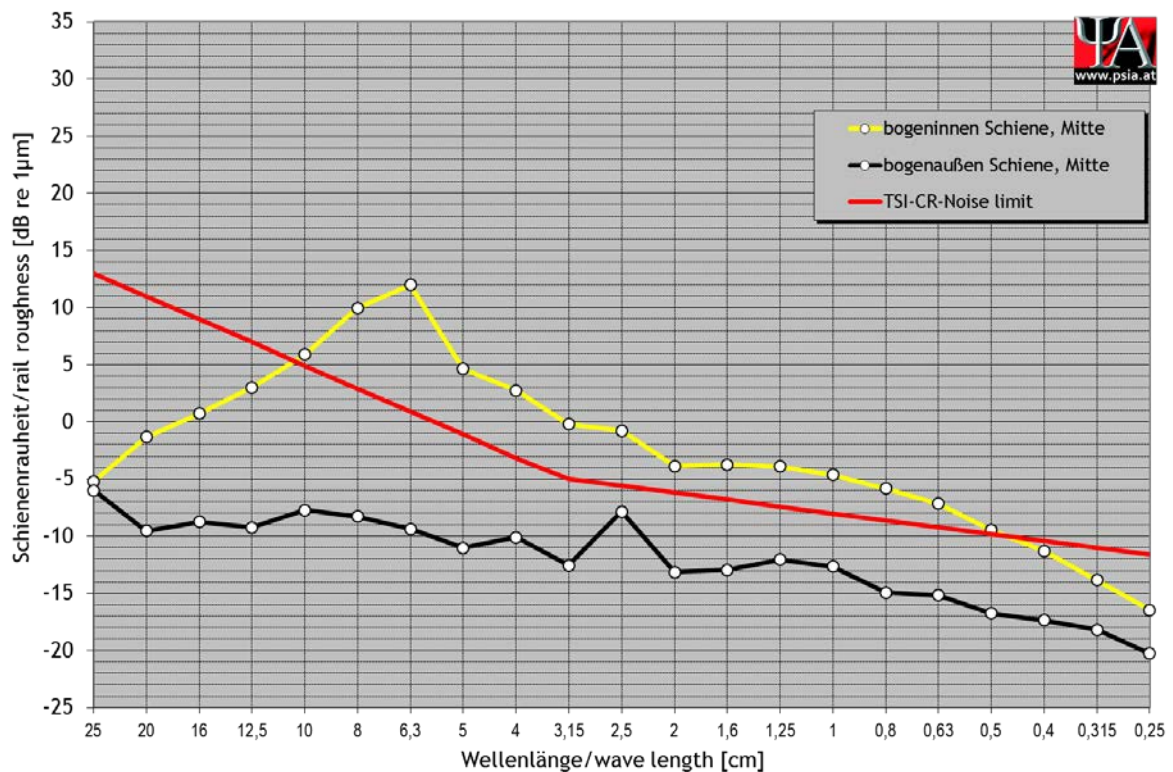


Abb. 2-5: akustische Schienenrauheit Kampagne 1, Kleinschwechat, S7

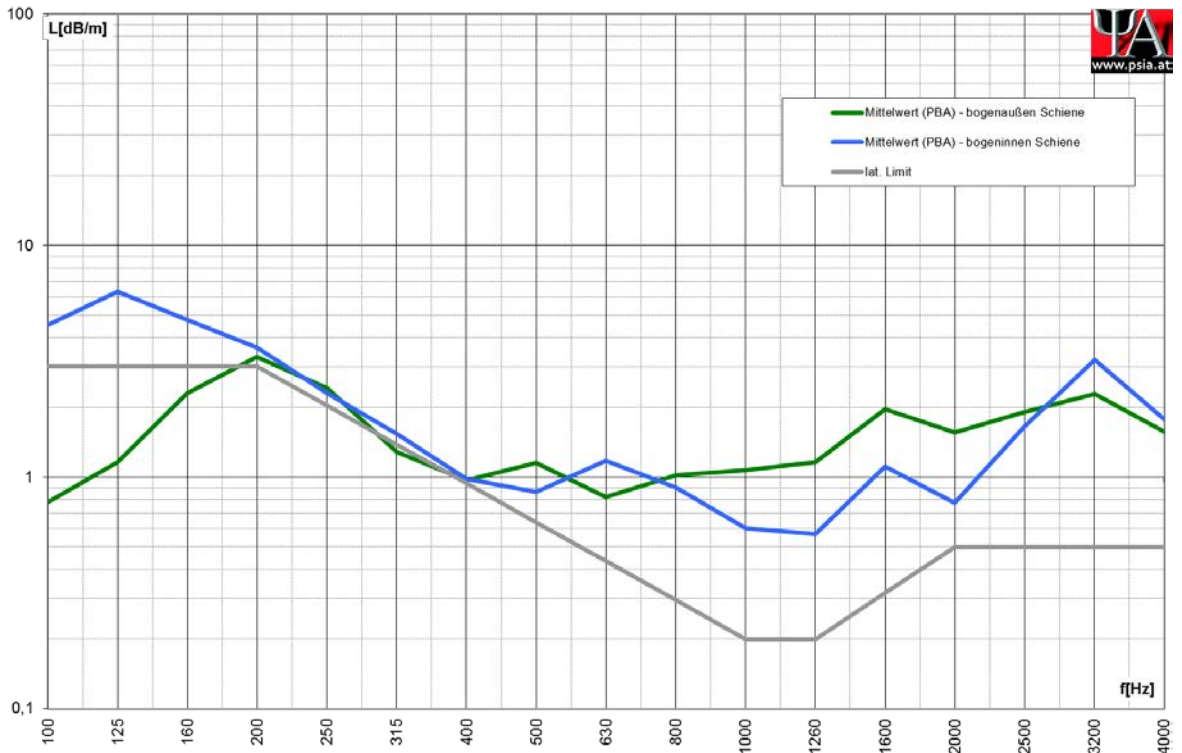


Abb. 2-6: horizontale Abklingrate (PBA) Kampagne 1, Kleinschwechat, S7

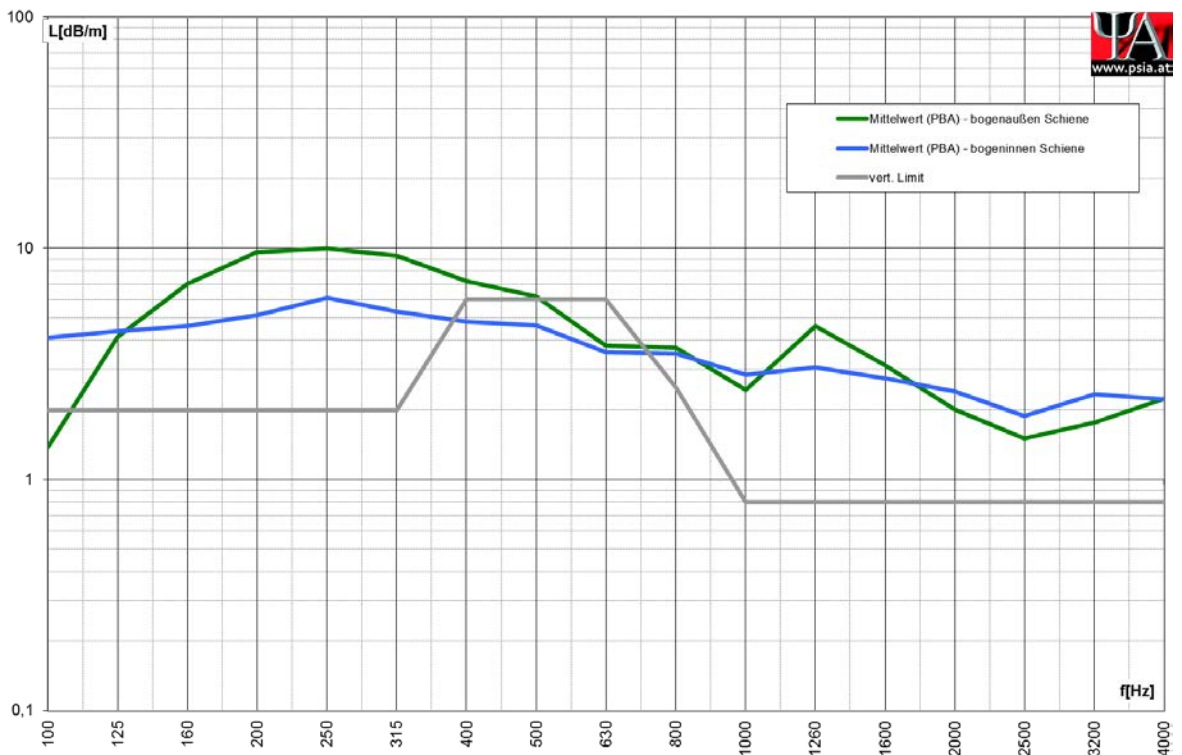


Abb. 2-7: vertikale Abklingrate (PBA) Kampagne 1, Kleinschwechat, S7

TSI-CR-Noise [15] auf, während die Außenschiene die Grenzwerte im gesamten Wellenlängenbereich einhält.

Eine genauere Untersuchung der Ergebnisse sowie eine Abschätzung zum Einfluss des Faktors „Schienenrauheit“ wird in Kapitel 5.7 dargestellt.

Zusätzlich zur Schienenrauheit wurde auch die Abklingrate des Gleises im Messquerschnitt erhoben. Hierfür wurde aus den Beschleunigungsaufnehmern mittels des Softwaretools PBA die Abklingrate beider Schienen rechnerisch ermittelt. Die für die Berechnung herangezogenen Vorbeifahrten sind in Anhang C.2 dargestellt. Die Ergebnisse sind in Abb. 2-6 (horizontale TDR) und in Abb. 2-7 (vertikale TDR) dargestellt. Die horizontale Gleisabklingrate liegt für beide Gleise in weiten Teilen über der Grenzkurve gem. TSI-Noise [15]. Nur im Bereich <200 Hz kommt es an der bogenaußenliegenden Schiene zu Unterschreitungen. Die vertikale Gleisabklingrate erreicht im Bereich von 400-800 Hz nicht das Limit. Im restlichen Frequenzbereich wird das Limit aber eingehalten.

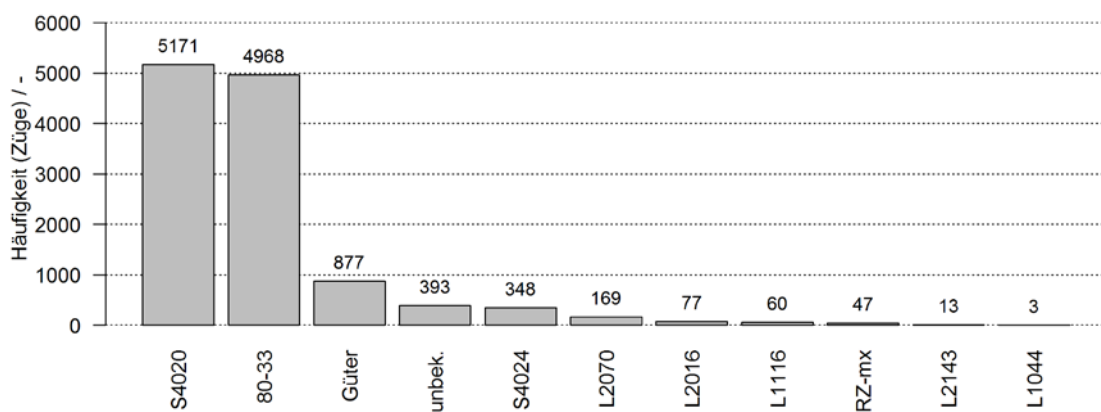


Abb. 2-8: Anzahl der Vorbeifahrt je Zugkategorie für die Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

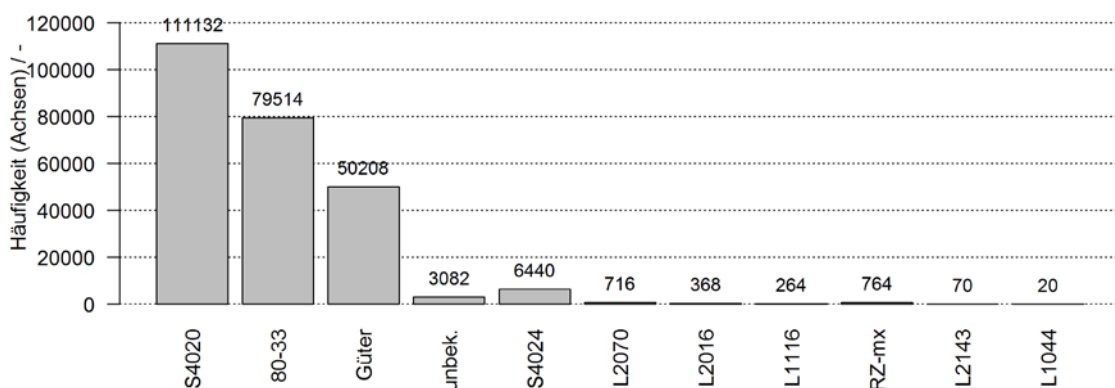


Abb. 2-9: Anzahl der gesamt gemessenen Achsen je Zugkategorie für die Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

Eine genauere Untersuchung der Ergebnisse sowie eine Abschätzung zum Einfluss des Faktors „Schienenabklingrate“ sowie dessen Temperaturabhängigkeit wird in Kapitel 5.6 dargestellt.

Der Zugverkehr im Streckenabschnitt der Messkampagne 1 ist vor allem durch die Verbindung zum Flughafen Wien-Schwechat geprägt. Der City-Airport Train (Zugkategorie 80-33) sowie die Schnellbahnzüge der Kategorie 4020 bilden den Hauptanteil des Personenverkehrs. Insgesamt wurden in der Messkampagne 12126 Züge erfasst, die Häufigkeit der einzelnen Zugkategorien zeigt Abb. 2-8, die der einzelnen gemessenen Achsen je Zugkategorie zeigt Abb. 2-9. Die für den Gleisbogen mit gegebenem Radius, Überhöhung und Neigung ermittelte ausgeglichene Geschwindigkeit beträgt 39 km/h, die Geschwindigkeit laut VzG beträgt 60 km/h. Die mittlere gemessene Geschwindigkeit beträgt für die Kategorie Güterzug 33,1 km/h, für die Kategorie S4020 56,6 km/h, für die Kategorie 80-33 (CAT) 59 km/h und für die Kategorie S4024 56,4 km/h.

2.2. Messkampagne 2 - Eichgraben, Westbahn (K2)

Die zweite Messkampagne wurde an der Westbahn nahe Eichgraben bei km 27,2 durchgeführt. Der Streckenabschnitt befindet sich auf einer Hanglage mit einem bewirtschafteten Feld mit freier Schallausbreitung auf der einen Seite, auf welcher auch die Mikrofone positioniert waren und starkem Bewuchs im Bereich der ansteigenden Fläche auf der anderen Seite. Der Messpunkt M1 befand sich auf der Bogeninnenseite, während das Mikrophon M5 (zwischen den Gleisen) an der Bogenaußenseite von Gleis 1 positioniert war. Abb. 2-10 liefert einen Überblick über den Messquerschnitt und die Lage der einzelnen Mikrofonpositionen. Die Oberbaubedingungen am untersuchten Streckenabschnitt sind in Tab. 2-3 dargestellt. Zusätzlich wurden dort auch die Geschwindigkeit gemäß dem Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten (VzG), sowie die ausgeglichene Geschwindigkeit v_a (vgl. Kap 5.3) angegeben.

Kampagne 2: Eichgraben, Westbahn	
Streckenkilometer	27,2
Bogenradius	440 m
Schienentyp	54E2
Überhöhung	131 mm
Neigung in Regelfahrtrichtung Gleis 1	-10,5 ‰
Oberbau	Schotter
Schwellen	Betonschwellen
VzG	90 km/h
v_a	69,9 km/h

Tab. 2-3: Streckeneigenschaften von Gleis 1 Kampagne 2, Eichgraben, Westbahn



Abb. 2-10: Übersicht Messquerschnitt Kampagne 2, Eichgraben, Westbahn

Analog zur ersten Kampagne wurden die Schallemissionen wieder im Standardmesspunkt M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK) sowie im Messpunkt M5 (2,25 m / 0,5m ü. SOK) zwischen den Gleisen erfasst. Im Gegensatz zur ersten Kampagne lag der Messpunkt M1 diesmal jedoch auf der Bogeninnenseite. Die Radsensoren R1 und R2 sowie R3 und R4 wurden wieder an beiden Gleisen und die Beschleunigungssensoren (V1/H1, V2/H2) auf Gleis 1 an beiden Schienen befestigt.

Die Messkampagne dauerte vom 08.07.2014 bis 30.07.2015. Am 24.07.2015 wurden in einer Entfernung von etwa 140 m vor dem Messquerschnitt erneut eine Schienenkopfkonditionieranlage mit jeweils zwei Konditionierleisten an beiden Schienen auf Gleis 1 installiert.

Zu Beginn der Messkampagne (08.07.2014) wurde zudem die akustische Schienenrauheit im Messquerschnitt an beiden Schienen von Gleis 1 gemessen. Die Ergebnisse sind in Abb. 2-11 dargestellt. Die Rauheit liegt an beiden Schienen durchwegs unter den Grenzwerten der TSI-CR-Noise [15], bis auf den Wellenlängenbereich von 2,5 cm wo an beiden Gleisen eine markante Spitze erkennbar ist die um bis zu 5 dB über der Grenzlinie liegt. Eine genauere Untersuchung der Ergebnisse sowie eine Abschätzung zum Einfluss des Faktors „Schienenrauheit“ wird in Kapitel 5.7 dargestellt.

Zusätzlich zur Schienenrauheit wurde auch die Abklingrate des Gleises im Messquerschnitt erhoben. Hierfür wurde aus den Beschleunigungsaufnahmen mittels des Softwaretools PBA die Abklingrate beider Schienen rechnerisch ermittelt. Die für die Berechnung herangezogenen Vorbeifahrten sind in Anhang C.2 dargestellt. Die Ergebnisse sind in Abb. 2-12 (horizontale TDR) und in Abb. 2-13 (vertikale TDR) dargestellt. Neben der rechnerischen Methode wurde die TDR an diesem Abschnitt zusätzlich mittels Impulshammer (AEIF-Methode) ermittelt (siehe Abb. 2-14 und Abb. 2-15).

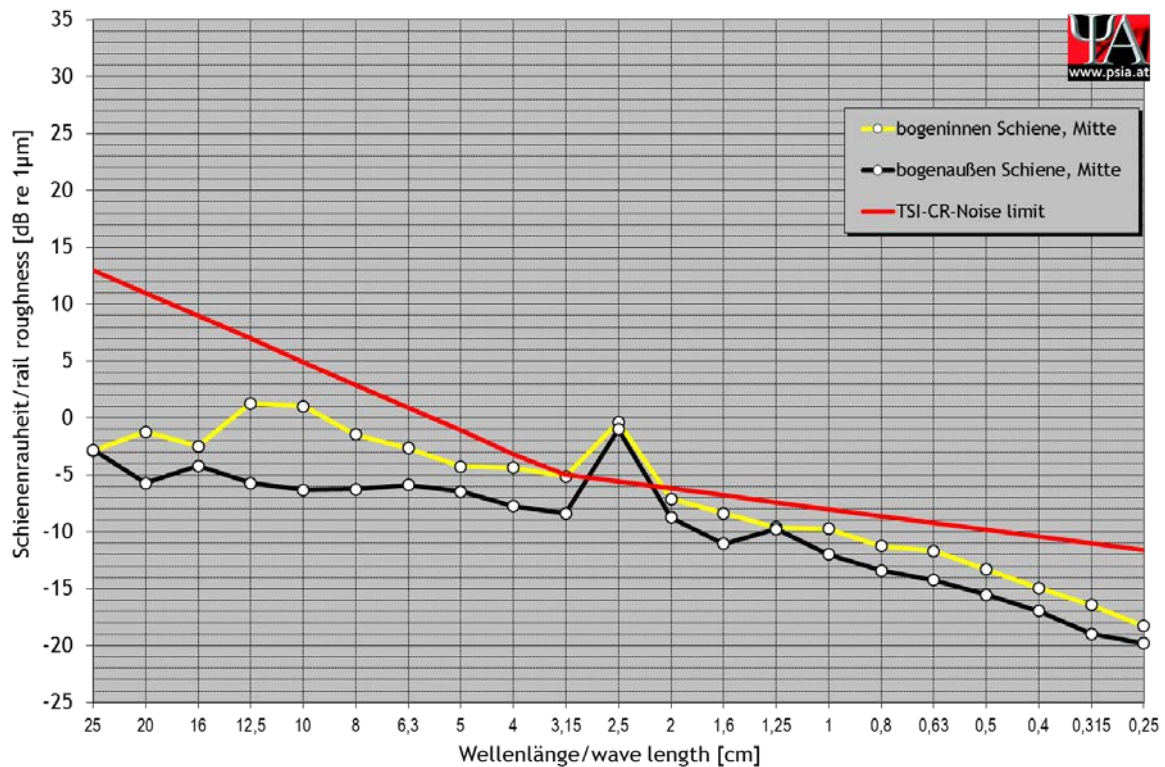


Abb. 2-11: akustische Schienenrauheit Kampagne 2, Eichgraben, Westbahn

Die Ergebnisse der rechnerisch ermittelten TDR zeigen, dass die horizontale Abklingrate der bogeninnenliegenden Schiene in den Frequenzen 160 Hz und 200 Hz und die bogenäußere Schiene bei Frequenzen von 200 Hz bis 315 Hz das Limit gemäß TSI-Noise [15] unterschreitet. Im restlichen Frequenzspektrum liegen die Werte beider Gleise über dem Limit. Die vertikale TDR wird für die bogeninnenliegende Schiene eingehalten. Bei der bogenaußenliegenden Schiene kommt es nur im Bereich von 630 Hz zu einer geringfügigen Unterschreitung.

Die Ergebnisse der AEIF-Methode zeigen ein anderes Bild. Bei der horizontalen Abklingrate liegen die Werte der bogenaußenliegenden Schiene im Bereich von 160 Hz bis 400 Hz sowie bei den Frequenzen 1,25 kHz, 1,6 kHz und 2,5 kHz unter dem Limit. Bei der bogeninnenliegenden Schiene erfüllen die Frequenzbereiche 125 Hz bis 250 Hz, 800 Hz bis 2 kHz sowie das 4 kHz Terzband das TSI-Limit nicht.

Bei der vertikalen TDR liegen die Ergebnisse der bogenaußenliegenden Schiene durchgehend über dem Limit. Nur bei den Frequenzen 1,6 kHz und 3,2 kHz wird das Limit geringfügig unterschritten. Bei der bogeninnenliegenden Schiene liegen die Ergebnisse im Frequenzbereich von 1,6 kHz bis 3,2 kHz unter dem Limit, im restlichen Frequenzspektrum kann das Limit eingehalten werden.

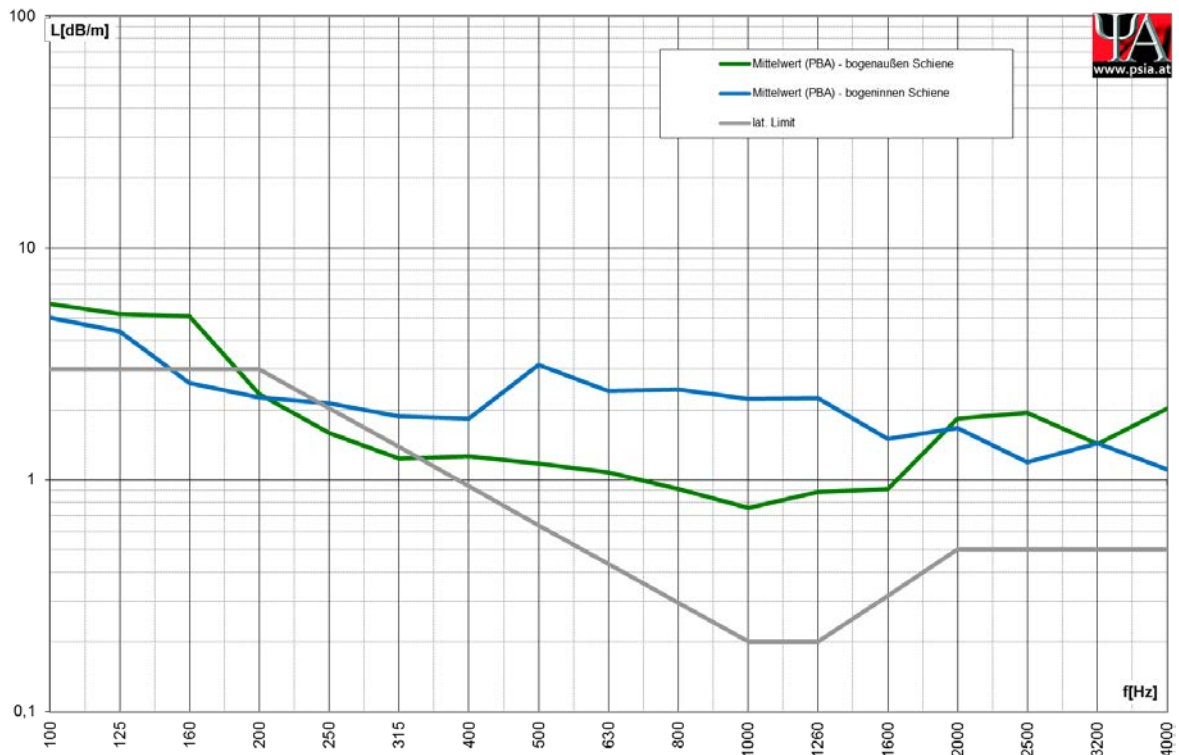


Abb. 2-12: horizontale Abklingrate (PBA) Kampagne 2, Eichgraben, Westbahn

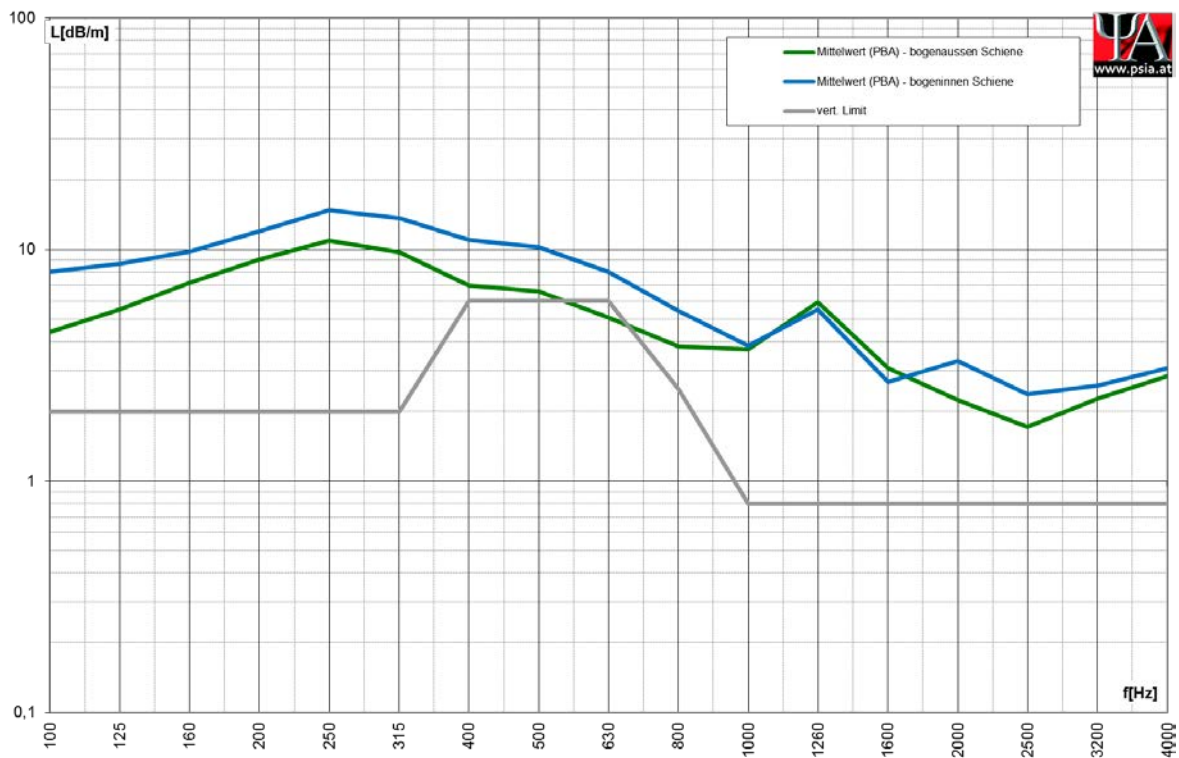


Abb. 2-13: vertikale Abklingrate (PBA) Kampagne 2, Eichgraben, Westbahn

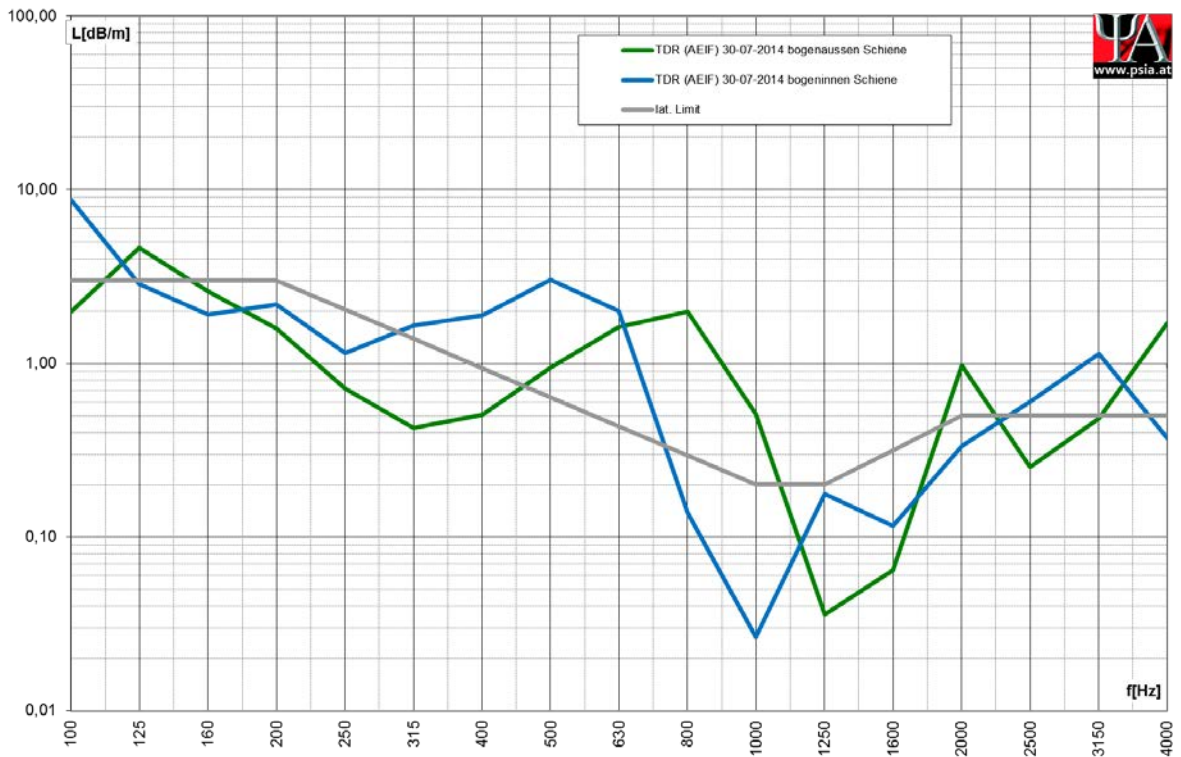


Abb. 2-14: horizontale Abklingrate (AEIF) Kampagne 2, Eichgraben, Westbahn

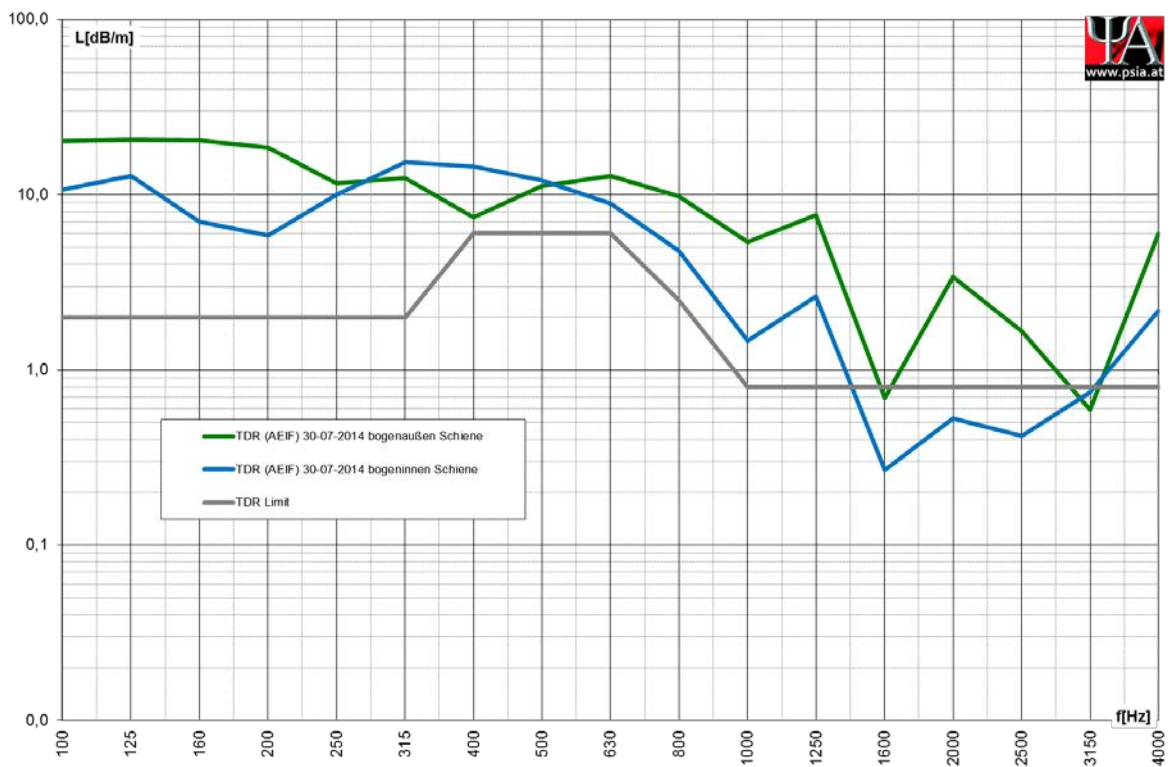


Abb. 2-15: vertikale Abklingrate (AEIF) Kampagne 2, Eichgraben, Westbahn

Eine genauere Untersuchung der Ergebnisse sowie eine Abschätzung zum Einfluss des Faktors „Schienenabklingrate“ wird in Kapitel 5.6 dargestellt.

Der Streckenabschnitt der Messkampagne 2 liegt an der alten Westbahnstrecke. Aufgrund der neuen Strecke über das Tullnerfeld, fahren in diesem Abschnitt hauptsächlich Regional- und Güterzüge. Insgesamt wurden in der Messkampagne 2 1141 Züge erfasst, die Häufigkeit der einzelnen Zugkategorien zeigt Abb. 2-16, die der einzelnen gemessenen Achsen je Zugkategorie zeigt Abb. 2-17. Die für den Gleisbogen mit gegebenem Radius, Überhöhung und Neigung ermittelte ausgeglichene Geschwindigkeit beträgt 69,9 km/h, die Geschwindigkeit laut VzG beträgt 90 km/h. Bei km 28,820 ist ein Geschwindigkeitsbruch von 90 auf 75 km/h vorhanden, welcher dazu führt, dass vereinzelt Züge im Messquerschnitt bereits den Bremsvorgang eingeleitet haben.

Die mittlere gemessene Geschwindigkeit beträgt für die Kategorien Güterzug 77,1 km/h, für die Kategorie 80-33 87,7 km/h, für die Kategorie S4024 83,3 km/h und für die Kategorie RZ-mix 87,7 km/h.

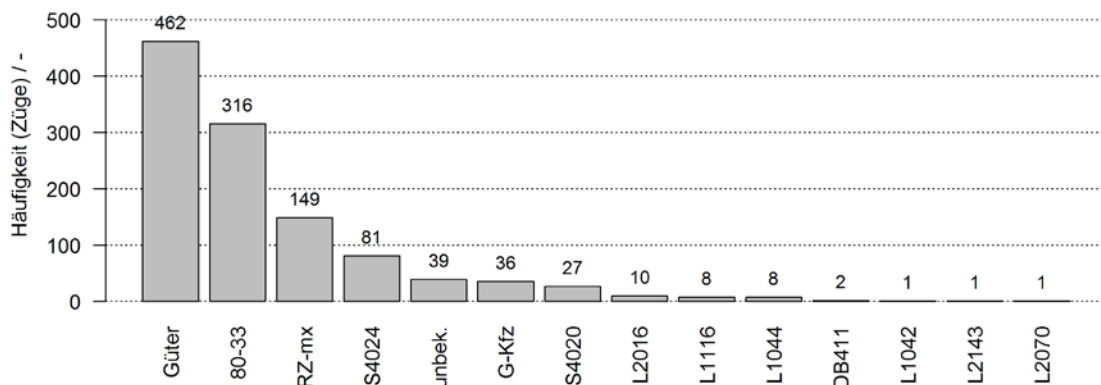


Abb. 2-16: Anzahl der Vorbeifahrt je Zugkategorie für die Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn

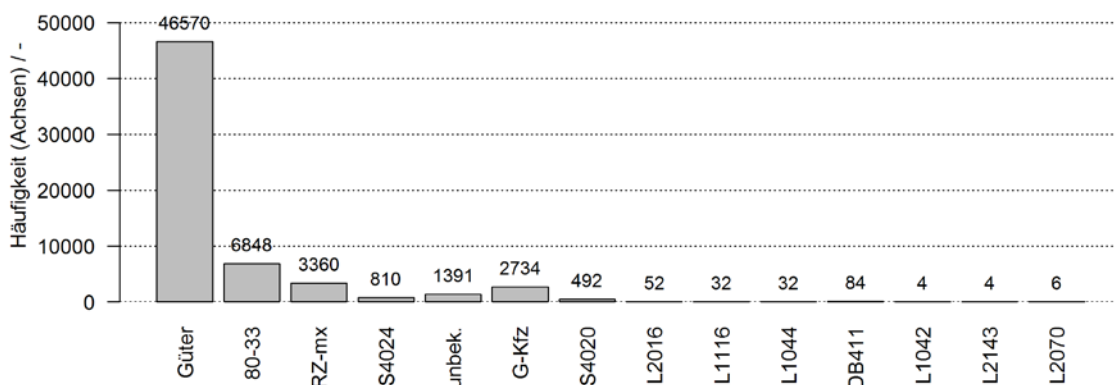


Abb. 2-17: Anzahl der gesamt gemessenen Achsen je Zugkategorie für die Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn

2.3. Messkampagne 3 - Mürzzuschlag, Südbahn (K3)

Für die dritte Messkampagne wurde ein Bogen nahe Mürzzuschlag an der Südbahn bei km 112,85 ausgewählt. Die Strecke verläuft im Bereich des Messquerschnitts auf einem Damm nahe einer Unterführung mit freier Schallausbreitung an beiden Seiten, wobei an der den Mikrofonen gegenüberliegenden Seite eine Holzhütte steht, in welcher das Messequipment untergebracht wurde. Die Mikrofonposition M1 befand sich auf der Bogenaußenseite, während das Mikrofon M5 an der Bogeninnenseite von Gleis 1 (zwischen den Gleisen) positioniert war. Die etwa 160 m entfernte Semmering Schnellstraße S6 hatte im Bereich der Messstelle keine signifikanten Einfluss auf das Umgebungsgeräusch. Abb. 2-18 liefert einen Überblick über den Messquerschnitt und die Lage der einzelnen Mikrofonpositionen. Die Oberbaubedingungen am untersuchten Streckenabschnitt sind in Tab. 2-4 dargestellt. Zusätzlich wurden dort auch die Geschwindigkeit gemäß dem Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten (VzG), sowie die ausgeglichene Geschwindigkeit v_a (vgl. Kap 5.3) angegeben.

Analog zu den ersten beiden Kampagnen wurden die Schallemissionen wieder im Standardmesspunkt M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK) sowie im Messpunkt M5 (2,25 m / 1,2 m ü.

Kampagne 3: Mürzzuschlag, Südbahn	
Streckenkilometer	112,85
Bogenradius	310 m
Schienentyp	UIC60
Überhöhung	150 mm
Neigung in Regelfahrtrichtung Gleis 1	19 ‰
Oberbau	Schotter
Schwellen	Betonschwellen
VzG	80 km/h
v_a	62,8 km/h

Tab. 2-4: Streckeneigenschaften von Gleis 1 Kampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn



Abb. 2-18: Übersicht Messquerschnitt Kampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn

SOK) zwischen den Gleisen erfasst. Die Radsensoren R1 und R2 sowie R3 und R4 wurden wieder an beiden Gleisen und die Beschleunigungssensoren (V1/H1, V2/H2) an Gleis 1 an beiden Schienen befestigt.

Die Messkampagne dauerte vom 12.09.2014 bis 03.10.2014. Am Ende der Messkampagne wurde die akustische Schienenrauheit an beiden Schienen von Gleis 1 gemessen. Die Ergebnisse sind in Abb. 2-19 dargestellt. Bis auf eine geringfügige Überschreitung der Rauheitswert der Bogeninnenschiene bei 12,5 cm liegen die Ergebnisse durchwegs unter dem TSI-CR-Noise Limit [15]. Eine genauere Untersuchung der Ergebnisse sowie eine Abschätzung zum Einfluss des Faktors „Schienenrauheit“ wird in Kapitel 5.7 dargestellt.

Zusätzlich zur Schienenrauheit wurde auch die Abklingrate des Gleises im Messquerschnitt erhoben. Hierfür wurde aus den Beschleunigungsaufnehmern mittels des Softwaretools PBA die Abklingrate beider Schienen rechnerisch ermittelt. Die für die Berechnung herangezogenen Vorbeifahrten sind in Anhang C.2 dargestellt. Die Ergebnisse sind in Abb. 2-20 (horizontale TDR) und in Abb. 2-21 (vertikale TDR) dargestellt.

Die horizontale TDR liegt für die bogenaußenliegende Schiene bis auf das 250 Hz Terzband über den Grenzwerten, für die bogeninnenliegende Schiene liegt die TDR im

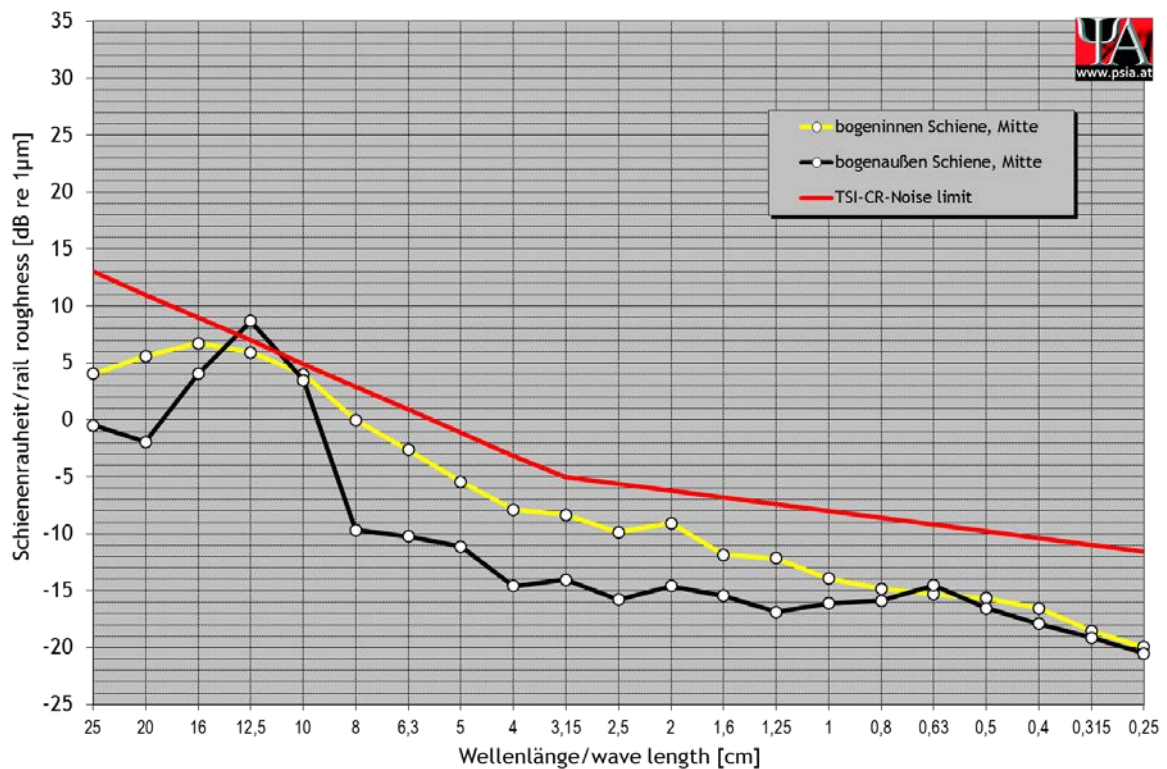


Abb. 2-19: akustische Schienenrauheit Kampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn

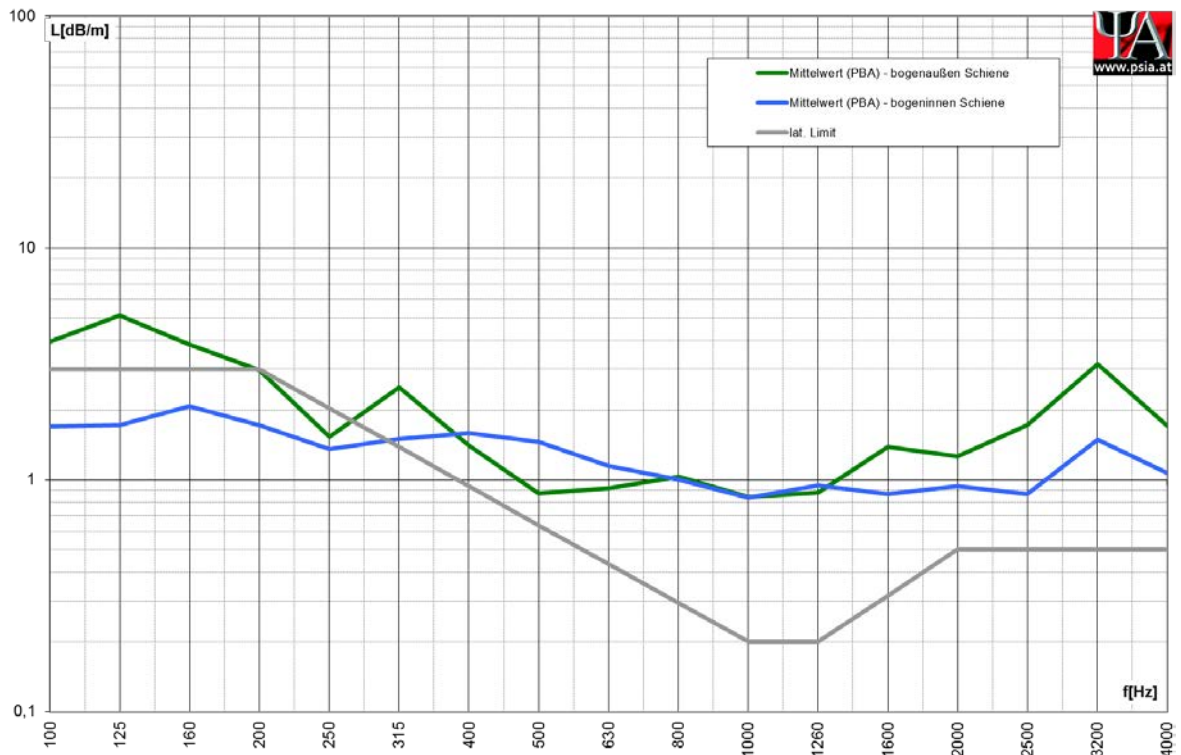


Abb. 2-20: horizontale Schienenabklingrate (PBA) Kampagne 3 Mürzzuschlag, Südbahn

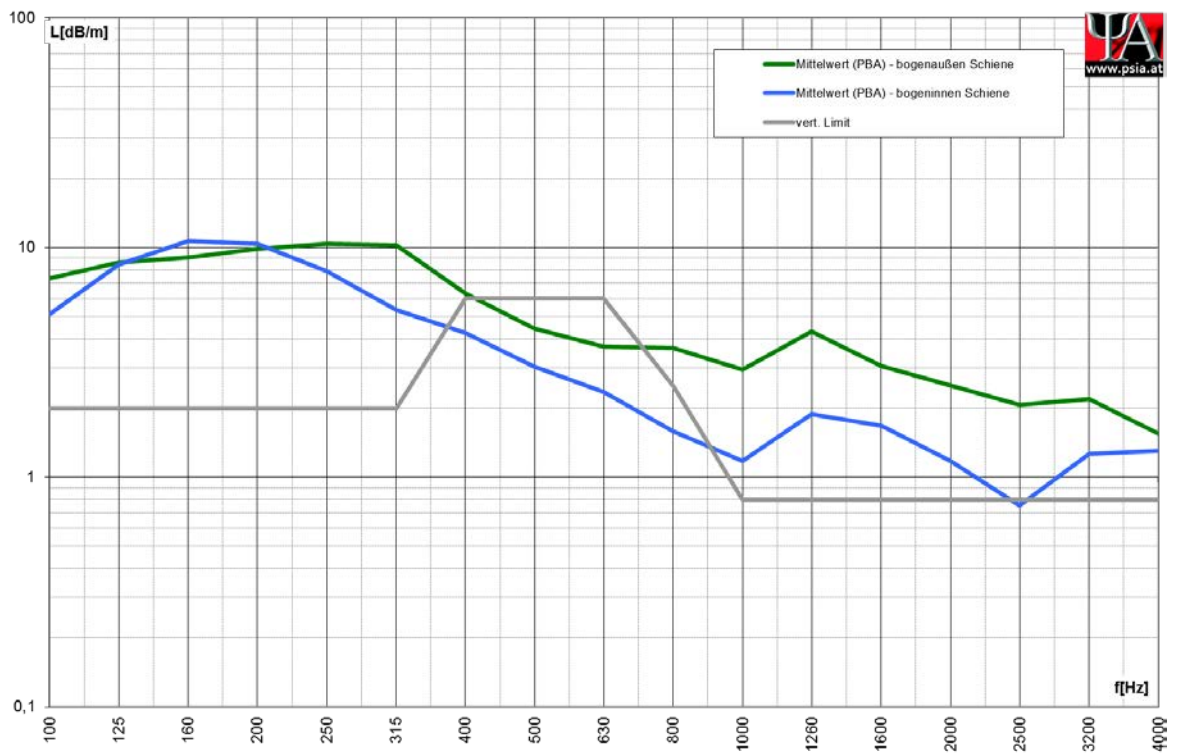


Abb. 2-21: vertikale Schienenabklingrate (PBA) Kampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn

Bereich <315 Hz unter dem Limit, im Frequenzbereich 315 Hz und größer kann das Limit eingehalten werden. Die vertikale TDR wird im Bereich von 400 Hz bis 800 Hz an beiden Schienen nicht eingehalten. Im restlichen Frequenzspektrum liegen die Werte über dem Limit.

Eine genauere Untersuchung der Ergebnisse sowie eine Abschätzung zum Einfluss des Faktors „Schienenabklingrate“ wird in Kapitel 5.6 dargestellt.

Der Streckenabschnitt der Messkampagne 3 liegt an der Südbahnstrecke und damit auf der Verbindung zwischen Wien und Graz. Neben dem Güterverkehr ist vor allem der Railjet der ÖBB bzw. CD (Tschechischen Bahnen) im Einsatz. Insgesamt wurden in der Messkampagne 2 946 Züge erfasst, die Häufigkeit der einzelnen Zugkategorien zeigt Abb. 2-22, die der einzelnen gemessenen Achsen je Zugkategorie zeigt Abb. 2-23.

Die für den Gleisbogen mit gegebenem Radius, Überhöhung und Neigung ermittelte ausgeglichene Geschwindigkeit beträgt 62,8 km/h, die Geschwindigkeit laut VzG beträgt 80 km/h. Die mittlere gemessene Geschwindigkeit beträgt für die Kategorie Güterzug 65,6 km/h, für die Kategorie Railjet 74,6 km/h und für die Kategorie RZ-mix 74,5 km/h.

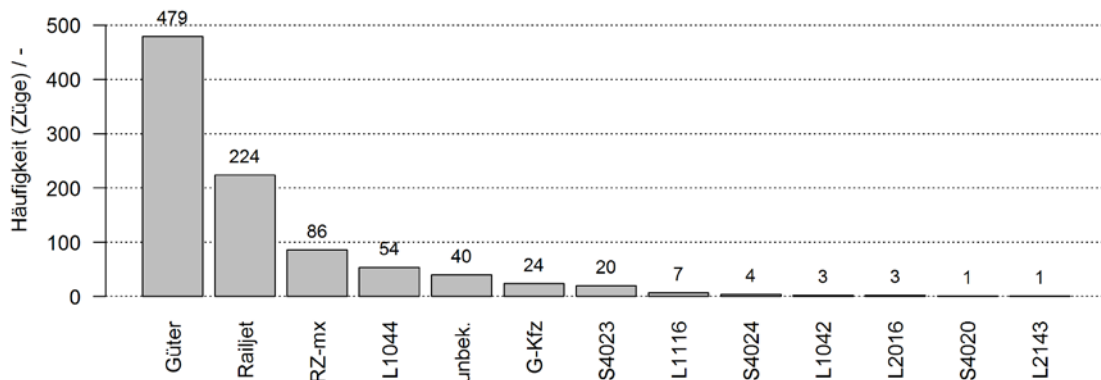


Abb. 2-22: Anzahl der Vorbeifahrt je Zugkategorie für die Messkampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn

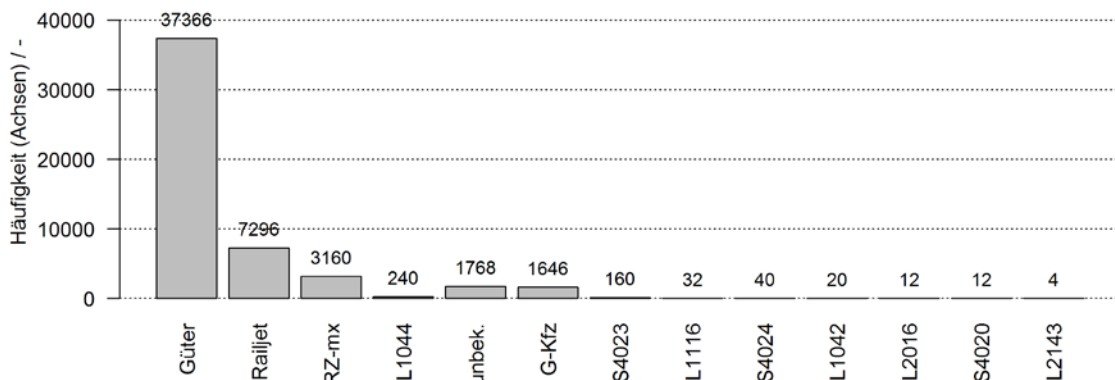


Abb. 2-23: Anzahl der gesamt gemessenen Achsen je Zugkategorie für die Messkampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn

2.4. Messdaten von anderen Messstellen

Neben den Messdaten, welche im Zuge der drei Messkampagnen aufgezeichnet wurden, sind zudem noch Messdaten der acramos® Messstelle Deutsch-Wagram, als Vergleich mit der geraden Strecke, sowie Messdaten der acramos® Messstelle Breitenstein für den Vergleich der Rauheitsdaten von der ÖBB Infrastruktur AG zur Verfügung gestellt worden.

3. AUTOMATISIERTE ERKENNUNG VON AUFFÄLLIGKEITEN IN SCHALLEMISSIONEN

Für die Ableitung von Korrekturfaktoren und für die Analyse von Einflussfaktoren bedarf es einer Differenzierung zwischen auffälligen und unauffälligen Zugvorbeifahrten. Zudem kann eine weitere Unterscheidung von Merkmalen der Auffälligkeiten helfen, Zusammenhänge zu interpretieren und Einflussfaktoren zuverlässiger zu bestimmen. Aufgrund der großen Anzahl an Zugvorbeifahrten war es daher notwendig, die Erkennung von (verschiedenartigen) Auffälligkeiten in Vorbeifahrtgeräuschen zu automatisieren.

Die Entwicklung dieser Erkennung basiert ausschließlich auf einer Bewertung der in 7,5 m Entfernung und 1,2 m über Schienenoberkannte erfassten Schallemissionen (Standardmesspunkt). Zu diesem Zweck wurden zunächst Merkmale empirisch erhoben und anschließend Bewertungsparameter abgeleitet. Darauf aufbauend wurde ein Erkennungsalgorithmus formuliert, implementiert und getestet. Dabei, wie auch bei den Auswertungen in den Kapiteln 4, 5 und 6 kamen sowohl die Programmiersprache für technisch-wissenschaftliche Berechnungen MATLAB R2015a von MathWorks, das Analyseprogramm ArtemiS V11.0 (Advanced Research Technology for Measurement and Investigation of Sound and Vibration) von Head Acoustics und die freie Programmiersprache für statistisches Rechnen und statistische Grafiken R 3.2.0 zum Einsatz.

Im Folgenden wird die Entwicklung des Erkennungsalgorithmus basierend auf einer empirischen Erhebung der verschiedenen Auftretensformen von Auffälligkeiten und deren Eigenschaften beschrieben. Die in Kap. 5 bis 8 dargestellten Auswertungen bzgl. der Einflussfaktoren, der Lokalisierung von Auffälligkeiten und der Korrekturfaktoren beruhen auf den Ergebnissen dieser automatischen Erkennung. Als direktes Ergebnis der Erkennung wird ein Überblick über die Anzahl an identifizierten Auffälligkeiten aufgeschlüsselt nach Messkampagne und Zugkategorie in Kap. 5.1 gegeben.

3.1. Empirische Erhebung von Auffälligkeiten

Aufgrund des im Vergleich zur 2. und 3. Kampagne deutlich längeren Messzeitraums konnten signifikant mehr Zugvorbeifahrten in Messkampagne 1 erfasst werden. Zudem befand sich diese Messstelle im Engsten der drei Bögen, sodass davon ausgegangen werden konnte, dass Auffälligkeiten in den Vorbeifahrtgeräuschen hier häufiger als in den anderen beiden Bögen auftreten. Demzufolge wurde das Hauptaugenmerk für die Erhebung von Merkmalen auf die Vorbeifahrten der 1. Kampagne an der S7 gelegt.

Da eine manuelle Bewertung aller Züge aufgrund der hohen Zuganzahl in vorliegendem Projekt nicht umsetzbar war, wurde stellvertretend eine zufällige, gleichverteilte Stichprobe mit je 100 Zügen der vier, die Messstelle am häufigsten passierenden Zugkategorien herangezogen (S4020, 80-33, Güterzüge und S4024 repräsentieren rund 94% des Verkehrs am Messgleis). Zudem wurden die aus der Bewertung dieser Züge gewonnen Erkenntnisse mit weiteren Zügen der 1., sowie mit Zügen der 2. und 3. Messkampagne verifiziert (jeweils rund 50 Vorbeifahrten).

Die manuelle Identifizierung von Auffälligkeiten in den Schallemissionen und deren Kategorisierung erfolgte durch mehrere Projektmitarbeiter. Die Beurteilung über das Vorhandensein von Auffälligkeiten beruht dabei ausschließlich auf den Erfahrungen, welche durch

- Anhören der akustischen Aufzeichnungen und
- Vergleich mit zugehörigen Terzpegelspektren und Terzpegelzeitverläufen

gesammelt wurden (Empirie).

Anhand der mittels Lautsprecher bzw. Kopfhörer wiedergegebenen Vorbeifahrtgeräusche können vor allem ausgeprägte Auffälligkeiten klar erkannt bzw. diese von unauffälligen Vorbeifahrten von Zügen der gleichen Kategorie unterschieden werden. Bei Auffälligkeiten mit geringer Ausprägung oder bei Mischformen ist hingegen im Allgemeinen eine eindeutige Identifizierung der Merkmalsart oder die Differenzierung zu unauffälligen Vorbeifahrtgeräuschen nicht oder nur vage möglich.

Zusätzlich zu den Terzpegelspektren wurden die Zeitverläufe der Terzpegel berechnet und gesichtet, um dadurch Aufschluss über zeitliche Änderungen während der Zugvorbeifahrten und eine grobe Zuordnung zu Positionen am Zug zu erhalten. Die unbewerteten Terzpegelspektren und die zugehörigen Zeitverläufe wurden dazu im Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 16 kHz¹ bestimmt.

3.1.1. Breitbandige Geräuschanteile im oberen Frequenzbereich

Bei den Schallemissionen der an den Messstandorten häufig verkehrenden Zugkategorien wurden oftmals Auffälligkeiten identifiziert, deren Klangcharakteristik von aneinander kratzenden bzw. scherenden Metallteilen ähnelt. Die Intensität dieser Auffälligkeiten reichte von leisem Zischeln bis zu ausgeprägten Schergeräuschen, welche

¹ Da die Abtastfrequenz der Messungen 32 kHz beträgt, wird der Terzpegel des 16 kHz Terzbandes nur mit Frequenzanteilen bis 16 kHz bestimmt.

kontinuierlich oder intermittierend auftreten können (siehe exemplarische Darstellung verschiedene Ausprägungen derartiger Geräuschanteile in Abb. 3-1, Abb. 3-2 und Abb. 3-3).

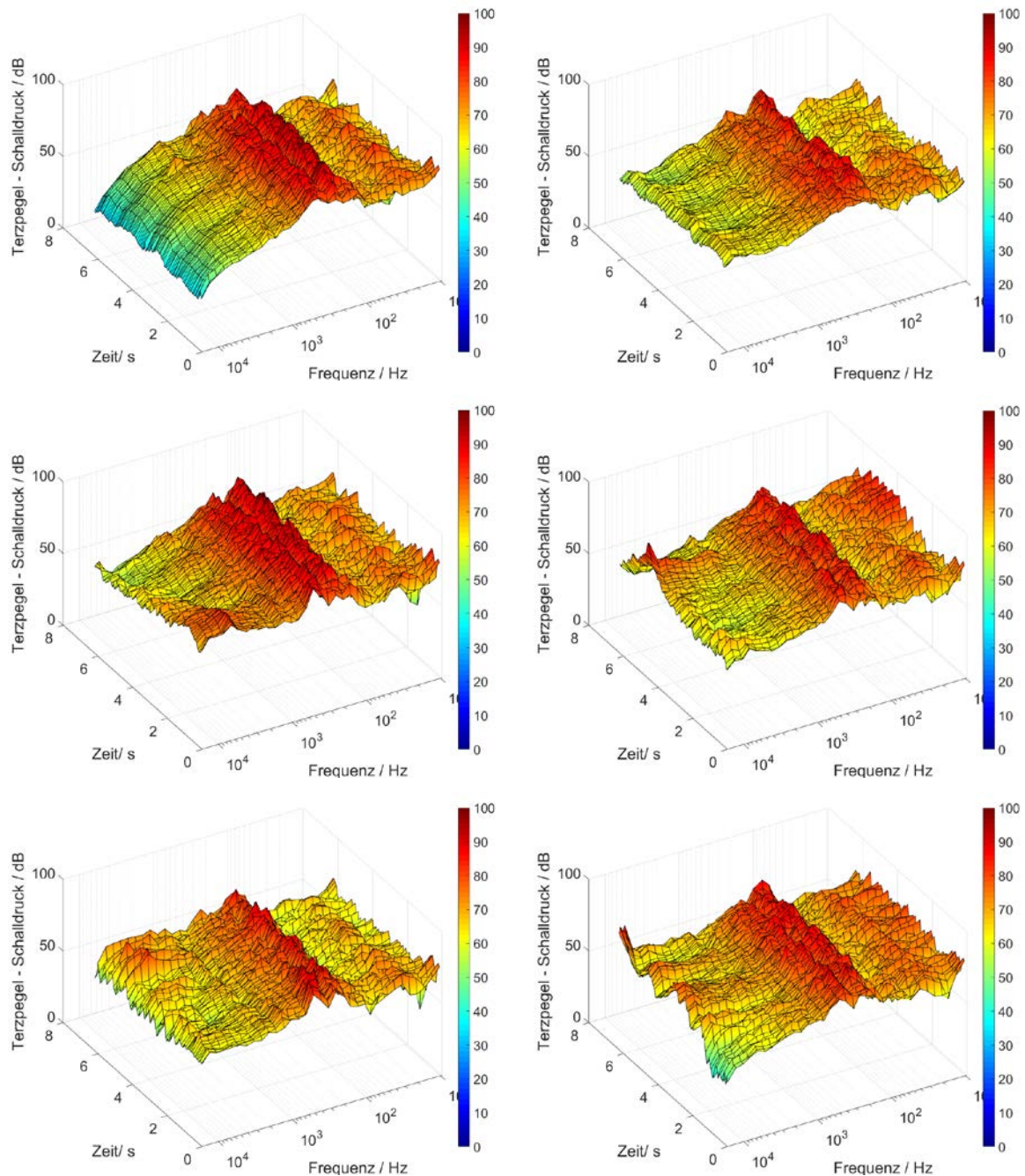


Abb. 3-1: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen der Zugkategorie 80-33 mit 16 Achsen (60 km/h, Messkampagne 1) in 7,5 m: ohne akustische Auffälligkeiten (oben links), durchgängiges Zischeln (oben rechts), ausgeprägte Schergeräusche am Anfang (Mitte links) und am Ende (Mitte rechts) der Vorbeifahrt, intermittierende Zischeln (unten links) und langsamer variierendes, ausgeprägtes Schergeräusch ab Zugmitte bzw. mit hohen Frequenzanteilen am Ende der Vorbeifahrt (unten rechts)

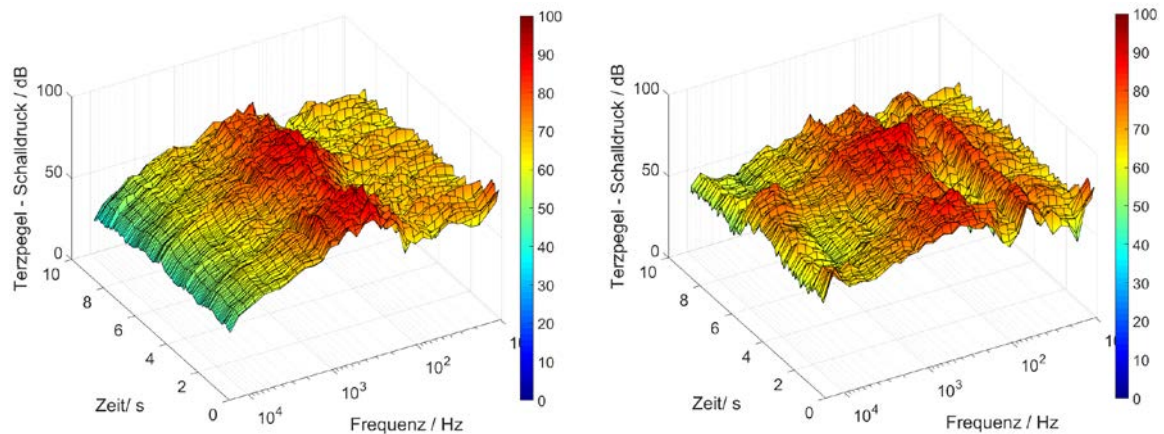


Abb. 3-2: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen der Zugkategorie S4020 mit 24 Achsen (ca. 60 km/h, Messkampagne 1) in 7,5 m: ohne akustische Auffälligkeiten (links) und mit leisen breitbandigen Zischgeräuschen zunehmender Intensität am Anfang und ausgeprägten Schergeräuschen in der Mitte der Zugvorbeifahrt (rechts)

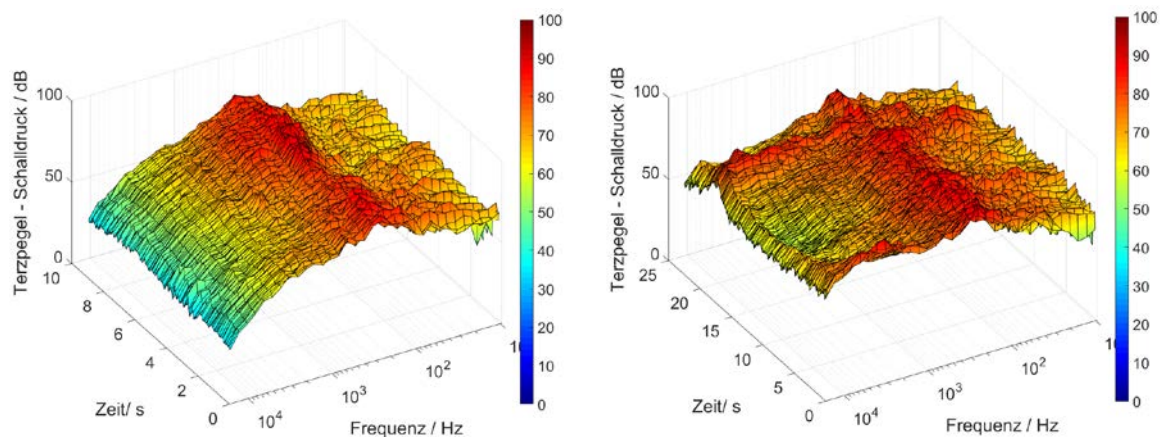


Abb. 3-3: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen der Zugkategorie Güterzug (ca. 40 km/h, Messkampagne 1) in 7,5 m: ohne akustische Auffälligkeiten (links) und mit mittelstarken Schergeräusch zu Beginn und am Ende der Zugvorbeifahrt, sowie mit leisem Zischgeräuschen in der Zugmitte (rechts)

Im Vergleich zu Emissionen ohne Auffälligkeit äußern sich diese breitbandigen Auffälligkeiten in den Terzpegelzeitverläufen ab Frequenzen von einigen Kilohertz durch Pegelerhöhungen, welche sich häufig über mehrere Terzen erstrecken. Während bei Emissionen ohne Auffälligkeiten die Terzpegel im oberen Frequenzbereich mit zunehmender Frequenz deutlich sinken, bleiben die Terzpegel bei den breitbandigen Auffälligkeiten in ähnlichen Größenordnungen. Zudem weisen die Zisch- und Schergeräusche in einigen Fällen auch eine besonders ausgeprägte Zunahme der 12,5 kHz und/oder 16 kHz Terzpegel auf (vgl. Abb. 3-1 Mitte rechts und unten rechts). Zusammenfassend bedeutet dies, dass die Pegelerhöhungen von breitbandigen

Auffälligkeiten ab einem Frequenzbereich von einigen Kilohertz gegenüber unauffälligen Emissionen in der Regel mit der Frequenz ansteigen.

Ein Vergleich mit den in der Literatur beschriebenen Entstehungsmechanismen von Kurvengeräuschen und deren schalltechnischen Eigenschaften legt den Rückschluss nahe, dass es sich hierbei um Schallemissionen handelt die durch einen Spurkranzanlauf hervorgerufen werden (vgl. Kap. 1.2). Aus diesem Grund werden die breitbandigen Auffälligkeiten als kennzeichnend für das Vorhandensein von Kurvenkreischen betrachtet.

3.1.2. Tonale Geräuschanteile im mittleren Frequenzbereich

Neben den breitbandigen Auffälligkeiten konnten auch Auffälligkeiten in den Vorbeifahrtgeräuschen identifiziert werden, bei welchen Töne deutlich wahrnehmbar waren. Diese vergleichsweise schmalbandigen Komponenten waren bei Zügen mit mehreren Wagen in der Regel nicht während der gesamten Zugvorbeifahrt vorhanden, sondern deren Lautstärke stieg stets kontinuierlich bis zu einem Maximum an und fiel anschließend wieder ab. Zudem konnte im Bereich des Lautstärkemaximums oftmals eine leichte Frequenzsenkung akustisch wahrgenommen werden.

In Abb. 3-4, Abb. 3-5 und Abb. 3-6 sind exemplarisch Terzpegelzeitverläufe von Schallemissionen, bei welchen derartige tonale Auffälligkeiten (bis 6,3 kHz) aufgetreten sind, dargestellt. Aufgrund der Unterteilung in Terzbänder können ausgeprägte schmalbandige Komponenten sich sowohl in einer Erhöhung einzelner Terzpegel (vgl. Abb. 3-4 rechts und Abb. 3-6), als auch - sofern die Mittenfrequenz der schmalbandigen Komponente nahe einer Bandgrenze liegt - zweier benachbarter Terzen manifestieren

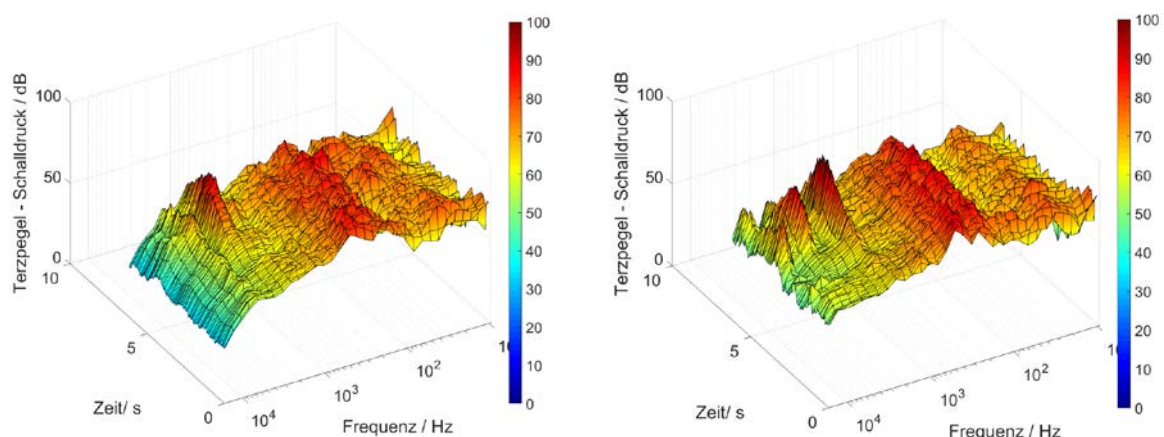


Abb. 3-4: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen der Zugkategorie 80-33 mit 16 Achsen (60 km/h, Messkampagne 1) in 7,5 m: tonale Auffälligkeit bei 3,15 kHz Terz am Zugende (links) und bei 2,5 kHz mit erkennbaren Oberwellen am Zugende bzw. leisen Zischelgeräuschen am Zuganfang (rechts)

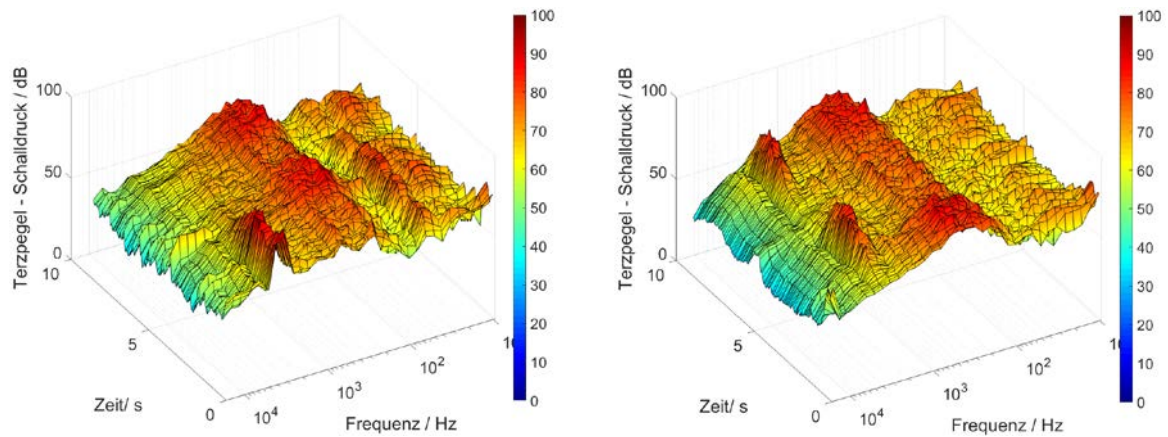


Abb. 3-5: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen der Zugkategorie S4020 mit 24 Achsen (60 km/h, Messkampagne 1) in 7,5 m: tonale Auffälligkeit primär bei 3,15 kHz Terz am Zusanfang (links) bzw. am Zusanfang und Zugende (rechts)

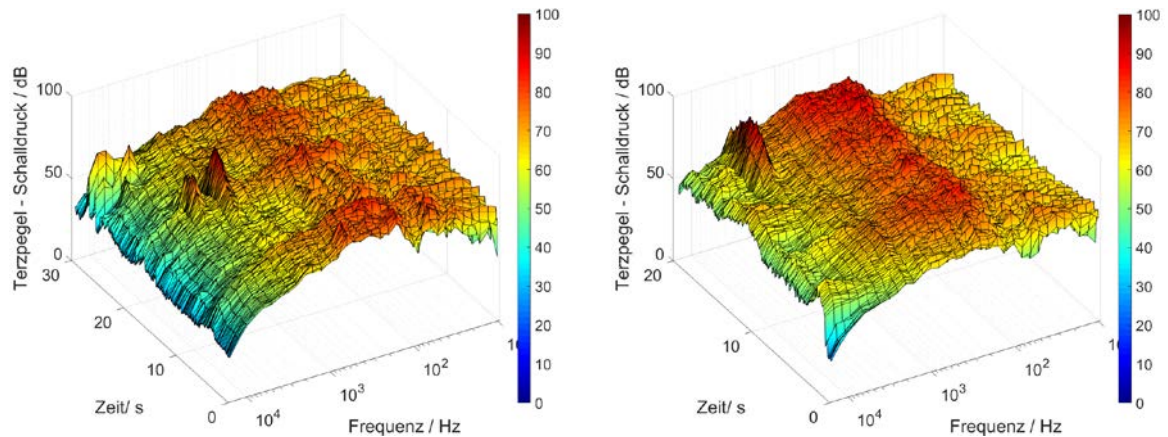


Abb. 3-6: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen der Zugkategorie Güterzug (ca. 35 km/h, Messkampagne 01) in 7,5 m: tonale Auffälligkeit bei 2 kHz mit erkennbarer Oberwelle in Zugmitte und kurzen Schergeräusch am Zugende (links) und tonale Auffälligkeit bei 2,5 kHz am Ende der Vorbeifahrt und leichten Zischelgeräuschen während der gesamten Zugvorbeifahrt (rechts)

(vgl. Abb. 3-4 links und Abb. 3-5). Gerade bei letzterem Fall ist zudem häufig die erwähnte Frequenzverschiebung durch Wechsel des Pegelmaximums von der höher- zur niederfrequenten Terz zu beobachten. Darüber hinaus sind in den Zeitverläufen Terzpegelerhöhungen durch Oberwellen mit verschiedener Intensität zu erkennen.

Die isoliert wahrnehmbaren Töne zeigten in der Regel Erhöhungen in den Terzen von 1,25 bis 6,3 kHz (zugehörige Bandgrenzen betragen 1,12 bis 7,1 kHz), wobei im mittleren Frequenzbereich von 3 bis 5 kHz die höchsten Häufigkeiten bestanden. Schmalbandige Pegelerhöhungen mit geringeren Frequenzen traten äußerst selten auf, während hin zu höheren Frequenzen sich zwar durchaus häufiger tonale Komponenten zu erkennen waren, diese jedoch häufig mit breitbandigen Auffälligkeiten einhergingen.

Die beobachteten Eigenschaften der tonalen Auffälligkeiten decken sich mit den in der Literatur beschriebenen schmalbandigen Emissionsanteilen von Kurvenquietschen, bei welchen durch einen lateralen Versatz das Rad zum Schwingen in einer seiner Eigenmoden angeregt wird (vgl. Kap. 1.2). Die in den Hörproben wahrgenommene bzw. die im Zeitverlauf beobachtete Frequenzverschiebung kann dabei durch den Dopplereffekt der bewegten Schallquelle erklärt werden.

Die in der Literatur erwähnten Angaben über Frequenzbereiche, in welchen tonalen Komponenten von Kurvenquietschen üblicherweise auftreten, variieren. Während Thompson [3] den Frequenzbereich mit 250 Hz bis 5 kHz vergleichsweise weit fasst, wird in anderen Werken meist der Bereich um 3 bis 4 kHz beobachtet oder simuliert (vgl. beispielsweise [9] und [16]). Gerade letzteres deckt sich sehr gut mit den Beobachtungen innerhalb des vorliegenden Projekts. Aufgrund dieser unterschiedlichen Angaben werden im Weiteren tonale Auffälligkeiten entsprechend der eigenen Beobachtungen als

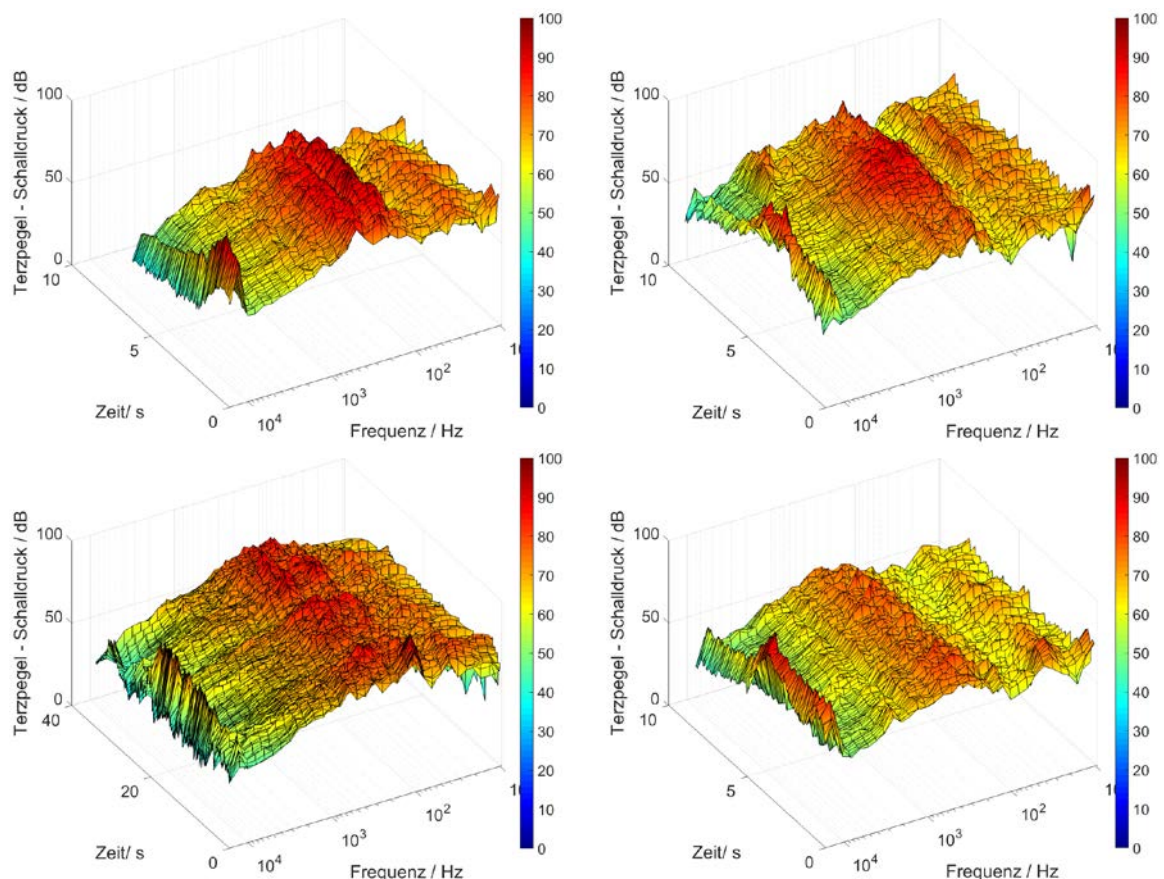


Abb. 3-7: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen mit isolierten, tonalen Auffälligkeiten im 12,5 kHz Terzband verschiedener Zugkategorien (Messkampagne 1) in 7,5 m: 24-achsiger 80-33 mit ca. 60 km/h (oben links), 24-achsige S4020 mit ca. 60 km/h (oben rechts), 64-achsiger Güterzug mit ca. 30 km/h (unten links), 20-achsige S4024 mit ca. 60 km/h (unten rechts)

kennzeichnend für Kurvenquietschen gewertet, welche in den Terzen von 1,25 bis 6,3 kHz markante Pegelerhöhungen aufweisen.

3.1.3. Tonale Geräuschanteile im oberen Frequenzbereich

In den Terzbändern ab 8 kHz konnte zwischen zwei Ausprägungen von tonalen Auffälligkeiten unterschieden werden. Zum einen waren bei den meisten Zugkategorien mit mäßiger Häufigkeit tonale Auffälligkeiten in Frequenzbereich von etwa 12,5 kHz und darüber festzustellen. Exemplarische Terzpegelverläufe mit derartigen Auffälligkeiten sind für verschiedene Zugkategorien in Abb. 3-7 dargestellt. Im Gegensatz zu den tonalen Geräuschanteilen im mittleren Frequenzbereich zeigten diese ein deutlich langsames zeitliches Verhalten der Terzpegelanstiege und -abfälle (siehe Abb. 3-7 unten links und rechts), weshalb ein vorbeifahrendes, zum Schwingen angeregtes Rad als Quelle fraglich ist.

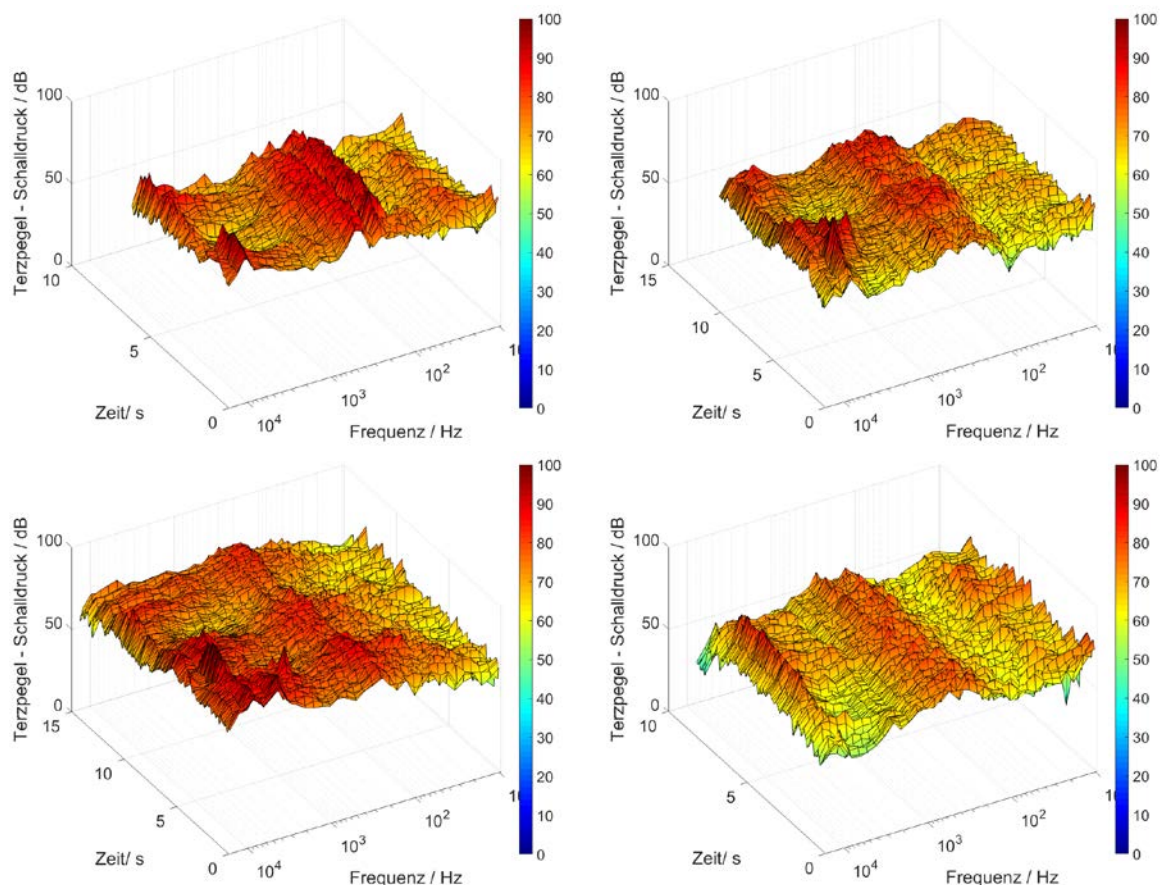


Abb. 3-8: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen mit tonalen Auffälligkeiten ab dem 8 kHz Terzband und gleichzeitigen breitbandigen Auffälligkeiten verschiedener Zugkategorien (Messkampagne 1) in 7,5 m: 24-achsiger 80-33 mit ca. 60 km/h (oben links), 24-achsige S4020 mit ca. 60 km/h (oben rechts), 36-achsiger Güterzug mit ca. 30 km/h (unten links), 20-achsige S4024 mit ca. 60 km/h (unten rechts)

Zum anderen konnte vor allem anhand der Terzpegelzeitverläufe bei Schallemissionen mit breitbandigen Auffälligkeiten auch Pegelerhöhungen einzelner oder zweier benachbarter Terzen erkannt werden (siehe Abb. 3-8). Aufgrund der überlagerten Zischel- und Schergeräusche sind diese jedoch oft nur undeutlich und damit vage als schmalbandige Komponenten identifizierbar. Zudem ist bei einer Terzpegelbetrachtung aufgrund der Verbreiterung der Terzbänder mit zunehmender Frequenz eine Beurteilung der Bandbreite der für die Terzpegelerhöhungen verantwortlichen Komponenten bei höheren Frequenzen ungenauer. Beispielsweise könnten bei einer Pegelerhöhung der 10 kHz und der benachbarten 12,5 kHz Terz im ungünstigsten Fall die Signalanteile eine Bandbreite von bis zu etwa 5 kHz aufweisen, ohne die angrenzenden Terzen zu beeinflussen. Zum Vergleich beträgt diese maximale Bandbreite bei Erhöhung der 3,15 kHz und der 4 kHz Terz lediglich 1,7 kHz.

Zusammenfassend kann für Terzen ab 8 kHz bei tonalen Komponenten, welche sich durch Erhöhungen einzelner oder benachbarter Terzpegel äußern, nicht eindeutig auf den Entstehungsmechanismus rückgeschlossen werden. Aufgrund des zeitlichen Verlaufs liegt es trotz wahrgenommener Tonhaltigkeit jedoch nahe, dass häufig ein Zusammenhang mit dem Spurkranzanlauf bestehen könnte. Im Folgenden wird diese Kategorie von hochfrequenten, tonalen Auffälligkeiten nur bei Betrachtungen einbezogen, bei welchen keine Differenzierung der Entstehungsmechanismen erfolgt (beispielsweise bei der Ableitung von Korrekturfaktoren in Kap. 8).

3.1.4. Mischformen

Bei den in vorangegangenen Unterkapiteln dargestellten Beispielen wurde zum besseren Verständnis darauf geachtet, isolierte Auffälligkeiten bevorzugt zu zeigen. Teilweise treten die Auffälligkeiten jedoch wie in Abb. 3-9 exemplarisch dargestellt auch in Mischformen auf, wodurch eine eindeutige Zuordnung der Auffälligkeitskategorie im Zuge von Hörproben nicht immer möglich ist.

3.2. Ableitung geeigneter Bewertungsparameter

Da die zuvor beschriebene Erkennung von Auffälligkeiten auf Empirie beruht, sind auch die folgenden Überlegungen zur Ableitung von Bewertungsparametern, wie auch von Grenzwerten als empirischer Ansatz zu verstehen. Dabei wurde der Grundsatz verfolgt, dass die Auffälligkeiten stets nicht anhand relativer, sondern anhand absoluter (zugkategorieunabhängigen) Größen zu identifizieren sind. Erst dadurch kann

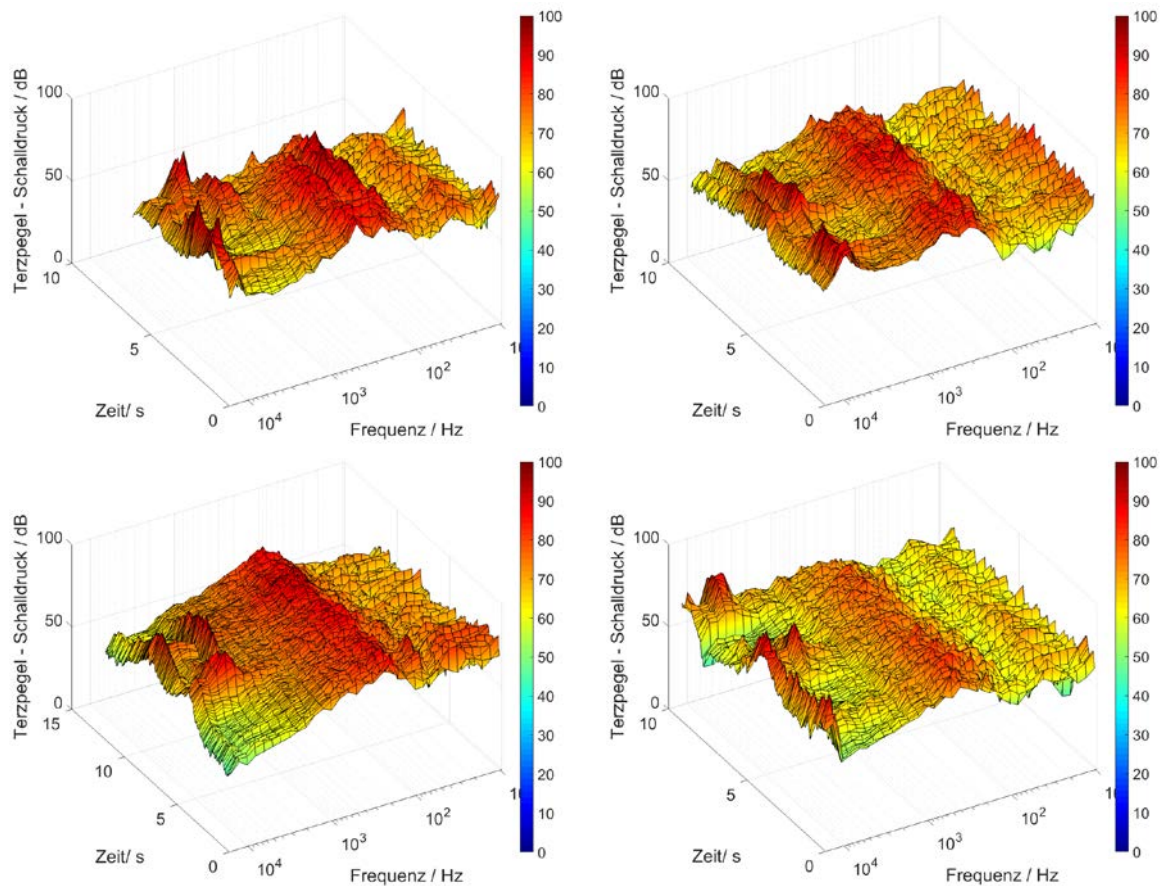


Abb. 3-9: exemplarische Zeitverläufe der unbewerteten Terzpegel von Schallemissionen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten verschiedener Zugkategorien (Messkampagne 1) in 7,5 m: 16-achsiger 80-33 mit ca. 60 km/h (oben links), 24-achsiger S4020 mit ca. 60 km/h (oben rechts), 32-achsiger Güterzug mit ca. 40 km/h (unten links), 20-achsiger S4024 mit ca. 55 km/h (unten rechts)

sichergestellt werden, dass Züge unabhängig ihrer Grundschallemission (das bedeutet Schallemission im Bogen ohne akustischen Auffälligkeiten) gleichen Grenzwerten für die Identifikation der Auffälligkeiten unterliegen.

3.2.1. Verwendung von Terzpegelzeitverläufen

Entsprechend der Entstehungsmechanismen von Kurvenkreischen und -quietschen werden sich die Emissionsquellen der akustischen Auffälligkeiten während des Auftretens mit dem Zug relativ zur Messposition weiterbewegen. Demzufolge treten die akustischen Auffälligkeiten in den stationär aufgezeichneten Schallemissionen nicht während der gesamten Vorbeifahrt, sondern in zum Teil deutlich kürzeren Zeitabschnitten auf (vgl. Beispiele aus vorigem Unterkapitel). Auffälligkeiten sind daher in Terzspektren der gesamten Vorbeifahrt aufgrund der Mittelung über die Zeit mit nur geringer Ausprägung

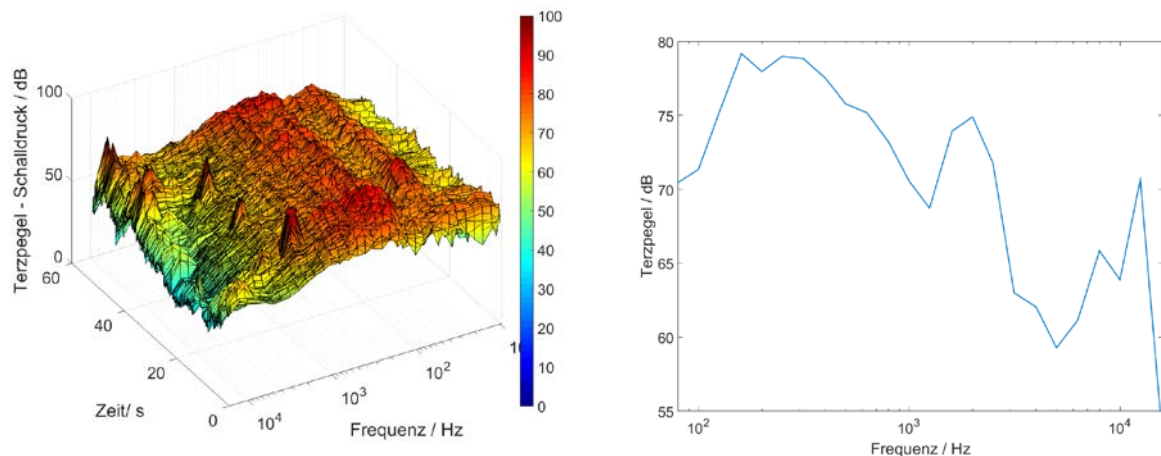


Abb. 3-10: exemplarischer Vergleich des Terzpegelzeitverlaufs und des Terzspektrums eines Güterzugs (Messkampagne 1) mit mehreren, nacheinander auftretenden tonalen Auffälligkeiten bei 1,6 kHz, 2 kHz und 2,5 kHz: während im Terzpegelzeitverlauf (links) die tonalen Auffälligkeit erkennbar sind, verschmelzen diese im Terzspektrum (rechts) zu einer Erhöhung über drei Terzen

enthalten als in Terzpegelzeitverläufen. Zwar bewertet die energetische Betrachtung hohe Pegelwerte bei der Mittelung stärker, aber gerade bei längeren Zügen in Kombination mit kurzen Auffälligkeiten nimmt die Ausprägung dennoch merkbar ab. Demnach werden für die Ableitung von Bewertungsparameter an Stelle von Terzspektren der gesamten Vorbeifahrt (über die Zeit der Vorbeifahrt energetisch gemittelte Terzpegelzeitverläufe) ausschließlich Terzpegelzeitverläufe herangezogen. Dies bietet zudem Vorteile bei Auftreten mehrerer, zeitlich separierbarer Auffälligkeiten (vgl. Abb. 3-10) und erlaubt zugpositionsspezifische Analysen aufgetretener Auffälligkeiten.

3.2.2. Breitbandige Geräuschanteile

Die im vorigen Unterkapitel erläuterte Eigenschaft der mit der Frequenz ansteigenden Pegeldifferenzen bei breitbandigen Auffälligkeiten kann durch die Gegenüberstellung der mittleren Terzpegel von unauffälligen Vorbeifahrten der Stichprobe und von Vorbeifahrten mit deutlich wahrnehmbaren, nicht tonalen Auffälligkeiten verdeutlicht werden (siehe Abb. 3-11). Abgesehen von wenigen Ausreißern ist bei den unauffälligen Vorbeifahrten der Terzpegelabfall mit zunehmender Frequenz markant. Gleichzeitig besteht vor allem ab 10 kHz eine größere Streubreite hin zu höheren Terzpegeln, welche - beispielsweise durch Überlagerung dominanterer Geräuschanteile im mittleren Frequenzbereich - nicht als auffällig eingestuft wurden. Im Gegensatz dazu traten bei den als auffällige kategorisierten Vorbeifahrten zwischen 8 und 12,5 kHz die höchsten Mediane, wie auch die höchsten, arithmetischen Mittelwerte der Terzpegel auf. Da der 16 kHz Terzpegel bei

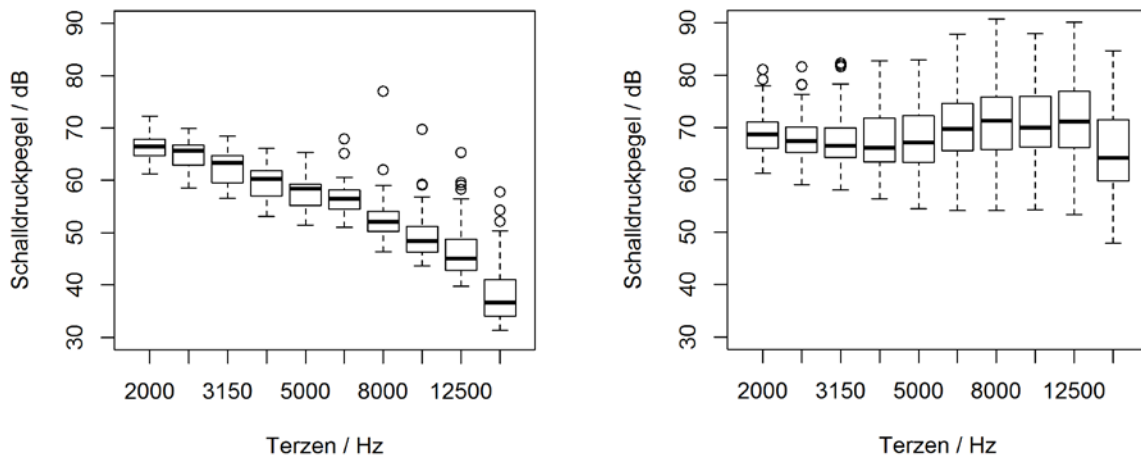


Abb. 3-11: Boxplots der Terzpegel von 2 bis 16 kHz für Zugvorbeifahrten der Stichprobe (Messkampagne 1): 67 als unauffällig eingestufte Züge (links) und 124 Züge mit deutlich wahrnehmbaren, nicht tonalen Auffälligkeiten (rechts)

einigen breitbandigen Auffälligkeiten deutlich unterhalb der Pegelwerte der 8 bis 12,5 kHz Terzen lag, zeigt dieser in Abb. 3-11 bereits einen deutlichen Abfall. Aufgrund dessen wird dieser Terzpegel in den weiteren Betrachtungen nicht miteinbezogen.

Auch wenn die in Abb. 3-11 gezeigte Gegenüberstellung auf Terzpegeln der gesamten Vorbeifahrt beruht, können daraus folgende allgemeine Bewertungsgrößen für Terzpegelzeitverläufe abgeleitet werden:

- Steigung und/oder Terzpegel im oberen Frequenzbereich einer linearen Regression
 Die Steigung einer linearen Regression von einem mittleren Frequenzbereich (2 bis 4 kHz) bis zu der 12,5 kHz Terz, sowie der Terzpegel der Regressionsgeraden im oberen Frequenzbereich (beispielsweise bei 12,5 kHz) zeigen sich sensitiv auf Änderungen des Pegelabfalls. Zudem hilft die Regressionsrechnung den Einfluss von Ausreißern (bzw. tonaler Komponenten) zum Teil zu verringern. So ist die Steigung vor allem im mittleren Frequenzbereich der Regressionsberechnung nahezu unabhängig gegenüber Ausreißern, während der erwähnte Terzpegel der Regressionsgeraden von Ausreißern mit sinkender Frequenz weniger beeinflusst wird. Im Gegensatz zu den Terzpegeln der Gerade erlaubt die Steigung jedoch keine absolute Bewertung, weshalb sie für die Erkennung von breitbandigen Auffälligkeiten ausscheidet.
- arithmetischer Mittelwert von Terzpegel im oberen Frequenzbereich
 Ein weniger rechenintensiver Ansatz besteht in der Bestimmung des arithmetischen Mittelwerts der Terzpegel im oberen Frequenzbereich (vorzugsweise im Frequenzbereich von 8 bis 12,5 kHz). Im Gegensatz zum Terzpegel der

Regressionsgeraden ist dieser Mittelwert zwar etwas sensitiver auf tonale Komponenten der beteiligten Terzen, jedoch gänzlich unabhängig für derartige Komponenten im darunter liegenden Frequenzbereich. Zudem bewertet der Mittelwert die 3 Terzen gleichermaßen, während in dem Terzpegel der Regressionsgeraden die Terzpegelwerte mit zunehmender Frequenz stärker einfließen.

Die Berechnung der Zeitverläufe dieser Bewertungsgrößen mit Variation der Anfangsfrequenz der linearen Regression (2 und 4 kHz) und des Frequenzbereichs des arithmetischen Mittelwerts des Terzpegels (6,3 - 12,5 kHz vs. 8 - 12,5 kHz) haben bei Vorbeifahrten der Stichprobe mit breitbandigen Auffälligkeiten gezeigt, dass sich diese Parameter in der Regel nur geringfügig im Bereich weniger Dezibel unterscheiden (vgl. Abb. 3-12). Welcher Parameter höhere Werte aufweist wird direkt von der zum betrachteten Zeitpunkt vorliegenden, spektralen Verteilung der jeweils einfließenden Terzen bestimmt. Aufgrund der Variation dieser spektralen Zusammensetzung während einer Zugvorbeifahrt und aufgrund der Tatsache, dass Grenzwerte für die Bewertung dieser Parameter ebenfalls nur bei Variation in groben Schritten - d. h. in Größenordnungen von mehreren Dezibel – interpretierbare Änderungen bei der Erkennung zeigen, konnte bei keinem der Parameter ein klarer Vorteil hinsichtlich der Übereinstimmung mit den wahrgenommenen Auffälligkeiten eingeräumt werden.

Aufgrund des geringeren Rechenaufwands und der Unabhängigkeit von tonalen Komponenten bis 6,3 kHz wurde für die Bewertung der breitbandigen Auffälligkeiten im

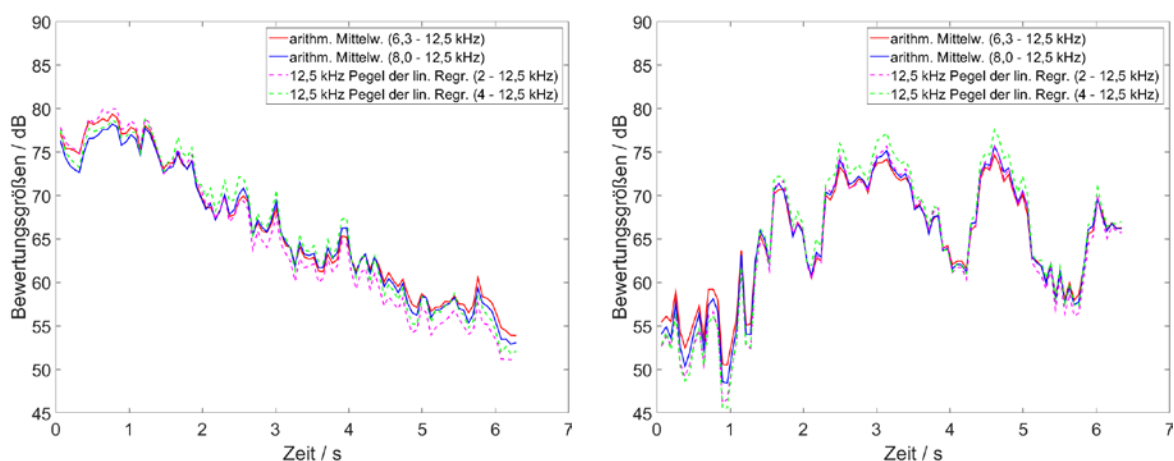


Abb. 3-12: exemplarischer Vergleich verschiedener Bewertungsgrößen für breitbandige Auffälligkeiten: Schallemission mit ausgeprägten Schergeräuschen am Anfang aus Abb. 3-1, Mitte links (links) und Emission mit langsam variierenden, ausgeprägten Schergeräusch ab Zugmitte bzw. mit hohen Frequenzanteilen am Ende der Vorbeifahrt aus Abb. 3-1, unten rechts (rechts)

oberen Frequenzbereich der arithmetische Mittelwert der Terzen von 8 bis 12,5 kHz als Beurteilungsgröße gewählt. Da die Mittelung über drei Terzpegel vorgenommen wird, können tonale Komponenten mit starken Pegelabfällen zu den benachbarten Terzen (wie beispielsweise in Abb. 3-7 dargestellt) im Allgemeinen gut von breitbandigen Auffälligkeiten unterschieden werden. Lediglich bei tonalen Komponenten, welche zwei benachbarte der drei zu mittelnden Terzpegel erhöhen, sinkt die Unterscheidbarkeit. Weiters kann die arithmetische Mittelung bei Mischformen mit tonalen Komponenten im oberen Frequenzbereich (siehe Kap. 3.1.4) dazu führen, dass breitbandige Auffälligkeiten geringfügig überbewertet werden. Von einer Ausblendung erkannter (deutlich wahrnehmbarer) tonaler Komponenten wurde Abstand genommen, da dies zu nicht interpretierbaren Sprungstellen in den Zeitverläufen der arithmetischen Mittelwerte führt. Zudem liegt die Vermutung nahe, dass tonale Komponenten im oberen Frequenzbereich auch im Spurkranzanlauf begründet sein können (siehe Kap. 3.1.3). Demzufolge hat die Zuordnung dieser Komponenten zu der Kategorie von breitbandigen Auffälligkeiten nur einen geringeren Nachteil hinsichtlich deren Repräsentativität für Spurkranzgeräusche.

Als Grenzwerte für die zuvor beschriebene Beurteilungsgröße wurden 65, 70 und 75 dB betrachtet. Bei erstem Wert traten bei den Emissionen der Stichprobe der 1. Messkampagne zum Teil, sowie bei Vorbeifahrten mit höheren Geschwindigkeiten der 2. und 3. Messkampagne vermehrt Grenzwertüberschreitungen auf, obwohl die Vorbeifahrtgeräusche als unauffällig eingestuft wurden. Im Gegensatz dazu wurden bei einem Grenzwert von 75 dB des Öfteren als breitbandig auffällig eingestufte Vorbeifahrten nicht erkannt. Der Grenzwert von 70 dB stellt hingegen einen guten Kompromiss zwischen hoher Erkennungsrate und Robustheit vor Fehldetektionen dar, weshalb er im Folgenden für die Bewertung des arithmetischen Mittelwerts verwendet wird. Lediglich bei Güterzügen, welche bei hohen Geschwindigkeiten bremsen (vorwiegend bei Messkampagne 2 aufgrund des Geschwindigkeitssprungs nach dem Messquerschnitt aufgetreten, vgl. Kap. 2.2), liefert der mit 70 dB bewertete, arithmetische Mittelwert häufig Fehlerkennungen. Grund hierfür ist die durch das Bremsgeräusch verursachte, deutliche Erhöhung der Terzen ab dem mittleren Frequenzbereich von mehreren Hundert Hertz, welche hin zu hohen Frequenzen stark abfällt (vgl. Beispiele in Abb. 3-13). Für Güterzüge wurde daher für das Vorhandensein von breitbandigen Auffälligkeiten zudem die empirisch ermittelte Bedingung eingeführt, dass kein markanter Pegelabfall im oberen Frequenzbereich vorhanden sein darf (Steigung der linearen Regression der Terzpegel von 4 bis 12,5 kHz darf -15 dB/Dekade nicht unterschreiten).

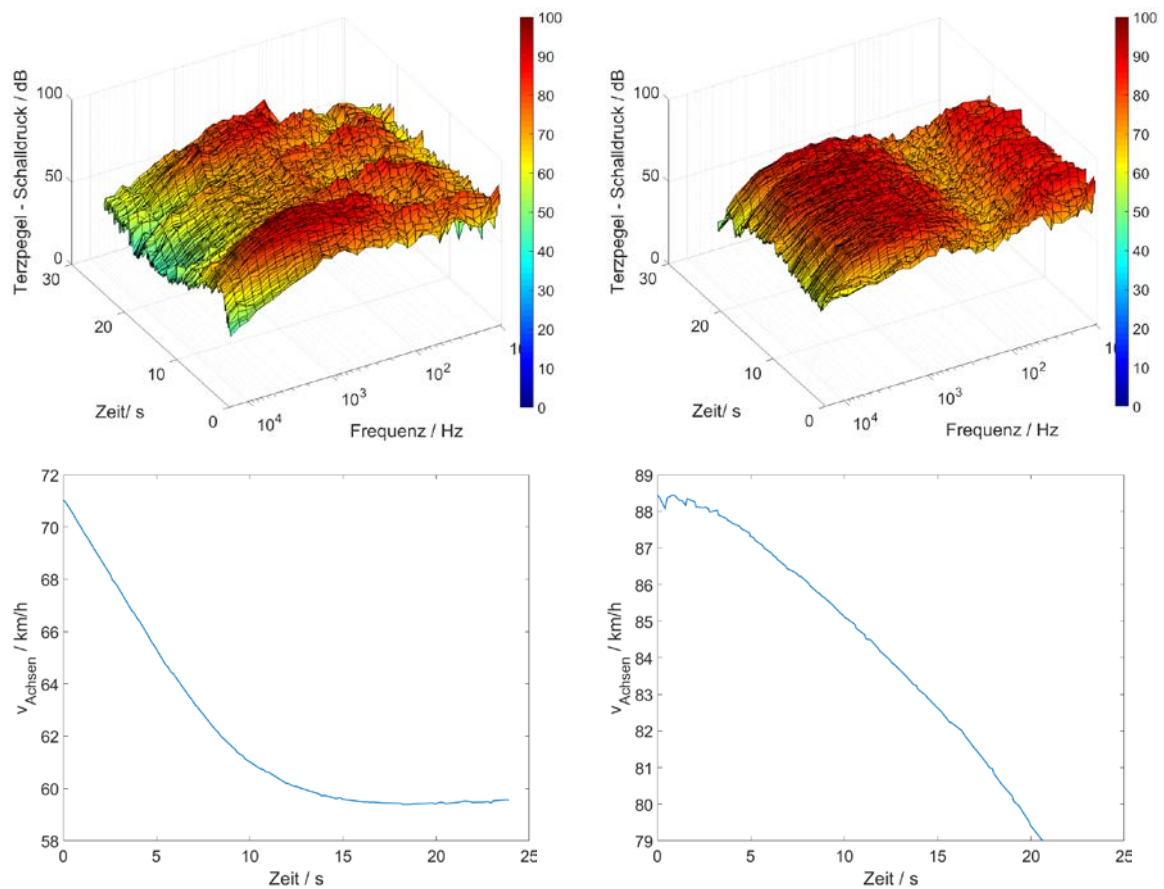


Abb. 3-13: exemplarische Terzpegelzeitverläufe und Verlauf der Achsgeschwindigkeiten von bremsenden Güterzüge der Messkampagne 2: Übergang von Bremsung zu Beharrungsfahrt (links) und einsetzende Bremsung zu Beginn der Überfahrt (rechts)

3.2.3. Tonale Geräuschanteile

In Terzpegelzeitverläufen äußern sich tonale Komponenten unabhängig vom Frequenzbereich stets durch Erhöhung einer einzelnen, oder im Fall einer Mittenfrequenz nahe einer Bandgrenze durch Erhöhung zweier benachbarter Terzpegeln (siehe Abb. 3-14). Zuzufolge der mit zunehmender Frequenz breiter werdenden Terzbänder kann jedoch anhand derartiger Terzpegelerhöhungen bei höheren Frequenzen nur bedingt auf die Schmalbandigkeit der Komponenten rückgeschlossen werden (vgl. Kap. 3.1.3).

Das Herausragen einer Terz im Terzspektrum kann auf verschiedene Weisen definiert werden. Salz [17] beschreibt und vergleicht verschiedene Verfahren zur terzspektrenbasierten Erkennung von Tonhaltigkeiten (Hörbarkeit von Einzeltönen in einem Geräusch) und leitet daraus ein Bewertungsverfahren für Schienenfahrzeuggeräusche ab. Auch wenn diese Ausführungen Aspekte der subjektiven Wahrnehmung einbeziehen, gibt Salz einleitend einen Überblick über acht verschiedene

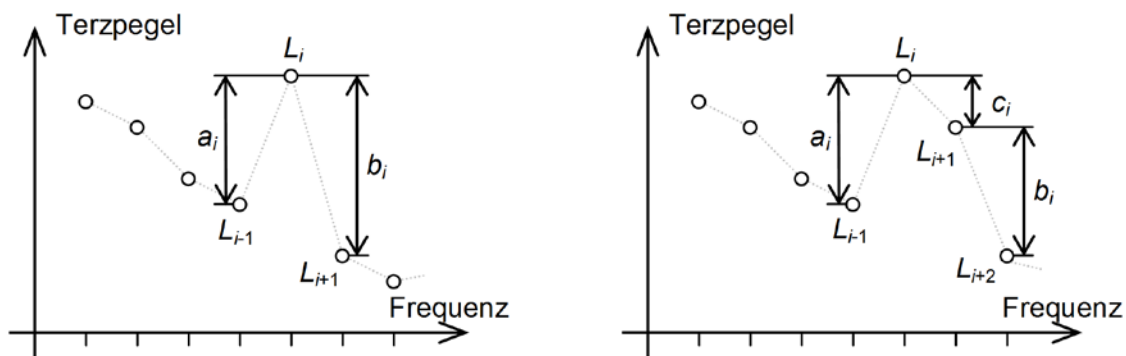


Abb. 3-14: Erhöhung einer einzelnen Terz (links) oder zweier, benachbarter Terzen (rechts)

Vorgehensweisen zur mathematischen Ermittlung des Herausragens von Terzen im Terzspektrum. Nur zwei davon behandeln die Erhöhung zweier benachbarter Terzen gesondert, weshalb diese für vorliegende Erkennungsaufgabe zu bevorzugen sind. Die beiden Verfahren unterscheiden sich lediglich in der Art der Differenzbildung zwischen erhöhter Terz bzw. erhöhter benachbarter Terzen und dem Mittel der Nachbarterzen, wobei (ohne weitere Betrachtungen) die lineare anstatt der energetischen Differenzbildung für die weiteren Berechnungen gewählt wurde. Im Gegensatz zu der von Salz beschriebenen Vorgehensweise, wurde bei der Pegelberechnung auf eine A-Bewertung verzichtet, um eine dem menschlichen Gehörgang entsprechende Frequenzabhängigkeit bei der nachfolgenden Bewertung zu vermeiden. Ansonsten wurden die Erhöhungen der Terzen für eine, sowie für zwei benachbarte Terzen entsprechend der Ausführungen von Salz berechnet:

- Erhöhung eines Terzpegels (vgl. Abb. 3-14, links)

Eine Erhöhung liegt vor, sofern der benachbarte Terzpegel um 1,5 dB über den benachbarten Terzpegeln liegt ($a_i > 1,5 \text{ dB}$ und $b_i > 1,5 \text{ dB}$). Die Terzpegelerhöhung ΔL_i der i -ten Terz wird dann durch arithmetische Mittelung der Pegeldifferenzen gebildet:

$$\Delta L_i = L_i - \frac{L_{i-1} + L_{i+1}}{2} = \frac{a_i + b_i}{2}$$

- Erhöhung zweier benachbarter Terzpegeln (vgl. Abb. 3-14, rechts)

Eine Erhöhung liegt vor, sofern die beiden betrachteten Terzpegeln jeweils um 1,5 dB über dem jeweiligen Nachbarpegel liegt ($a_i > 1,5 \text{ dB}$ und $b_i > 1,5 \text{ dB}$). Zudem muss die Differenz der beiden betrachteten Terzpegel kleiner sein, als die Differenzen zu den Nachbarpegeln ($c_i < a_i$ und $c_i < b_i$). Die Pegelerhöhung der i -ten Terz entspricht

dann der Differenz zwischen den energetisch gemittelten Terzpegeln L_i und L_{i+1} und den arithmetisch gemittelten Pegeln L_{i+1} und L_{i+2} der beiden Nachbarterzen:

$$\Delta L_i = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{10^{0,1 \cdot L_i} + 10^{0,1 \cdot L_{i+1}}}{2} \right) - \frac{L_{i-1} + L_{i+2}}{2}$$

Liefern beide Berechnungen gültige Pegelerhöhungen, so wird schlussendlich der jeweils größere Wert für die betrachtete, i -te Terz als Maß für das Herausragen verwendet. Jedoch werden diese Werte stets in hohem Maße von dem umgebenden Terzpegelniveau beeinflusst. Beispielsweise sind aufgrund des in Abb. 3-14 dargestellten Pegelabfalls unauffälliger Vorbeifahrten bei Vorhandensein tonaler Komponenten mit ähnlichem Spitzenpegel mit zunehmender Frequenz deutlich größere Werte für Pegelerhöhungen zu erwarten. Um diese Abhängigkeiten nicht in die Bewertung einfließen zu lassen, werden Terzen mit Pegelerhöhungen größer oder gleich einem, empirisch ermittelten Grenzwert von 10 dB lediglich vorselektiert ($\Delta L_i \geq 10$ dB). Als tonal auffällig werden diesen Terzen hingegen erst eingestuft, wenn deren Terzpegel den ebenfalls empirisch ermittelten, absoluten Grenzwert von 80 dB überschreitet ($L_i \geq 80$ dB).

3.3. Algorithmus zur Erkennung

Im Folgenden wird erläutert, wie anhand der Bewertungsgrößen breitbandige und tonale Auffälligkeiten von Zügen, aber auch von Achsen ermittelt werden. Dabei sei angemerkt, dass selbst bei hohen Geschwindigkeiten die örtliche Auflösung in den Terzpegelzeitverläufen in der Regel kleiner als 1,8 m ist und sich somit mit Ausnahme von Rollenden Landstraßen oder Sonderfahrzeugen mit kurzen Achsabständen auch für eine achsbasierte Auswertungen eignet. Lediglich bei langen Aufzeichnungen (0,06% aller Vorbeifahrten auf Gleis 1) wurden aufgrund der sich ergebenden Datenmenge die zeitliche Auflösung der Zeitverlaufsberechnungen und damit auch die Ortsauflösung halbiert. Aufgrund der äußerst geringen Anzahl werden diese in den Auswertungen jedoch nicht gesondert behandelt.

3.3.1. Breitbandige Geräuschanteile

Zur Erkennung von breitbandigen Geräuschanteilen sind zunächst die Bewertungsgrößen aus Kap. 3.2.2 (arithmetischer Mittelwert der Terzen von 8 bis 12,5 kHz und Steigung der linearen Regression der Terzen von 4 bis 12,5 kHz) für die Terzspektren aller Zeitpunkte der Terzpegelzeitverläufe zu berechnen. Aufgrund des möglichen, intermittierenden Charakters von Kurvenkreischen wird zur Erhaltung der rasch ansteigenden oder

abfallenden Flanken der Bewertungsgrößen auf eine Tiefpassfilterung (Glättung) verzichtet. Durch Vergleich mit den zugehörigen Grenzwerten (≥ 70 dB für arithmetischen Mittelwert und ≥ -15 dB/Dekade für die Steigung bei Güterfahrzeugen) ergeben sich für jeden Zeitpunkt der Terzpegelzeitverläufe Informationen über vorhandene Grenzwertüberschreitungen.

Kurze auftretende, breitbandige Auffälligkeiten einer Vorbeifahrt werden jedoch als Ausreißer angesehen und sind demnach nicht zu detektieren. Aus diesem Grund wird eine Zugvorbeifahrt erst als breitbandig auffällig gewertet, wenn die Zeitsumme (Anzahl der als auffällig eingestuft Zeitpunkte multipliziert mit zeitlichem Abstand der Stützstellen im Terzpegelzeitverlauf) mindestens 0,5 s beträgt.

Zudem werden aus den Terzpegelzeitverläufen auch Informationen über vorhandene breitbandige Auffälligkeiten für die Achsen abgeleitet. Die Achsen von breitbandig unauffälligen Zügen sind hierzu generell als unauffällig zu markieren. Für breitbandig auffällige Züge wird hingegen der dem Zeitpunkt der jeweiligen Achsvorbeifahrt am nächsten liegende Zeitpunkt im Terzpegelzeitverlauf gewählt und die Information über eine etwaige Grenzwertüberschreitung im zugehörigen Terzspektrum der betrachteten Achse zugeordnet.

3.3.2. Tonale Geräuschanteile

Auch für die Detektion von tonalen Geräuschanteilen sind zunächst die Bewertungsgrößen aus Kap. 3.2.3 (Terzpegelerhöhungen ΔL_i der Terzen von 1,25 bis 12,5 kHz) für alle Zeitpunkte in den Terzpegelzeitverläufen zu bestimmen. Auch wenn bei anhaltenden Kurvenquietschen bei Vorbeifahrt von vergleichsweise langsamen Anstiegen der Terzpegelerhöhung auszugehen ist, kann der Beginn oder das Ende des Quietschens zu steilen Flanken führen. Daher wird auch hier von einer Tiefpassfilterung (Glättung) der Terzpegelerhöhungen abgesehen. Jedoch treten mäßig oft sehr kurze Erhöhungen auf, welche als Ausreißer eingestuft werden. Zu deren Unterdrückung werden für jede Terz und für jeden Zeitpunkt die Umgebung von $\pm 0,5$ s betrachtet und die Pegelerhöhungen nur dann beibehalten, sofern in der Umgebung mindestens 20% der Pegelerhöhungen auffällig (Pegelerhöhung $\Delta L_i \geq 10$ dB und absoluter Terzpegel $L_i \geq 80$ dB) sind.

Im Anschluss werden die tonalen Auffälligkeiten entsprechend der Unterscheidung der Frequenzbereiche aus Kap. 3.1.2 und 3.1.3 (mittlerer Frequenzbereich umfasst die Terzen von 1,25 bis 6,3 kHz, während oberer Frequenzbereich aus den Terzen von 8 bis 12,5 kHz besteht) getrennt betrachtet. Für jeden der Frequenzbereiche wird zu jedem

Zeitpunkt bei mehreren auffälligen Terzpegelerhöhungen die dominante Erhöhung anhand des jeweiligen absoluten Terzpegels bestimmt und alle anderen Terzpegelerhöhungen ausgeblendet. Da im Allgemeinen bei Auftreten von Oberwellen die Grundwelle die höchsten Terzpegelwerte aufweist, können damit unter anderem Oberwellen im jeweiligen Frequenzbereich wirkungsvoll ausgeblendet werden. Treten bei Grundwellen im mittleren Frequenzbereich auch Oberwellen im oberen Frequenzbereich auf, so sind deren Terzpegel im Allgemeinen unterhalb des Grenzwertes von 80 dB, weshalb auf eine frequenzbereichsübergreifende Oberwellenunterdrückung verzichtet wurde. Nach dieser Ausblendung ist für jeden Zeitpunkt nur eine Pegelerhöhung (die der dominanten tonalen Komponente) und die zugehörige Terzfrequenz vorhanden.

Zur Unterdrückung sehr kurzer Grenzwertüberschreitungen einer Vorbeifahrt werden die Terzen erst dann als auffällig markiert, wenn deren Zeitsumme von aufgetretenen, dominanten Pegelerhöhung (Anzahl der als auffällig eingestuft Zeitpunkte multipliziert mit zeitlichem Abstand der Stützstellen im Terzpegelzeitverlauf) mindestens 0,5 s beträgt. Im betrachteten Frequenzbereich werden Vorbeifahrten letztlich als tonal auffällig definiert, sobald eine der enthaltenen Terzen sich auffällig zeigt.

Ähnlich wie bei der Detektion von breitbandigen Auffälligkeiten erfolgt die Erkennung von auffälligen Achsen nur bei Zügen, bei welchen wie oben beschrieben eine tonale Auffälligkeiten im jeweils betrachteten Frequenzbereich festgestellt wurden. Im Detail werden dabei jene Achsen als auffällig eingestuft, bei welchen eine dominante Pegelerhöhung des dem Vorbeifahrtzeitpunkt der Achse nächstgelegenen Zeitpunkts vorhanden ist und sich diese Erhöhung durch erwähnte Grenzwertvergleiche als auffällig darstellt.

3.4. Grenzen der Erkennung

Eine automatisierte Erkennung von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten erlaubt es, Vorbeifahrten nach festgelegten Kriterien und damit gleichermaßen zu bewerten. Wie zuvor beschrieben, werden dabei Bewertungsgrößen mit empirisch ermittelten Grenzwerten verglichen. Es sei jedoch angemerkt, dass dies nicht mit einer 100%-igen Erkennung von Kurvenkreischen und -quietschen gleichzusetzen ist. Zum einen sind tonale und breitbandige Auffälligkeiten nur kennzeichnend für Kurvenkreischen und -quietschen. Zum anderen bestehen auch weitere Unschärfen in Erkennung. So können beispielsweise tonale Komponenten, welche durch Bremsungen verursacht werden (Bremsquietschen), im Allgemeinen nicht von Kurvenquietschen unterschieden

werden. Auch können breitbandige Auffälligkeiten durch Wagenaufbauten von Güterwagen hervorgerufen werden. Darüber hinaus können Auffälligkeiten im Bogen abseits des Messquerschnitts auftreten, wodurch sie geringere Terzpegel aufweisen. Demzufolge können die entsprechenden Bewertungsgrößen unterhalb der Grenzwerte fallen und daher zum Teil nicht mehr detektiert werden. Diese zum Teil inhärenten Eigenschaften einer Bewertung von ausschließlich stationär erfassten Schallemission münden in einer Unsicherheit der Auswertungsergebnisse. Aufgrund der exemplarischen Verifizierung mit den Vorbeifahrtgeräuschen der Stichprobe sind diese Unsicherheiten zwar als gering einzustufen, bei der Interpretation von Ergebnissen sind diese aber gegebenenfalls zu beachten (speziell bei geringen Zugzahlen, Interpretation geringer Unterschiede in Auftrittshäufigkeiten, etc.).

4. ANSÄTZE ZUR ERKENNUNG DER BOGENSEITE DER SCHALLENSTEHUNG MITTELS SCHIENENBESCHLEUNIGUNGEN

Durch Analyse der Schienenbeschleunigungen wird der Frage nachgegangen, ob Kurvenkreischen und -quietschen an dem Rad-Schiene-Kontakt der Bogenaußen- oder der Bogeninnenschiene entsteht. Die Auswertungen beruhen auf dem Ansatz, dass sich Auffälligkeiten in den Schallemissionen zum Teil auch von der Schiene emittiert werden und sich daher im gleichen Frequenzbereich in den Schienenbeschleunigungen wiederfinden. Um akustische Auffälligkeiten anhand der Frequenz- und Zeitinformation des Auftretens direkt mit den Eigenschaften der Schienenbeschleunigungen vergleichen zu können, wurde daher eine zu den Schallemissionsauswertungen analoge Art der Messdatenaufbereitung gewählt: Als Datengrundlage dienten die Terzpegelzeitverläufe der horizontale und in vertikale Beschleunigungen der beiden Schienen. Dabei wurde als Bezugswert für die Pegeldarstellung 1 m/s^2 gewählt.

Die im Folgenden beschriebene, konkrete Vorgehensweise für die Abschätzung, welche der Schienen in ursächlichem Zusammenhang mit den akustischen Auffälligkeiten steht, wurde anhand der in Kap. 3.1 erwähnten Stichprobe von Zugvorbeifahrten empirisch entwickelt. Die daraus abgeleiteten Ergebnisse finden sich in Kap. 6.2.

4.1. Ausblendung von Fehlmessungen

Bei Durchsicht der Terzpegelzeitverläufe der Schienenbeschleunigungen wurde vor allem bei Messkampagne 3 eine Häufung von fehlerhaften Messungen einzelner Beschleunigungsgeber entdeckt, welche möglicherweise verursacht durch ein Isolations- oder/und Schirmungsproblem verursacht wurden. Diese Fehlmessungen äußern sich meist durch eine vergleichsweise geringe Variation der Terzpegel über dem gesamten Frequenzbereich und zum Teil durch sehr kleine oder sehr große, mittlere Beschleunigungspegeln. Ein exemplarischer Vergleich von regulärer Messung und fehlerhaften Erfassungen ist in Abb. 4-1 dargestellt.

Im unteren Frequenzbereich (16 bis 100 Hz) treten bei regulärer Überfahrt aufgrund der Belastung durch die rollenden Achsen über den Zeitverlauf vergleichsweise große Änderungen in den Terzpegeln auf (siehe Abb. 4-1, oben links). Darüber hinaus fallen nach Ende der Überfahrt die Terzpegel vor allem bei tiefen und mittleren Frequenzen deutlich ab. Aus diesen Gründen kann der Zeitverlauf der Terzen im unteren Frequenzbereich als Unterscheidungsmerkmal herangezogen werden. Im Detail wird der Zeitverlauf des arithmetischen Mittelwerts $L_{\text{MW } 16-100}(t)$ der Terzen von 16 bis 100 Hz

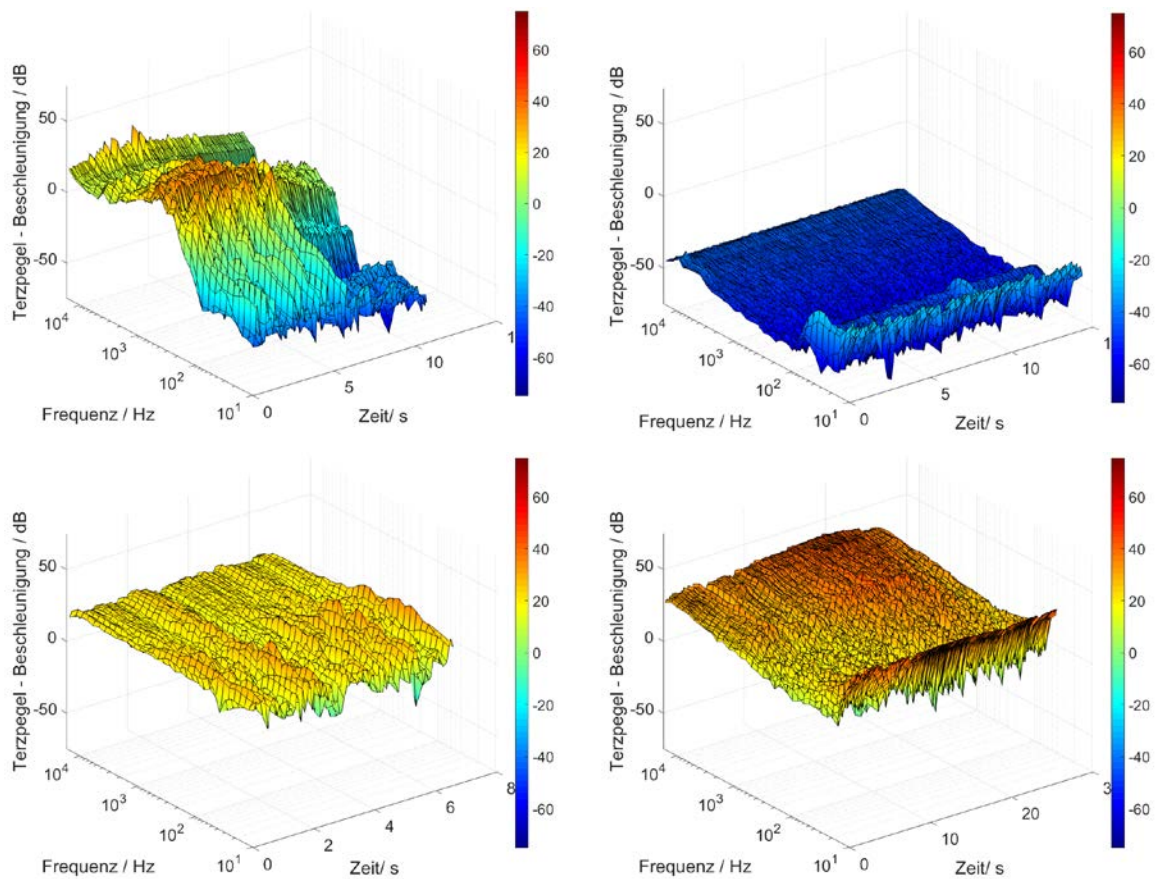


Abb. 4-1: exemplarische Terzpegelzeitverläufe von Schienenbeschleunigungen mit etwa 5 s Nachlaufzeit der Messung: regulärer Terzpegelzeitverlauf mit Abfall der Beschleunigung in der Nachlaufzeit am Ende (80-33 mit 24 Achsen, oben links) und Terzpegelzeitverläufe, welche aufgrund der gleichmäßigen Verteilung bzw. der extremen Werte als fehlerhaft interpretiert werden (Railjet mit 32 Achsen oben rechts, 1116 mit 4 Achsen unten links und Güterzug mit 124 Achsen unten rechts)

(inkl. einer Nachlaufzeit der Messung von 5 s) berechnet und daraus die Mittelwerte während der Vorbeifahrt $\bar{L}_{MW\ 16-100,VF}$ und während der Nachlaufzeit $\bar{L}_{MW\ 16-100,NL}$, sowie als Maß für die Variation die Standardabweichung während der Vorbeifahrt $\sigma_{L,MW\ 16-100,VF}$ abgeleitet. Als Kriterien für eine fehlerhafte Beschleunigungsmessung wurden folgende zwei Bedingungen empirisch ermittelt und verifiziert, von welchen zumindest eine zutreffen muss (Oder-Verknüpfung):

- $\sigma_{L,MW\ 16-100,VF} < 4\text{ dB} \ \& \ \bar{L}_{MW\ 16-100,VF} > -5\text{ dB} \ \& \ \bar{L}_{MW\ 16-100,VF} < (\bar{L}_{MW\ 16-100,NL} + 5\text{ dB})$
- $\sigma_{L,MW\ 16-100,VF} < 4\text{ dB} \ \& \ \bar{L}_{MW\ 16-100,VF} < -35\text{ dB}$

Sofern zumindest einer der Beschleunigungsgeber fehlerhafte Messdaten liefert, wird die Vorbeifahrt zufolge der fehlenden Vergleichsmöglichkeit von den Auswertungen der

Beschleunigungen ausgeschlossen. Bei den Messkampagnen trat dies in folgender Anzahl auf:

- Messkampagne 1: 402 Vorbeifahrten (3,3%)
- Messkampagne 2: 1 Vorbeifahrt (0,09%)
- Messkampagne 3: 166 Vorbeifahrten (17,5%)

4.2. Breitbandige Auffälligkeiten

Die vier Terzpegelzeitverläufe der Schienenbeschleunigungen (Innen- und Außenschiene, jeweils horizontale und vertikale Beschleunigung) zeigen bei Überfahrten ohne akustische Auffälligkeiten häufig Ähnlichkeiten (exemplarisches Beispiel siehe Abb. 4-2). Im Allgemeinen bilden die Terzpegel im mittleren Frequenzbereich wie bei den Schallemissionen ein lokales Maximum. Hin zu niedrigeren Frequenzen fallen die Pegel

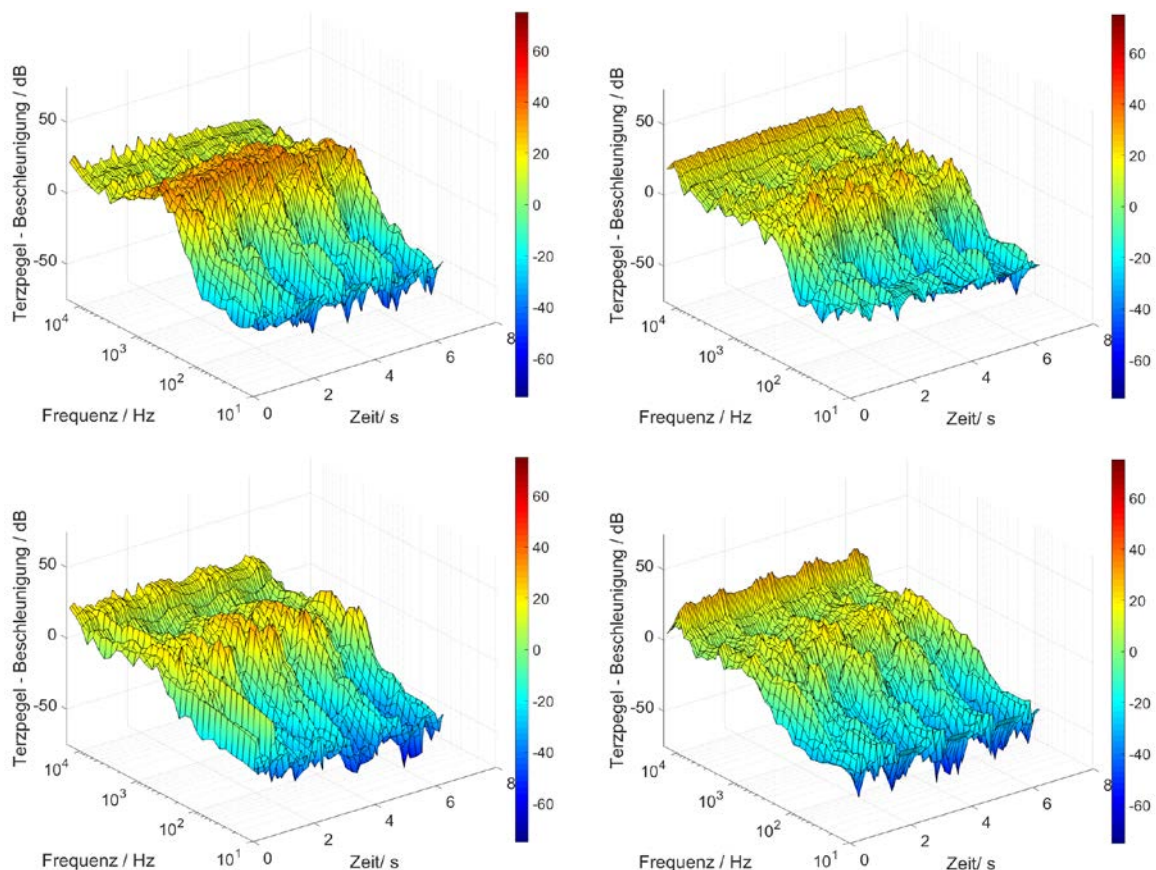


Abb. 4-2: exemplarische Darstellung der Terzpegelzeitverläufe von Schienenbeschleunigungen eines Zuges der Kategorie 80-33 ohne akustische Auffälligkeiten (zugehörigen Terzpegelzeitverlauf der Schallemission siehe Abb. 3-1, oben links): Innenschiene (links) und Außenschiene (rechts), horizontale Beschleunigungen (oben) und vertikale Beschleunigungen (unten)

meist deutlich ab, wobei sich Achsüberfahrten durch kurzzeitige Pegelerhöhungen über mehrere Terzen darstellen. In den oberen Frequenzen bestehen über den Zeitverlauf oftmals annähernd konstante Verhältnisse, bei welchen die Pegelwerte häufig mit der Frequenz ansteigen. Die Steilheit dieser Anstiege, wie auch die Spitzenwerte variieren jedoch von Messung zu Messung und - möglicherweise verursacht durch unterschiedliche Eigenschaften des Oberbaus - im Mittel zwischen den Messkampagnen.

Treten breitbandige Auffälligkeiten auf, so gehen häufig Pegelerhöhungen im oberen Frequenzbereich einher. So sind in Abb. 4-3 die Terzpegelzeitverläufe einer Vorbeifahrt mit ausgeprägtem Schergeräuschen zu Beginn (vgl. Abb. 3-1, Mitte links) und in Abb. 4-4 die Verläufe einer Vorbeifahrt mit anfänglich unauffälligen, und nach etwa 1,5 s einsetzenden, variierenden Schergeräuschen (vgl. Abb. 3-1, Mitte links) dargestellt. In erstem der beiden Beispiele ist davon auszugehen, dass aufgrund der Pegelerhöhung ein Spurkranz – vermutlich an einer der ersten Achsen im Zugverband - an die Innenschiene

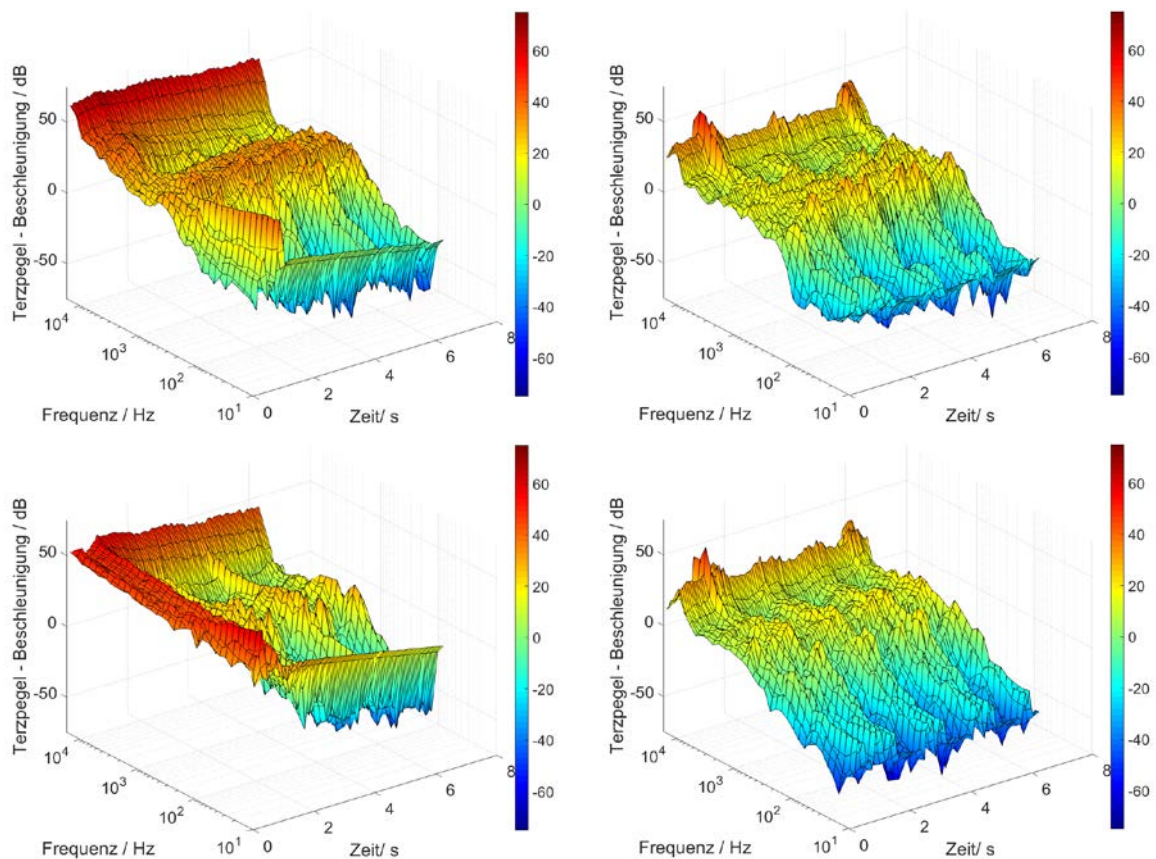


Abb. 4-3: exemplarische Darstellung der Terzpegelzeitverläufe von Schienenbeschleunigungen eines Zuges der Kategorie 80-33 mit ausgeprägtem Schergeräusch zu Beginn der Vorbeifahrt (zugehörigen Terzpegelzeitverlauf der Schallemission siehe Abb. 3-1, Mitte links): Innenschiene (links) und Außenschiene (rechts), horizontale Beschleunigungen (oben) und vertikale Beschleunigungen (unten)

anläuft. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Erhöhungen mit dem Maximum zu Beginn in beiden Beschleunigungsrichtungen nur langsam abklingen. Aufgrund dessen kann vermutet werden, dass der Spurkranzanlauf noch weiter bestanden hat und sich der Körperschall über die Schiene selbst über größere Distanzen aufgrund von geringer Dämpfung ausgebreitet hat.

Bei zweitem Beispiel deuten die Pegelerhöhungen auf einen Spurkranzanlauf an der Außenschiene hin. Aufgrund der unauffälligen Schallemission zu Beginn und der unauffälligen Pegelerhöhungen im gleichen Zeitabschnitt liegt die Vermutung nahe, dass der Anlauf erst zu diesem Zeitpunkt einsetzte. Auch die rascheren Pegelabfälle zwischen den Pegelspitzen im oberen Frequenzbereich decken sich mit den im Terzpegelzeitverlauf sichtbaren und bei Hörproben wahrnehmbaren, unterbrochenen Charakter der Schallemissionen.

Wie in den beiden Beispielen zu sehen ist, ist an der relevanten Schiene im Bereich der

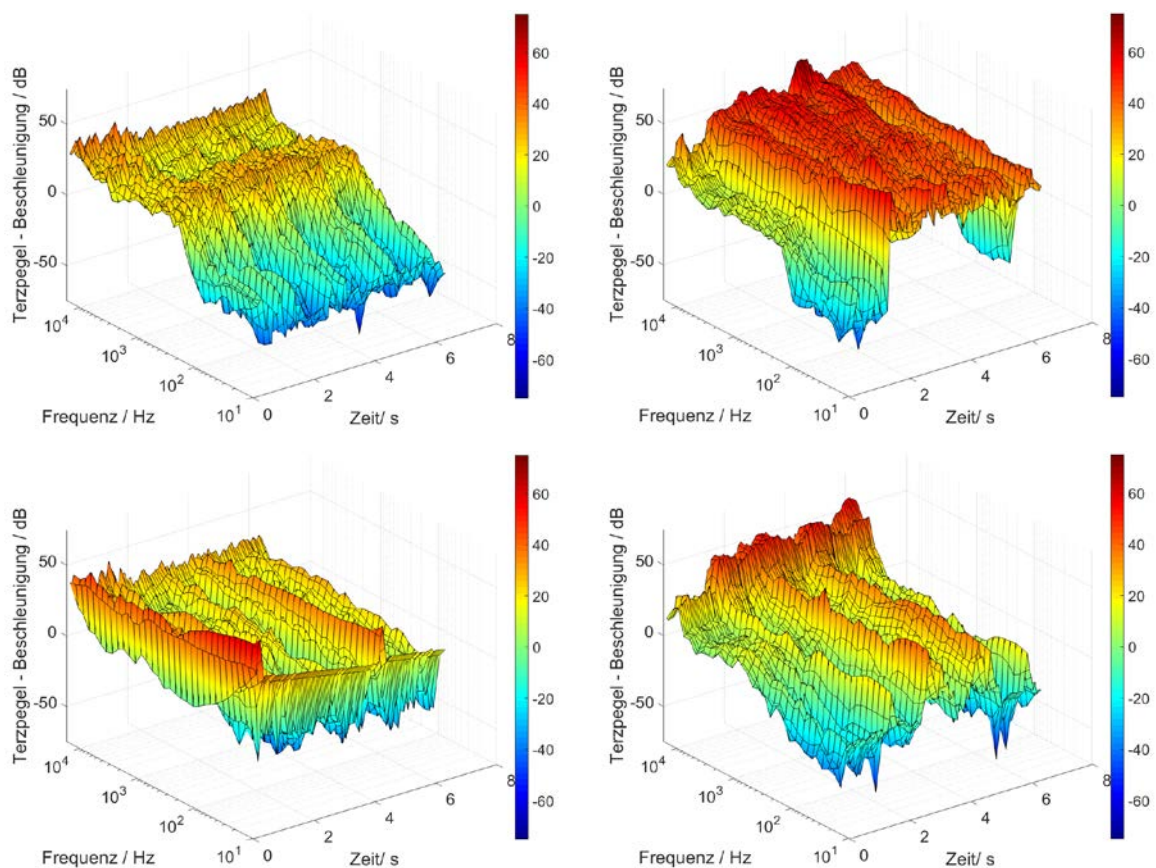


Abb. 4-4: exemplarische Darstellung der Terzpegelzeitverläufe von Schienenbeschleunigungen eines Zuges der Kategorie 80-33 mit nach ca. 1,5 s einsetzenden, langsam variierenden, ausgeprägten Schergeräusch bzw. mit hohen Frequenzanteilen am Ende der Vorbeifahrt (zugehörigen Terzpegelzeitverlauf der Schallemission siehe Abb. 3-1, unten rechts): Innenschiene (links) und Außenschiene (rechts), horizontale Beschleunigungen (oben) und vertikale Beschleunigungen (unten)

als auffällig vermuteten Achsen eine breitbandige Terzpegelerhöhung, welche bis hin zu tiefen Frequenzen reicht, vorhanden. Diese könnte als direkte Auswirkung des Spurkranzanlaufes interpretiert werden. Allerdings zeigte sich bei den Hörproben des Öfteren, dass derartige Erhöhungen zum einen nicht immer bei breitbandigen Auffälligkeiten in den Schallemissionen vorhanden sind. Zum anderen treten diese Erhöhungen auch auf, obwohl keine Auffälligkeiten in den Emissionen bestehen (vgl. vertikale Beschleunigung an der Innenschiene zu Beginn der Vorbeifahrt in Abb. 4-4 unten links). Aufgrund dieser nur mäßig guten Übereinstimmung bei den Hörproben wurde von weiteren Auswertungen der breitbandigen Terzpegelerhöhungen in den Schienenbeschleunigungen abgesehen.

Aufgrund dieser Erfahrungen bzw. Überlegungen und in Übereinstimmung mit den Auswertungen der breitbandigen Auffälligkeiten in den Schallemissionen werden als Bewertungsgröße für den Vergleich der Schienenbeschleunigungen der arithmetische Mittelwert der Terzpegel von 8 bis 12,5 kHz gewählt. Aufgrund des zum Teil intermittierenden Auftretens von breitbandigen Auffälligkeiten werden keine zug- sondern ausschließlich achsbasierte Vergleiche der Beschleunigungen angestellt. Zu diesem Zweck werden jeder Achse die arithmetischen Mittelwerte der vier Beschleunigungen des jeweils nächstliegenden Zeitpunkts im Terzpegelzeitverlauf zugeordnet. Der höchste der vier Mittelwerte definiert dabei je Achse die maßgebliche (dominante) Beschleunigung bzw. die maßgebende Bogenseite.

Um zu prüfen, inwieweit erhöhte und damit auffällige Beschleunigungsmittelwerte mit erkannten breitbandigen Auffälligkeiten der Schallemissionen übereinstimmen, wurden Grenzwerte eingeführt und variiert. In Anhang A sind für verschiedene Grenzwerte und getrennt nach dem Vorhandensein akustischer Auffälligkeiten die relativen Häufigkeiten der Achsen dargestellt, bei welchen der maximale Beschleunigungsmittelwert über dem Grenzwert lag. Dabei zeigte sich, dass bei niedrigen Grenzwerten, bei welchen nahezu 100% der Achsen mit akustischen Auffälligkeiten auch anhand der Beschleunigungswerte als auffällig eingestuft werden, eine vergleichsweise hohe Anzahl an akustisch unauffälligen Achsen über dem Beschleunigungsgrenzwert lagen. Dieses Verhalten wäre vor allem durch die bereits vermutete geringe Dämpfung bei hohen Frequenzen erklärbar. Des Weiteren sind bei den drei Messkampagnen zur Erreichung ähnlich hoher Übereinstimmungen von akustischer Auffälligkeiten und Auffälligkeiten in den Beschleunigungen sehr unterschiedliche Grenzwerte erforderlich (speziell zwischen Kampagne 1 und den beiden weiteren Kampagnen liegt der Unterschied im Bereich von

20 dB). Das bedeutet, dass sich die breitbandigen, akustischen Auffälligkeiten der drei Messkampagnen in unterschiedlich großen Beschleunigungswerten manifestieren. Mögliche Gründe hierfür können Unterschiede in den Oberbaueigenschaften (Schienenlagerung, Schienenbefestigung, etc.) sein, sowie dass aufgrund des engsten Bogenradius, Unterschieden in der Schienenabnutzung, etc. bei Messkampagne 1 der Spurkranzanlauf zu stärkeren bzw. andersartigen Anregungen führt.

Für die Interpretation der Ergebnisse dieses Ansatzes in Bezug auf die Frage nach der Lokalisierung eines etwaigen Spurkranzlaufes in Kap. 6.2 sind vor allem die Verhältnisse zwischen den vier verschiedenen Beschleunigungen bei akustischen Auffälligkeiten wesentlich. Wie in Anhang A zu erkennen ist, sind diese Verhältnisse im Bereich mittlerer und hoher, relativer Häufigkeiten gegenüber einer Änderung des Grenzwerts meist vergleichsweise insensitiv. Daher wird für die weiteren Betrachtungen jener der betrachteten Grenzwerte ohne weitere Begründung gewählt, bei welchen etwa 80% der akustischen Auffälligkeiten auch in den Schienenbeschleunigungen auftreten (45 dB bei Messkampagne 1 und 25 dB bei Messkampagne 2 und 3).

4.3. Tonale Auffälligkeiten

Treten tonale Auffälligkeiten in den Schallemissionen auf, so bestehen zeitgleich meist auch tonale Komponenten in Form von Terzpegelerhöhung bei einem oder bei beiden Beschleunigungsterzzeitverläufen einer Schiene (vgl. exemplarisches Beispiel in Abb. 4-5, welches Terzpegelerhöhungen an der Innenschiene zeigt). Im Allgemeinen weisen diese Erhöhungen die gleiche Frequenz wie die akustischen Auffälligkeiten auf. Jedoch variieren die Maximalwerte der Pegelerhöhungen zum Teil beträchtlich, wobei im Durchschnitt geringere Werte als bei deren akustischen Pendanten vorhanden sind. Im Gegensatz zu den Beschleunigungsterzpegeln der oberen Frequenzen (siehe Kap. 4.2), fallen Terzpegelerhöhungen im betrachteten Frequenzbereich zwischen 1,25 und 6,3 kHz in der Regel rasch ab.

Da im Gegensatz zu dem in Abb. 4-5 dargestellten Beispiel für gewöhnlich nur eine tonale Auffälligkeit je Terz während einer Zugvorbeifahrt auftritt wird trotz des raschen Abfalls neben der achsbasierten auch eine zugbasierte Betrachtung zur Abschätzung der Bogenseite durchgeführt. Konkret wird dabei wie folgt vorgegangen:

- Bestimmung von Pegelerhöhungen in den Terzpegelzeitverläufen der Beschleunigungen: analog zu den Analysen der Schallemissionen in Kap. 3.2.3 werden die Pegelerhöhungen ΔL_i für Terzen von 1,25 bis 6,3 kHz ermittelt.

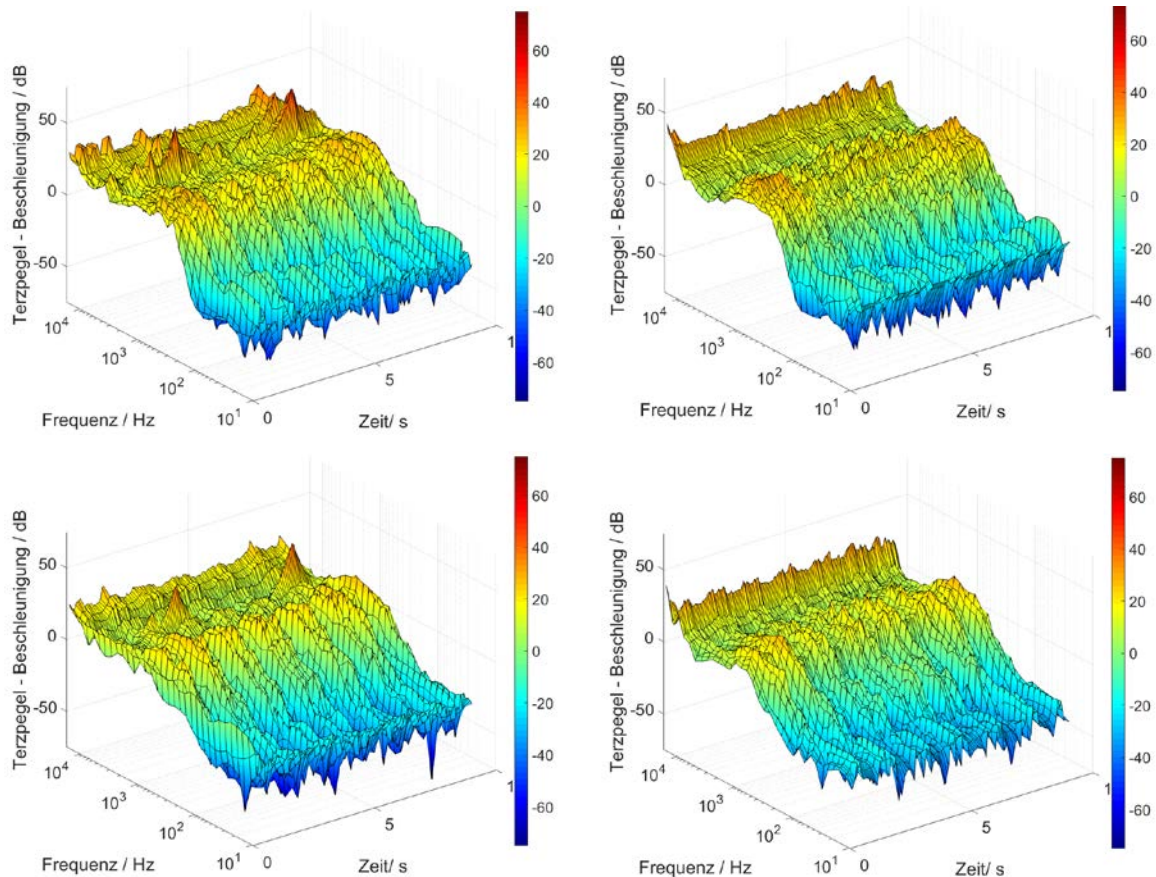


Abb. 4-5: exemplarische Darstellung der Terzpegelzeitverläufe von Schienenbeschleunigungen eines Zuges der Kategorie S4020 mit tonaler Auffälligkeit primär bei 3,15 kHz Terz am Zugangfang und Zugende (zugehörigen Terzpegelzeitverlauf der Schallemission siehe Abb. 3-5, rechts): Innenschiene (links) und Außenschiene (rechts), horizontale Beschleunigungen (oben) und vertikale Beschleunigungen (unten)

- Grenzwertvergleich zur Ermittlung von auffälligen Pegelerhöhungen der Beschleunigungen: durch Anwendung von empirisch ermittelten Grenzwerten (Pegelerhöhung $\Delta L_i \geq 5$ dB und absoluter Terzpegel $L_i \geq 15$ dB), werden auffällige Pegelerhöhungen in den Terzpegelzeitverläufen identifiziert.
- Maskierung der Terzpegel anhand auffälliger Pegelerhöhungen: es werden nur jene Terzpegel der Beschleunigungen selektiert, bei welchen sowohl auffällige Pegelerhöhungen existieren, als auch dominante Pegelerhöhungen in den Terzpegelzeitverläufen der Schallemissionen (vgl. Kap. 3.3.2) zum selben Zeitpunkt und bei der gleichen Terzfrequenz vorhanden sind.
- Berechnung und Vergleich der energetischen Mittelwerte für die gesamte Vorbeifahrt: die energetischen Mittelwerte der selektierten Pegel je Terz geben Aufschluss über

die Intensität der tonalen Beschleunigungskomponenten. Anhand des höchsten dieser maximal vier Mittelwerte kann für jede Terzfrequenz daher abgeschätzt werden, welche der Beschleunigungen bzw. in weiterer Folge welche der Schienen vermutlich an der Entstehung der tonalen Schallemission maßgeblich beteiligt ist.

- Vergleich der Terzpegelerhöhungen je Achse: zunächst werden jeder Achse jene ausgewählten Terzpegeln zugeordnet, deren Zeitpunkte in den Terzpegelzeitverläufen den Überfahrtszeitpunkt der Achse am Nächsten kommen. Sofern mehrere, ausgewählte Terzpegel je Achse vorhanden sind, wird auch hier der höchste für die Abschätzung der maßgeblichen Beschleunigung bzw. Bogenseite herangezogen.

4.4. Einschätzung der Zuverlässigkeit der Erkennung

Die beschriebenen Vorgehensweisen, um anhand von Beschleunigungsmessungen an den Schienen Aufschluss über die am Entstehen von Kurvenkreischen und -quietschen maßgeblich beteiligte Schiene (Bogeninnen- oder -außenschiene) zu erhalten, wurden mittels Sichtung und Interpretation von Terzpegelzeitverläufen abgeleitet.

Bei tonhaltigen Auffälligkeiten sind Ähnlichkeiten der Terzpegelerhöhungen in den Schallemissionen und den Schienenbeschleunigungen vorhanden, welche durch eine mögliche Körperschallübertragung an der Rad-Schiene Kontaktfläche physikalisch nachvollziehbar sind. Aufgrund dieser Ähnlichkeiten kann davon ausgegangen werden, dass der Ansatz zur Erkennung der Bogenseite grundsätzlich zuverlässige Ergebnisse liefert.

Im Gegensatz dazu, zeigen breitbandige Auffälligkeiten deutlich verschiedenartigere, weniger spezifische Formen der Pegelerhöhungen (vgl. Kap. 3.1). Erschwerend kommt hinzu, dass durch Achsüberfahrten kurzzeitig, breitbandige Pegelerhöhungen, sowie durch vermutlich bereits entferntere Ereignissen ggf. in Kombination mit einer geringen Dämpfung in den oberen, relevanten Frequenzbereichen gleichmäßige Pegelerhöhungen verursacht werden können. Beides kann zu Fehlentscheidungen führen, wodurch die Unsicherheit dieses Ansatzes zur Erkennung der Bogenseite des Spurkranzanlaufes als deutlich höher gegenüber der Unsicherheit bei tonalen Auffälligkeiten einzustufen ist.

Zudem sei angemerkt, dass die Erkennung der Bogenseite letztendlich auf einem Größenvergleich von Beschleunigungen beruht. Demnach besteht vor allem bei breitbandigen Auffälligkeiten weiteres die Unsicherheit, dass unterschiedliche Eigenschaften der Schienen und der Schienenlagerung zu unterschiedlichen

Grundniveaus der Beschleunigungspegel führen können. Die Schienenabklingraten, welche für die Messkampagnen bis 4 kHz erfasst wurden, zeigen im Bereich ab 500 Hz zum Teil (temperaturabhängige) Differenzen bis zu etwa 1-2 dB/m zwischen Innen- und Außenschiene (siehe Kap. 5.6: Abb. 5-64 und Abb. 5-65, sowie Kap. 2.2 und 2.3: Abb. 2-12, Abb. 2-20 und Abb. 2-21). Aufgrund fehlender Kenntnis über die Abklingraten bei höheren Frequenzen, sowie über die Auswirkung derartiger Differenzen auf Schienenbeschleunigungen kann dies allerdings nur als grobes Indiz für geringe Unterschiede dienen. Ähnliches gilt auch für Schienenrauheiten: bei der 2. und 3. Messkampagne unterscheiden sich die Rauheiten der beiden Schiene im relevanten Bereich kurzer Wellenlängen kaum voneinander (ca. 1-2 dB, vgl. Abb. 2-11 und Abb. 2-19). Bei Messkampagne 1 sind aufgrund der geringeren Fahrgeschwindigkeiten für Schallfrequenzen ≥ 8 kHz kürzere Wellenlängen als die erfassten relevant. Die Differenzen der niedrigsten erfassten Wellenlängen sind zwar etwas größer als bei den beiden weiteren Messkampagnen (ca. 3-5 dB, vgl. Abb. 2-5), jedoch sind sie fallend. Beides deutet somit auf geringe Unterschiede hin, wenngleich konkrete Kenntnisse über die Beeinflussung der Schienenbeschleunigungen (speziell in Bögen) fehlen.

Die Ergebnisse der Erkennung der Bogenseiten für breitbandige Auffälligkeiten sind daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Sie können nur als grober Anhaltspunkt gewertet werden, wenngleich sie für das Projektziel der Untersuchung in ausreichender Tiefe behandelt sind. Für belastbarere Aussagen hinsichtlich der Erforschung des Entstehungsortes von Kurvenkreischen sind allerdings eingehendere Untersuchungen beispielsweise bei genauer definierten Umgebungsbedingungen erforderlich.

5. ANALYSE VON EINFLUSSGRÖSSEN

Im folgenden Kapitel wird anhand der aufgezeichneten Daten aus den drei Messkampagnen der Einfluss unterschiedlicher Parameter auf den Vorbeifahrtpegel, sowie auf das Auftreten von auffälligen Geräuschkomponenten dargestellt. Als Basis dienen die automatisiert erkannten tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten in den Schallemissionen (siehe Kap. 3), welche kennzeichnend für das Auftreten von Kurvenkreischen und -quietschen sind. Auf Grund der großen Anzahl an Messdaten sowie der langen Laufzeit, erfolgte ein Großteil der Analysen auf Basis der Daten aus Messkampagne 1.

5.1. Zugkategorie

5.1.1. Kategorie Güterzug

Die Kategorie Güterzug (Abb. 5-1) ist jene Kategorie mit den rauesten Rädern. Die Ursache dafür ist, dass ein Großteil der Wagen noch immer mit Grauguss-Bremsklötzen ausgerüstet ist. Die wesentlich leiseren K-Sohle gebremsten Güterwagen (glatte Räder) haben erst bei einem hohen Anteil an umgerüsteten Wagen eines Zuges einen wesentlichen (reduzierenden) Einfluss auf den Vorbeifahrtpegel. Eine automatisierte Unterscheidung dieser zwei, aus akustischer Sicht sehr unterschiedlichen Bremsklotzarten ist auf Grundlage des Achsmusters nicht möglich, weshalb keine weitere Differenzierung innerhalb der Kategorie Güterzüge erfolgt.

In Abb. 5-2 (links) sind die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel unterschiedlicher Bogenradien der Kategorie Güterzug einander gegenüber gestellt. Vergleicht man die



Abb. 5-1: Kategorie Güterzug

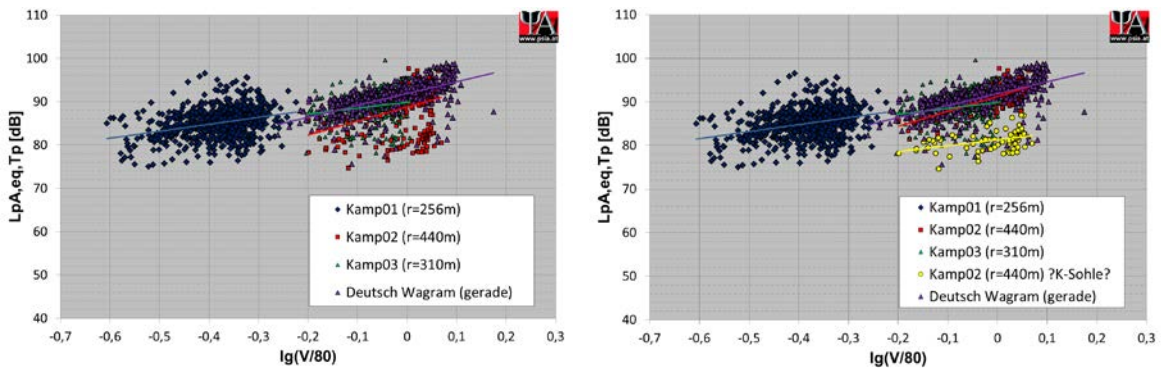


Abb. 5-2: Gegenüberstellung Kategorien Güterzug

Tendenzgeraden, so erkennt man bei der Messstelle der Kampagne 2, dass die Gerade etwas unter denen der anderen Messstellen liegt. In der Punktwolke (rot) erkennt man mehrere Fahrten die wesentlich geringere (-10 dB) Vorbeifahrtpegel aufweisen. Es ist anzunehmen, dass diese Fahrten Güterzüge mit hauptsächlich K-Sohle gebremsten Wagen sind. In Abb. 5-2 (rechts) wurden alle Fahrten welche in einem Bereich von ± 5 dB um die Gerade die sich aus der Zahlenwertgleichung $L_p + 30 \log_{10}(V/80)$ (mit einem L_p von 80 dB) ergibt, als eigene Kategorie Güter (K-Sohle) dargestellt. Durch den Wegfall der leisen Güterzüge liegt die Trendlinie jetzt auf etwa dem Niveau der geraden Strecke bzw. der anderen Bogenradien. Aufgrund der Tatsache das die Güterzüge (ausgenommen K-Sohle gebremste) sehr raue Räder und damit einen Vergleichsweise hohen Vorbeifahrtpegel besitzen, haben die unterschiedlichen Bogenradien, Rauheiten und auch das Auftreten von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten keinen signifikanten Einfluss auf den Gesamtpegel dieser Kategorie.

Die Gegenüberstellung der Anteile von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten (ohne Regen) der drei Kategorien zeigt, dass die Auffälligkeiten mit zunehmendem Bogenradius

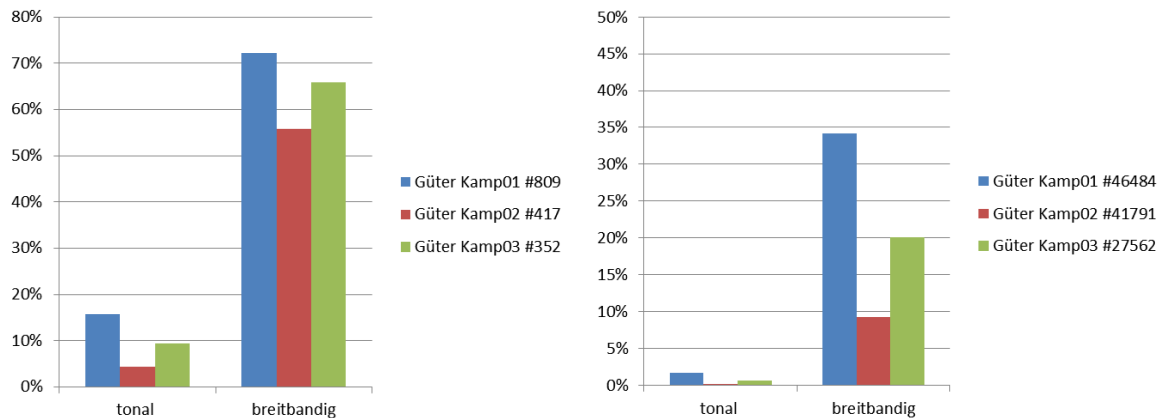


Abb. 5-3: Anteil der Vorbeifahrten (links) und der Einzelachsen (rechts) mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Kategorie Güter

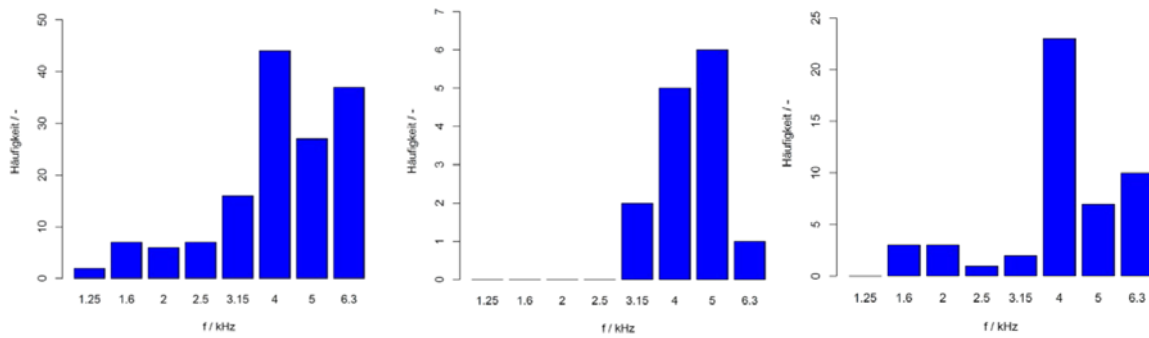


Abb. 5-4: absolute Häufigkeiten von tonalen Komponenten, ohne Konditionierung, der Kategorie Güter bei Kampagne 1, Kleinschwechat (links), bei Kampagne 2, Eichgraben (Mitte) und bei Kampagne 3, Mürtzschlag (rechts)

abnehmen, die Anzahl der Vorbeifahrten mit breitbandigen Auffälligkeiten jedoch nur gering reduziert werden und auch noch bei der Kampagne mit dem größten Bogen (K2, $r = 440$ m) bei über 50% liegen. Im Vergleich dazu sind die Reduktionen durch sinkenden Bogenradius bei den Einzelachsen wesentlich deutlicher sichtbar.

Betrachtet man die Terzbänder in denen tonale Auffälligkeiten auftreten so sind bei den drei Kampagnen das 4 kHz, 5 kHz und 6,3 kHz Band jene Bereiche mit den höchsten Absolutzahlen. Generell ist die Lage der tonalen Komponente im Terzband eher breit gestreut, was aufgrund der unterschiedlichsten Güterwagen mit unterschiedlichen Rädern und damit auch der resultierenden Eigenfrequenz nicht überrascht.

5.1.2. Kategorie 80-33

Die Kategorie 80-33 (Abb. 5-5) ist ein Doppelstockwagen für den Regionalverkehr. Sie besteht aus einem Steuerwagen und mehreren Zwischenwagen. Als Antrieb dient ein Triebfahrzeug welches zumeist eine Lok des Typs 1116 (Taurus) oder 1144 ist. Auf der



Abb. 5-5: Kategorie 80-33 (CAT)

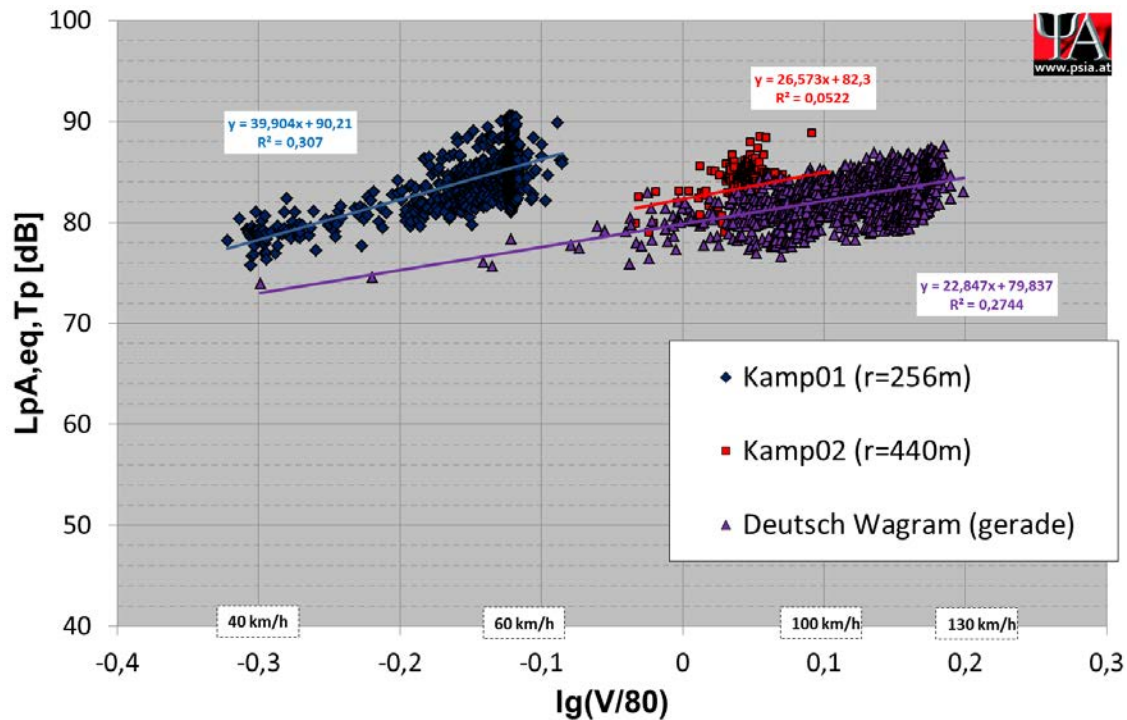


Abb. 5-6: Gegenüberstellung A-bewertete Vorbeifahrtpegel für die Kampagne 1, Kleinschwechat/S7 (r = 256 m), Kampagne 2 Eichgraben/Westbahn (r = 440 m) und der acramos® Dauermessstelle in Deutsch Wagram (gerade Strecke), Kategorie 80-33

Strecke S7 am Messquerschnitt der Kampagne 1 verkehrt diese Kategorie auch als City Airport Train (CAT) mit einer Direktverbindung zum Flughafen Schwechat, hier jedoch immer mit einer 1116 Lok als Triebfahrzeug. Sowohl die Zwischenwagen und Steuerwagen als auch die Triebfahrzeuge sind mit Scheibenbremsen ausgerüstet.

In Abb. 5-6 sind die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel unterschiedlicher Bogenradien der Kategorie 80-33 einander gegenüber gestellt. Fahrten mit Regen und mit tonalen oder

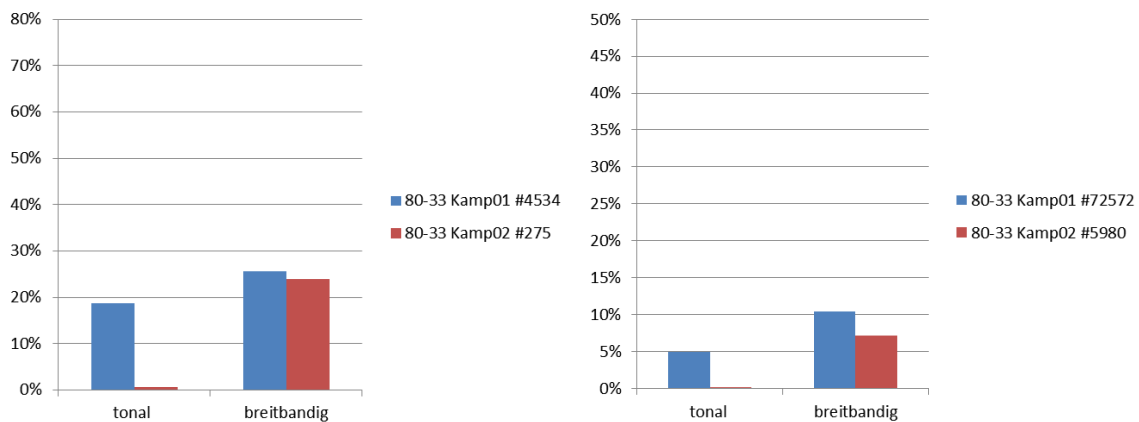


Abb. 5-7: Anteil der Vorbeifahrten (links) und der Einzelachsen (rechts) mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Kategorie 80-33

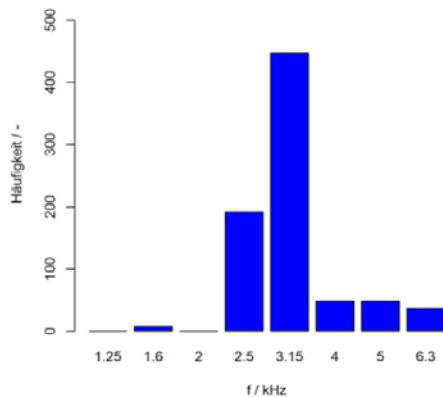


Abb. 5-8: absolute Häufigkeiten von tonalen Komponenten, ohne Konditionierung, der Kategorie 80-33 bei Kampagne 1, Kleinschwechat

breitbandigen Auffälligkeiten wurden in dieser Gegenüberstellung nicht berücksichtigt. Der mittlere Vorbeifahrtpegel bei der Kampagne 2 ist im Vergleich zur geraden Strecke um etwa 3 dB, der mittlere Voreifahrtpegel der Kampagne 1 sogar um bis zu 8 dB höher.

Vergleicht man die beiden Bogenradien in Bezug auf das Auftreten von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten erkennt man eine deutliche Reduktion um bis zu 20% bei den tonalen Auffälligkeiten. Die breitbandigen Auffälligkeiten verringern sich durch den höheren Bogenradius nur geringfügig.

Der größte Anteil der tonalen Auffälligkeiten wurde bei Kampagne 1 im 3,15 kHz Terzband beobachtet, jedoch gibt es auch einen gewissen Anteil an Fahrten mit Tonalität im 2,5 kHz Band.

5.1.3. Kategorie S4020

Die Kategorie S4020 (Abb. 5-9) ist eine Triebwagengarnitur für den regionalen Verkehr. Eine Garnitur besteht aus drei Wagen, einem Steuerwagen, einem Zwischenwagen und



Abb. 5-9: Kategorie S4020

einen Triebwagen mit insgesamt 12 Achsen. Am häufigsten verkehrt diese Kategorie jedoch mit zwei gekoppelten Garnituren (24 Achsen). Dabei kann jede einzelne Garnitur sowohl mit vor- als auch nachlaufendem Triebwagen gereiht sein. Die höchsten Emissionen gehen bei dieser Kategorie von den Triebwagen aus, welche um bis zu 10 dB höhere Lärmpegel aufweisen als die Zwischen- oder Steuerwagen.

In Abb. 5-10 sind die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel der Kategorie S4020 der Messkampagnen 1 und 2 jenen der geraden Strecke (acramos® Dauermessstelle Deutsch Wagram) gegenübergestellt. Es wurden nur jene Vorbeifahrten berücksichtigt bei denen kein Regen und auch keine tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten detektiert wurden. Vergleicht man die Mittelwerte der Messkampagne 1 mit jenen der geraden Strecke ergeben sich Differenzen von etwa 3,5 dB. Die Ergebnisse der Kampagne 2 sind jedoch eher überraschend. Sie liegen im Mittel etwa 2 dB unter denen der geraden Strecke. Man erkennt zwar, dass die Werte innerhalb des Streubereiches der geraden Strecke liegen, jedoch scheinen die Mittelwerte eindeutig niedriger zu liegen. Ein möglicher Grund dafür ist die geringe Anzahl der Vorbeifahrten mit denen noch kein stabiler Mittelwert erreicht werden kann.

Um einen Anhaltspunkt für diese Differenz zu finden, wurden von drei Fahrten der Kampagne 2, welche genau auf der Tendenzgeraden der geraden Strecke liegen, die

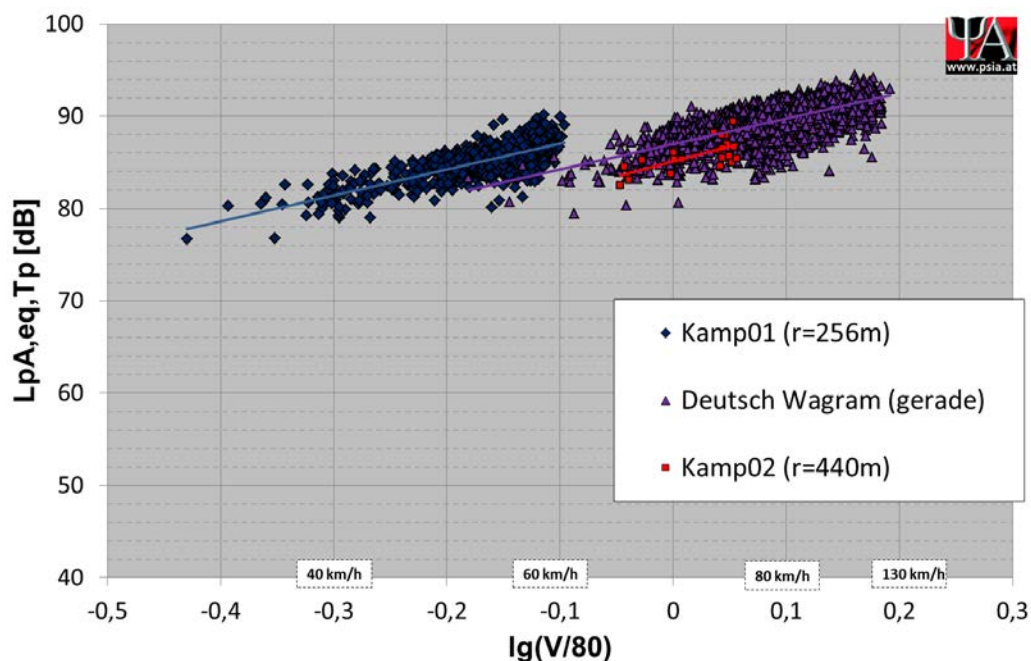


Abb. 5-10: Gegenüberstellung A-bewertete Vorbeifahrtpegel für die Kampagne 1, Kleinschwechat/S7 (r = 256 m), Kampagne 2 Eichgraben/Westbahn (r = 440 m) und der acramos® Dauermessstelle in Deutsch Wagram (gerade Strecke), Kategorie S4020

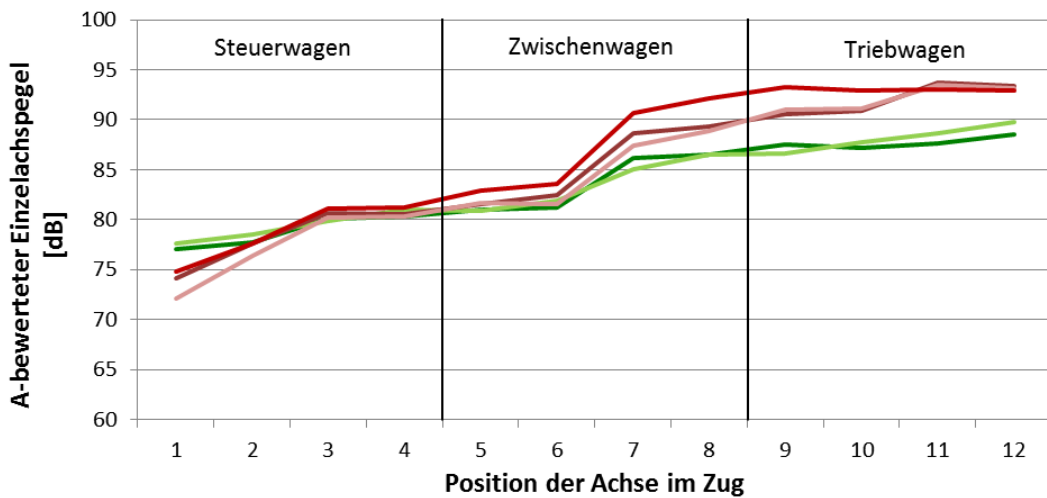


Abb. 5-11: Gegenüberstellung der Achspegeln von lauten (rot) und leisen (grün) Vorbeifahrten der Kategorie S4020 bei der Messkampagne 2, Eichgraben

Einzelachspegel dargestellt und den Achspegeln von zwei Fahrten, welche bei ähnlicher Geschwindigkeit weit aus niedrigere Vorbeifahrtpegel aufweisen, gegenübergestellt (siehe Abb. 5-11).

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Differenzen alleine durch die jeweiligen Triebwagen zustande kommen. Während der Bereich um die Triebwagen bzw. das diesen naheliegenden Drehgestell der Zwischenwagen, Pegelerhöhungen um bis zu 10 dB aufweist, sind die Achspegeln der Steuerwagen sowie des unbeeinflussten Drehgestells (aufgrund Entfernung zum Triebwagen) nahezu ident. Es wird vermutet, dass diese Unterschiede auf Grund von unterschiedlichen Rauheiten der angetriebenen Räder zustande kommen. Ähnlich wie auch schon bei der Kategorie Güterzug kann eine unterschiedliche Verteilung von Garnituren mit Triebwagen welche unterschiedliche

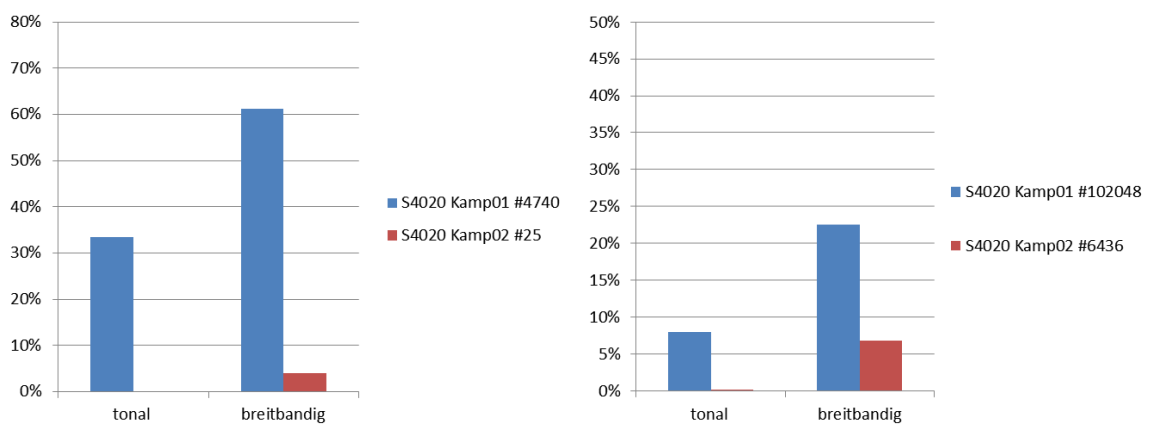


Abb. 5-12: Anteil der Vorbeifahrten (links) und der Einzelachsen (rechts) mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Kategorie S4020

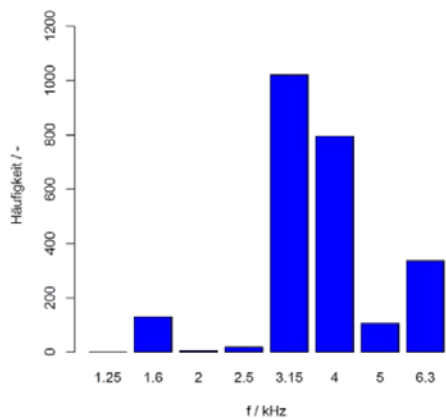


Abb. 5-13: absolute Häufigkeiten von tonalen Komponenten, ohne Konditionierung, der Kategorie S4020 bei Kampagne 1, Kleinschwechat

Rauheiten aufweisen die Ergebnisse einer solchen Gegenüberstellung verzerren. Vergleicht man die Häufigkeiten der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten so erkennt man eine sehr starke Reduktion der Auffälligkeiten bei Messkampagne 2, hierbei muss jedoch die geringe Anzahl (25 Vorbeifahrten gesamt) berücksichtigt werden.

Die tonalen Auffälligkeiten treten bei dieser Kategorie hauptsächlich im 3,15 kHz bzw. 4 kHz Terzband auf.

5.1.4. Kategorie S4024

Die Kategorie S4024 (Abb. 5-14) ist ein Elektrotriebzug mit Scheibenbremsen. Das jeweils erste und letzte Drehgestell einer Garnitur ist angetrieben, die anderen sind Jakobsdrehgestelle und liegen somit zwischen zwei Wagen einer Garnitur. Eine Garnitur



Abb. 5-14: Kategorie S4024

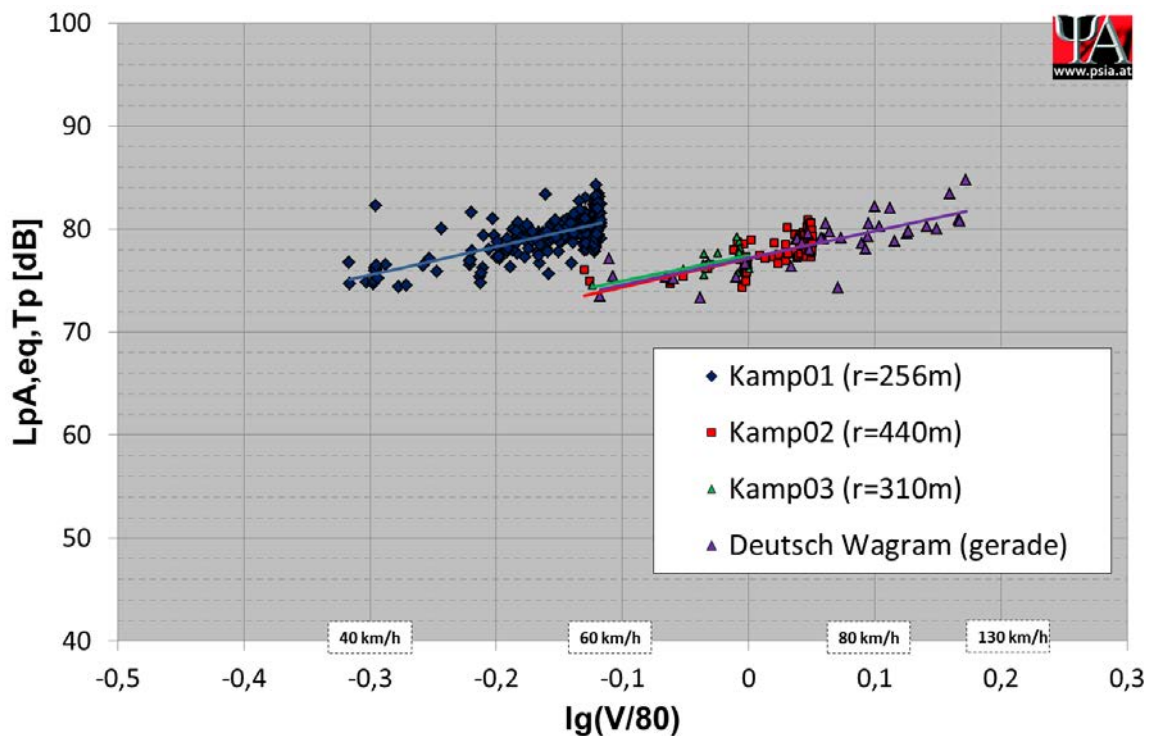


Abb. 5-15: Gegenüberstellung A-bewertete Vorbeifahrtpegel für die Kampagne 1, Kleinschwechat/S7 ($r = 256$ m), Kampagne 2 Eichgraben/Westbahn ($r = 440$ m), Kampagne 3 Mürzzuschlag/Südbahn ($r = 310$ m) und der acramos® Dauermessstelle in Deutsch Wagram (gerade Strecke), Kategorie S4024

fährt im Normalfall mit 4 Wagen (10 Achsen), es sind jedoch auch zwei gekoppelte Garnituren mit 8 Wagen üblich (20 Achsen).

In Abb. 5-15 sind die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel der Kategorie S4024 der drei Messkampagnen jenen der geraden Strecke (acramos® Dauermessstelle Deutsch Wagram) gegenübergestellt. Es wurden nur jene Vorbeifahrten berücksichtigt bei denen kein Regen und auch keine tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten detektiert wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Vorbeifahrtpegel bei Radien ≥ 310 m (Kampagne 2 und 3) im selben Bereich liegt, wie die Werte der geraden Strecke. Nur bei der ersten Kampagne mit einem Bogenradius von 256 m ist ein Anstieg der Vorbeifahrtpegel von im Mittel 6 dB erkennbar. Vergleicht man die relativen Häufigkeiten von Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten (Abb. 5-16) erkennt man, dass eigentlich nur bei der 1. Messkampagne tonale Auffälligkeiten identifiziert werden konnten, und auch hier sind die Häufigkeiten mit $<4\%$ äußerst gering. Auch bei den breitbandigen Auffälligkeiten zeigt sich eine eher geringe Häufigkeit von etwas über 20% bei der 1. Kampagne mit dem engsten Bogenradius. Bei den Fahrten der 2. Kampagne liegen die Werte bereits unter 5%.

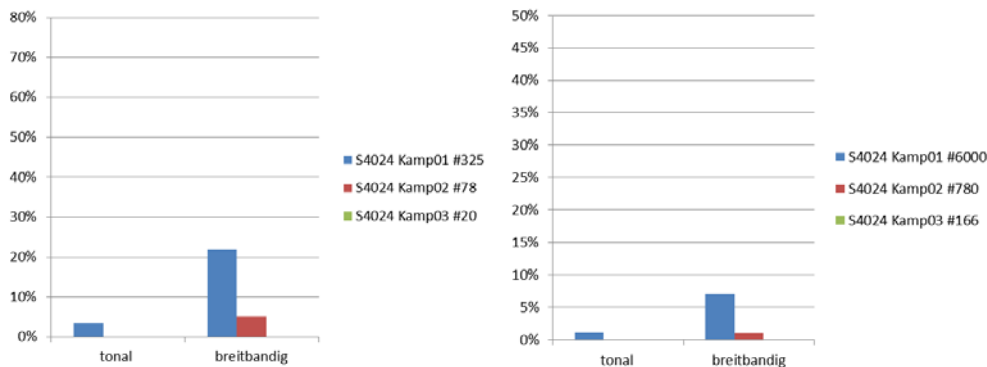


Abb. 5-16: Anteil der Vorbeifahrten (links) und der Einzelachsen (rechts) mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Kategorie S4024

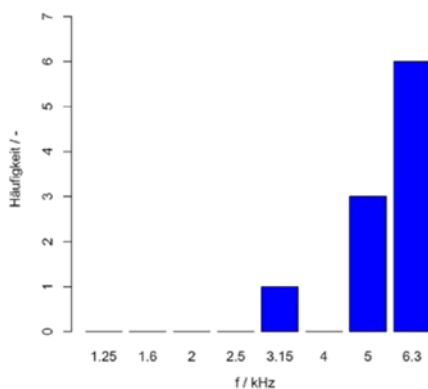


Abb. 5-17: absolute Häufigkeiten von tonalen Komponenten, ohne Konditionierung, der Kategorie S4024 bei Kampagne 1, Kleinschwechat

Bei der Kategorie S4024 treten die meisten tonalen Komponenten im Bereich von 6,3 kHz auf. Aufgrund der geringen Anzahl an detektierten Auffälligkeiten bei dieser Kategorie, ist die Aussagekraft jedoch beschränkt.

5.1.5. Kategorie RZ-mix

Die Kategorie RZ-mix (Abb. 5-18) sind Reisezüge für den überregionalen und internationalen Verkehr. Sie bestehen aus einem Triebfahrzeug und mehreren Personenwagen. Ähnlich wie bei der Kategorie Güterzug, ist es prinzipiell möglich, dass noch Fahrzeuge mit Graugussbremsen ausgestattet sind. In der Realität ist jedoch davon auszugehen, dass diese Kategorie fast ausschließlich aus Wagen mit Scheibenbremsen besteht.

In Abb. 5-19 sind die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel der Kategorie RZ-mix der Messkampagnen 2 und 3 jenen der geraden Strecke (acramos® Dauermessstelle Deutsch Wagram) gegenübergestellt. Es wurden nur jene Vorbeifahrten berücksichtigt bei



Abb. 5-18: Kategorie RZ-mix

denen kein Regen und auch keine tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten detektiert wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Tendenzgerade der Kampagne 2 mit einem Bogenradius von 440 m um etwa 4 dB über den mittleren Werten der geraden Strecke liegt. Bei Kampagne 3, welche an einem wesentlich engeren Bogen lag, sind die Werte jedoch nur etwa 2 dB über denen der geraden Strecke. Ähnlich wie auch bei der Kategorie Güterzug sind Wagenzusammenstellungen dieser Kategorie nicht so homogen

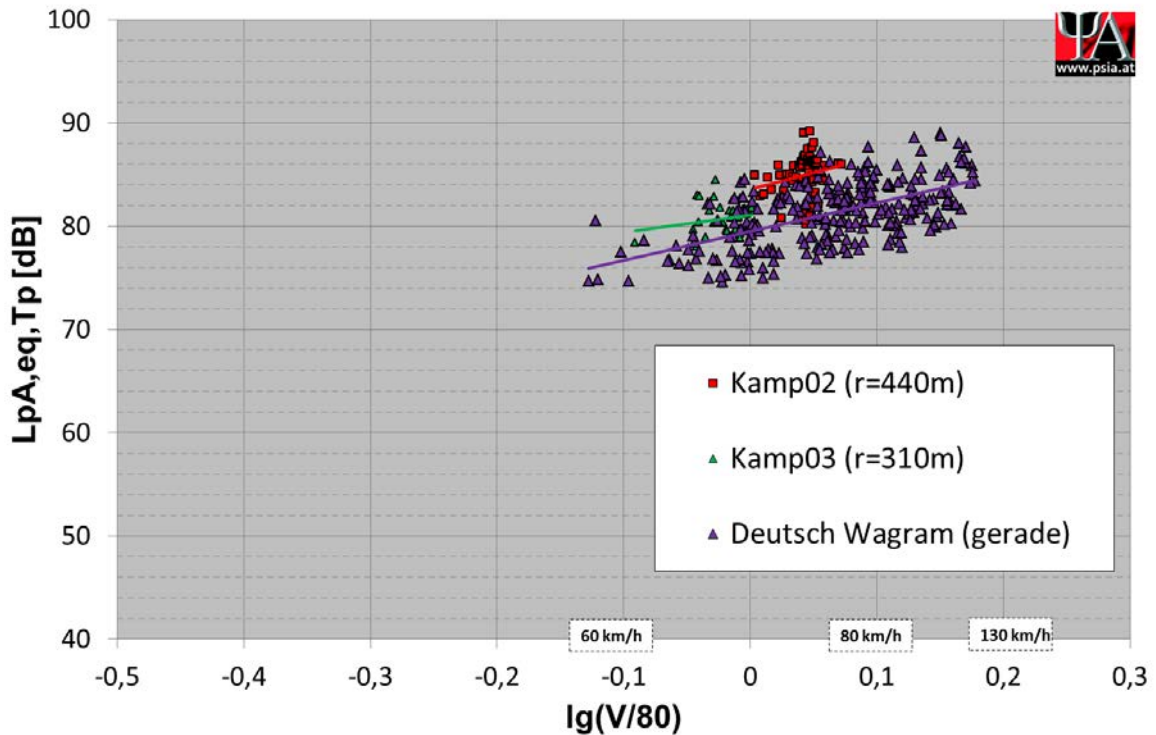


Abb. 5-19: Gegenüberstellung A-bewertete Vorbeifahrtpegel für die Kampagne 2 Eichgraben/Westbahn ($r = 440$ m), Kampagne 3 Mürzzuschlag/Südbahn ($r = 310$ m) und der acramos® Dauermessstelle in Deutsch Wagram (gerade Strecke), Kategorie RZ-mix

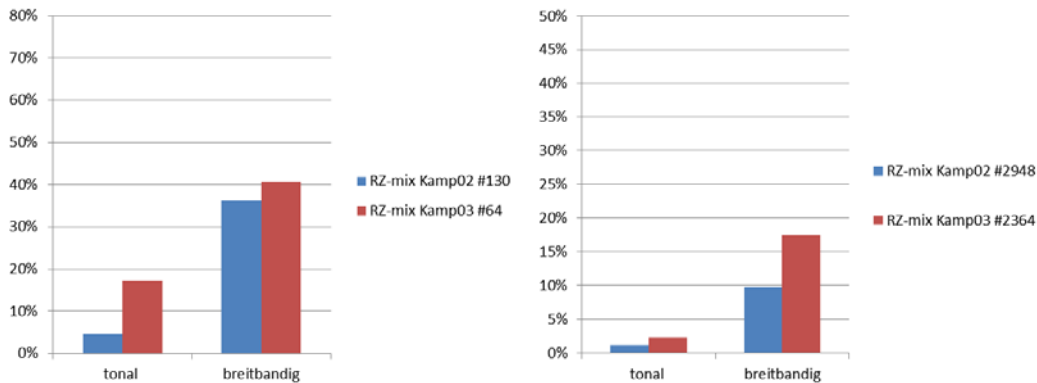


Abb. 5-20: Anteil der Vorbeifahrten (links) und der Einzelachsen (rechts) mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Kategorie RZ-mix

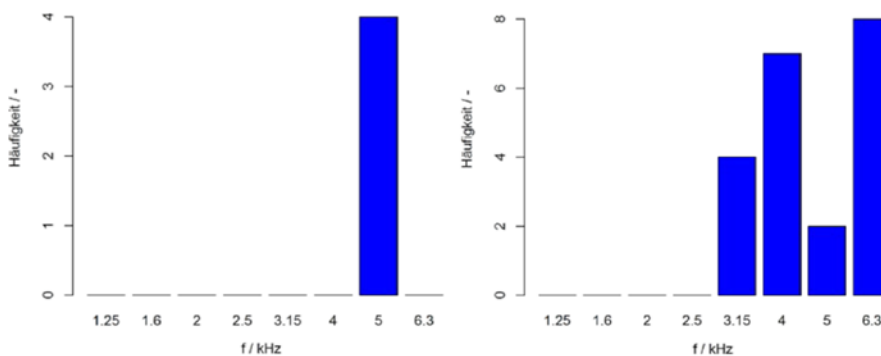


Abb. 5-21: absolute Häufigkeiten von tonalen Komponenten, ohne Konditionierung, der Kategorie RZ-mix bei Kampagne 2, Eichgraben (links) und bei Kampagne 3, Mürzzuschlag (rechts)

wie etwa bei den Kategorien S4020 oder S4024. Der Anteil der tonalen Häufigkeiten liegt bei Kampagne 3 bei etwa 17% und reduziert sich beim höheren Radius der Kampagne 2 auf unter 5%. Der Anteil der Vorbeifahrten mit breitbandigen Auffälligkeiten ist mit 40% sehr hoch und reduziert sich mit höherem Radius nur geringfügig. Betrachten man jedoch die Häufigkeiten der betroffenen Einzelachsen können die breitbandigen Auffälligkeiten um etwa die Hälfte reduziert werden.

Bei der Messkampagne 2 treten tonale Auffälligkeiten nur im 5 kHz Terzband auf, während die Frequenzen dieser Auffälligkeiten bei der 3. Messkampagne eher breiter gestreut sind und von 3,15 kHz bis 6,3 kHz reichen. Aufgrund der geringen Anzahl an detektierten Auffälligkeiten bei dieser Kategorie, ist die Aussage kraft jedoch beschränkt.

5.1.6. Kategorie Railjet

Die Kategorie Railjet (Abb. 5-22) ist ein Wendezug für den Fernreiseverkehr mit einer Höchstgeschwindigkeit von 230 km/h. Er besteht aus einem Steuerwagen, sechs Personenwagen und einem Triebfahrzeug. Als Triebfahrzeug dient eine Lok des Typs



Abb. 5-22: Kategorie Railjet

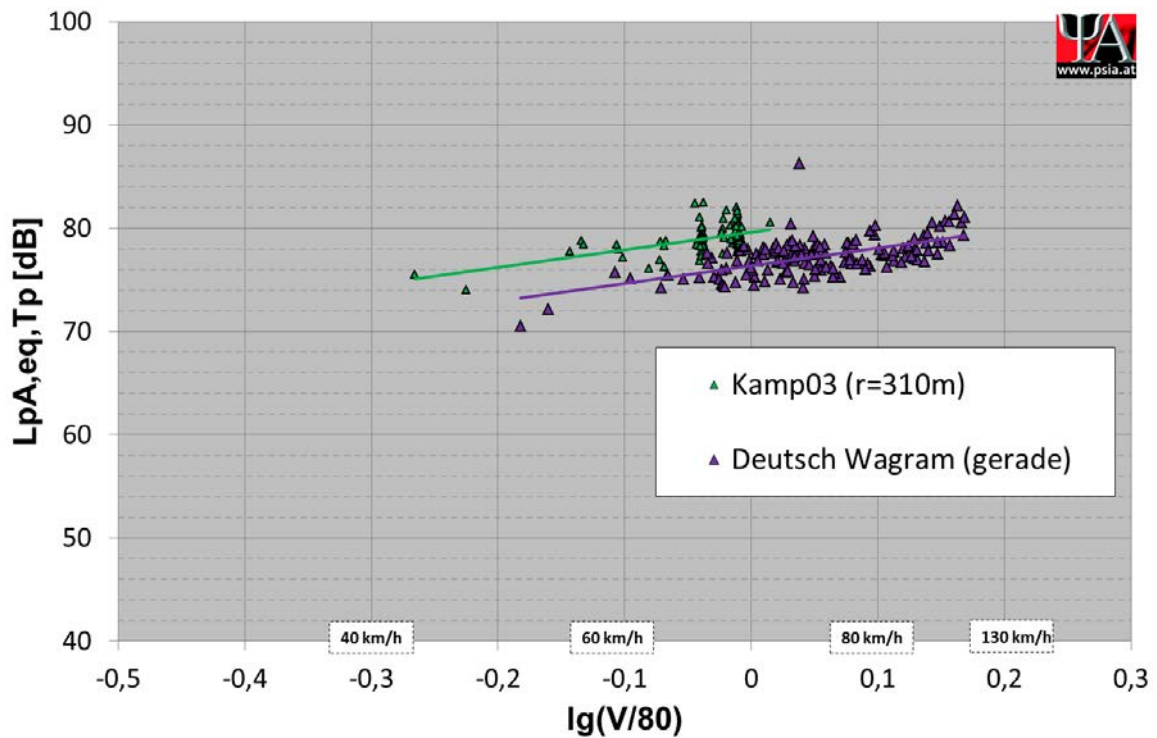


Abb. 5-23: Gegenüberstellung A-bewertete Vorbeifahrtpegel für die Kampagne 3 Mürzzuschlag/Südbahn ($r = 310$ m) und der acramos® Dauermessstelle in Deutsch Wagram (gerade Strecke), Kategorie Railjet

1116. Vergleicht man die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel der Messkampagne 3 (ohne Auffälligkeiten / kein Regen) mit den Werten der geraden Strecke ergibt sich eine Differenz von etwa 4 dB. Die Häufigkeiten der tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten liegen in etwa auf demselben Niveau wie jene der Kategorie RZ-mix.

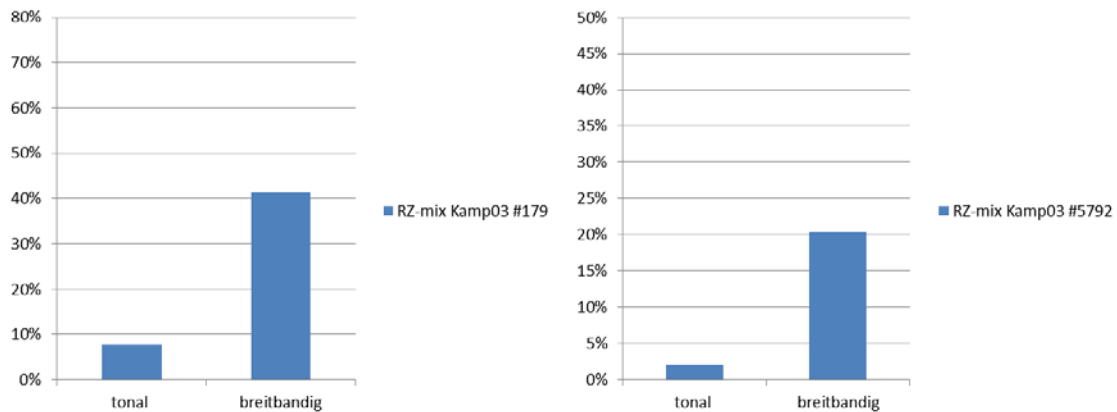


Abb. 5-24: Anteil der Vorbeifahrten (links) und der Einzelachsen (rechts) mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Kategorie Railjet

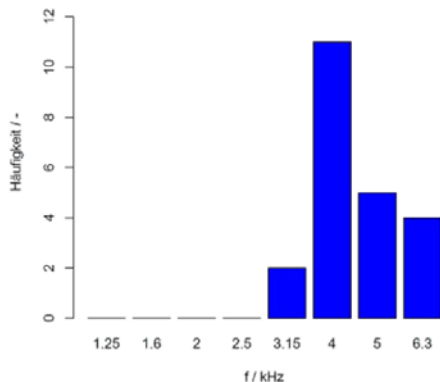


Abb. 5-25: absolute Häufigkeiten von tonalen Komponenten, ohne Konditionierung, der Kategorie Railjet bei Kampagne 1, Kleinschwechat

Die tonalen Auffälligkeiten liegen vermehrt im Bereich von 4 kHz, es sind jedoch auch tonale Komponenten in den Terzbändern 3,15 kHz, 5 kHz und 6,3 kHz aufgetreten.

Zusätzlich zum Vergleich der Daten der drei Messkampagnen wurde anhand der Messdaten der acramos® Bogenmessstelle in Breitenstein überprüft, inwiefern die Anordnung des Triebfahrzeuges einen Einfluss auf die Geräuschsituation im Bogen hat. Bis 06.04.2014 fuhren die auf der Südbahn verkehrenden Railjet-Garnituren mit dem Triebfahrzeug am Ende des Zuges (geschoben). Ab 07.04.2014 wurden die Triebfahrzeuge den Railjet-Wagen vorangestellt (gezogen). In Abb. 5-26 sind die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach der Umstellung dargestellt. Es wurden nur Fahrten mit Temperaturen <10°C im Geschwindigkeitsbereich von 55 bis 65 km/h herangezogen, um den Einfluss anderer Parameter möglichst gering zu halten. Man erkennen, dass die Mittelwerte der Vorbeifahrtpegel nahezu ident sind. Auch beim Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (Abb. 5-27) sind keine relevanten Differenzen erkennbar. Das Pegelspektrum zeigt auch deutlich den starken Einfluss der

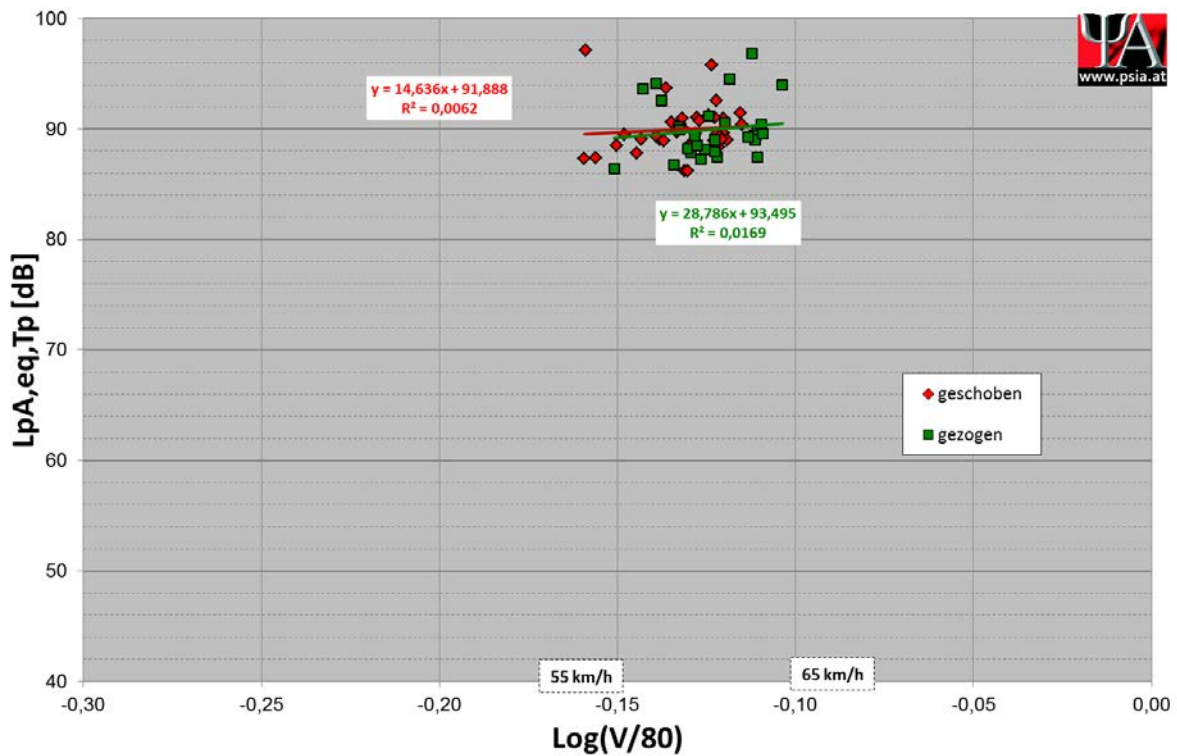


Abb. 5-26: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel der Kategorie Railjet mit Triebfahrzeug am Ende des Zuges (geschoben) und am Anfang des Zuges (gezogen), acramos® Bogenmessstelle Breitenstein, Lufttemperatur <10°C

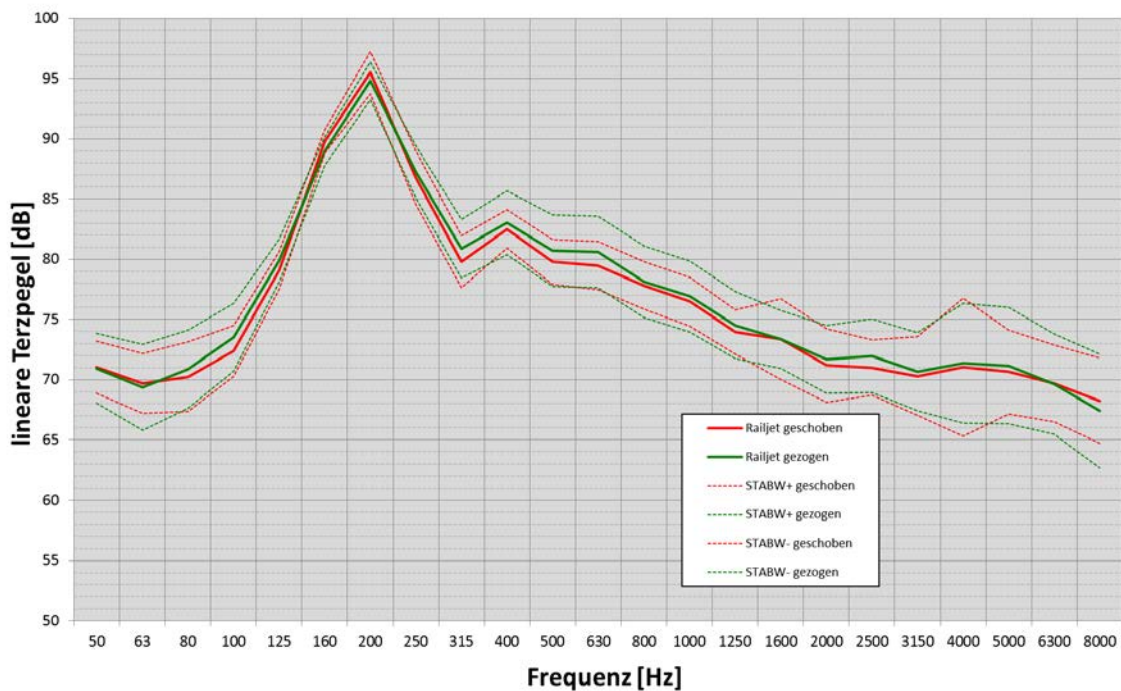


Abb. 5-27: mittlere lineare Terzpegelspektren der Kategorie Railjet mit Triebfahrzeug am Ende des Zuges (geschoben) und am Anfang des Zuges (gezogen), acramos® Bogenmessstelle Breitenstein, Lufttemperatur <10°C Übersicht

Schienenrauheit an diesem Abschnitt (siehe Kapitel 5.7). Im Bereich von 200 Hz werden aufgrund der Schlupfwellen Pegelspitzen von rund 95 dB erreicht. Auch wenn in diesem Terzband die Reduktion durch die A-Bewertung bei >10 dB liegt, hat dieser Frequenzbereich einen maßgeblichen Einfluss auf den Gesamtpegel.

5.1.7. Übersicht

Von den im Projekt gemessenen Zugkategorien ist die Kategorie S4020 jene, welche die höchste Häufigkeit (>30%) an Fahrten mit tonalen Auffälligkeiten bei der Messkampagne 1 aufweist (siehe Abb. 5-28). Die Kategorie 80-33 und die Kategorie Güterzug liegen mit rund 19% bzw. rund 16% dahinter. Die niedrigsten Anteile an Fahrten mit tonalen Häufigkeiten wurden bei der Kategorie S4024 gemessen. Werden bei der

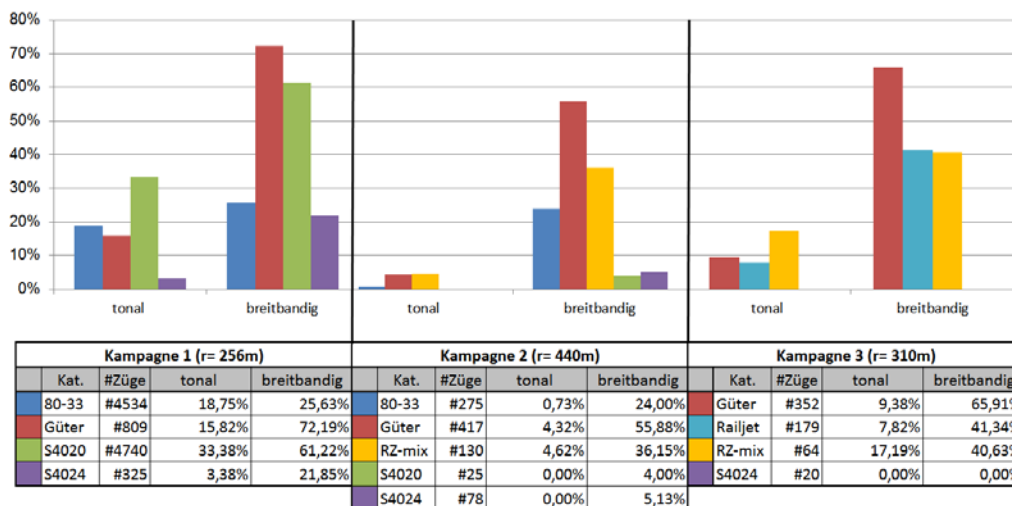


Abb. 5-28: Relative Häufigkeiten der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten

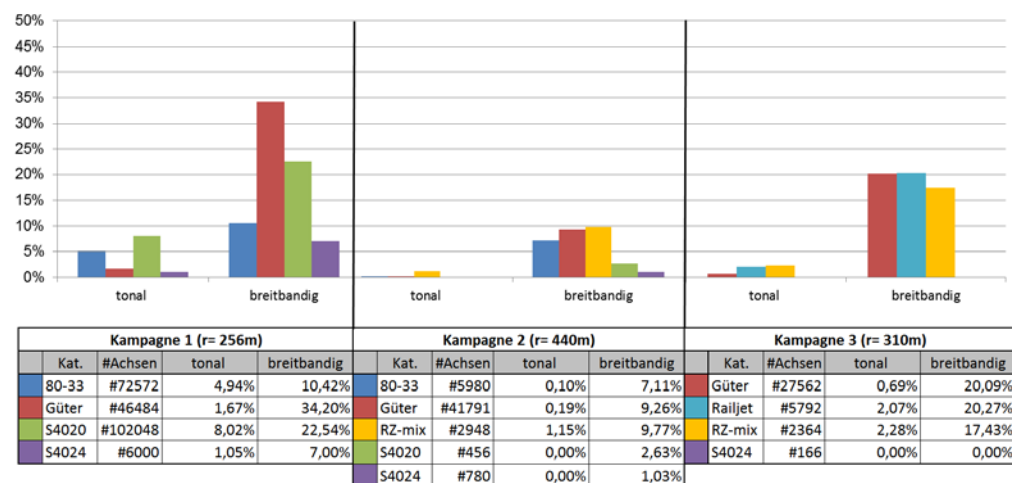


Abb. 5-29: Relative Häufigkeiten der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten

Gegenüberstellung die Häufigkeiten der Achsen (siehe Abb. 5-29) und nicht der Vorbeifahrten betrachtet, liegt die Kategorie Güterzug jedoch auf ähnlich niedrigem Niveau.

Bei der zweiten Messkampagne sind die Anteile der Häufigkeiten bereits sehr gering und nur bei den Kategorien Güterzug bzw. RZ-mix lassen sich überhaupt erkennbare Auffälligkeiten von rund 5% identifizieren. Bei Messkampagne 3 ist mit rund 17% die Kategorie RZ-mix jene mit der höchsten Anzahl an Vorbeifahrten mit tonalen Auffälligkeiten. Die Kategorien Güterzug und Railjet liegen mit rund 9% bzw. 8% dahinter. Die Kategorie S4024 ist wieder jene mit den geringsten Häufigkeiten, wobei die Anzahl bei dieser Kampagne mit nur 20 Vorbeifahrten sehr gering war.

Die Kategorie Güterzug ist jene mit den höchsten Anteilen an Vorbeifahrten mit breitbandigen Auffälligkeiten. Die Kategorie RZ-mix liegt bei den Messkampagnen 2 und 3 und die Kategorie Railjet bei der Messkampagne 3 um jeweils etwa 20%-Punkte unter denen der Güterzüge. Bezieht man sich jedoch auf die Häufigkeiten der Einzelachsen liegen die drei Kategorien auf ähnlichem Niveau. Die Kategorie S4020 liegt bei der ersten Messkampagne mit einem Anteil von 60% an Fahrten mit breitbandigen Auffälligkeiten nur knapp hinter den Werten der Güterzüge, bei der zweiten Messkampagne mit Bogenradius $r = 440$ m jedoch bei ähnlich niedrigen Werten wie die Kategorie S4024, welche bei allen drei Messkampagnen die niedrigsten Häufigkeiten aufweist.

Thompson beschreibt in [3] eine Faustregel um zu bestimmen ob es beim Befahren eines Gleisbogens von einem bestimmten Fahrzeug zum „Quietschen“ kommen kann. Diese Regel besagt, dass bei einem Radius $>100b$ (mit b als Achsabstand im Drehgestell) kein Quietschen auftritt. Für Messkampagne 1 ($r = 256$ m) würde das bedeuten, dass alle Fahrzeuge mit einem Achsabstand im Drehgestell von $<2,56$ m keine tonalen Auffälligkeiten aufweisen sollten. Vergleicht man jedoch die Häufigkeiten der tonalen

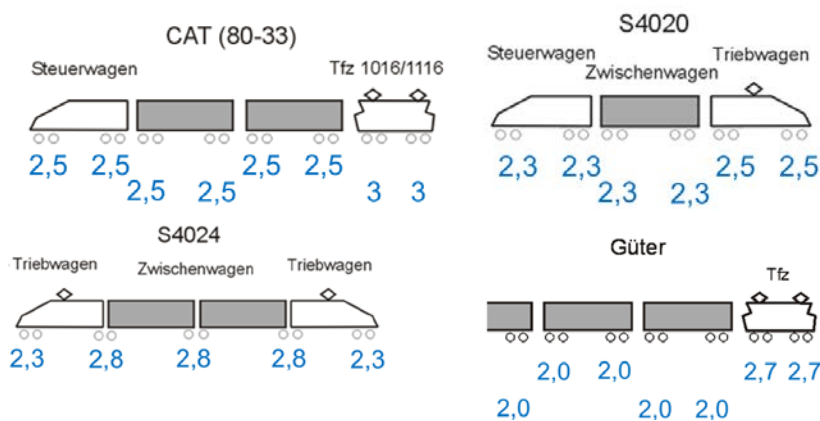


Abb. 5-30: Übersicht Achsabstand in Meter unterschiedlicher Zugkategorien

Auffälligkeiten scheint es eher so, als ob genau der umgekehrte Fall zutrifft. Denn nur jene Kategorie, welche zumindest bei den Zwischenwagen einen größeren Abstand als 2,56 m aufweist, nämlich die Kategorie S4024 mit 2,8 m Abstand (siehe Abb. 5-30), weist mit 3% Anteilen so gut wie keine Fahrten mit „Quietschen“ auf, während die anderen Kategorien mit 15-31% wesentlich höher liegen. Ein möglicher Grund, warum gerade bei dieser Kategorie die tonalen wie auch breitbandigen Auffälligkeiten so gering sind könnte der Raddurchmesser sein, der mit 750 mm für die angetriebenen Räder bzw. mit 630 mm um einiges geringer ist als bei den anderen Kategorien welche bei etwa 920 mm liegen.

In Abb. 5-31 sind die Boxplots für den äquivalenten Auftrittsweg unterschiedlicher Kategorien auf unterschiedlichen Bogenradien dargestellt. Der Auftrittsweg gibt dabei jenen Bereich an, bei welchem ein tonales oder breitbandiges Ereignis noch über den in

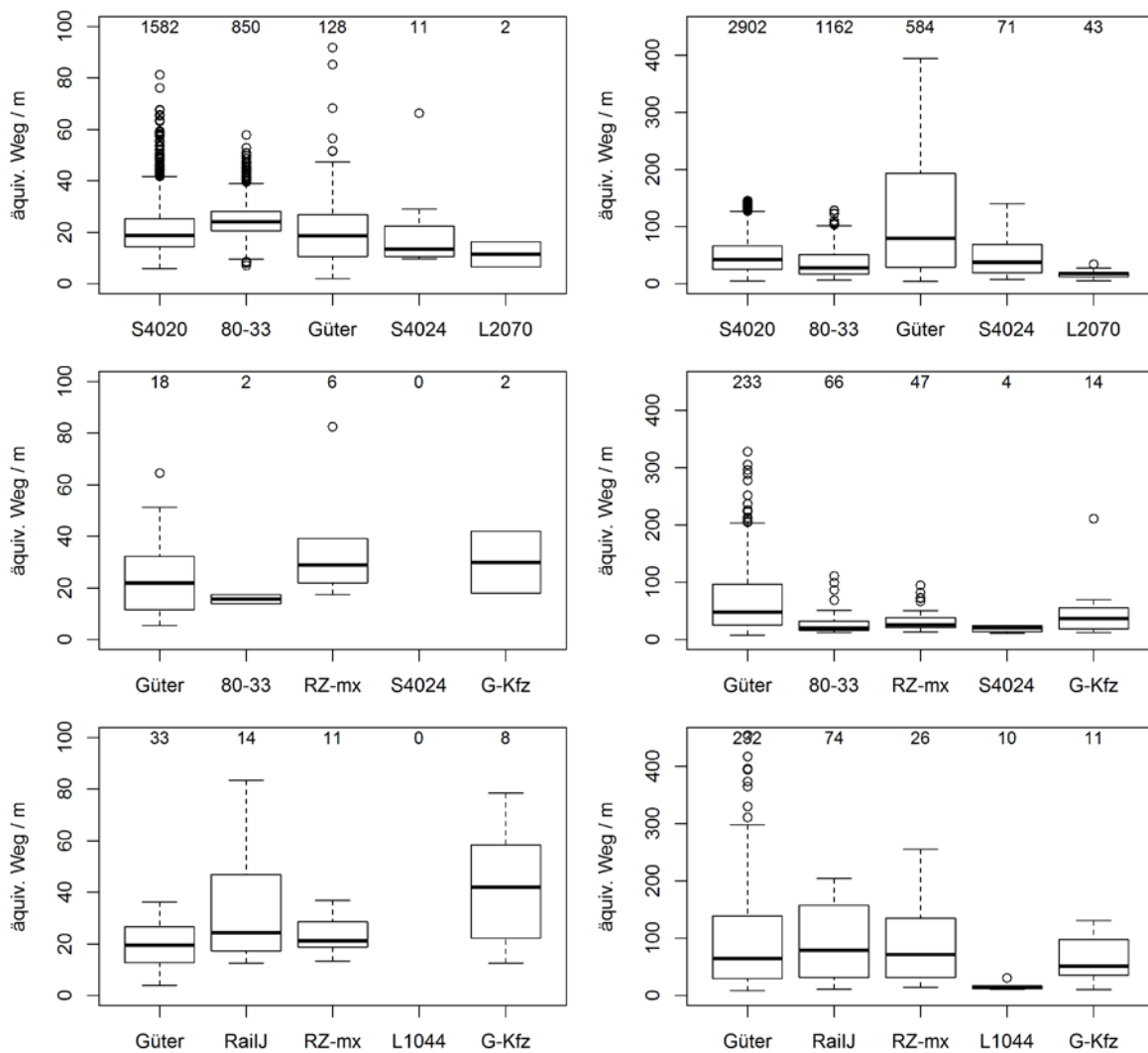


Abb. 5-31: Boxplot der äquivalenten Auftrittswege der tonalen (links) und breitbandigen (rechts) Auffälligkeiten für die Messkampagne 1, Kleinschwechat (oben), für die Messkampagne 2, Eichgraben (Mitte) und für die Messkampagne 3, Mürzzuschlag (unten)

Kapitel 3.3 definierten Grenzwerten liegt. Vergleicht man die Auftrittswerte erkennt man, dass tonalen Auffälligkeiten tendenziell wesentlich kürzer im Zugverband vorhanden sind als die breitbandigen Auffälligkeiten. Dies ist auch verständlich, da die tonalen Auffälligkeiten zumeist auf eine einzelne Achse zurückzuführen sind, während breitbandigen Auffälligkeiten wesentlich häufiger im Zugverband auftreten.

5.2. Bogenradius

Im Zuge dieses Forschungsprojektes wurden Messungen an Messquerschnitten mit drei unterschiedlichen Bogenradien durchgeführt:

- Messkampagne 1, Kleinschwechat / S7 256 m
- Messkampagne 2, Eichgraben / Westbahn 440 m
- Messkampagne 3, Mürzzuschlag / Südbahn 310 m

Der Einfluss des Bogenradius ist natürlich stark von den jeweiligen Oberbauverhältnissen abhängig. So ist die Schienenrauheit ein wesentlicher Faktor, der bei allen drei Messstellen unterschiedlich hoch ausfällt, wobei die Erhöhung der Schienenrauheit, speziell an der Innenschiene wiederum stark durch den Bogenradius beeinflusst wird.

Vergleicht man die Häufigkeiten der tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten der drei Messkampagnen (Abb. 5-32) so erkennt man, dass bei der Kampagne mit dem geringsten Bogenradius ($r = 256\text{ m}$) mit einem Anteil von $>20\%$ die höchsten tonalen Auffälligkeiten auftreten und mit dem steigendem Radius geringer werden. Der Anteil der tonalen Auffälligkeiten der 2. Messkampagne ($r = 440\text{ m}$) liegt nur noch bei unter 3% . Vergleicht man die breitbandigen Auffälligkeiten so sind zwar wieder die Ergebnisse der

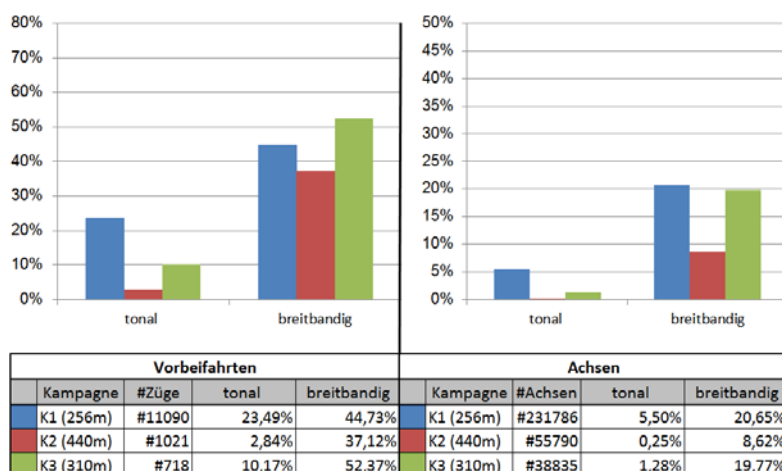


Abb. 5-32: Anteil der Vorbefahrten (links) und Achsen (rechts) mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten

Messstelle mit dem größten Radius jene mit den geringsten Anteilen, die Messkampagne 1 mit dem engsten Bogen liegt jedoch unter jener der 3. Messkampagne mit höherem Bogenradius. Stellt man jedoch die Häufigkeiten der Einzelachsen einander gegenüber liegen die Werte der 3. Kampagne wieder unter jenen der 1. Kampagne mit dem engsten Bogenradius.

Bei dieser Gegenüberstellung ist jedoch zu beachten, dass auf jeder Messstelle ein unterschiedlicher Zugmix vorhanden ist und dass durch unterschiedliches Verhalten der einzelnen Kategorie das Gesamtbild verzerrt werden kann.

Vergleicht man die in Kapitel 5.1.7 dargestellten Häufigkeiten der einzelnen Kategorien (Abb. 5-28 und Abb. 5-29) erkennt man auch hier das mit zunehmenden Bogenradius die tonalen und breitbandigen Häufigkeiten abnehmen. Lediglich bei der Kategorie S4024 sind beim weiteren Bogen der Messkampagne 3 größere Häufigkeiten als beim engeren Bogen der Messkampagne 2 erkennbar. Dies kann jedoch auf die geringe Anzahl von nur 20 Vorbeifahrten bei der Messkampagne 2 zurückgeführt werden.

Auch die in Kapitel 5.1.1 bis 5.1.6 dargestellten A-bewerteten Vorbeifahrtpegel zeigen generell eine Reduktion der Vorbeifahrtpegel mit sinkendem Bogenradius.

5.3. Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit als Einflussfaktor ist stark mit dem jeweiligen Bogenradius verbunden. Neben dem Radius ist auch die jeweilige Überhöhung für den Einfluss der Geschwindigkeit relevant. Mit Hilfe der Zahlenwertgleichung (vgl. [18])

$$v_a = \sqrt{\frac{R \cdot D}{11,8}}$$

D ... Überhöhung in mm

R ... Bogenradius in m

v_a ... ausgeglichene Geschwindigkeit in km/h

lässt sich die ausgeglichene Geschwindigkeit in einem Bogen errechnen. Das ist jene Geschwindigkeit bei der keine unausgeglichene Seitenbeschleunigung auftritt.

Für die Gegenüberstellung der Häufigkeiten wurden nur Vorbeifahrten ohne Regen herangezogen. In Abb. 5-33 sind für die Messkampagne 1 die Fahrten der Kategorie S4020 in drei Geschwindigkeitsbereiche eingeteilt worden. Der Bereich 39 km/h (± 5 km/h) ist jener Geschwindigkeitsbereich bei dem im Mittel eine ausgeglichene Geschwindigkeit

erreicht wird. Bei den Vorbeifahrten im Geschwindigkeitsbereich 50 km/h und 60 km/h drücken die bei der Bogendurchfahrt herrschenden Kräfte auf die Außenschiene. Um Einflüsse aufgrund unterschiedlicher Temperatur zu minimieren wurden nur Vorbeifahrten mit einer Schienentemperatur von 0-10°C herangezogen. Vergleicht man die Häufigkeiten erkennt man, dass die tonalen Auffälligkeiten nahezu idente Häufigkeiten aufweisen, während die breitbandigen Auffälligkeiten mit zunehmender Last auf der Außenschiene ansteigen. Unter der Annahme, dass die breitbandigen Auffälligkeiten vornehmlich durch den Spurkranzanlauf auf der Außenschiene erzeugt werden, könnten die steigenden Häufigkeiten auf die erhöhten Kräfte mit welcher der Spurkranz auf die Flanke der Schiene drückt erklärt werden, während der Stick-Slip Effekt durch die Laständerung unverändert bleibt.

Vergleicht man jedoch die Häufigkeiten der Kategorie 80-33 ergibt sich ein vollkommen anderes Bild. Sowohl die tonalen als auch die breitbandigen Auffälligkeiten nehmen mit den Geschwindigkeiten, größer der ausgeglichenen Geschwindigkeit, ab. Während die Reduktion der Häufigkeiten von 50 auf 60 km/h eher gering ist, liegen die Werte bei der ausgeglichenen Geschwindigkeit um bis zu 20% höher. Ein möglicher Grund ist die zu geringe Anzahl an Zügen welche im Geschwindigkeitsbereich 39 km/h erfasst wurden. Bei dieser Kategorie sind dies lediglich 29 Vorbeifahrten, während bei der Kategorie S4020 92 Vorbeifahren erfasst werden konnten. Lässt man diesen Geschwindigkeitsbereich deshalb unberücksichtigt, kann man bei dieser Kategorie von einer konstanten Häufigkeit bzw. ein leichter Reduktion durch die erhöhte Geschwindigkeit ausgehen.

Um auch einen Überblick über das Verhalten bei Geschwindigkeiten kleiner der ausgeglichenen Geschwindigkeit zu erhalten, wurden auch die Vorbeifahrten der Kategorie Güterzug untersucht. In Abb. 5-33 (unten, links) sind die Häufigkeiten für den Geschwindigkeitsbereich 39 km/h und 29 km/h dargestellt. Man erkennt, dass die Häufigkeit der breitbandigen Auffälligkeiten bei der ausgeglichenen Geschwindigkeit etwas niedriger liegt als jene bei niedrigeren Geschwindigkeiten, während die tonalen Auffälligkeiten unverändert bleiben.

Vergleicht man die Häufigkeiten derselben Kategorien und Geschwindigkeiten bei Temperaturen von 10-20°C ergibt sich ein komplett anderes Bild (siehe Abb. 5-34). So kommt es hier etwa bei der Kategorie 4020 bei den tonalen Auffälligkeiten zu einer Reduktion mit höheren Geschwindigkeiten während die breitbandigen Auffälligkeiten konstant bleiben. Die in Anhang C.1 dargestellten Häufigkeiten der Einzelachsen ergeben ein ähnliches Bild.

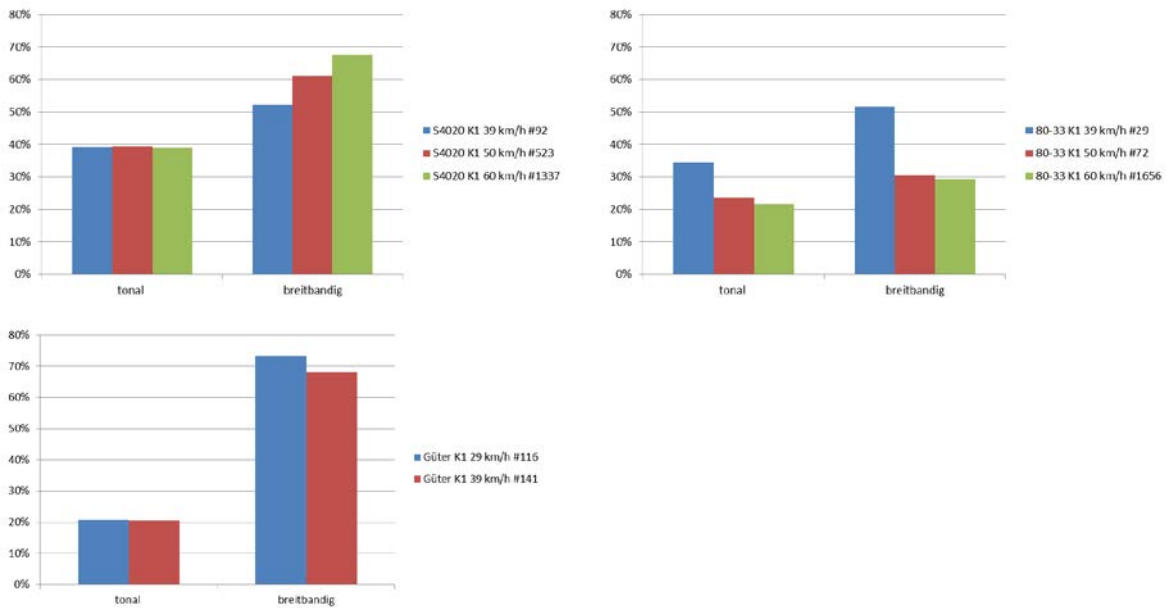


Abb. 5-33: relative Häufigkeiten von Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Temperaturbereich 0-10°C, Kategorie S4020 (oben links), Kategorie 80-33 (oben rechts), Kategorie Güterzug (unten links)

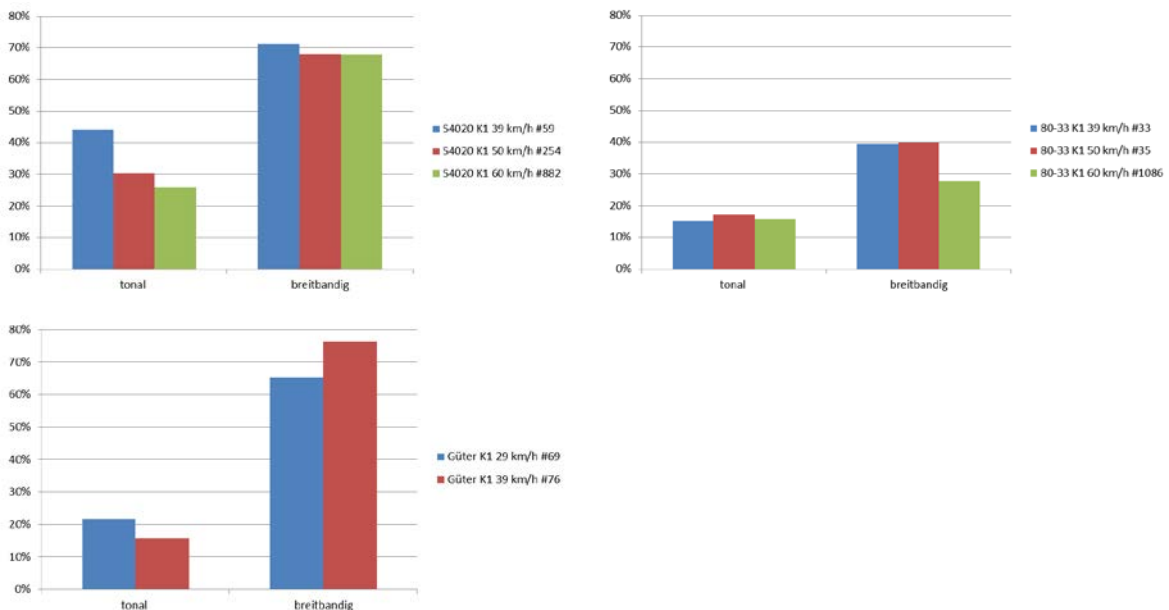


Abb. 5-34: relative Häufigkeiten von Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Temperaturbereich 10-20°C, Kategorie S4020 (oben links), Kategorie 80-33 (oben rechts), Kategorie Güterzug (unten links)

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass aufgrund der vorliegenden Daten zwar ein Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der Häufigkeit des Auftretens von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ermittelt werden konnte, dieses Verhalten jedoch stark temperaturabhängig ist und bei unterschiedlicher Schienentemperatur zum

Teil entgegengesetzte Tendenzen zeigt. Trotz der hohen Anzahl an Vorbeifahrten ist aufgrund der geringen Anzahl in bestimmten Geschwindigkeitsbereichen und bei eingegrenzten Schientemperaturen eine eindeutige Betrachtung dieses Einflussfaktors nur schwer möglich.

5.4. Schienenkopfconditionierung

Schienenkopfconditionieranlagen sollen mit dem eingesetzten Friktionsmittel eine Schutzschicht zwischen Schienenkopf und Radlauffläche bilden, den Reibungskoeffizienten am Schienenkopf reduzieren und so tonale quietschende Geräusche bei der Bogenfahrt verhindern. Im Unterschied zur Flanke ist es bei der „Applizierung“ am Schienenkopf jedoch notwendig, die Menge des Conditioniermittels so zu dosieren, dass ein sicheres Bremsverhalten der Schienenfahrzeuge noch immer gewährleistet ist. Dementsprechend unterscheidet sich das bei der Kopfkonditionierung eingesetzte Mittel von jenem der Flankenschmierung: während für die Flankenschmierung Schmierfett genutzt wird, muss für die Kopfkonditionierung ein speziell für diese Zwecke entwickeltes Kopfkonditioniermittel (Friktionsmittel) eingesetzt werden.

Im Zuge dieses Projektes wurde sowohl bei Kampagne 1 als auch bei Kampagne 2 eine temporäre Schienenkopfconditionieranlage der Firma HY-POWER von deren Mitarbeitern im Gleis 1 montiert und in Betrieb genommen. Abb. 5-35 zeigt die installierten Schmierleisten an den zwei Messstellen. Die Anlage ist mit einem Körperschallsensor ausgestattet, der die vorbeifahrenden Züge registriert. Bei beiden Messkampagnen wurde vor jedem zweiten Zug in zwei Schritten konditioniert:

1. Nach der Registrierung eines Zugs wird Friktionsmittel aus einem Vorratsbehälter, durch die Hydraulikleitungen zu den Applikatoren gepumpt und auf diesen bereit gestellt
2. Nachdem ein weiterer Zug registriert wurde, wird das bereitgestellte Mittel über das Gebläse der Leisten auf den Schienenkopf gedrückt, noch bevor dieser die Conditionieranlage passiert

Nach dem Konditioniervorgang befinden sich pro Leiste vier zungenartige Streifen (ca. 20 mm breit) quer zur Fahrrichtung am Schienenkopf, welche der vorbeifahrende Zug mit seinen Rädern im Bogen verteilt.

Im Zuge der Messkampagne 1 wurde am 18.06.2014 auf Gleis 1 etwa 250 m vor dem Messquerschnitt eine Anlage mit zwei Conditionierleisten an der Bogeninnenschiene



Abb. 5-35: Installierte Schmierleisten für die Schienenkopfkonditionierung während der Messkampagne 1, Kleinschwechat/S7

montiert. Am 24.06.2014 erfolgte die Installation von zwei weiteren Konditionierleisten auf der Außenschiene. Am 03.07.2014 wurde die gesamte Anlage wieder abgebaut.

Bereits bei der ersten Besichtigung, die eine Woche nach der Inbetriebnahme stattfand, wurden Unregelmäßigkeiten festgestellt. Beide an der Innenschiene montierten Leisten wurden durch die Erschütterungen der vorbeifahrenden Züge gelockert und von der Schiene weggedrückt. Dadurch fand keine bzw. zu geringe Applikation des Konditioniermittels am Schienenkopf statt. Fast das gesamte Mittel wurde bei der Besichtigung in der dafür montierten Auffangtasse unter der Leiste gefunden. Die Ergebnisse der Konditionierung mit nur zwei Leisten auf der Innenschiene wurden aufgrund der fehlenden Information darüber, wann die Leistenhalterung nachgab und das Mittel nicht mehr am Schienenkopf appliziert wurde, nicht berücksichtigt.

Für den Vergleich der Ergebnisse wurden daher nur die Vorbeifahrten vom 24.06.2014 bis 03.07.2014 als Vorbeifahrten mit aktivierter Konditionieranlage herangezogen. Bei einem weiteren Kontrollgang am 27.06.2014 wurde jedoch ein ähnliches Verhalten auch bei den anderen beiden Leisten auf dem Außenstrang festgestellt. Eine ordnungsgemäße Applizierung des Mittels kann daher auch für die im Folgenden untersuchte Phase nicht sichergestellt werden.

Zur Ermittlung der akustischen Wirkung der Schienenkopfkonditionierung wurden die Schallemissionen während der Phase mit deaktivierter Schienenkopfkonditionieranlage mit den Emissionen eines 15-tägigen Zeitbereichs unmittelbar vor der Installation der Anlage verglichen. Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse (siehe Abb. 5-36 bis Abb. 5-43) zeigt sich, dass bei allen untersuchten Kategorien keine maßgeblichen Veränderungen zwischen der Phase mit aktivierter und deaktivierter Konditionierung festgestellt werden konnten. Dies deutet darauf hin, dass auch in dieser Phase die

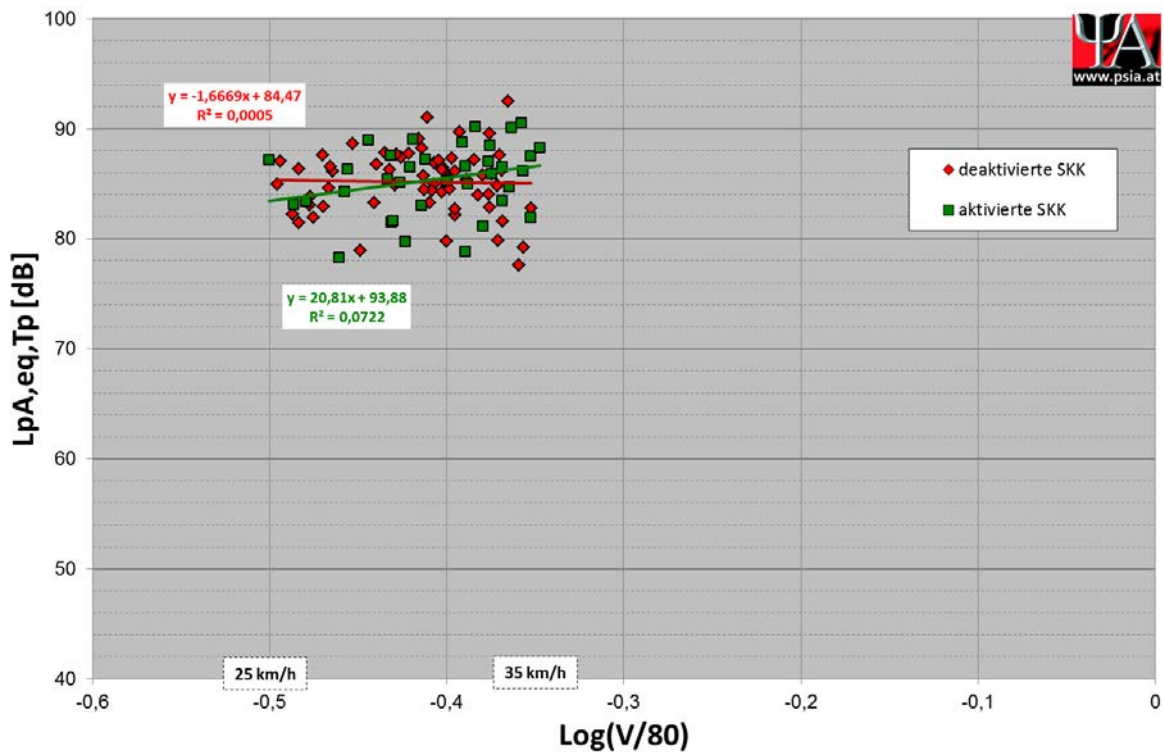


Abb. 5-36: Vergleich der A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach Aktivierung der Schienenkopfkonditionieranlage der Kategorie Güterzug für den Geschwindigkeitsbereich 30 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

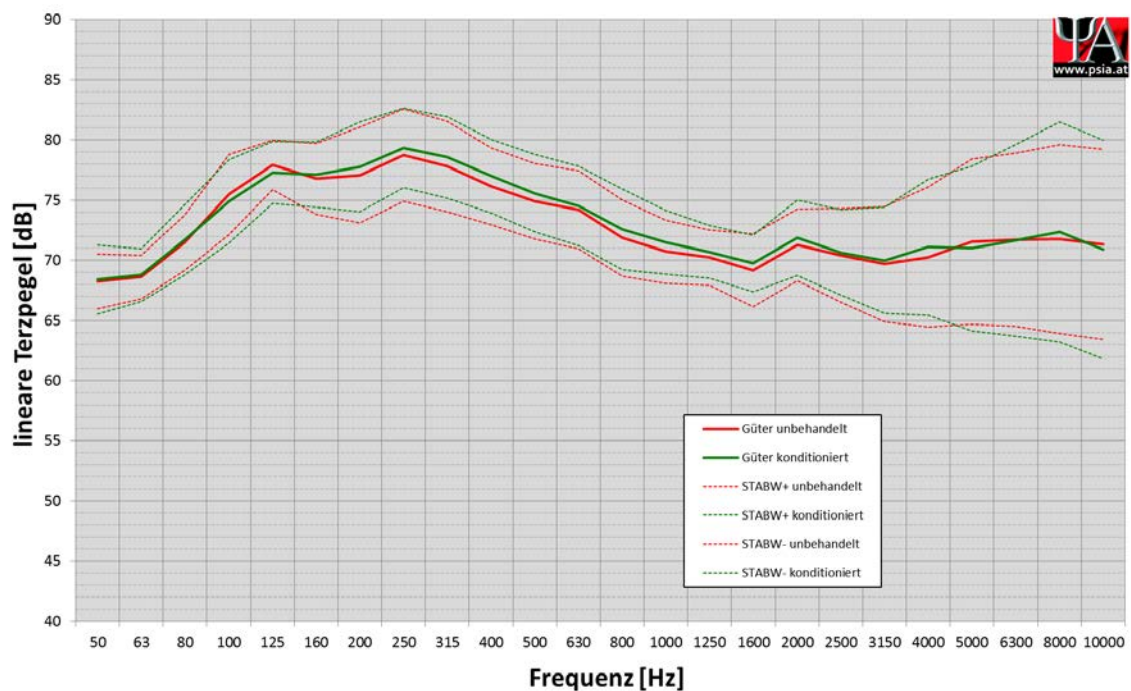


Abb. 5-37: Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (+ Standardabweichung) vor und nach Aktivierung der Schienenkopfkonditionieranlage der Kategorie Güterzug für den Geschwindigkeitsbereich 30 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

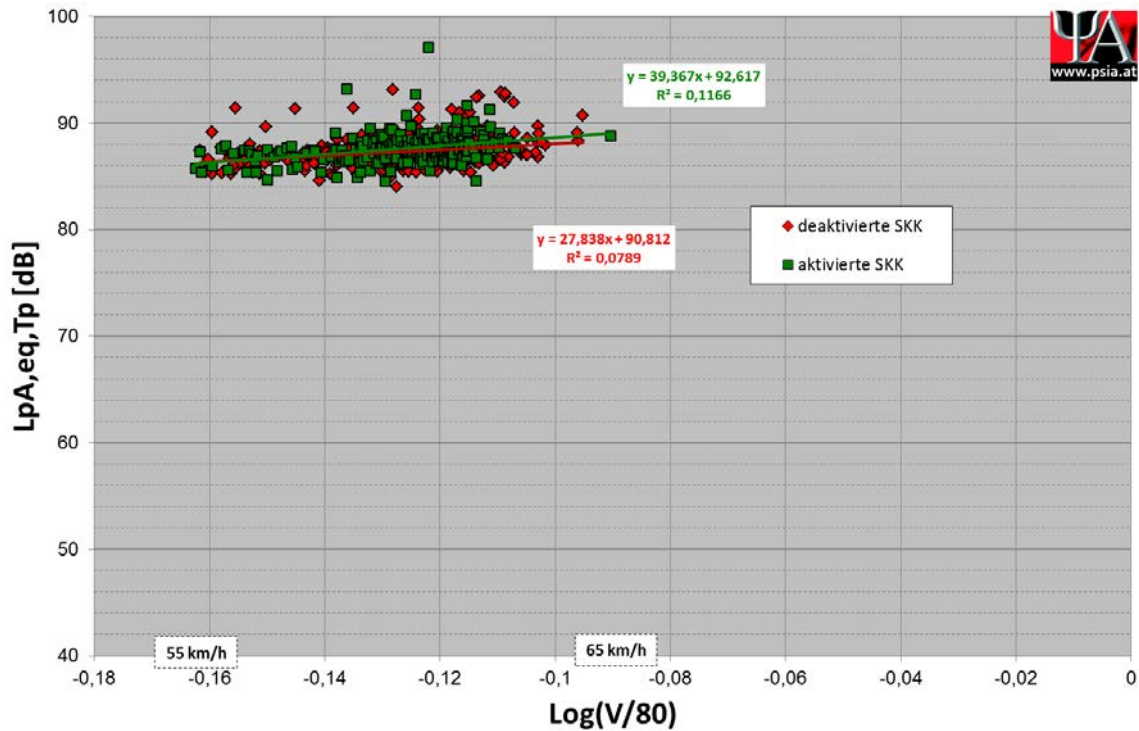


Abb. 5-38: Vergleich der A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach Aktivierung der Schienenkopfconditionieranlage der Kategorie S4020 für den Geschwindigkeitsbereich 60 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

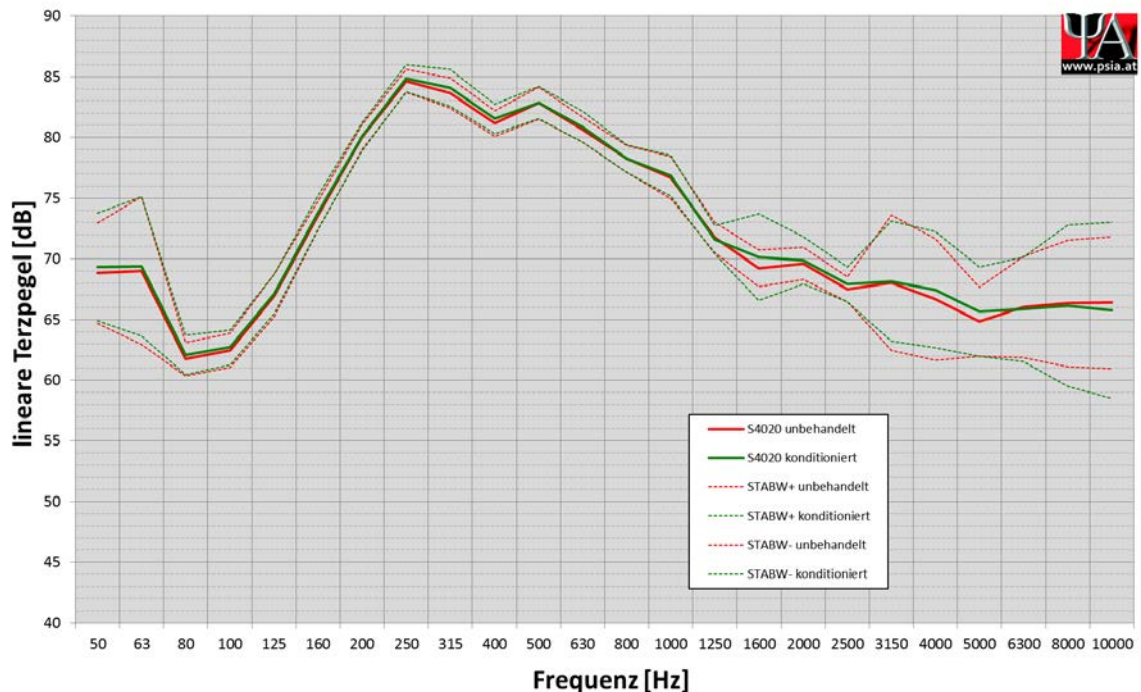


Abb. 5-39: Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (+ Standardabweichung) vor und nach Aktivierung der Schienenkopfconditionieranlage der Kategorie S4020 für den Geschwindigkeitsbereich 60 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

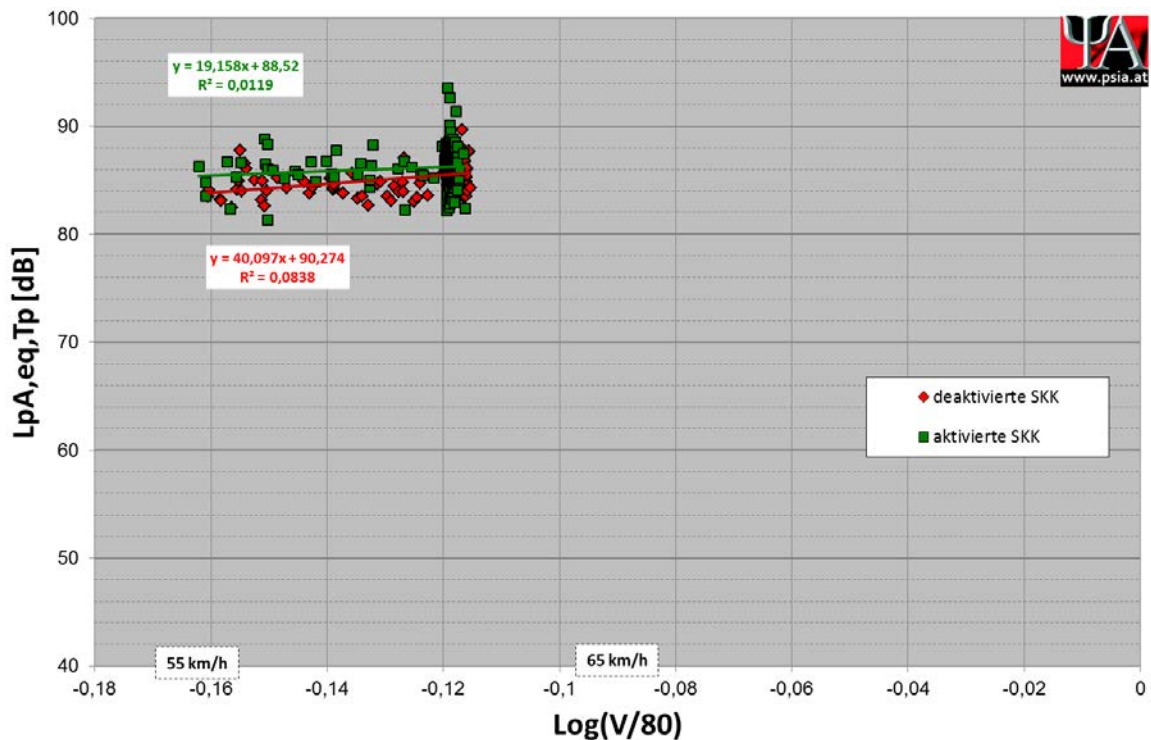


Abb. 5-40: Vergleich der A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach Aktivierung der Schienenkopfkonditionieranlage der Kategorie 80-33 für den Geschwindigkeitsbereich 60 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

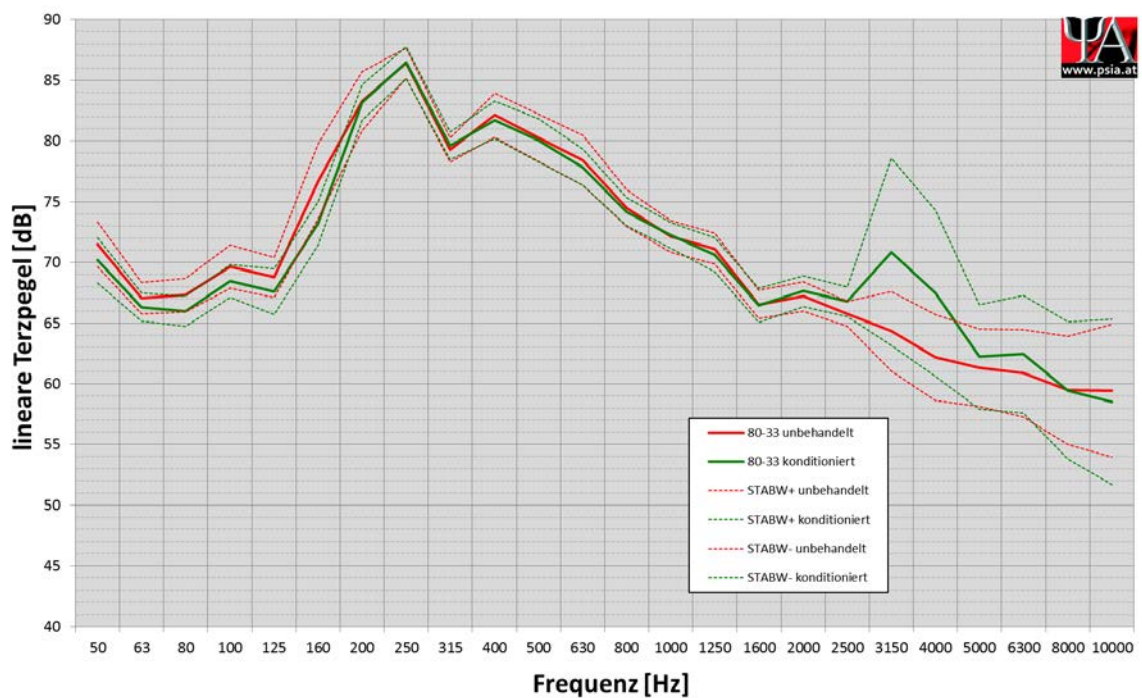


Abb. 5-41: Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (+ Standardabweichung) vor und nach Aktivierung der Schienenkopfkonditionieranlage der Kategorie 80-33 für den Geschwindigkeitsbereich 60 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

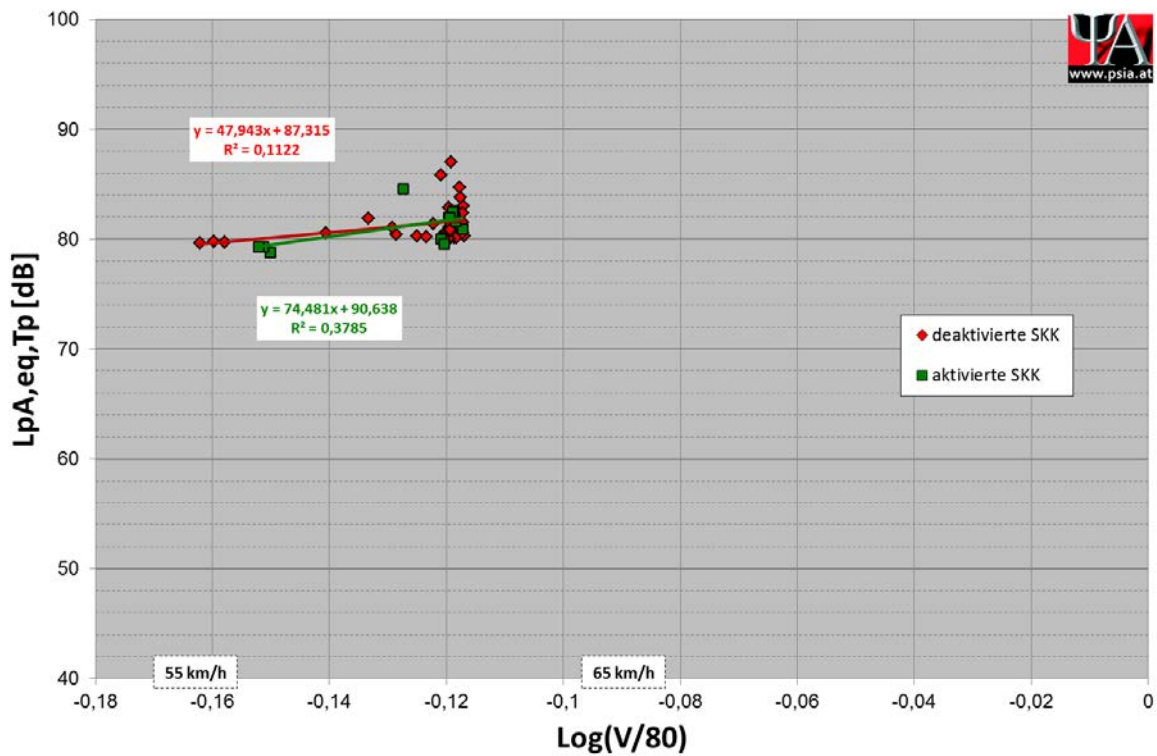


Abb. 5-42: Vergleich der A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach Aktivierung der Schienenkopfkonditionieranlage der Kategorie S4024 für den Geschwindigkeitsbereich 60 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

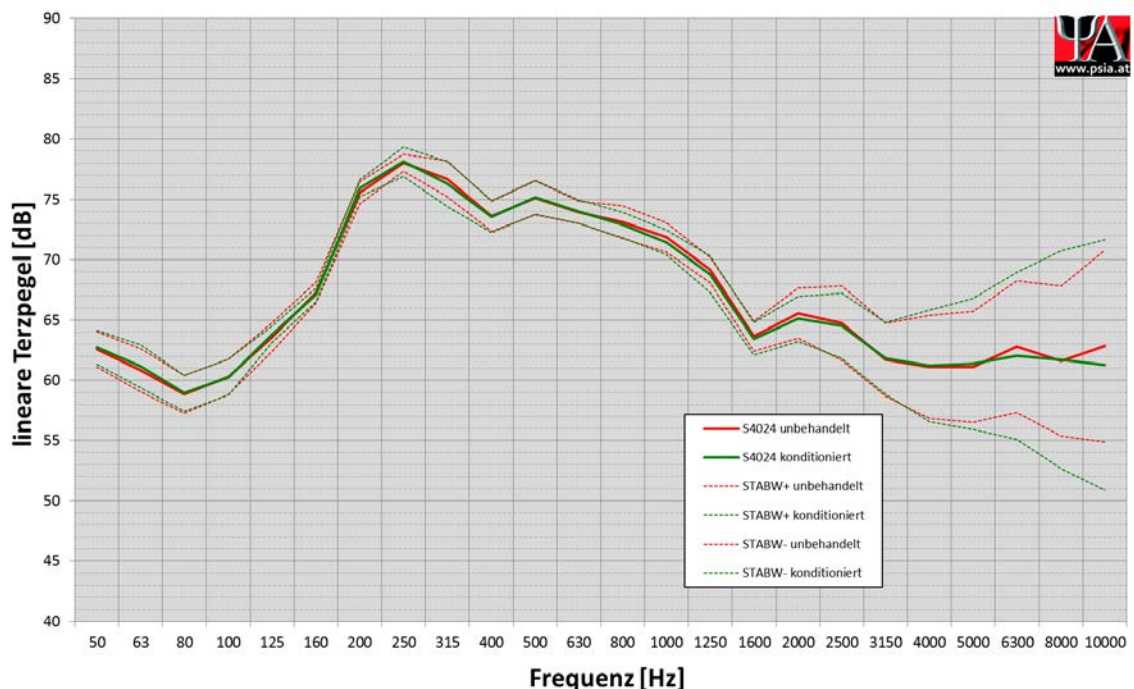


Abb. 5-43: Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (+ Standardabweichung) vor und nach Aktivierung der Schienenkopfkonditionieranlage der Kategorie S4024 für den Geschwindigkeitsbereich 60 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

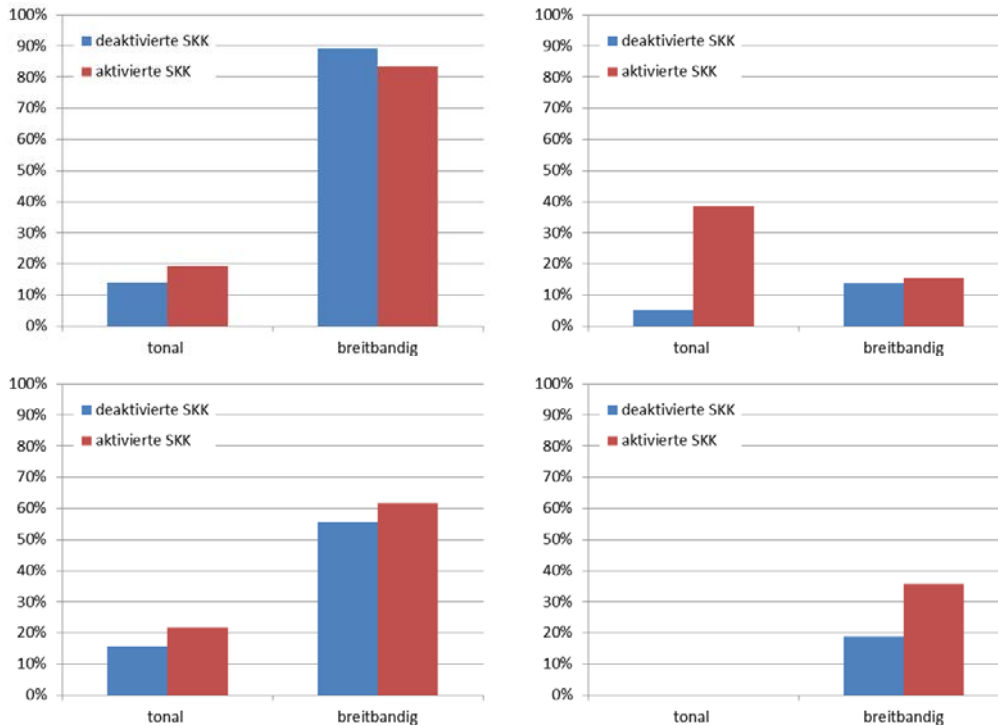


Abb. 5-44: Vergleich der relativen Häufigkeiten von Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten vor und nach aktivierter Schienenkopfkonditionierung für die Kategorien Güter (oben, links), 80-33 (oben, rechts), S4020 (unten, links) und S4024 (unten, rechts): die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

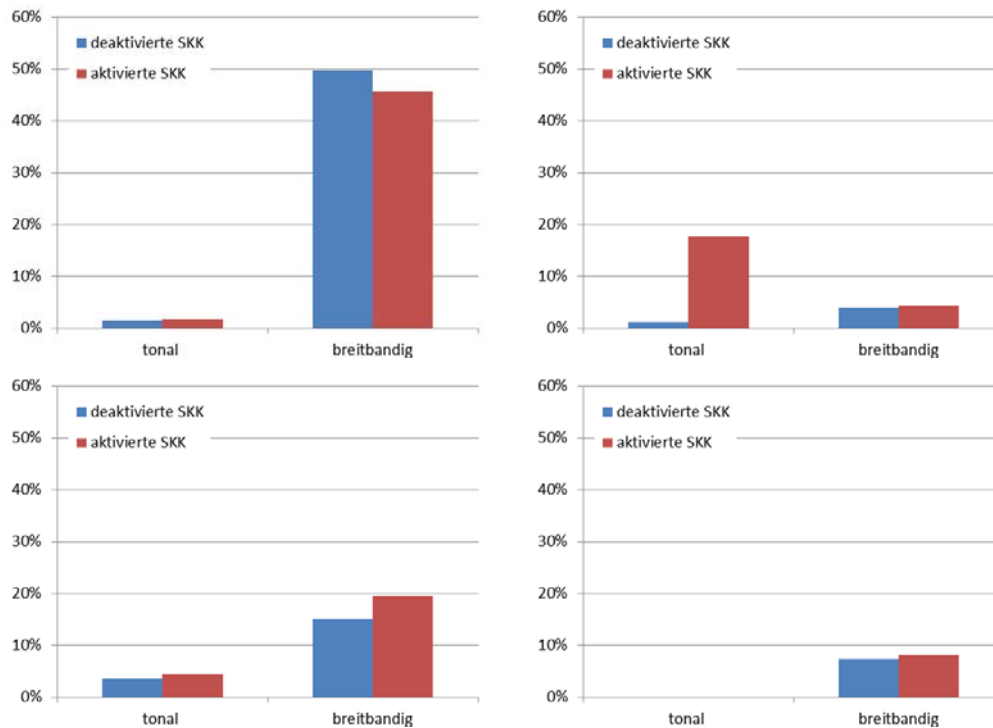


Abb. 5-45: Vergleich der relativen Häufigkeiten von Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten vor und nach aktivierter Schienenkopfkonditionierung für die Kategorien Güter (oben, links), 80-33 (oben, rechts), S4020 (unten, links) und S4024 (unten, rechts): die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

Applizierung des Mittels am Schienenkopf zu gering war, um die erwartete Wirkung in den Schallemissionen herbeizuführen.

Bei der Kategorie 80-33 sind sogar geringfügige Erhöhungen in den A-bewerteten Vorbeifahrtspegel festzustellen. Vergleicht man die mittleren linearen Terzpegelspektren erkennt man bei dieser Kategorie, dass die Erhöhung maßgeblich bei den Frequenzen der tonalen Auffälligkeiten (3,15 kHz und 4 kHz) erkennbar ist. Hierbei ist jedoch davon auszugehen, dass aufgrund eines sehr variablen Verhaltens dieser Kategorie in Bezug auf die Häufigkeit des Auftretens tonaler Auffälligkeiten, die Konditionierung nicht als ursächlich für diesen Anstieg anzusehen ist.

Die Frequenzspektren der anderen Kategorien weisen nahezu identen Werte auf.

In der 2. Messkampagne wurde am 24.07.2015 eine Konditionieranlage mit je zwei Konditionierleisten pro Schiene am Messgleis installiert und in Betrieb genommen. In Abb. 5-46 bis Abb. 5-53 sind die Ergebnisse der Phase vor und nach Aktivierung der Anlage gegenübergestellt. Vorbeifahrten mit Regen wurden nicht berücksichtigt. Vergleicht man die A-bewerteten Vorbeifahrtspegel so erhält man ein ähnliches Bild wie bei der 1. Kampagne. Eine schallreduzierende Wirkung bei aktivierter Anlage ist nicht zu erkennen. Auch hier muss davon ausgegangen werden, dass es zu keiner Applizierung des Konditioniermittels am Schienenkopf gekommen sein muss. Für die Kategorie Güter ergeben sich im Mittel sogar Erhöhungen um bis zu 2 dB. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass unter den Güterfahrten dieser Kampagne deutlich leisere Wagen, welche vermutlich bereits mit K- bzw. LL-Sohle ausgestattet sind, erkennbar sind. Der Anteil der leiseren Wagen ist jedoch nicht gleichmäßig verteilt, wodurch vermutet wird, dass die erkennbare Differenz nicht auf den Einfluss der Schienenkonditionieranlage zurückzuführen ist. Bei den Kategorien S4024, 80-33 und RZ-mix sind die Ergebnisse der A-bewerteten Vorbeifahrtspegel nahezu ident. Vergleicht man jedoch die mittleren Terzpegelspektren dieser Kategorien erkennt man, dass bei aktivierter Konditionieranlage im Frequenzbereich >2 kHz durchwegs Pegelreduktionen sichtbar sind. Dieser Bereich ist auch jener der für die Erkennung der tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten relevant ist. Im Bereich <1 kHz sind hingegen leichte Erhöhungen der Terzpegel (Kat. 80-33, RZ-mix) bei aktivierter Anlage sichtbar, nur bei der Kategorie S4024 ist auch in diesem Bereich eine leichte Reduktion zu erkennen.

Betrachtet man die Häufigkeiten der Vorbeifahrten, bei welchen tonale oder breitbandige Auffälligkeiten (Abb. 5-54) auftraten, erkennt man bei allen Kategorien eine Reduktion der breitbandigen Auffälligkeiten. Bei den tonalen Auffälligkeiten sind jedoch keine

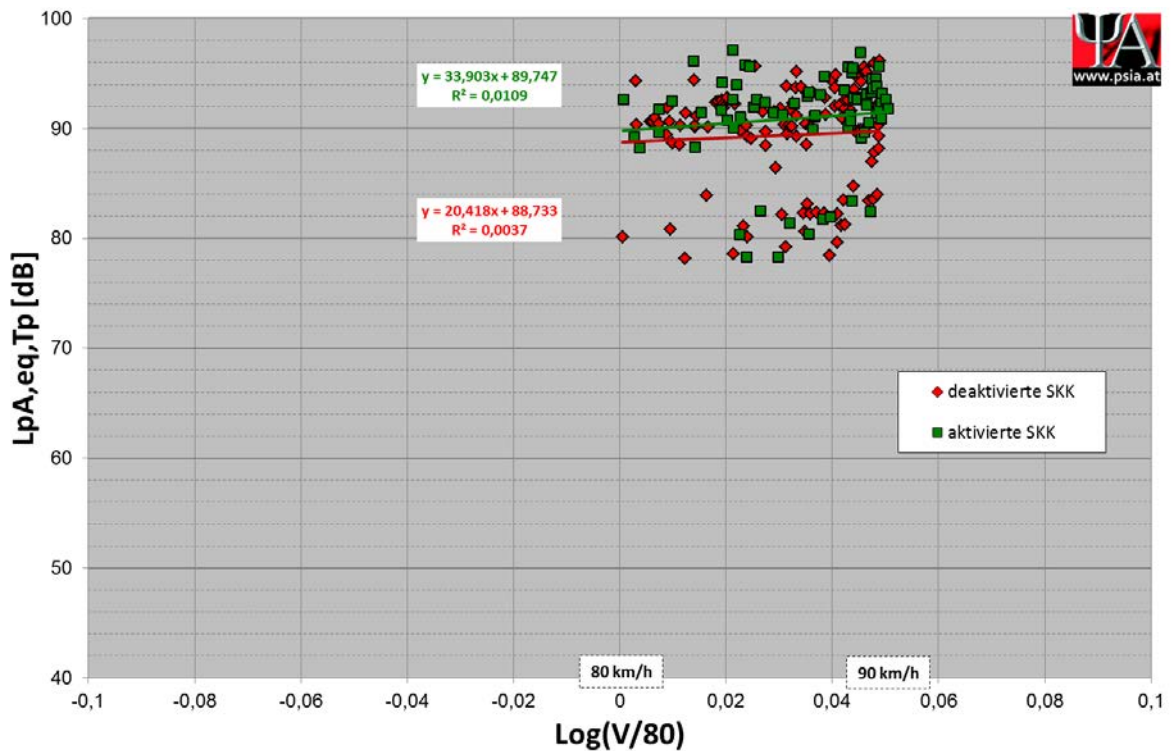


Abb. 5-46: Vergleich der A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach Aktivierung der Schienenkopfconditionieranlage der Kategorie Güterzug für den Geschwindigkeitsbereich 85 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

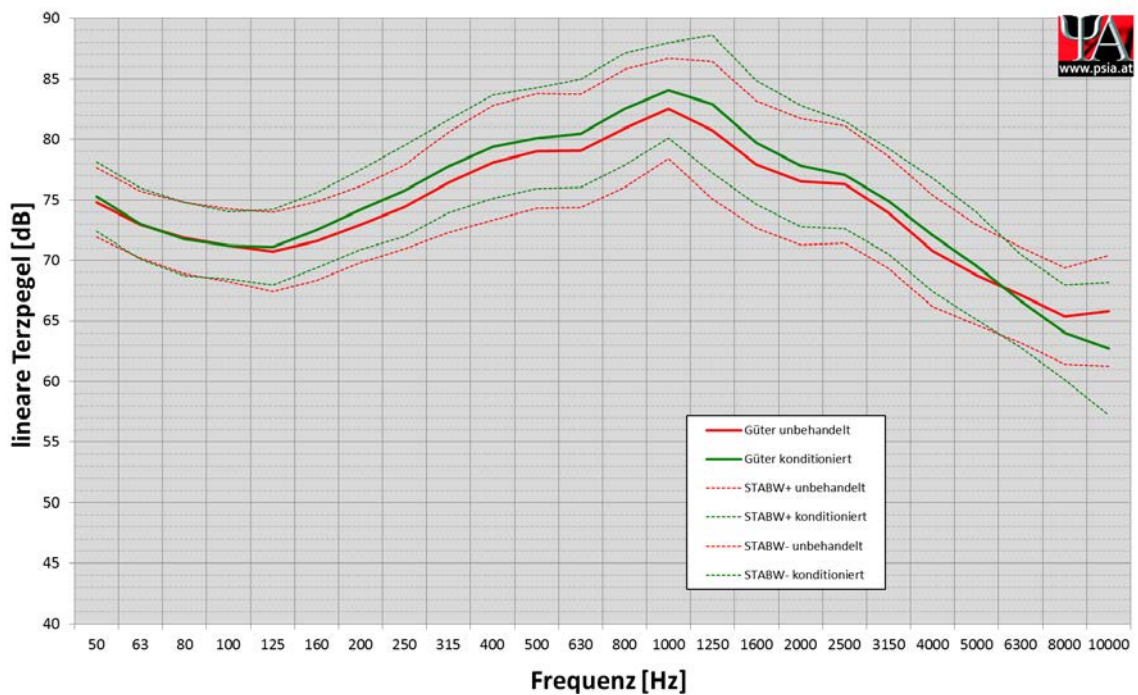


Abb. 5-47: Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (+ Standardabweichung) vor und nach Aktivierung der Schienenkopfconditionieranlage der Kategorie Güterzug für den Geschwindigkeitsbereich 85 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

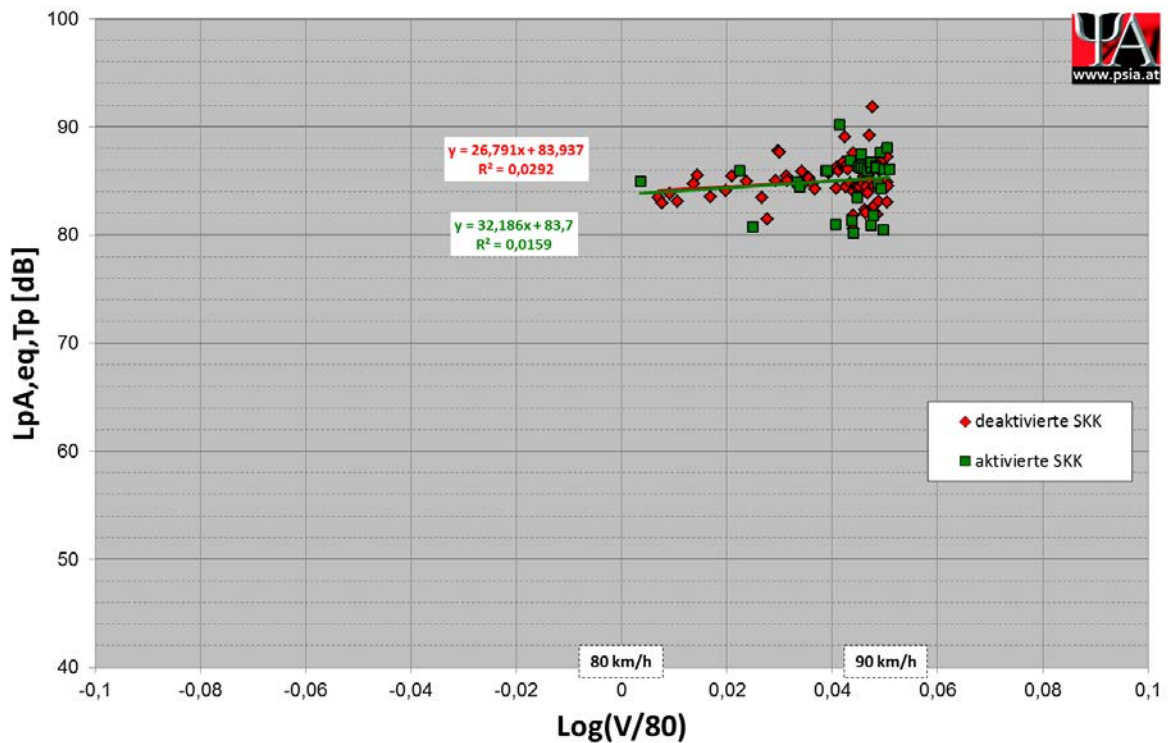


Abb. 5-48: Vergleich der A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach Aktivierung der Schienenkopfconditionieranlage der Kategorie RZ-mix für den Geschwindigkeitsbereich 85 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

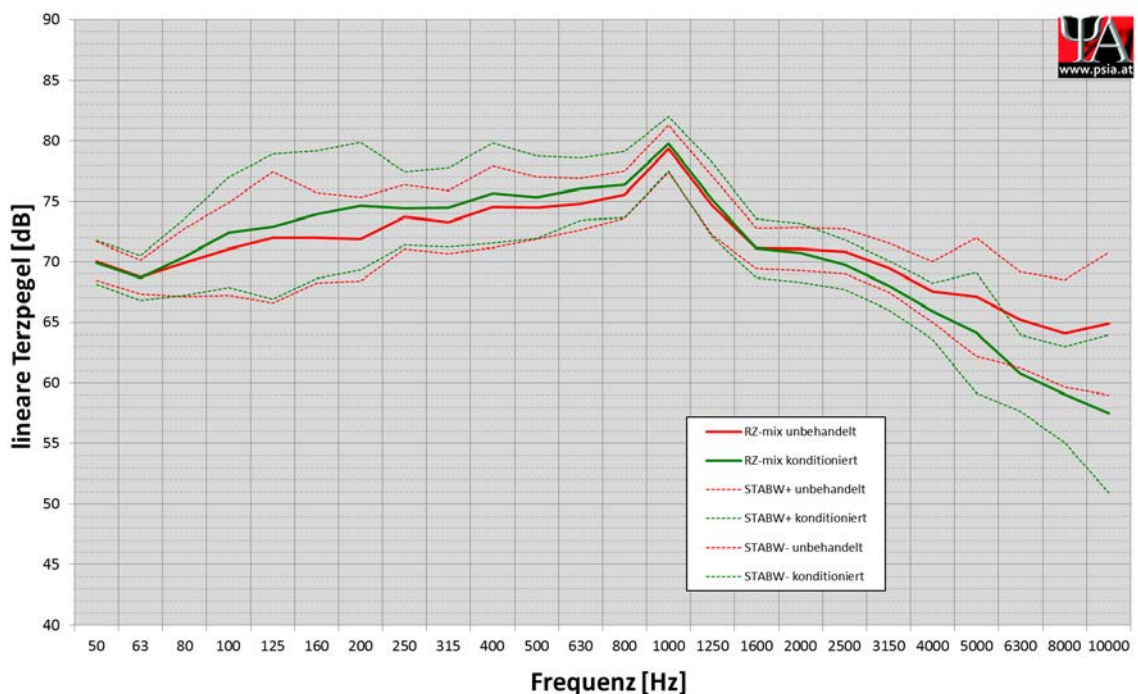


Abb. 5-49: Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (+ Standardabweichung) vor und nach Aktivierung der Schienenkopfconditionieranlage der Kategorie RZ-mix für den Geschwindigkeitsbereich 85 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

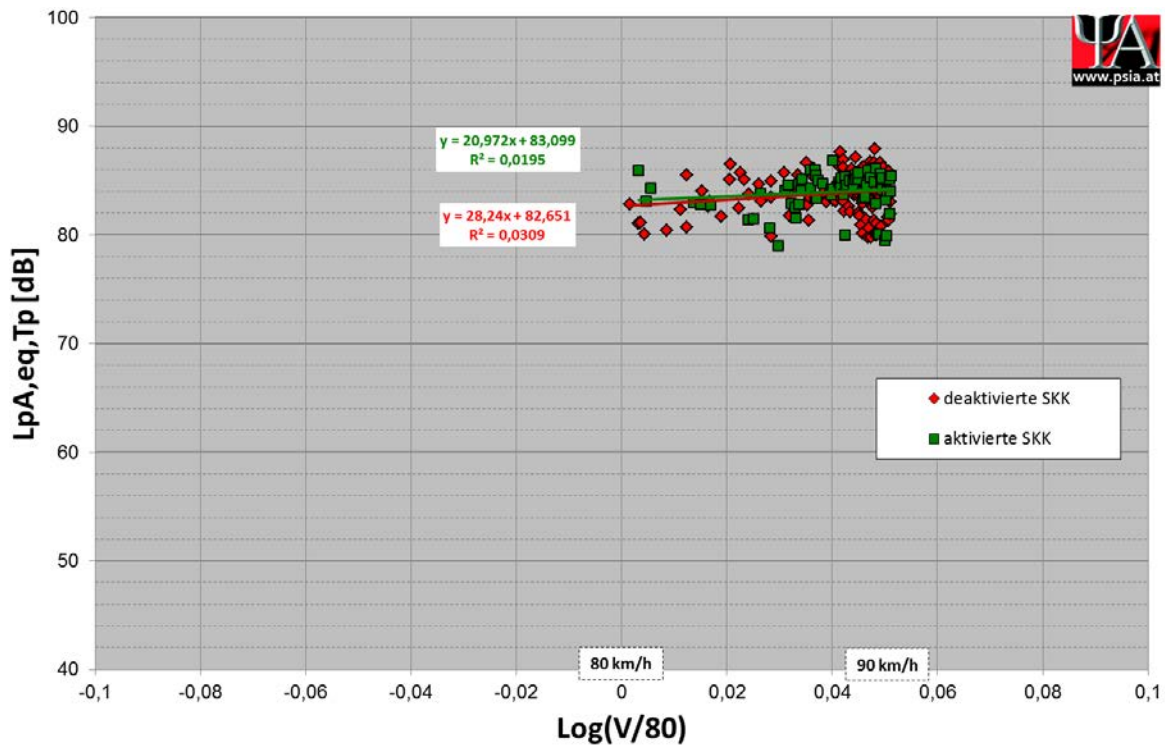


Abb. 5-50: Vergleich der A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach Aktivierung der Schienenkopfconditionieranlage der Kategorie 80-33 für den Geschwindigkeitsbereich 85 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

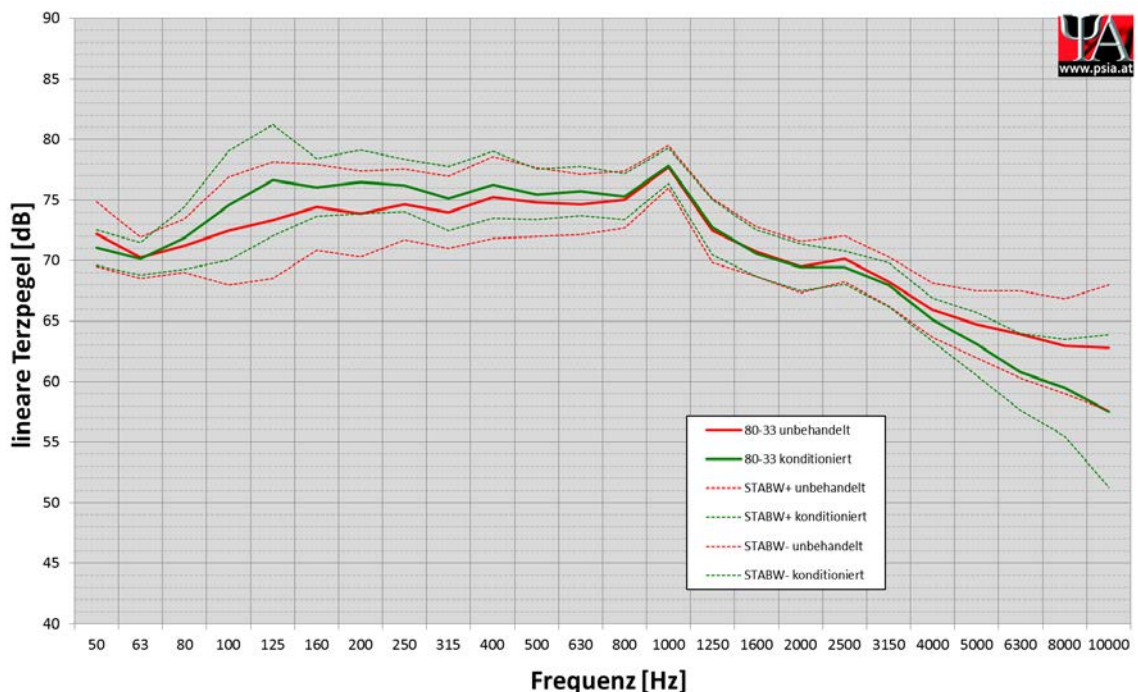


Abb. 5-51: Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (+ Standardabweichung) vor und nach Aktivierung der Schienenkopfconditionieranlage der Kategorie 80-33 für den Geschwindigkeitsbereich 85 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

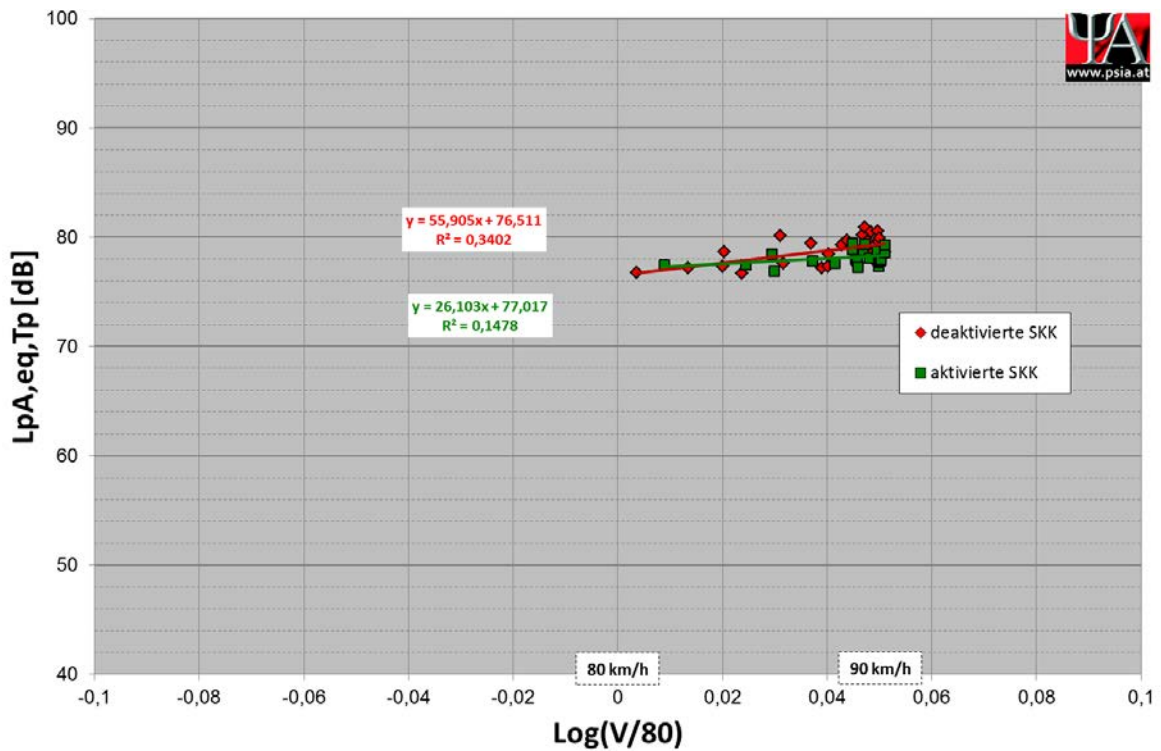


Abb. 5-52: Vergleich der A-bewerteten Vorbeifahrtpegel vor und nach Aktivierung der Schienenkopfkonditionieranlage der Kategorie S4024 für den Geschwindigkeitsbereich 85 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

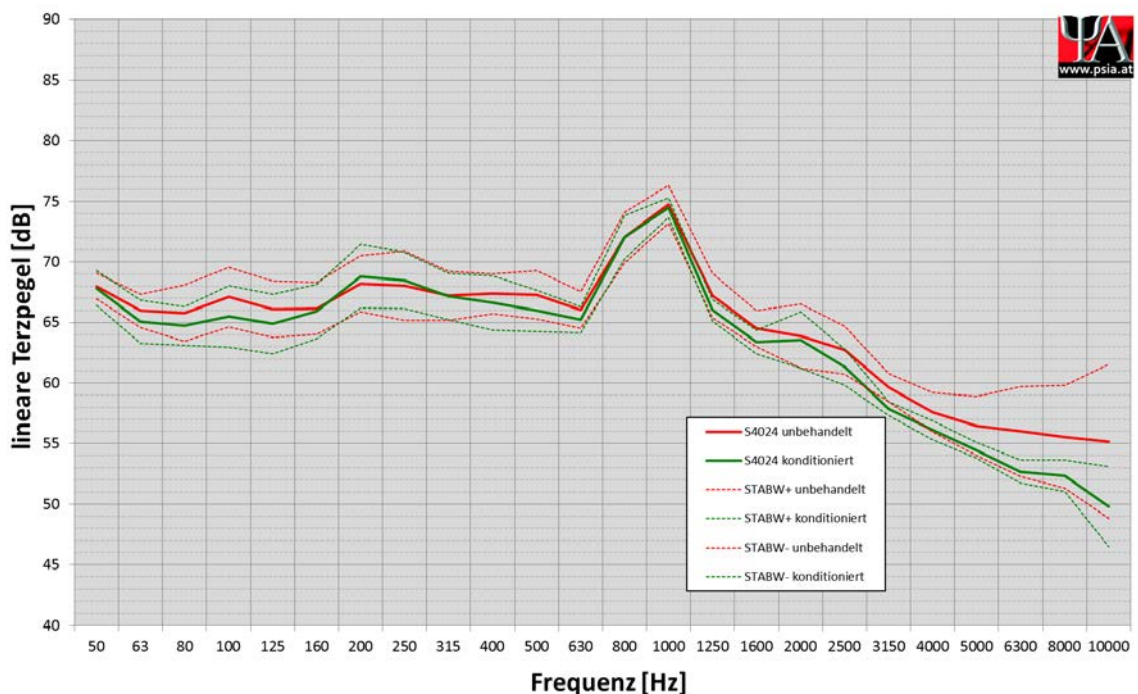


Abb. 5-53: Vergleich der mittleren linearen Terzpegelspektren (+ Standardabweichung) vor und nach Aktivierung der Schienenkopfkonditionieranlage der Kategorie S4024 für den Geschwindigkeitsbereich 85 ± 5 km/h: die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

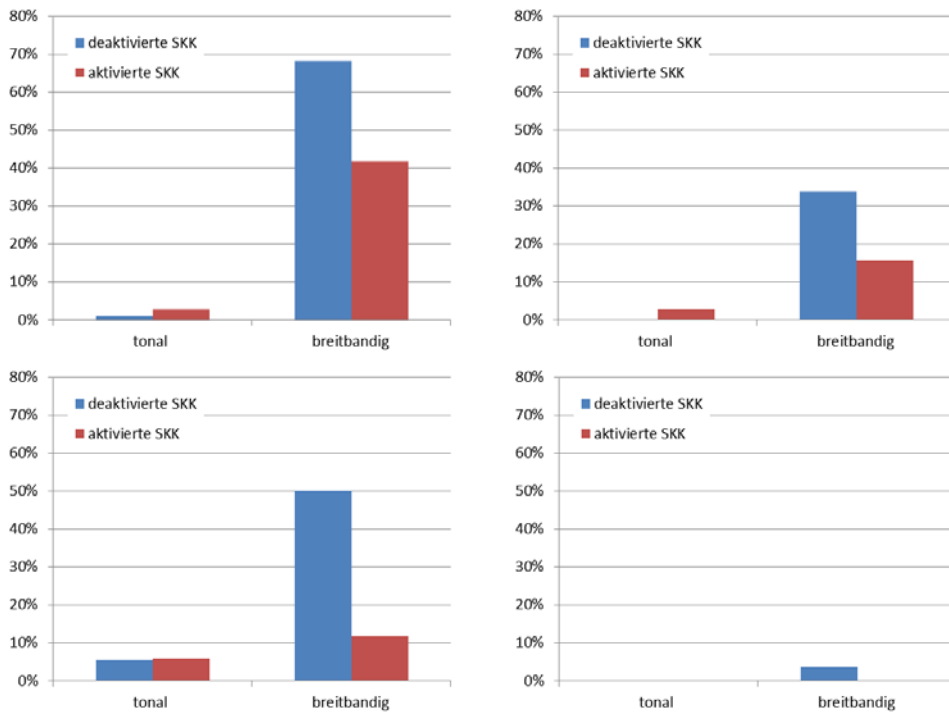


Abb. 5-54: Vergleich der relativen Häufigkeiten von Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten vor und nach aktivierter Schienenkopfconditionierung für die Kategorien Güterzug (oben, links), 80-33 (oben, rechts), RZ-mix (unten, links) und S4024 (unten, rechts): die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

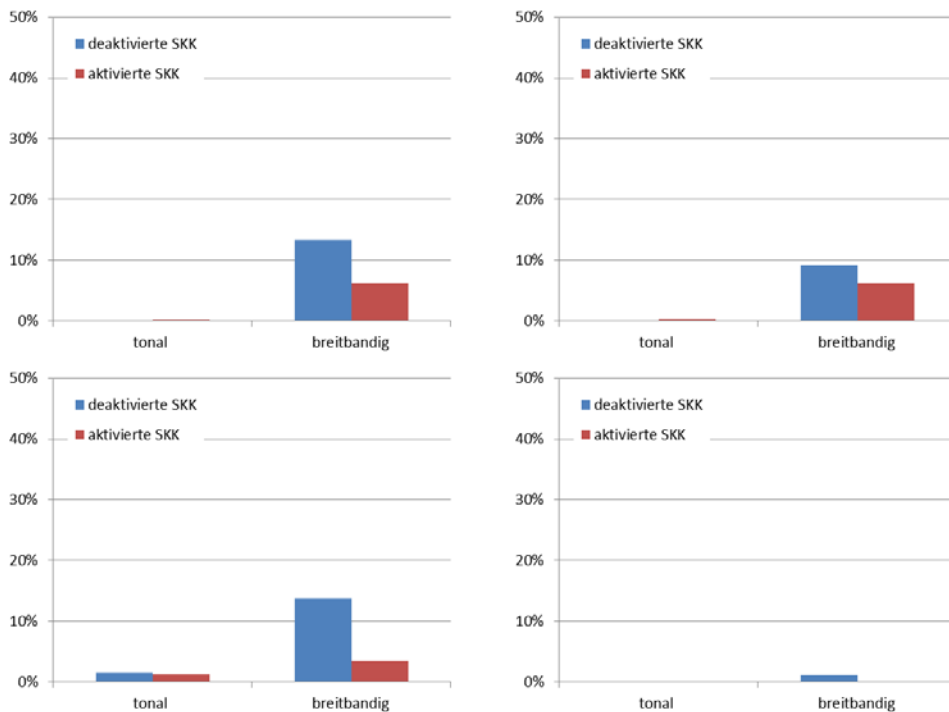


Abb. 5-55: Vergleich der relativen Häufigkeiten von Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten vor und nach aktivierter Schienenkopfconditionierung für die Kategorien Güterzug (oben, links), 80-33 (oben, rechts), RZ-mix (unten, links) und S4024 (unten, rechts): die Ergebnisse deuten auf keine oder zu geringe Applikation am Schienenkopf hin

Reduktionen feststellbar. Die Häufigkeiten sind an dieser Messstelle aufgrund des großen Bogenradius ($r = 440 \text{ m}$) jedoch generell sehr gering.

Sowohl in der Literatur (z.B. [7], [19]) als auch aus den praktischen Erfahrungen die von Seiten der Betreiber und Bewohner beim Einsatz solcher Anlagen gesammelt wurden ist davon auszugehen, dass durch den Einsatz von Schienenkopfkonditionieranlagen tonale Geräusche auf Grund des Stick-Slip Effektes in Häufigkeit und/oder Intensität zumindest verringert werden können. Auch die Reduktion der Absolutpegel konnte gemäß [20] für diese Maßnahme nachgewiesen werden.

Auf Grundlage der Daten, welche in diese diesem Projekt gesammelt wurden, ist jedoch eine Erhebung der Pegelreduktion durch die aufgetretenen Probleme bei eingesetzter Applikationsart nicht möglich.

Sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Messkampagne wurde die Konstruktion der Applizierleisten zu schwach ausgelegt. Durch die Vibration der vorbeifahrenden Züge wurden die Leisten von der Schiene wegbewegt und das gesamte von der Konditionieranlage zu den Leisten gepumpte Konditioniermittel fiel direkt in die Auffangtasse. Daher kann mit ziemlicher Sicherheit davon ausgegangen werden, dass sich kein Konditioniermittel auf dem Schienenkopf befunden hatte.

Die Firma HY-POWER hat dies zum Anlass genommen die gesamte Halterung der Leisten neu zu überdenken und zu modifizieren. Mit der nun weiterentwickelten und an die heutigen Bahn-Anforderungen angepassten Halterung wird nun die durch Erschütterungen hervorgerufene Lockerung der Leistenbefestigungen nicht mehr möglich. Als weiteres Merkmal wurde die gesamte Leiste so ausgelegt, dass sie auch von Zwei-Wegefahrzeugen überfahrbar und für Reinigungszwecke in drei Teile demontierbar ist. An den Kontaktpunkten zur Schiene wurde eine speziell für diese Einsatzzwecke entwickelte Moos-Gummi-Dichtung angebracht. Diese Dichtung hat die Aufgabe das gesamte Konditioniermittel, welches durch die Pumpe aus dem Vorratsbehälter angesaugt und über Zuleitungsschläuche zur Applizierleiste gebracht wurde, nicht wieder vom Schienenkopf abfließen zu lassen. Als Zusatznutzen entfällt in Zukunft die Auffangtasse als Bestandteil der Applizierleiste.

Da auf Grundlage der im Zuge des Projektes erfassten Daten keine Abschätzung über eine mögliche Reduktion der Korrekturfaktoren durch Schienenkopfkonditionierung für den Bogen erstellt werden kann, wird in Kap. 8.3.6 eine theoretische Abschätzung vorgenommen, mit dem eine wirksame Schienenkopfkonditionierung dennoch für die Berechnung von Korrekturfaktoren herangezogen werden kann.

5.5. Flankenschmierung

Unabhängig vom eigentlichen Projekt wurde im Bereich der Messanlage auf Gleis 2 eine Flankenschmieranlage installiert, welche vom 07.02.2014 bis 28.03.2014 in Betrieb war. Da die Grenzwerte des in Kap. 3.3 vorgestellten Algorithmus zur Erkennung von Auffälligkeiten nur für die Messposition M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK) empirisch ermittelt wurden, kann hier nur ein Vergleich der Absolutpegel erfolgen. In Abb. 5-56 bis Abb. 5-59 sind die Vorbeifahrtpegel der einzelnen Kategorien ohne Regen für den Temperaturbereich 0-20°C (Schientemperatur Gleis 1) auf Gleis 2 vor und nach der Aktivierung der Flankenschmierung einander gegenübergestellt. Aufgrund der weiteren Entfernung von Gleis 2 ergibt sich für die Mikrofonposition M1 ein Abstand von 12 m zur Gleisachse. Die Höhe von 1,2 m bleibt unverändert.

Bei allen Kategorien lässt sich eine Reduktion durch die Flankenschmierung feststellen. Um einen Einzahlwert für Pegelreduktion zu erhalten wurden zusätzlich alle Fahrten pro Kategorie und Zustand auf eine Geschwindigkeit von 60 km/h bezogen und arithmetisch gemittelt. Zudem wurde dieselbe Berechnung mit den gleichen Zeiträumen und Temperaturbereichen auch für Gleis 1 durchgeführt um einen Anhaltspunkt darüber zu erhalten, ob über den Zeitraum auch ohne Konditionierung eine Veränderung auftritt.

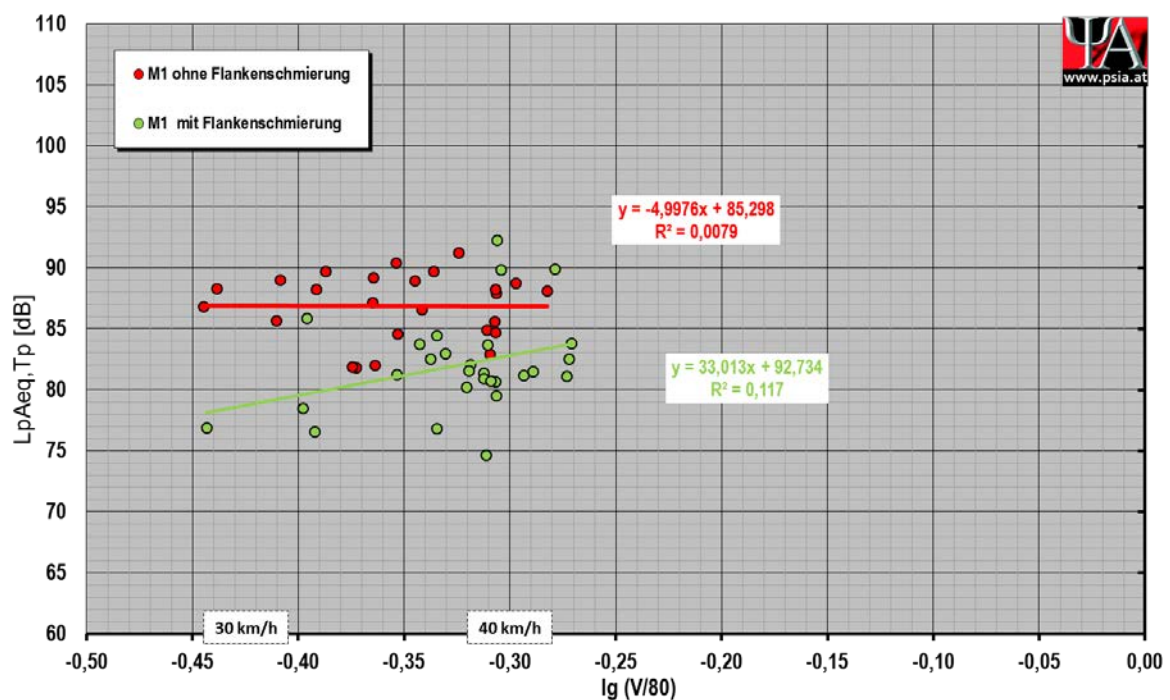


Abb. 5-56: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,TP}$ in M1 (11 m/1,2 m ü. SOK) Kategorie Güterzug auf Gleis 2 mit und ohne Flankenschmierung, 0-20°C (Schientemperatur); Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

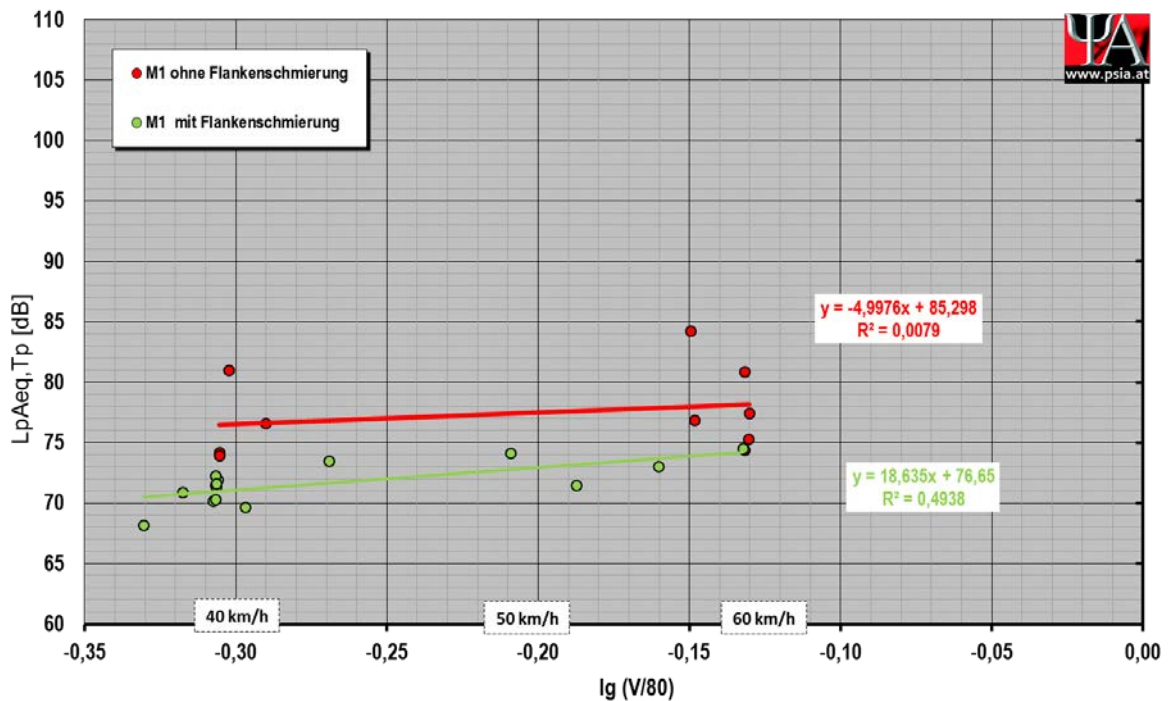


Abb. 5-57: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq, Tp}$ in M1 (11 m/1,2 m ü. SOK) Kategorie S4024 auf Gleis 2 mit und ohne Flankenschmierung, 0-20°C (Schientemperatur); Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

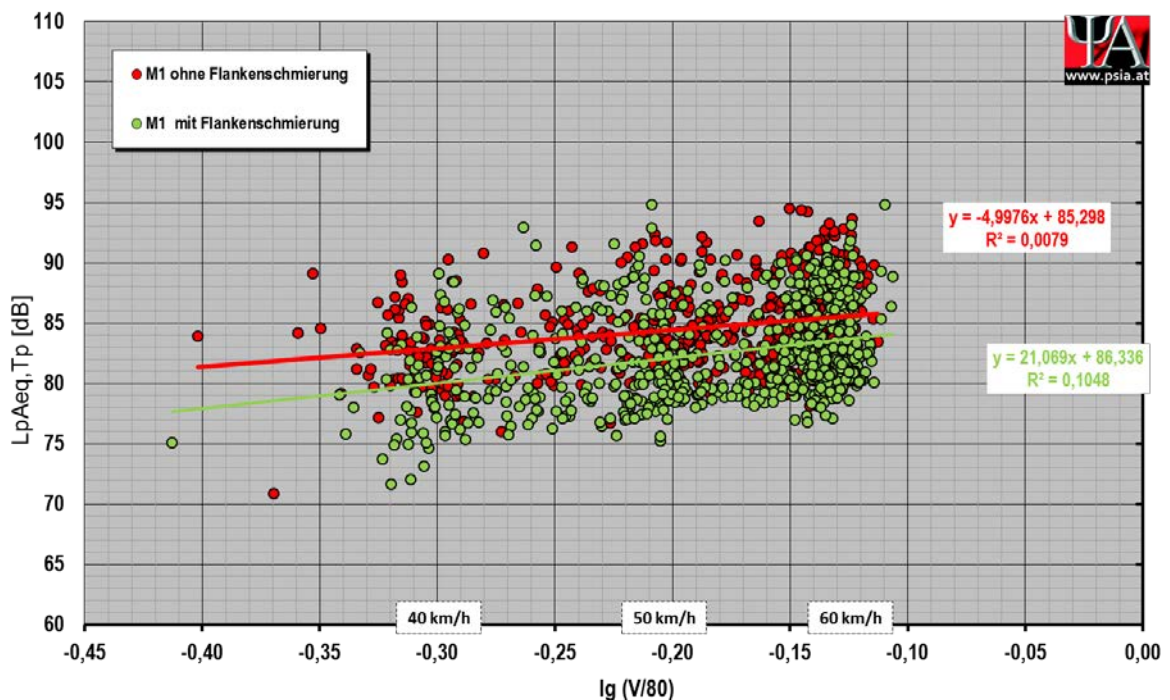


Abb. 5-58: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq, Tp}$ in M1 (11 m/1,2 m ü. SOK) Kategorie S4020 auf Gleis 2 mit und ohne Flankenschmierung, 0-20°C (Schientemperatur); Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

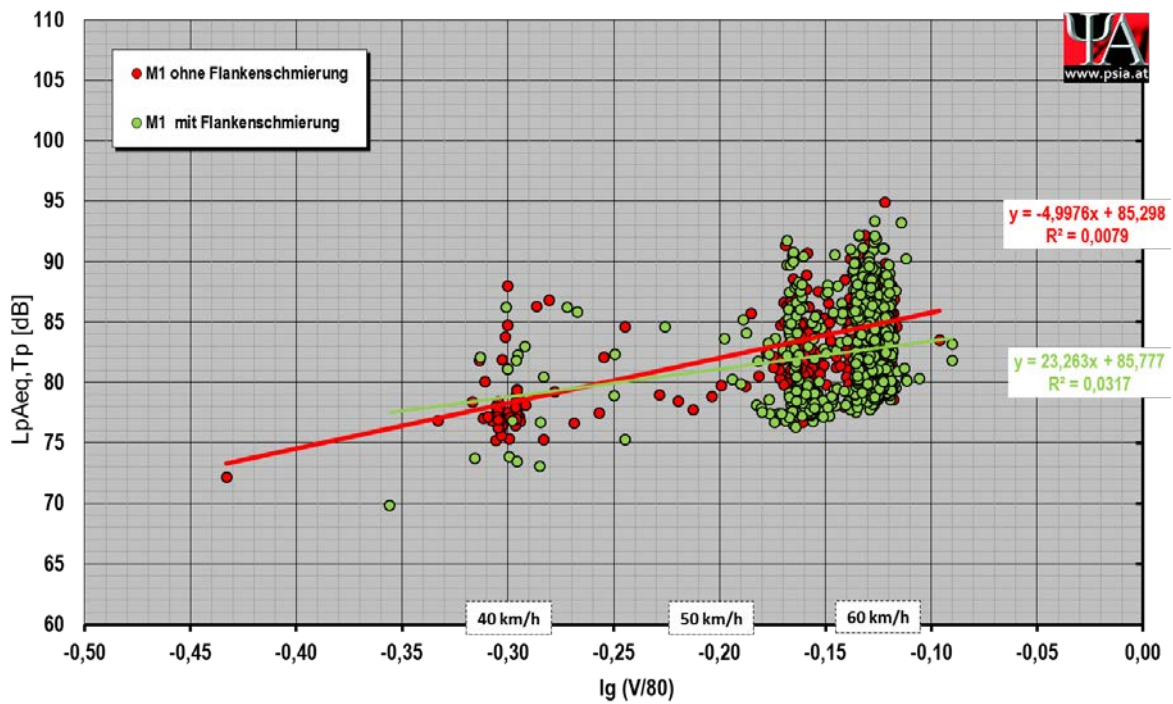


Abb. 5-59: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq, Tp}$ in M1 (11 m/1,2 m ü. SOK) Kategorie 80-33 auf Gleis 2 mit und ohne Flankenschmierung, 0-20°C (Schientemperatur); Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

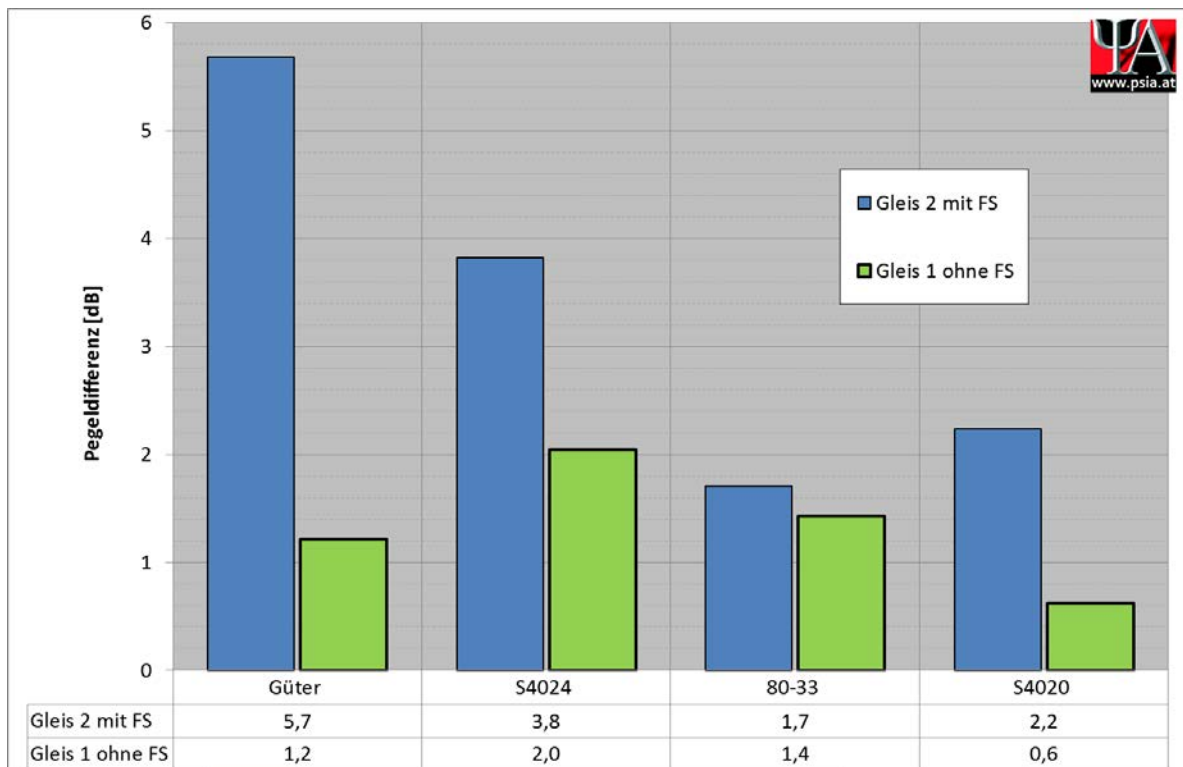


Abb. 5-60: Differenz der gemittelten auf 60 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel mit und ohne Flankenschmierung (FS) Gleis 2 sowie die Differenzen von Gleis 1 für denselben Zeitraum; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

Für die Gegenüberstellung der Pegelreduktionen wurden die Vorbeifahrtpegel der Einzelfahrten mit der Zahlenwertgleichung $L_p + 30 \log_{10}(V/60)$ auf 60km/h bezogen und anschließend arithmetisch gemittelt. Aus den Einzählwerten mit und ohne Flankenschmierung wurde anschließend die Pegelreduktion ermittelt.

Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung sind in Abb. 5-60 dargestellt. Da beim Vergleich von Gleis 1 in denselben Zeiträumen ohne Flankenschmierung ebenfalls Reduktionen der mittleren Vorbeifahrtpegel festgestellt wurden, sind diese ebenfalls im Diagramm angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Differenzen jeweils anhand der Daten von Messpunkt M1 berechnet wurden, welcher für Gleis 1 eine Entfernung von 7,5 m zur Gleisachse und für Gleis 2 eine Entfernung von 12 m zur Gleisachse aufweist.

5.6. Gleisabklingrate

Die Gleisabklingrate (TDR: track decay rate) wird in der TSI-NOISE [15] als Maßzahl für die Geräuschabstrahlung des Oberbaus verwendet. Die TDR beschreibt die Abnahme des Pegels der Schienenschwingungen pro Laufmeter Schiene [dB/m] in den einzelnen Terzbändern. Das bedeutet, je höher dieser Pegel wird, desto kürzer ist der Bereich der Schiene der durch die Schwingung angeregt wird - das heißt, sie strahlt weniger Schall ab und ist leiser. Die TDR gibt somit Aufschluss über die akustische Beschaffenheit des Gleises. Gemessen wird die vertikale und horizontale TDR durch Impulsanregung der Schienen des (unbelasteten) Gleises (Impulshammermethode). Gemäß TSI-NOISE ist ein Gleis bezüglich seines Schwingungsverhaltens (und damit auch bezüglich seines Geräuschabstrahlverhaltens) für die Durchführung einer Zulassungsmessung geeignet, wenn die gemessenen vertikalen und horizontalen Schwingungsabklingraten über den in Abb. 5-61 dargestellten Grenzlinien liegen.

Als Alternative zu der in der TSI-NOISE beschriebenen Methode (Impulsanregung der unbelasteten Schiene mittels eines Impulshammers) hat die holländischen Forschungsanstalt TNO das Softwarepaket PBA (pass by analysis) entwickelt, mit dessen Hilfe es möglich ist, neben der Transferfunktion und der Gesamtrauheit von Rad und Schiene auch die TDR des belasteten Gleises aus einzelnen Zugvorbeifahrten zu ermitteln. Die Software benötigt als Input für die Bestimmung der vertikalen und horizontalen TDR das Radsensorsignal (= Zeitsignal des Radsensors im Messquerschnitt), die Geschwindigkeit, sowie die vertikale bzw. horizontale Beschleunigung an der Schiene.

Während für die gerade Strecke eine gute Übereinstimmung der zwei Methoden nachgewiesen werden konnte, gibt es für Gleisbögen bisher keine Erkenntnisse. Auch

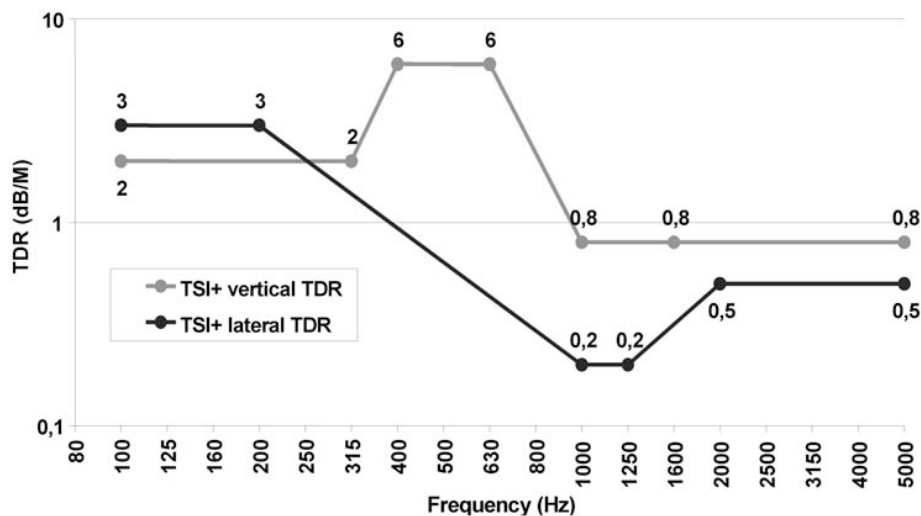


Abb. 5-61: Grenzwerte horizontaler und vertikaler Gleisabklingrate (Quelle: [15])

von Seiten des Herstellers des Software-Tools gibt es nur die Rückmeldung, dass die Software für die gerade Strecke ausgelegt wurde.

Um einen Anhaltspunkt für die Genauigkeit der Berechnungsmethode mittels PBA zu erhalten, wurde im Zuge der Messkampagne 2 in Eichgraben zusätzlich auch eine Messung mittels Impulshammermethode (AEIF-Methode) durchgeführt. In Abb. 5-62 (horizontale TDR) und Abb. 5-63 (vertikale TDR) sind jeweils für beide Schienen die Ergebnisse der PBA-Methode und der AEIF-Methode einander gegenübergestellt. Bei der horizontalen TDR im Bereich <800 Hz liegen die Werte von beiden Schienen auf ähnlichem Niveau. Ab 800 Hz zeigen sich jedoch deutliche Differenzen. Während die Werte der PBA Methode deutlich über den Grenzwerten gemäß TSI-Noise in diesem Bereich liegen, können die Ergebnisse der AEIF-Methode die Grenzwerte nicht einhalten. Beim Vergleich der vertikalen TDR ist die Übereinstimmung etwas besser, aber auch hier zeigen, vor allem bei der innenliegenden Schiene, die Werte im Bereich von 1,6 kHz - 3,15 kHz deutliche Differenzen. Während die Ergebnisse der PBA-Methode das Limit in diesem Bereich erfüllen, liegen die Ergebnisse der AEIF-Methode unter der Grenzkurve. Zusammengefasst kann also gesagt werden, dass die zwei Methoden deutliche Unterschiede im betrachteten Bogen aufweisen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass auch die Impulshammermethode und die in der TSI-NOISE festgelegten Grenzwerte eigentlich für die gerade Strecke festgelegt wurden. Ein prinzipieller Unterschied zwischen den zwei Methoden ist auch, dass bei der einen Methode das unbelastete Gleis erhoben wird, während bei der anderen Methode das belastete Gleis erfasst wird. Durch die Kraft, die über das Rad auf die Schiene wirkt, wird diese stärker an die Schwelle gekoppelt und

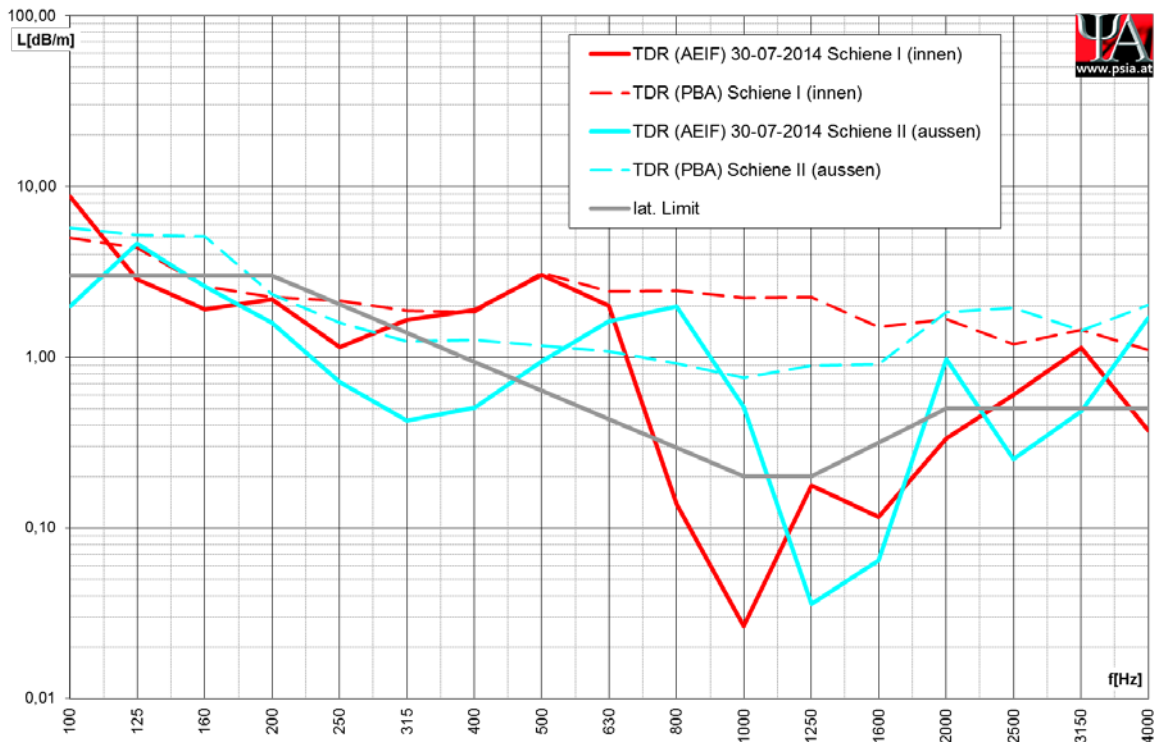


Abb. 5-62: horizontale Gleisabklingrate der bogeninnenliegenden Schiene (rot) und der bogenaußenliegenden Schiene (blau) mittels PBA-Methode (---) und AEIF-Methode (—) Messstelle 2, Eichgraben/Westbahn

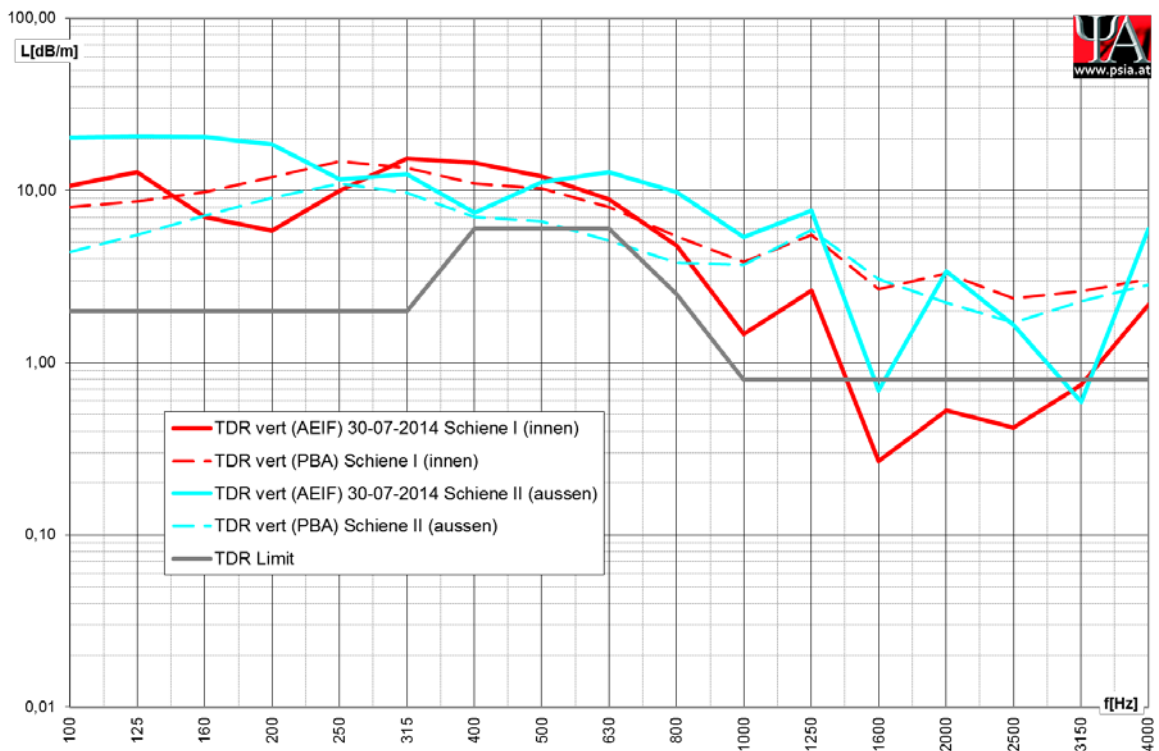


Abb. 5-63: vertikale Gleisabklingrate der bogeninnenliegenden Schiene (rot) und der bogenaußenliegenden Schiene (blau) mittels PBA-Methode (---) und AEIF-Methode (—) Messstelle 2, Eichgraben/Westbahn

es kommt zu einer Erhöhung der Zwischenlagensteifigkeit und dadurch in weiterer Folge auch zu einer erhöhten TDR. Durch das unterschiedliche Verhalten des Schienenfahrzeuges im Bogen und damit auch die unterschiedliche Verteilung der einwirkenden Kräfte im Gleis, kann die dadurch entstehende Differenz der zwei Methoden möglicherweise stärker ausfallen, als das im geraden Gleis der Fall ist. Inwiefern eine der beiden Methoden die tatsächliche Situation besser abbildet, kann auf Grund dieser Gegenüberstellung nicht ermittelt werden.

Ein wichtiger Einflussparameter für die Gleisabklingrate ist die Steifigkeit der Zwischenlagen, welche je nach Temperatur variieren kann. Aus diesem Grund wurde für die Messkampagne 1 Kleinschwechat/S7 mittels der PBA-Methode die Gleisabklingrate für unterschiedliche Schientemperaturen berechnet.

Abb. 5-64 zeigt die vertikale und Abb. 5-65 die horizontale Abklingrate für die bogeninnere und bogenäußere Schiene. Man erkennt, dass bei Temperaturen unter 0°C sowohl

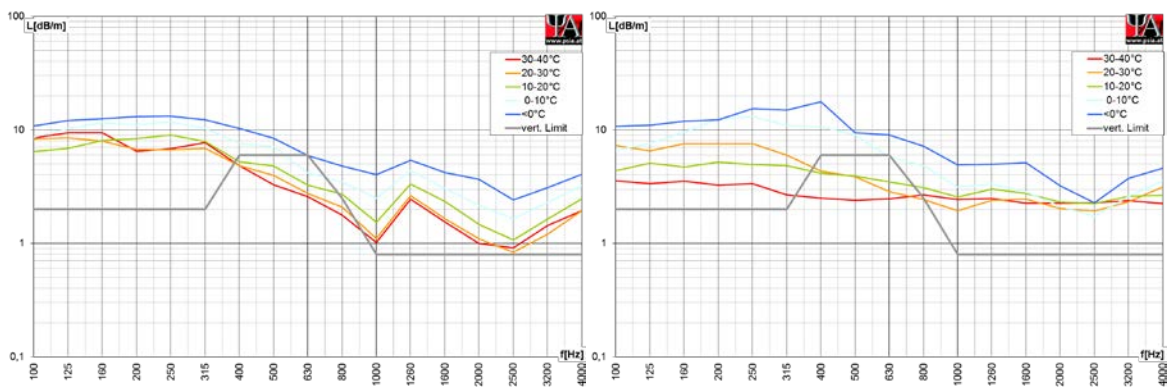


Abb. 5-64: vertikale Gleisabklingrate (PBA) der bogeninnenliegenden Schiene (rechts) und der bogenaußenliegenden Schiene (links) für unterschiedliche Temperaturbereiche an der Messstelle 1, Kleinschwechat, S7

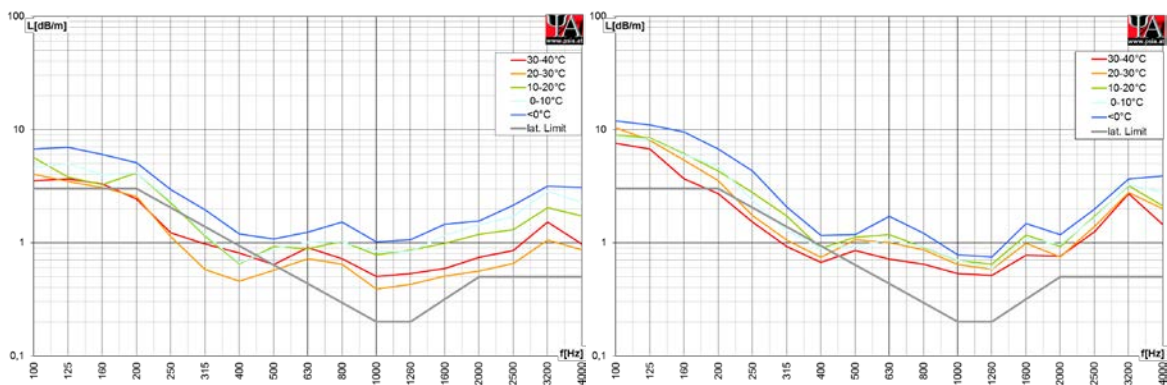


Abb. 5-65: horizontale Gleisabklingrate (PBA) der bogeninnenliegenden Schiene (rechts) und der bogenaußenliegenden Schiene (links) für unterschiedliche Temperaturbereiche an der Messstelle 1, Kleinschwechat, S7

horizontal als auch vertikal an beiden Schienen die höchste Abklingrate erreicht wird, und mit steigender Temperatur die Abklingrate immer weiter reduziert wird. Die niedrigste Abklingrate wird bei Temperaturen von 30-40°C erreicht. Lediglich die horizontale Abklingrate der bogenäußeren Schiene erreicht die niedrigsten Werte bei Temperaturen von 20-30°C.

Der Einfluss der TDR kann nur indirekt, als mit der Schienentemperatur verbundener Parameter, erfolgen und ist damit analog zu den in Ergebnissen aus Kapitel 5.8.1. Für eine direkte Analyse wären zumindest zwei Messstellen mit zumindest identem Bogenradius notwendig welche deutlichen Unterschiede in der erfassten TDR aufweisen.

5.7. Schienenrauheit

Die Schienenrauheit ist gemeinsam mit der Rauheit des Rades der maßgebliche Parameter für die Entstehung des Rollgeräusches. Durch energetische Addition der Schienen- und Radrauheit kann eine Gesamtrauheit gebildet werden. Diese Gesamtrauheit hat einen direkten Einfluss auf die Schallabstrahlung der Schiene und des Rades. Dominiert einer der beiden Komponenten die Gesamtrauheit so kann auch durch eine sehr geringe Rauheit der jeweils anderen Komponente die Gesamtrauheit nur minimal reduziert werden. Am Beispiel eines mit Grauguss gebremsten Güterwagens (sehr raue Räder) bedeutet das, dass durch Maßnahmen zur Reduktion der Schienenrauheit (z.B. Schienenschleifen) der Gesamtgeräuschpegel des Güterwagens nur minimal reduziert wird. Auf der anderen Seite erhöht sich beim Befahren von sehr rauen Streckenabschnitten der Gesamtpegel auch nur mehr geringfügig, während bei Fahrzeugen mit glatten Rädern eine merkliche Erhöhung der Emissionen auf solchen Streckenabschnitten feststellbar ist.

Gerade in Gleisbögen findet man vermehrt Schienen mit periodischen Unebenheiten. Je nach Wellenlänge spricht man dabei von Schlupfwellen (8-30 cm) bzw. Riffeln (3-8 cm) [21]. Schlupfwellen entstehen durch Schlupf des bogeninnenliegenden Rades, während Riffeln durch Reibung und Schlupf sowie Schwingungsvorgängen zwischen Rad und Schiene entstehen.

In Abb. 5-66 sind die Schienenrauheiten im Messquerschnitt der drei Messkampagnen sowie der acramos® Bogenmessstelle in Breitenstein dargestellt. Die Rauheiten der bogeninnenliegenden Schiene sind jeweils gelb abgebildet während die Rauheiten der äußeren Schiene in schwarz dargestellt sind. Der Bereich in dem Schlupfwellen bzw. Riffeln auftreten ist jeweils farblich markiert. Die rote Linie gibt jeweils das TSI-Noise Limit

[15] für Schienenrauheit an. Dieses Limit soll sicherstellen, dass die Ergebnisse von Emissionsmessungen von neuen Schienenfahrzeugen gemäß TSI Typprüfungen nicht durch eine überhöhte Rauheit der Schiene beeinflusst werden.

Vergleicht man die Schienenrauheit der einzelnen Messstellen erkennt man, dass die stärkste Überschreitung des TSI-Noise Limits an der bogeninnenliegenden Schiene beim engsten Gleisbogen in Breitenstein ($r = 184 \text{ m}$) feststellbar ist. Diese Erhöhung ist auch bei den anderen Messstellen sichtbar, sinkt jedoch mit steigendem Bogenradius. Beim weitesten Bogen ($r = 440 \text{ m}$) in Eichrabern an der Westbahn (Kamp02) ist nur mehr eine leichte Erhöhung im Bereich der Schlupfwellen feststellbar und die Kurve liegt bereits unter dem TSI-Noise Limit.

Während bei den Messkampagnen 2 und 3 sowie der Bogenmessstelle in Breitenstein die Erhöhung im Bereich der Schlupfwellen fällt, liegt die Spitze bei der Messstelle in Kleinschwechat, S7 (Kamp01) bei 6,3 cm und damit im Bereich der Riffel. Die bogenäußere Schiene liegt bei allen Messstellen unter der Grenzlinie bzw. nur leicht darüber. Bei den Kampagnen 1 und 2 ist im Wellenlängenbereich von 2,5 cm eine Spitze

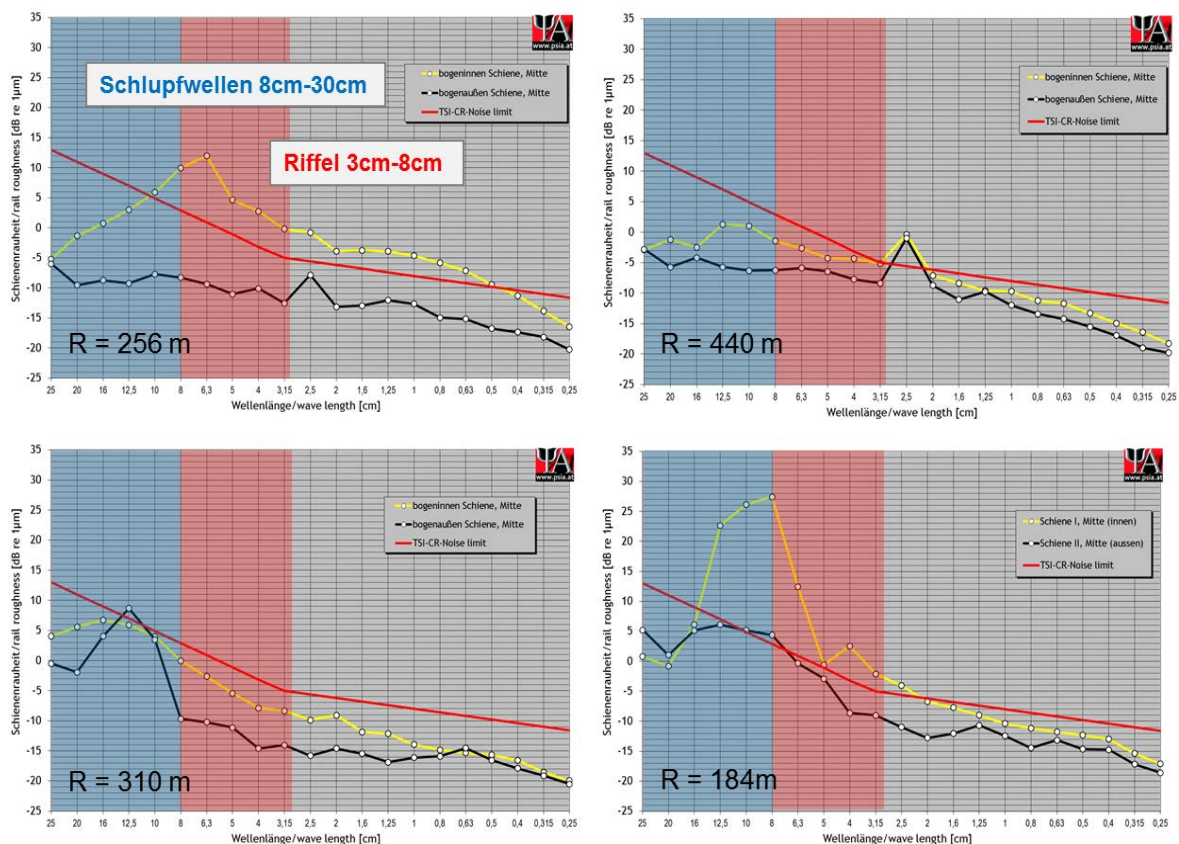


Abb. 5-66: akustische Schienenrauheit im Messquerschnitt der drei Messkampagnen, sowie der acromos® Bogenmessstelle Breitenstein

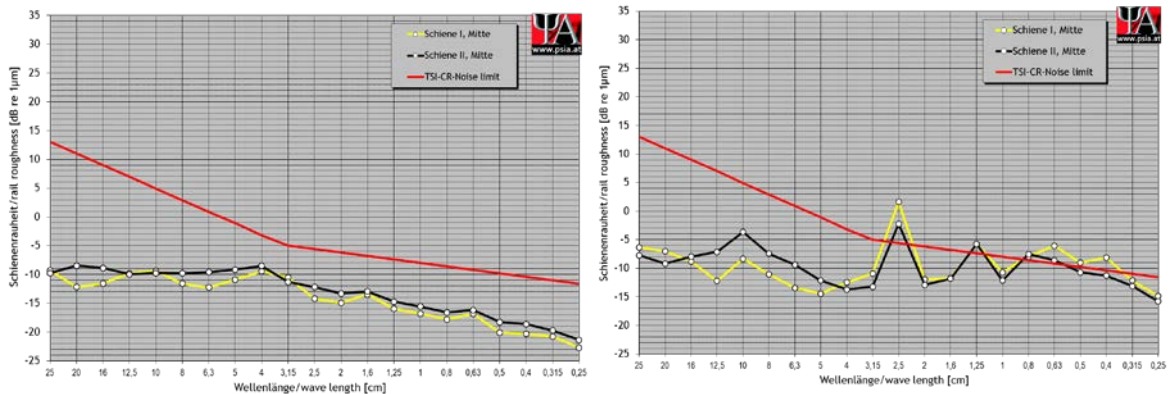


Abb. 5-67: Schienenrauheit an einem geraden Gleisabschnitt vor (links) und einen Tag nach (rechts) dem Schienenschleifen

erkennbar. Besonders bei der Kampagne in Eichgaben an der Westbahn, wo die Rauheiten sonst überall das TSI-Limit einhalten, ist an beiden Schienen bei dieser Wellenlänge eine deutliche Spitze erkennbar, die das Limit überschreitet.

Eine Ursache für diese Rauheitsspitzen bei 2,5 cm können möglicherweise Schleiffahrten an diesen Messstellen sein. Generell ist bekannt das durch das Schleifen bzw. Reprofilieren des Schienenkopfes die Rauheit kurz nach dem Schleifen ansteigt. Erst nach mehreren Vorbeifahrten ist die Schiene wieder soweit eingefahren, dass der Rauheitspegel unter den Zustand vor dem Schleifen fällt. Besonders im Bereich <3 cm kann es jedoch auch noch über mehrere Monate hinweg zu erhöhten Rauheitsspitzen kommen [22].

Einen vom Projektpartner psiacoustic gemessenen Querschnitt in Österreich, vor und nach einer Schleiffahrt, zeigt Abb. 5-67. Auch hier ist eine deutliche Spitze bei 2,5 cm nach der Schleiffahrt erkennbar.

Laut Auskunft bei der zuständigen Stelle der ÖBB Infrastruktur AG wurde der Streckenabschnitt im Bereich der Messkampagne 1 Kleinschwechat, S7 im Jänner 2013 und damit etwa ein Jahr vor der Messung der Rauheit zum letzten Mal geschliffen. Am Streckenabschnitt in Eichgraben an der Westbahn liegt der letzte Schleifdurchgang ungefähr ein halbes Jahr zurück (Februar 2014).

Während bei der Messkampagne 1 die Rauheit der inneren Schiene überwiegt und damit die Spitze bei 2,5 cm nicht signifikant ist, liegt die Spitze bei der Kampagne 2 bei beiden Gleisen auf ähnlichem Niveau.

Um einen möglichen Einfluss dieser Rauheitsspitze auf den Vorbeifahrtpegel der Züge in Kampagne 2 zu erheben kann ausgehend von einer bestimmten Fahrgeschwindigkeit die Frequenz mithilfe der Gleichung

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

f ... Frequenz [Hz]

v ... Fahrgeschwindigkeit [m/s]

λ ... Wellenlänge [m]

ermittelt werden.

Für die Geschwindigkeit von 90 km/h ergibt sich damit für die relevante Wellenlänge von 2,5 cm eine Frequenz von 1 kHz. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 70 km/h eine Frequenz von 777,8 Hz. In Abb. 5-68 sind die mittleren Terzspektren von vier verschiedenen Kategorien für den Geschwindigkeitsbereich 85-95 km/h und 65-75 km/h dargestellt und das jeweilige Terzband, welches durch die Rauheitsspitze beeinflusst wird markiert. Der Einfluss der Rauheitsspitze ist vor allem bei der Kategorie S4024, ein Regionalzug mit sehr glatten Rädern, deutlich erkennbar. Bei der Kategorie Güter (raue Räder) ist Spitze nur noch leicht vorhanden.

In Tab. 5-1 sind die Rauheitskennzahlen $L_{\lambda CA}$ gem. Harmonoise [23] für die einzelnen Bogenabschnitte dargestellt. Zusätzlich wurden als Referenz die Kennzahlen für die gerade Strecken an der acramos® Messstelle in Deutsch Wagram berechnet. Die Berechnung erfolgte jeweils für die mittleren im Fahrspiegel liegenden Aufnehmer. Durch die Berechnung wird die bei der Rauheitsmessung erfasste Auslenkung der Aufnehmer auf die Beschleunigung der Schiene bzw. des Rades umgerechnet. Es erlaubt bei bekanntem Vorbeifahrtpegel eines Fahrzeuges die Änderung der Schallabstrahlung des Rad-Schiene Kontaktes bei unterschiedlichen Rauheiten abzuschätzen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass das die Rauheitskennzahl eigentlich eine energetische Summe aus der Rauheitskennzahl der Schiene und des Rades ist. Eine direkte

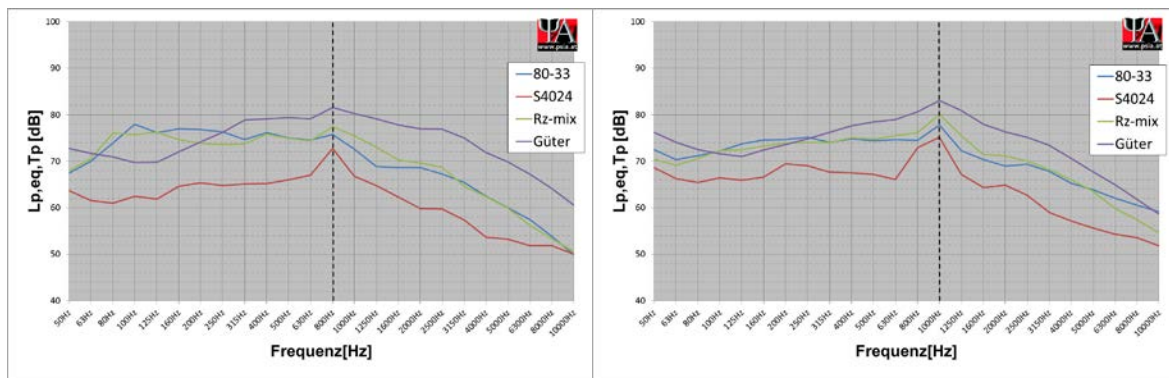


Abb. 5-68: mittlere lineare Terzpegelspektren der Kategorien 80-33, S4024, RZ-mix, Güter für den Geschwindigkeitsbereich 65-75 km/h (links) und 85-95 km/h (rechts); Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn

Umrechnung auf den Vorbeifahrtpegel ist ohne die Kenntnis der Rauheit der Räder also nur dann möglich, wenn die Rauheit der Räder im Vergleich zur Schiene gering ist und keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtrauheit nimmt. Ausgehend von den in den Bögen gefahrenen Geschwindigkeiten liefert die Abb. 5-69 unter den zuvor beschriebenen Voraussetzungen eine Pegeldifferenz zur geraden Strecke. Aufgrund der stark unterschiedlichen Rauheiten der Gleise im Bogen wurden für die Berechnung, neben dem üblicherweise gebildeten Mittelwertes beider Schienen, auch die Kennzahlen der jeweils rausten Schiene herangezogen, welche in diesem Fall auch als die maßgebliche Kennzahl für die Geräuschemissionen anzunehmen ist. Die raueste Schiene ist bei allen drei Messkampagnen und bei der Bogenmessstelle Breitenstein die innere Schiene. Vergleicht man die Ergebnisse erkennt man, dass zwar eine klare Reduktion der Rauheiten auf der Bogeninnenschiene mit steigendem Bogenradius, die Werte der Messkampagne 3 mit $r = 310$ m weisen jedoch die niedrigsten Erhöhungen im Vergleich zur geraden Strecke auf. Eine mögliche Ursache könnte darin liegen, dass im Vergleich zu den anderen Messstellen, der Messpunkt bei dieser Messstelle schon sehr nahe am Bogenende lag und sich hier die Rauheiten möglicherweise schon denen der geraden Strecke angenähert haben. Betrachtet man nur die Rauheiten der ersten und zweiten Messkampagne (Abb. 5-69) erhält man für den Bogen <300 m eine Pegeldifferenz von 8,9 dB und für den Bogen >300 m eine Differenz von 5 dB und damit in etwa jene Werte welche auch in CNOSSOS [2] für diese Bogenradien als Korrekturfaktor angenommen werden.

Ein direkter Einfluss der Schienenrauheit auf die Häufigkeit von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten kann im Zuge des Projektes nicht erhoben werden, da die Rauheiten direkt

Standort	Bogenradius	Schiene	L_{ACA}					
			60 km/h		80 km/h		90 km/h	
			einzel	Mittel	einzel	Mittel	einzel	Mittel
Kamp01: Kleinschwechat	256m	innen	11,4	7,0				
		außen	2,6					
Kamp02: Eichgraben	440m	innen					7,9	7,1
		außen					6,3	
Kamp03: Mürzzuschlag	310m	innen			3,9	2,5		
		außen			1,2			
Breitenstein, km 97,2	184m	innen	14,2	9,2				
		außen	4,1					
Deutsch-Wagram, km 14,6	Gerade	I	1,8	2,2	2,1	2,5	2,1	2,6
		II	2,5		2,9		3,0	

Tab. 5-1: Vergleich der Rauheitskennzahlen L_{ACA} der drei Streckenabschnitte der Messkampagnen sowie der acramos®-Bogenmessstelle Breitenstein und acramos®-Messstelle in Deutsch Wagram

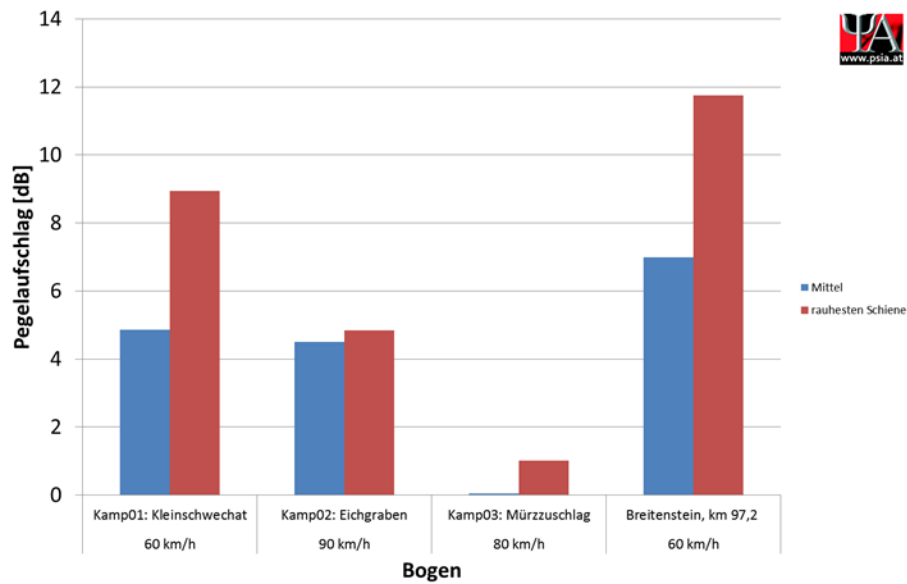


Abb. 5-69: theoretischer Pegelzuschlag aus der Differenz zwischen den Rauheitskennzahlen L_{ACA} der Gleisbögen zur geraden Strecke

mit dem jeweiligen Bogenradius zusammenhängen. Die niedrigen Werte der Schienenrauheit bei Messkampagne 2 im Vergleich zum weiteren Bogen der Messkampagne 3 (geringere Häufigkeiten; siehe Kapitel 5.2) zeigen zumindest auf, dass eine niedrige Schienenrauheit die Häufigkeit von Auffälligkeiten nicht reduziert. Um jedoch einen möglichen eindeutigen Zusammenhang zur Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Auffälligkeiten und der Schienenrauheit aufzustellen, ist es erforderlich auch die Rauheiten der Räder messtechnisch zu überprüfen um damit die Gesamtrauheit berechnen zu können.

5.8. Witterungsbedingungen

Neben den akustischen Parametern erfasst das Messsystem acramos® auch die meteorologischen Daten mittels einer externen Wetterstation, sowie die Signale eines Schientemperatursensors welcher am Schienenfuß befestigt war. Die jeweils aktuellen Daten werden bei jeder Vorbeifahrt automatisch mit den restlichen Daten abgespeichert.

5.8.1. Temperatur

Der Einfluss der Temperatur auf die Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen ist vor allem durch die Temperaturabhängigkeit der Zwischenlage gegeben. Zwischenlagen dienen als elastisch dämpfendes Element und werden zwischen Schienenfuß und Schwelle verlegt. Sie bewirken eine verbesserte Lastverteilung sowie eine Entkopplung

von Vibrationen. Es ist bekannt, dass die Steifigkeit von Zwischenlagen mit sinkender Temperatur ansteigt (vgl. z.B. [24]). Durch die erhöhte Steifigkeit steigt in weiterer Folge auch die Abklingrate des Gleises. Eine Analyse der Temperaturabhängigkeit der Gleisabklingraten ist in Kapitel 5.6 dargestellt.

Um Aussagen über das Verhältnis der Lufttemperatur zur Schienentemperatur treffen zu können, wurde parallel zur Lufttemperatur auch die Temperatur der Schiene mittels eines Sensors, der am Schienenfuß zwischen zwei Schwellen installiert war, erfasst. Abb. 5-70 zeigt beispielhaft den Temperaturgang von Luft- und Schienentemperatur über einen Zeitraum von einem Monat (19.03-20.04). Die angegebenen Werte sind nicht kontinuierlich sondern immer jeweils pro Vorbeifahrt angegeben. In Abb. 5-71 wurden die Differenzen zwischen Schienen- und Lufttemperatur je Stunde im Tagesverlauf für alle Messdaten der Kampagne 1 gemittelt. Die jeweilige Anzahl an Messwerten, und damit

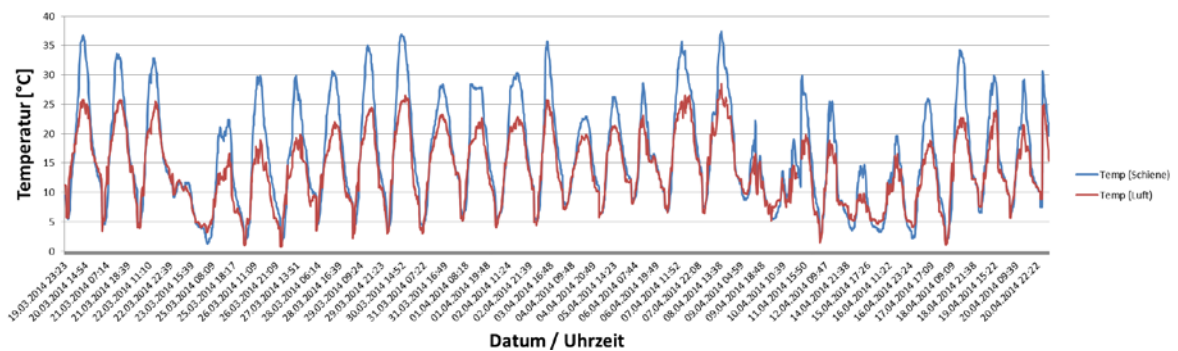


Abb. 5-70: Verlauf der Luft- (rot) und Schienentemperatur (blau) über einen Zeitraum von ca. einem Monat während der Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

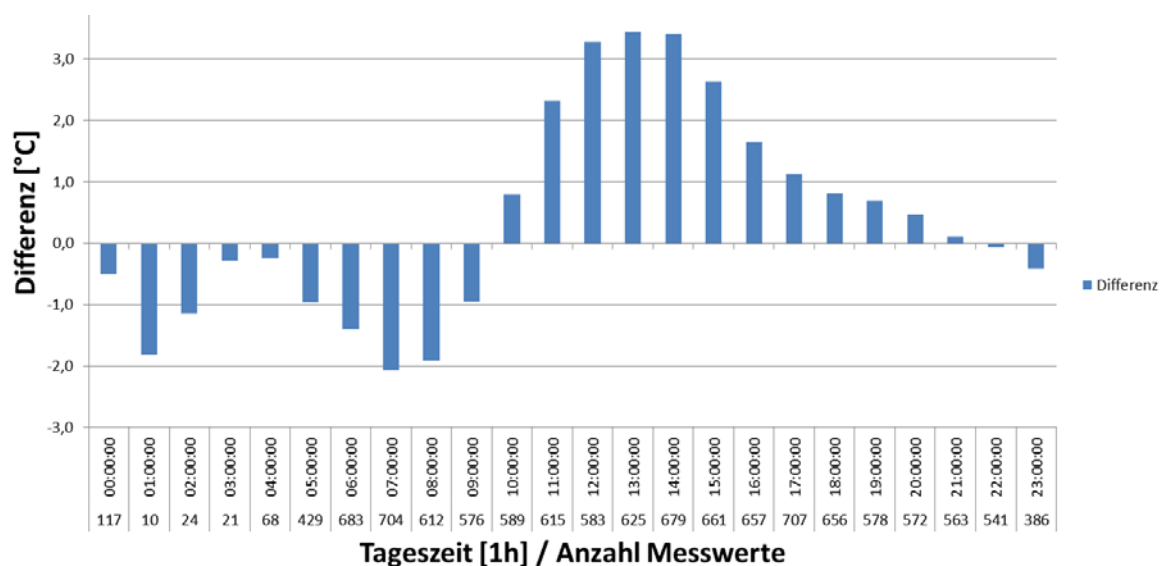


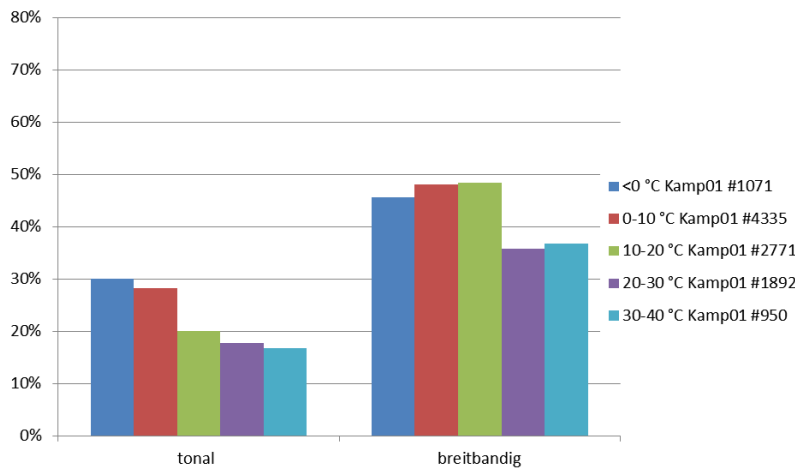
Abb. 5-71: mittlere Differenz der Schienentemperatur – Lufttemperatur im Tagesverlauf je Stunde Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

Vorbeifahrten, je Tageszeit wurden ebenfalls eingetragen. Die gemessene Schienentemperatur liegt während der Tageszeit über der Lufttemperatur und erreicht die höchsten mittleren Differenzen zwischen 12:00 und 14:00 Uhr. Im Nachtzeitraum, und damit bei fallenden Temperaturen, sinkt die Schienentemperatur unter die Werte der Lufttemperatur. Für die Bewertung von Temperatureinflüssen auf die Entstehung von Lärmemissionen im Gleis liefert die Schienentemperatur wesentlich besser geeignete Werte, auch wenn hier nicht direkt auf die Temperatur z.B. der Zwischenlage geschlossen werden kann. Die mittleren Werte zeigen zwar nur Unterschiede um bis zu etwa 3°C, bei höheren Temperaturen können die Tagesspitzenwerte jedoch um mehr als 10°C abweichen.

Für die Ermittlung des Einflusses der Temperatur auf das Auftreten von Kurvenquietschen bzw. Kurvenkreischen wurden die Messdaten in Temperaturbereiche eingeteilt und der jeweilige Anteil der als tonal bzw. breitbandige Auffälligkeit (siehe Kap. 3.3) identifizierten Vorbeifahrten ermittelt. Fahrten mit Regen, wurden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

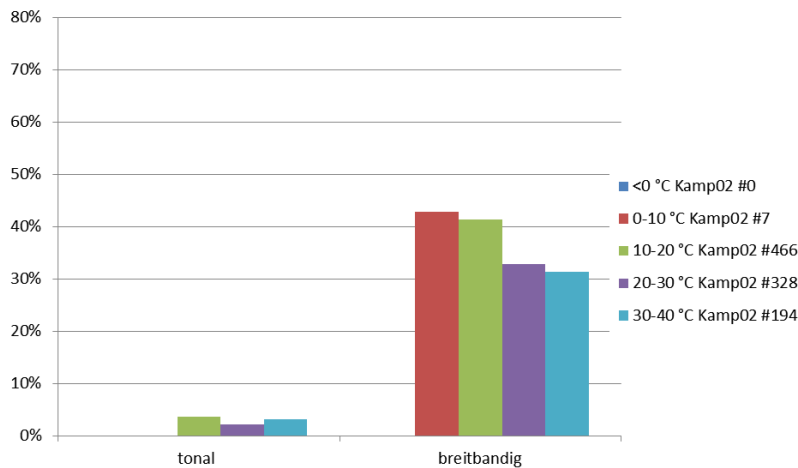
Abb. 5-72 bis Abb. 5-74 zeigen die Anteile der Vorbeifahrten mit tonalen bzw. breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Schienentemperatur), sowie die jeweilige Gesamtanzahl an Vorbeifahrten je Bereich. Für die Lufttemperaturen sind analog dazu die Auswertungen im Anhang C.3 zu finden. Bei der Kampagne 1, Kleinschwechat, S7 sinkt der Anteil der tonalen Auffälligkeiten mit steigender Temperatur, bei den breitbandigen Auffälligkeiten ist ebenfalls ein Abfall zwischen dem Temperaturbereich 0-20°C auf >20°C erkennbar. Für den Temperaturbereich <0°C liegt der Anteil der breitbandigen Auffälligkeiten jedoch etwas unter den Werten des Bereiches 0-20°C. Bei der Kampagne 2 ergibt sich ein ähnliches Bild, obwohl hier besonders bei den tonalen Auffälligkeiten die Anteile aufgrund des größeren Bogenradius bereits sehr gering sind. Die Ergebnisse von Kampagne 3 zeigen einen gegensätzlichen Trend: hier steigt der Anteil der tonalen sowie der breitbandigen Auffälligkeiten mit der Temperatur. Im Temperaturbereich von 30-40°C ist jedoch wieder ein Abfall der Anteile feststellbar. Vergleicht man die Häufigkeiten der auffälligen Achsen (Anhang C.3) ist ein ähnlicher Trend feststellbar.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die Häufigkeiten von breitbandigen als auch tonalen Auffälligkeiten tendenziell mit steigenden Temperaturen sinken. Für eine Aussage inwiefern unterschiedliches Verhalten durch den jeweiligen Oberbau beeinflusst wird ist die Anzahl an untersuchten Oberbautypen jedoch zu gering. Hierfür sind



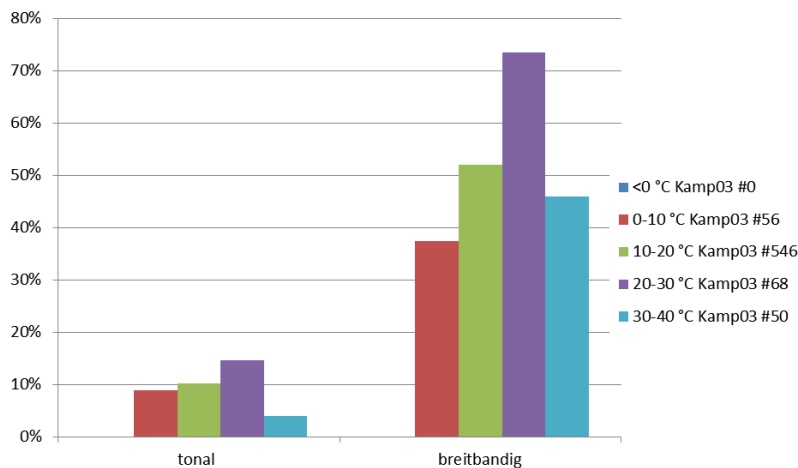
Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp01	#1071	30,07%	45,66%
0-10 °C	Kamp01	#4335	28,30%	48,10%
10-20 °C	Kamp01	#2771	19,99%	48,36%
20-30 °C	Kamp01	#1892	17,71%	35,73%
30-40 °C	Kamp01	#950	16,74%	36,74%

Abb. 5-72: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Schienentemperatur) Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp02	#0		
0-10 °C	Kamp02	#7	0,00%	42,86%
10-20 °C	Kamp02	#466	3,65%	41,42%
20-30 °C	Kamp02	#328	2,13%	32,93%
30-40 °C	Kamp02	#194	3,09%	31,44%

Abb. 5-73: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Schienentemperatur) Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn



Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp03	#0		
0-10 °C	Kamp03	#56	8,93%	37,50%
10-20 °C	Kamp03	#546	10,26%	52,01%
20-30 °C	Kamp03	#68	14,71%	73,53%
30-40 °C	Kamp03	#50	4,00%	46,00%

Abb. 5-74: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Schientemperatur) Messkampagne 3, Müzzzuschlag, Südbahn

weiterführende Untersuchungen notwendig, bei welchen Bögen mit gleichem Radius und wechselndem Oberbau (z.B.: Holzschwelle/Betonschwellen, Zwischenlagen mit weichen/harten Zwischenlagen) bei unterschiedlichen Temperaturen betrachtet werden.

5.8.2. Niederschlag

Es ist bekannt, dass die in Gleisbögen auftretenden tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten bei nasser Schiene nicht oder nur vermindert auftreten (vgl. [4]). Das Wasser auf der Schiene reduziert die Reibungskräfte und vermindert oder verhindert den Stick-Slip Effekt. Aus diesem Grund wurde bei der Messung der Geräuschemissionen auch das Auftreten von Niederschlag gemessen.

Die verwendete Wetterstation erfasst den Niederschlag durch eine Wippe, welche durch abfließendes Wasser an der Wetterstation betätigt wird. Wie auch schon bei den Temperaturdaten wurde für jede detektierte Vorbeifahrt im Messquerschnitt die aktuellen Information über das Auftreten von Niederschlag abgespeichert.

Inwieweit man durch die Detektion von Regen auch auf eine feuchte Oberfläche der Schiene schließen kann, konnte nicht erhoben werden. Da durch die Funktionsweise der Wetterstation nicht ausgeschlossen werden konnte, dass bei einsetzendem Regen die

Schiene bereits nass ist und die Wetterstation den Niederschlag noch nicht erkannt hatte oder dass auch bei nicht detektiertem Regen noch immer Feuchtigkeit auf der Schienenoberfläche vorhanden war, wurde eine zusätzliche Bewertung der Messdaten eingeführt.

Ausgehend von den Ereignissen der Wetterstation (Betätigung der Wippe) wurde ein Bereich von ± 1 h definiert, in welchem die Daten als eine Vorbeifahrt mit Regen festgelegt wurden. Nur die Daten außerhalb dieses Bereichs wurden bei den Auswertungen als Fahrten mit trockener Schiene deklariert. In Abb. 5-75 ist beispielhaft für die Messkampagne 1 der Verlauf des Auftretens von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten der ersten 2000 Vorbeifahrten dargestellt, inklusive des zuvor erwähnten Bereichs welcher als Phase „mit Regen“ definiert wurde. Man erkennt, dass während den Phasen „mit Regen“ in der Regel auch jene Bereiche sind, in welchen vermehrt keine tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten auftreten. Die Verläufe der übrigen Vorbeifahrten von Messkampagne 1 sowie die der zwei weiteren Messkampagnen sind in Anhang C.4 dargestellt.

Da die Regenintensität aus den Daten nur schwer abzuleiten war, wurde zusätzlich die jeweilige Tagesgesamtniederschlagsmenge aus Internet (www.wetter.com) für das Gebiet „Flughafen Schwechat“ herangezogen. Für die Analyse des Einflussparameters Niederschlag wurden nur die Daten der ersten Messkampagne in Kleinschwechat auf der S7 herangezogen, da nur hier genügend Daten mit Regen vorhanden waren, um sinnvolle Auswertungen zu ermöglichen.

In Abb. 5-76 sind die Häufigkeiten von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten bei trockenen Verhältnissen, bei Regen (± 1 h Detektionsbereich) sowie bei Regen mit der zusätzlichen Einschränkung, dass eine Tagesgesamtniederschlagsmenge von >0 bis 10 mm bzw. größer 10 mm erreicht wurde (± 1 h Detektionsbereich + Tagesniederschlagsmenge Internet) dargestellt.

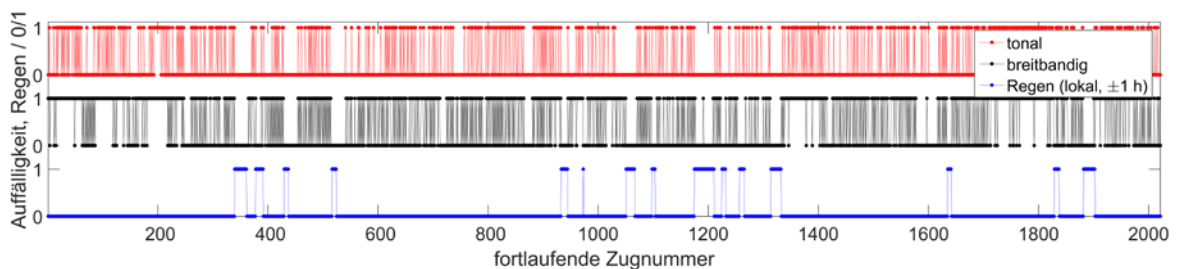
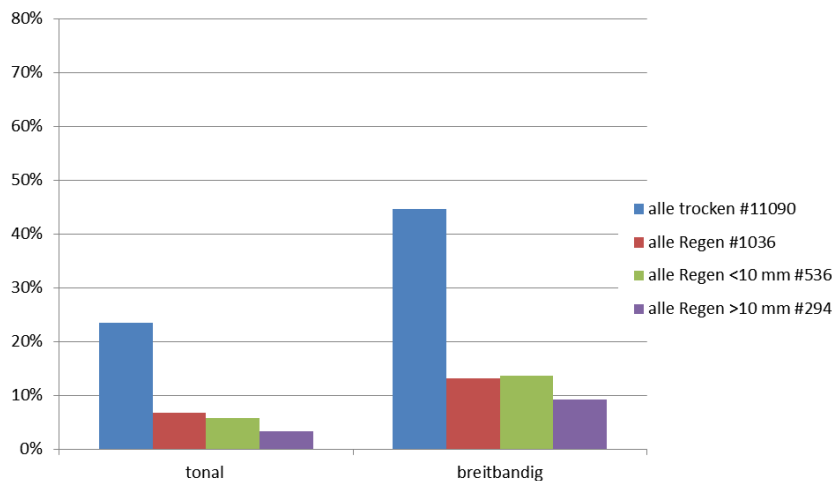


Abb. 5-75: zeitlicher Verlauf des Auftretens von Einzelfahrten (alle Kategorien) mit/ohne tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten sowie der Angabe ob die Fahrten im Bereich „mit Regen“ (Regendetektion ± 1 h) liegen, Messkampagne 1 Kleinschwechat, S7

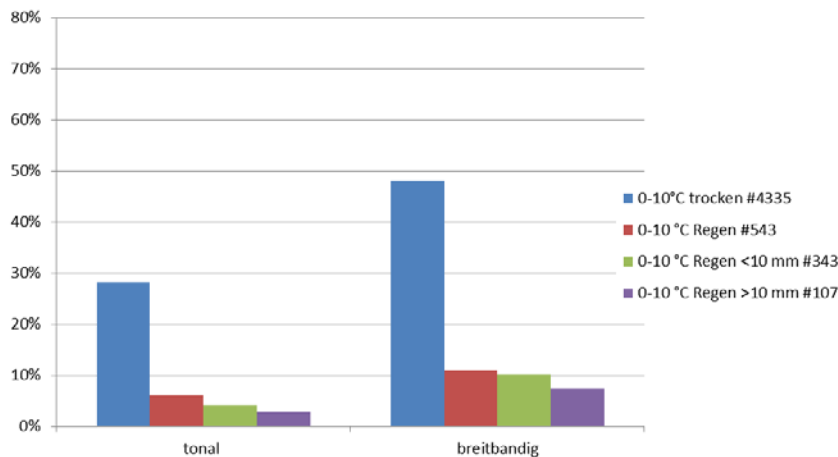


Temperatur	Regen	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
alle	trocken	#11090	23,49%	44,73%
alle	Regen	#1036	6,76%	13,13%
alle	Regen <10 mm	#536	5,78%	13,62%
alle	Regen >10 mm	#294	3,40%	9,18%

Abb. 5-76: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; alle Temperaturen; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

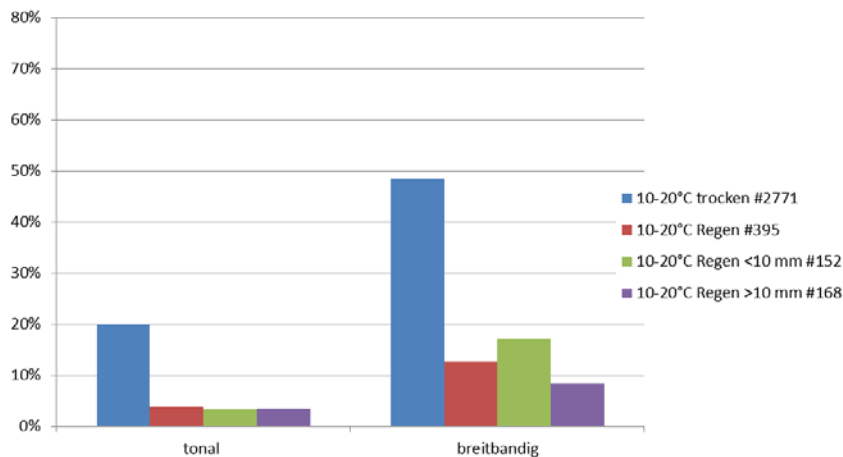
Man erkennt deutlich, dass durch den Regen der Anteil sowohl der tonalen als auch der breitbandigen Auffälligkeiten gesenkt wird. Während bei trockener Schiene die tonalen Auffälligkeiten bei über 20% der Fahrten erkannt wurden, ist der Anteil bei den Fahrten mit Regen auf unter 7% gesunken. Bei den breitbandigen Auffälligkeiten ist sogar eine Reduktion von 30% erkennbar. Vergleicht man die Fahrten mit geringer Tagesniederschlagsmenge (<10 mm) mit jenen mit höherer Tagesniederschlagsmenge, erkennt man das nur noch eine geringe Reduktion von ein paar Prozentpunkten erreicht wird.

Wird bei der Bewertung des Einflusses von Niederschlag auch die Schientemperatur berücksichtigt (Abb. 5-77 bis Abb. 5-80), erkennt man, dass bei Temperaturen >20°C die Reduktion der Auffälligkeiten durch Regen abnimmt. Bei Temperaturen >30°C ist dieser Anstieg bei den tonalen als auch bei den breitbandigen Auffälligkeiten erkennbar. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass zum Teil nur noch sehr wenige Fahrten in diesem Bereich liegen und dadurch die Ergebnisse verfälscht werden können. In Anhang C.4 sind die Häufigkeiten auch für die Einzelachsen angegeben. Auch hier zeigt sich ein ähnliches Verhalten.



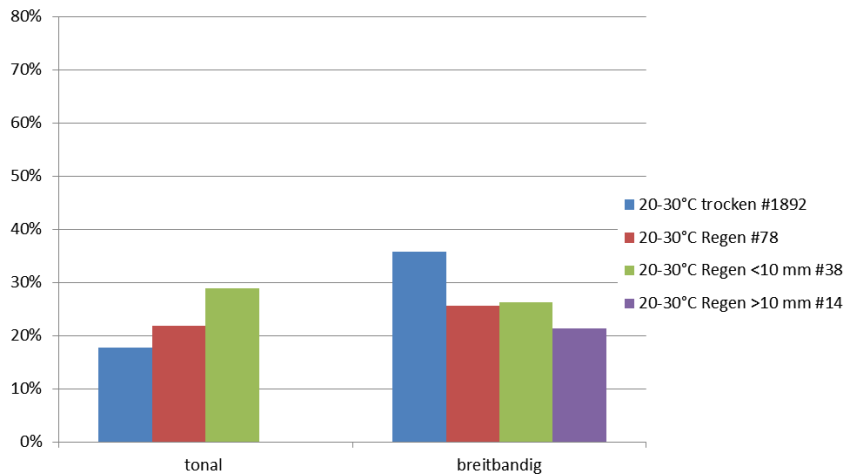
Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
0-10°C	trocken	#4335	28,30%	48,10%
0-10 °C	Regen	#543	6,08%	11,05%
0-10 °C	Regen <10 mm	#343	4,08%	10,20%
0-10 °C	Regen >10 mm	#107	2,80%	7,48%

Abb. 5-77: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Temperaturbereich: 0-10°C; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



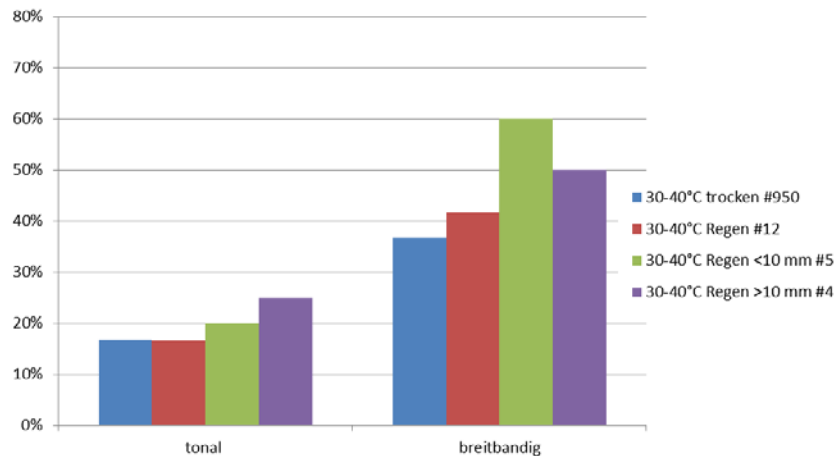
Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
10-20°C	trocken	#2771	19,99%	48,36%
10-20°C	Regen	#395	3,80%	12,66%
10-20°C	Regen <10 mm	#152	3,29%	17,11%
10-20°C	Regen >10 mm	#168	3,57%	8,33%

Abb. 5-78: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Temperaturbereich: 10-20°C; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	total	breitbandig
20-30°C	trocken	#1892	17,71%	35,73%
20-30°C	Regen	#78	21,79%	25,64%
20-30°C	Regen <10 mm	#38	28,95%	26,32%
20-30°C	Regen >10 mm	#14	0,00%	21,43%

Abb. 5-79: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Temperaturbereich: 20-30°C; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	total	breitbandig
30-40°C	trocken	#950	16,74%	36,74%
30-40°C	Regen	#12	16,67%	41,67%
30-40°C	Regen <10 mm	#5	20,00%	60,00%
30-40°C	Regen >10 mm	#4	25,00%	50,00%

Abb. 5-80: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Temperaturbereich: 30-40°C; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

Ein möglicher Grund für diesen geänderten Einfluss von Regen auf das Auftreten von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ist ein möglicherweise vermehrter Anteil an Fahrten bei denen die Schiene durch die höheren Temperaturen nach einem Regenereignis schneller trocken wird bzw. sich erst gar nicht so schnell genug Feuchtigkeit ansammelt um den verringern Effekt zu erreichen. Zudem haben Studien gezeigt, dass gerade nach einem Regenereignis Kurvenquietschen besonders stark wahrnehmbar ist. Dies wird vor alle dem Effekt geschuldet, dass durch den Regen die Oberfläche des Rades und der Schiene von Schmutz und Ablagerungen befreit wird und damit die Reibungskräfte erhöht werden.

Um den Einfluss von Regen auf den Vorbeifahrtpegel zu untersuchen wurden nur jene Fahrten berücksichtigt, bei denen keine tonale oder breitbandige Auffälligkeiten detektiert wurden. In Abb. 5-81 bis Abb. 5-84 sind die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel in 7,5 m Entfernung zum Gleis je Zugkategorie dargestellt. Die Vorbeifahrten wurden wieder in Fahrten bei trockenen Verhältnissen, Fahrten bei Regen, sowie bei Regen mit einer Tagesgesamtniederschlagsmenge kleiner und größer 10 mm dargestellt.

Vergleicht man die Regressionsgeraden erkennt man, dass die Fahrten der Kategorien S4020, S4024 und Güter bei trockenen Bedingungen um bis zu 2 dB unter denen mit

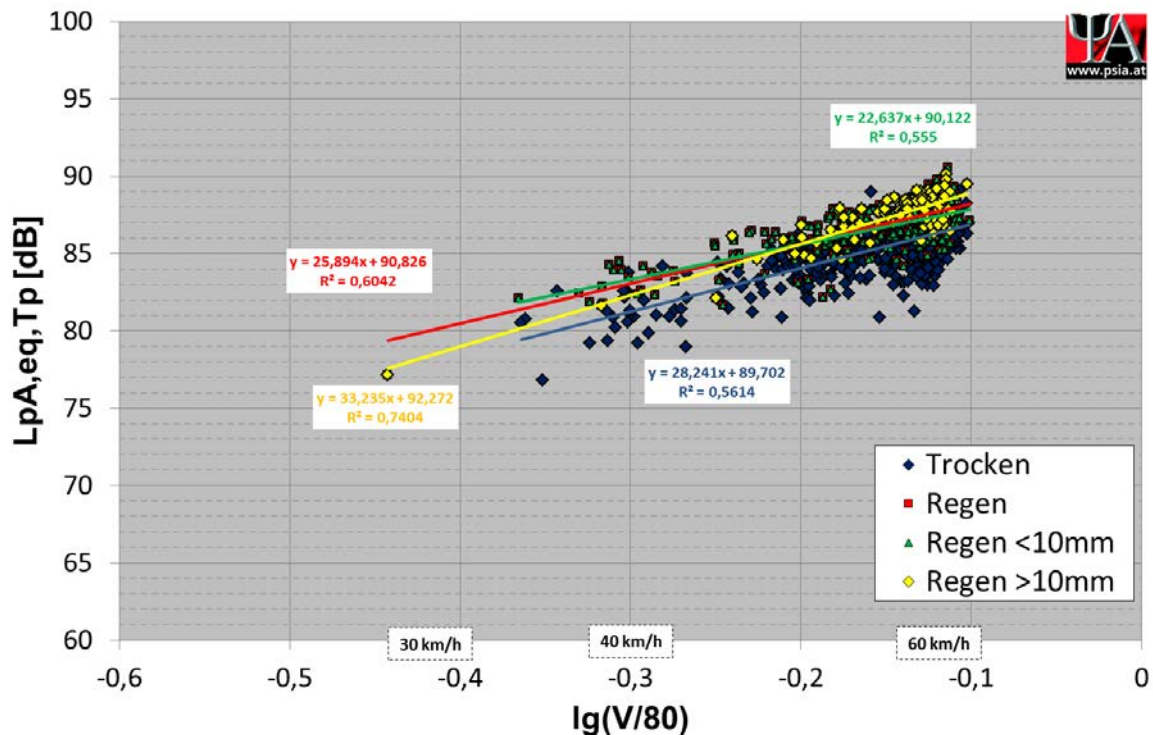


Abb. 5-81: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel der Kategorien S4020 ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

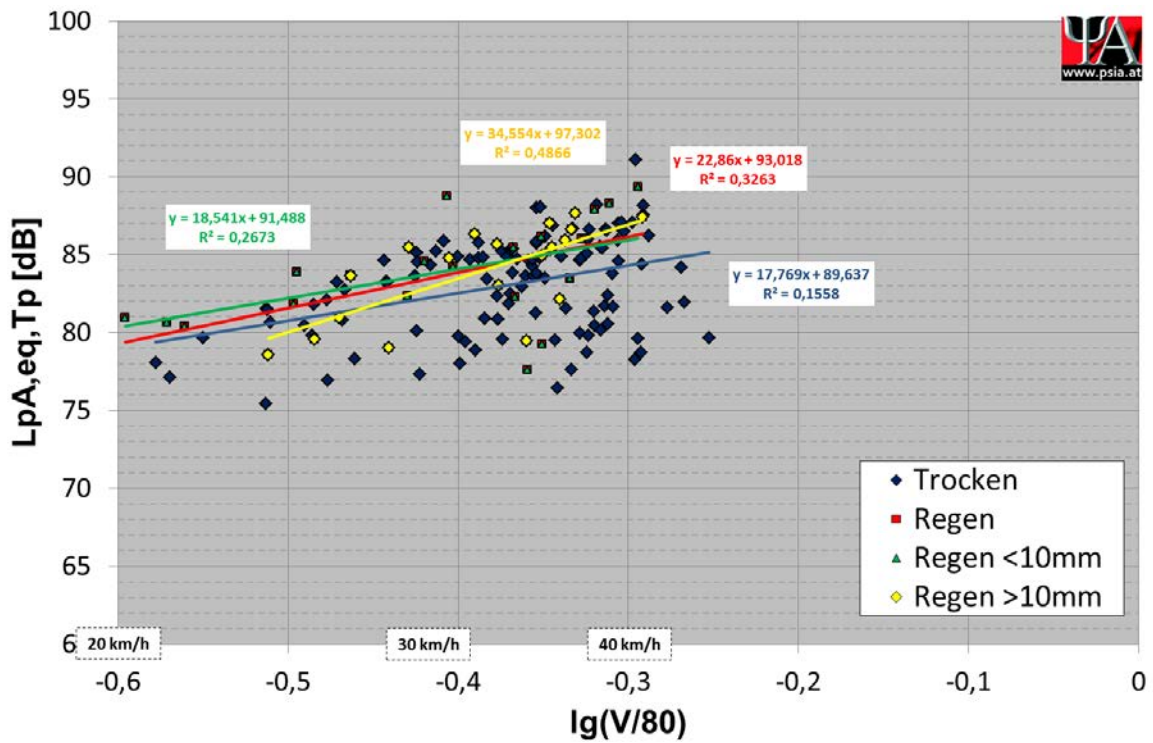


Abb. 5-82: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel der Kategorie Güterzug ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

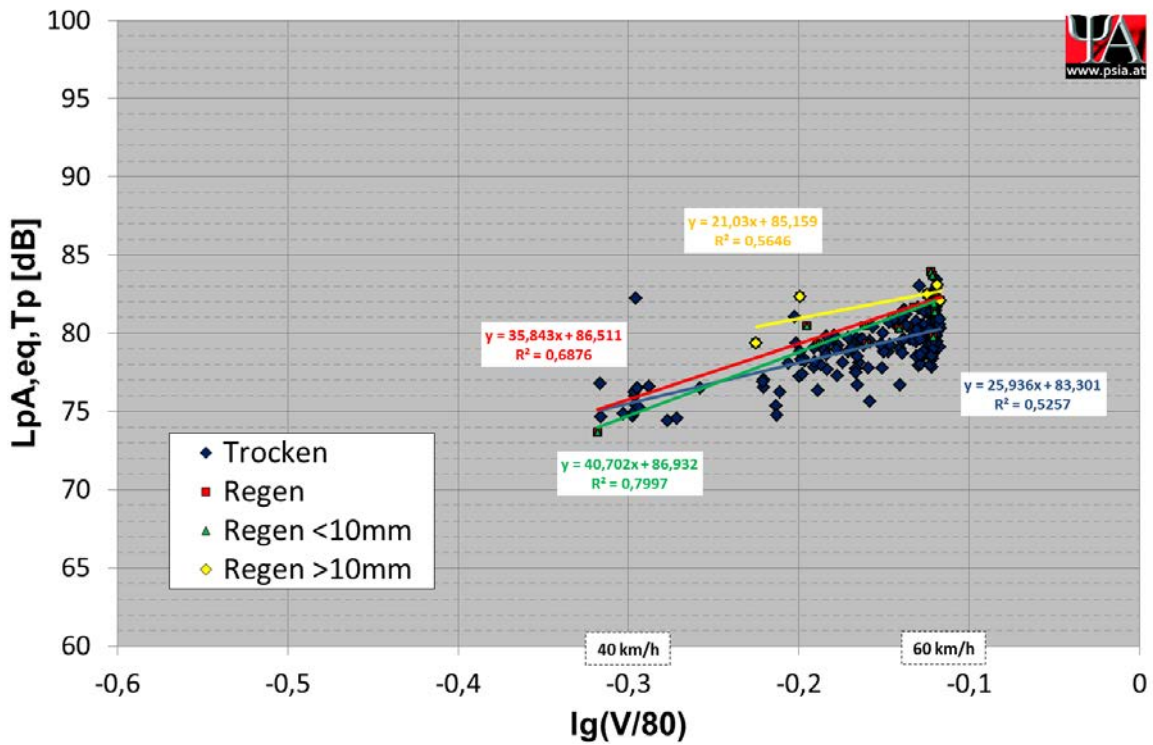


Abb. 5-83: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel der Kategorie S4024 ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

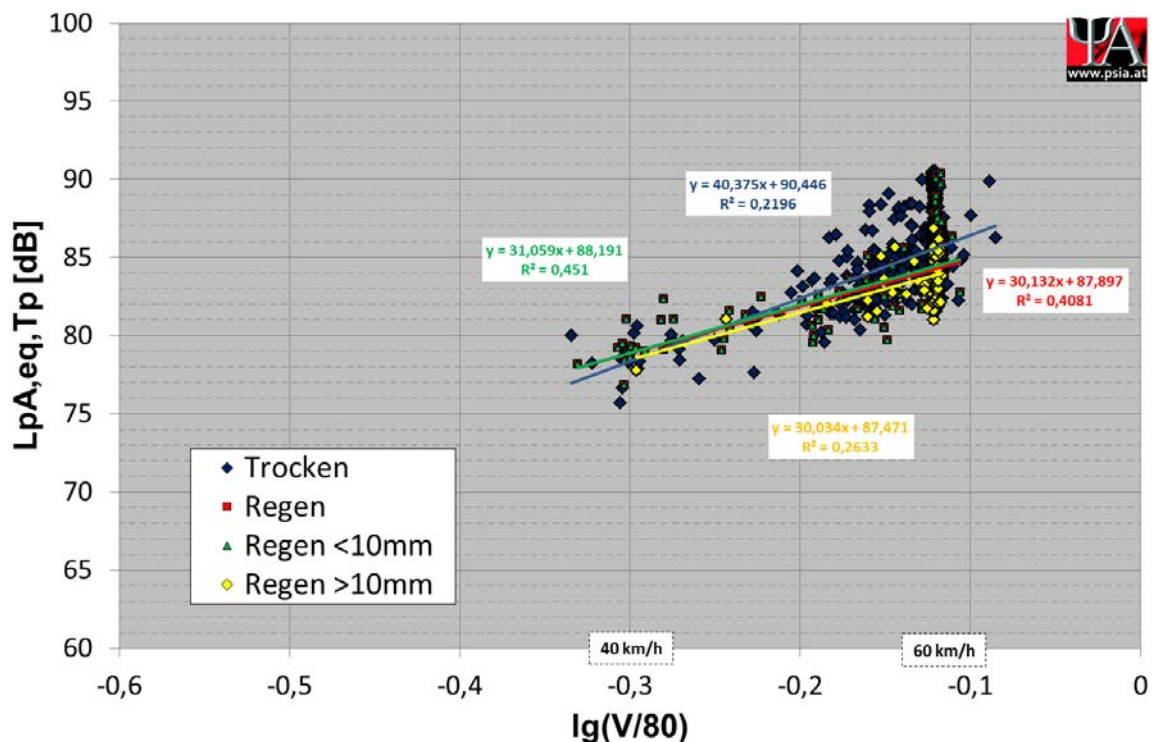


Abb. 5-84: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel der Kategorie 80-33 ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

Regen liegen. Bei der Kategorie 80-33 hingegen liegen die Ergebnisse bei trockenen Verhältnissen um bis zu 1 dB über jenen bei Regen.

Das der Regen bei einem Großteil der Fahrten zu einer Pegelerhöhung führt, ist ein eher überraschendes Ergebnis. Aus diesem Grund wurden bei der Kategorie S4020, wo dieser Effekt am stärksten sichtbar ist, weiterführende Analysen durchgeführt.

In Abb. 5-85 sind wieder die A-bewerteten Vorbeifahrtpegel der Kategorie S4020 ohne tonale und ohne breitbandige Auffälligkeiten aufgetragen, jedoch beschränkt auf den Geschwindigkeitsbereich von 55-56 km/h sowie für den Temperaturbereich der Schiene von 10-20°C. Zusätzlich zum Standardmesspunkt M1 in 7,5 m Entfernung zum Gleis sowie 1,2 m über Schienenoberkante, wurden auch die Ergebnisse der Mikrofonposition M2 in 7,5 m Entfernung zum Gleis und 13 m über der Schienenoberkante analog dazu aufgetragen um etwaigen Einfluss der Sensorik auszuschließen. Vergleicht man die Mittelwerte der Vorbeifahrten ist wieder eine Differenz von 2 dB erkennbar, und zwar sowohl für den Messpunkt M1 als auch für den Messpunkt M2. In Abb. 5-86 sind die zugehörigen mittleren linearen Terzpegelspektren am Messpunkt M1 dargestellt. Man erkennt, dass die Erhöhung der Vorbeifahrtpegel durch Regen über einen sehr breiten Bereich des Frequenzspektrums (100 Hz bis 2,5 kHz) geht. Vergleicht man die

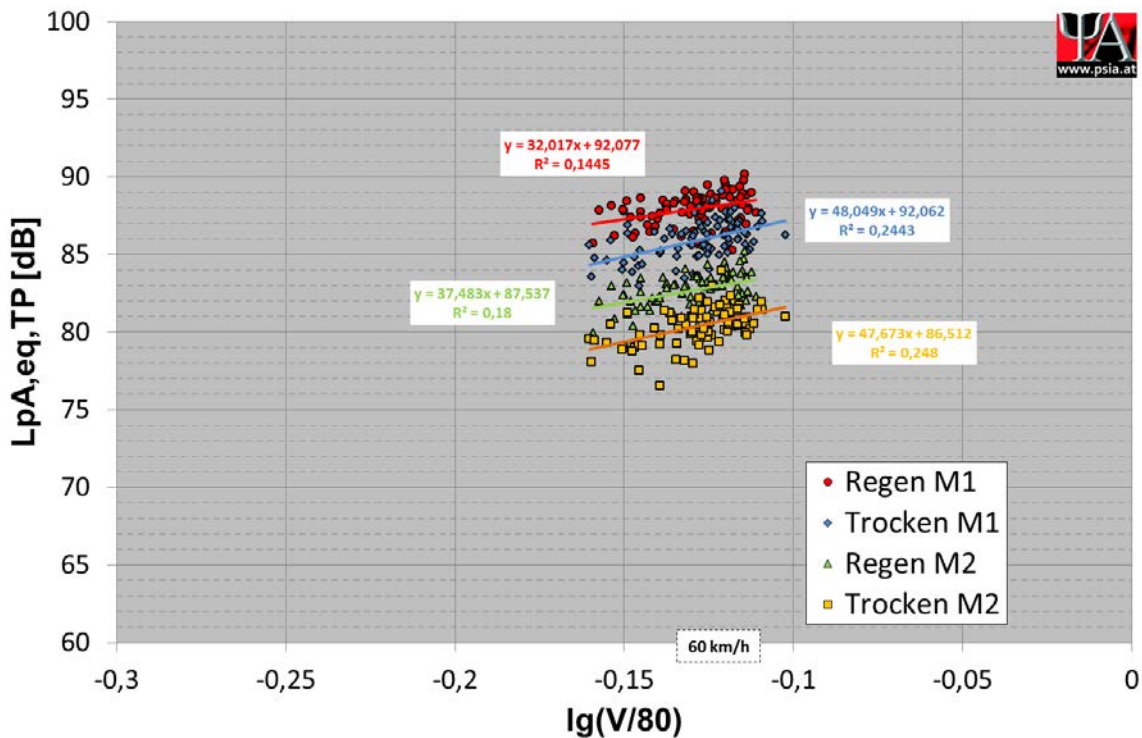


Abb. 5-85: A-bewerteter Vorbeifahrtpegel der Kategorie S4020 ohne Regen und mit Regen an der Mikrofonposition M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK) und M2 (7,5 m / 13 m ü. SOK); Geschwindigkeitsbereich von 55-65 km/h, Temperaturbereich (Schiene) 10-20°C; ohne tonale und ohne breitbandige Auffälligkeiten; Messkampagne 1, Kleinschwechat/S7

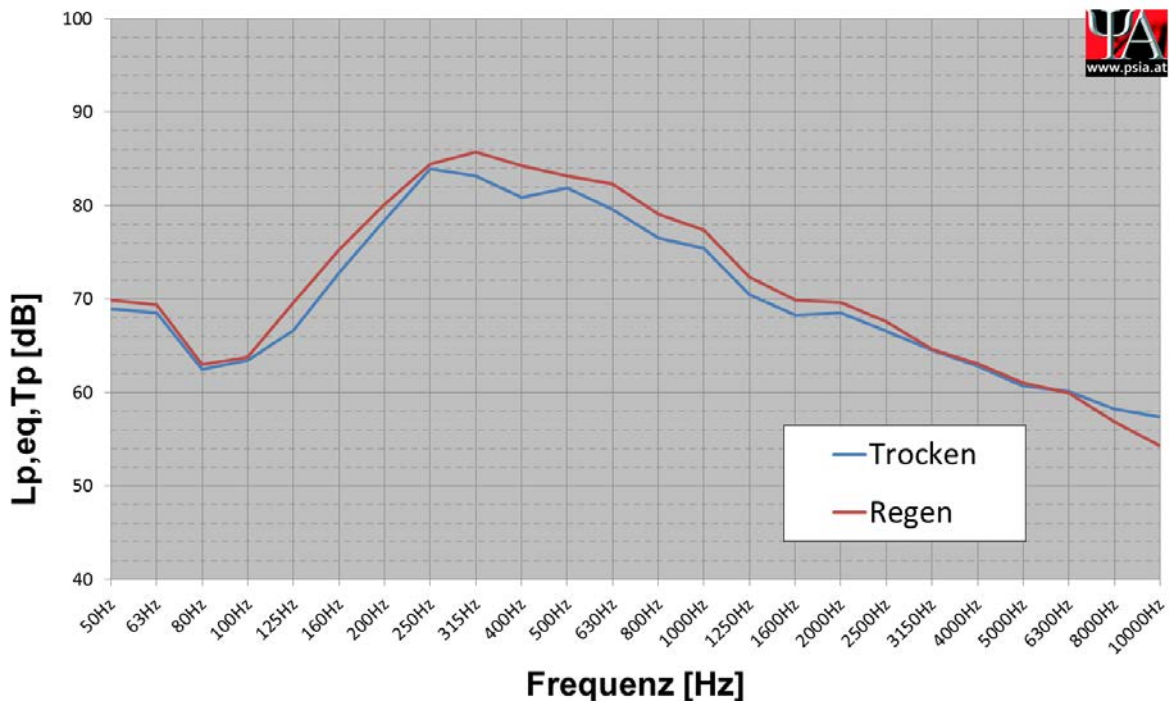


Abb. 5-86: mittlere lineare Vorbeifahrtpegelspektren der Kategorie S4020 ohne Regen und mit Regen an der Mikrofonposition M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK); Geschwindigkeitsbereich von 55-65 km/h, Temperaturbereich (Schiene) 10-20°C; ohne tonale und ohne breitbandige Auffälligkeiten; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

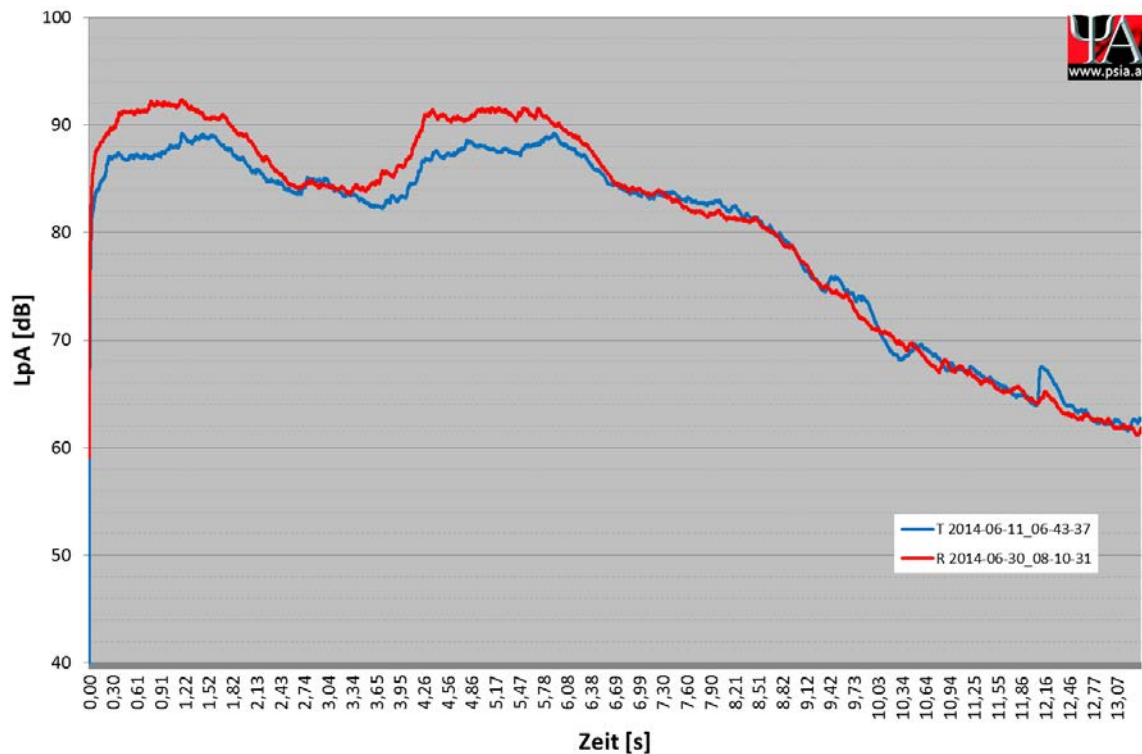


Abb. 5-87: Pegel über Zeit von zwei Zügen der Kategorie S4020 ohne und mit Regen an der Mikrofonposition M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK); Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

Pegelschriebe von zwei Vorbeifahrten mit und ohne Regen (siehe Abb. 5-87), so erkennt man, dass die Erhöhung des Gesamtpegels von den zwei Triebwagen der Kategorie S4020 ausgehen. In dem Bereich der angetriebenen Wagen sind Pegeldifferenzen von bis zu 4 dB erkennbar, während im Bereich der Zwischen- bzw. Steuerwagen die Pegel nahezu ident sind.

Die Ursache für dieses Phänomen konnte im Zuge dieses Forschungsprojektes nicht geklärt werden.

6. LOKALISIERUNG VON AUFFÄLLIGKEITEN

Zur Steigerung des Verständnisses für die zugrunde liegenden Phänomene von Kurvenkreischen und -quietschen, wird im Folgenden anhand einer Gegenüberstellung der Schallemissionen und der Schienenbeschleunigungen abgeschätzt, ob tonale bzw. breitbandige Auffälligkeiten in Abhängigkeit der Zugkategorie vermehrt an der Bogeninnen- oder an der Bogenaußenseite auftreten. Darüber hinaus werden für Zugkategorien mit gleichbleibender Achsanzahl die Auftrittshäufigkeiten sowie weitere Parameter der Auffälligkeiten achsbezogen dargestellt und hinsichtlich markanter Häufungspunkte am Zug diskutiert.

6.1. Gegenüberstellung Schallemissionen an Bogeninnen- und -außenseite

Werden Schallemissionen im Messquerschnitt an beiden Bogenseiten - idealerweise in gleicher Höhe und im gleichen Abstand zur Gleisachse - erfasst, so kann durch deren Vergleich Aufschluss über den Entstehungsort (Bogeninnen- oder Bogenaußenseite) von einseitig auftretenden tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten gewonnen werden. Denn bestehen Unterschiede in den Schallabstrahlungen der beiden Räder einer Achse und/oder der bogeninneren und bogenäußeren Schiene, so ist davon auszugehen, dass das der lautereren Schallquellen nähere Mikrofon aufgrund von Entfernungsdifferenzen und aufgrund von Abschattungseffekten durch die Fahrzeuge auch höhere Pegel erfasst.

Da im vorliegenden Projekt ausschließlich an 2-gleisigen Strecken gemessen wurde, war bei den Messkampagnen neben dem Standardmesspunkt M1 (7,5 m Entfernung, 1,2 m über SOK) an der Streckenaußenseite nur eine Messposition M5 zwischen den Gleisen (2,25 m Entfernung, 0,5 m über SOK) realisierbar. Dementsprechend werden im Folgenden für unauffällige Vorbeifahrten der jeweils betrachteten Zugkategorien die mittleren Erhöhungen der Terzspektren von Emissionen, welche zwischen den Gleisen erfasst wurden, gegenüber den Spektren von Emissionen am Standardmesspunkt berechnet. Um eine ausreichend hohe Anzahl an Zügen für die Mittelung zur Verfügung zu haben, wurde auf eine weitere Einschränkung beispielsweise hinsichtlich der Vorbeifahrtgeschwindigkeiten verzichtet.

Werden bei auffälligen Vorbeifahrten die Aufzeichnungen des näheren Mikrofons um die mittleren Differenzspektren vermindert, so erlaubt dies die erfassten Schallemissionen beider Seiten - wenn gleich nur näherungsweise - miteinander zu vergleichen. Im Hinblick auf das Ziel der Gegenüberstellung, einer Identifikation der verursachenden Bogenseite

mit (vermutlich markant) höheren Schallemissionen in einigen Terzbändern, erscheinen die Unsicherheiten dieses Ansatzes jedoch vertretbar.

6.1.1. Manuelle Bewertung der Vorbeifahrten der Stichprobe von Messkampagne 1

In einem ersten Schritt wurden die Terzspektren jener Züge welche in den Hörproben als unauffällig eingestuft wurden herangezogen und für die Kategorien Güterzug, S4020, 80-33 und S4024 die jeweiligen Differenzen aus den zwei Terzspektren der Mikrofonpositionen M1 und M5 zu einem Differenzspektrum gemittelt. In Abb. 6-1 sind diese gemittelten Differenzspektren je Kategorie dargestellt. Die zugrundeliegenden Einzeldifferenzen sind in Anhang D.1 (Abb. D-1 bis Abb. D-4) dargestellt.

Von den Terzspektren der gemessenen Vorbeifahrten in Messposition M5 wurden anschließend die Differenzspektren für die jeweilige Zugkategorie subtrahiert und je Vorbeifahrt den zugehörigen Terzspektren der Messposition M1 gegenübergestellt. Für diese Gegenüberstellung wurden nur jene Vorbeifahrten herangezogen, welche im Zuge der Hörproben als „kreischend“ bzw. „quietschend“ klassifiziert wurden, nicht jedoch Fahrten bei denen beide Auffälligkeiten gleichzeitig auftraten.

Bei den als „quietschend“ klassifizierten Fahrten der Kategorie 80-33 (CAT) sind zwei markante „tonale Spitzen“ erkennbar. Bei 2,5 kHz ist diese Spitze im negativen Bereich und somit kann die Quelle der Auffälligkeit auf der Bogenaußenschiene vermutet werden. Bei 3,15 kHz ist die Spitze im positiven Bereich und kann damit der Bogeninnenschiene zugeordnet werden. In Abb. 6-2 sind die Differenzen der Mikrofone im Frequenzbereich nach Entstehungsort sortiert dargestellt.

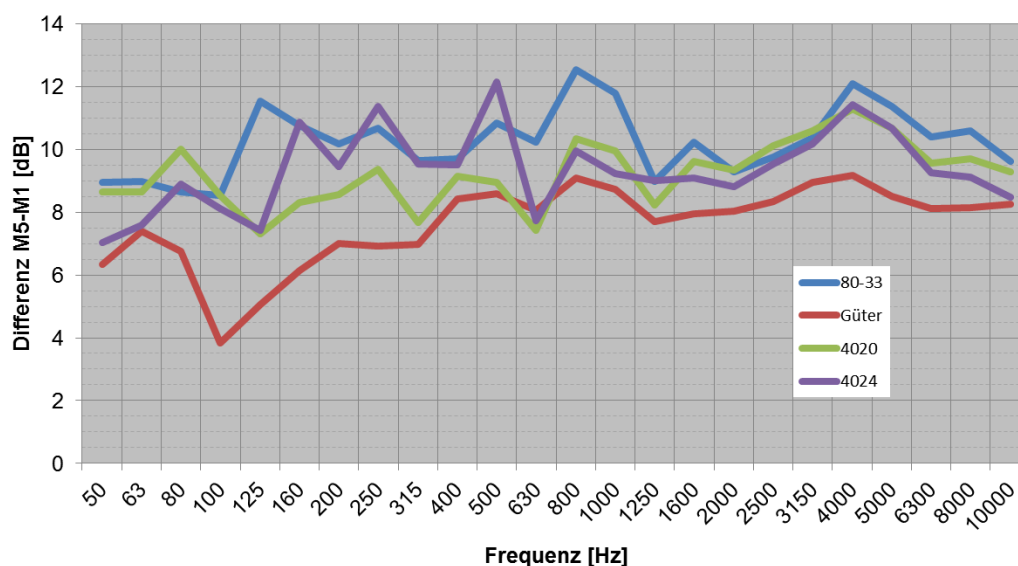


Abb. 6-1: gemittelte Differenz der Terzspektren (M5 – M1) je Kategorie (ohne Auffälligkeiten)

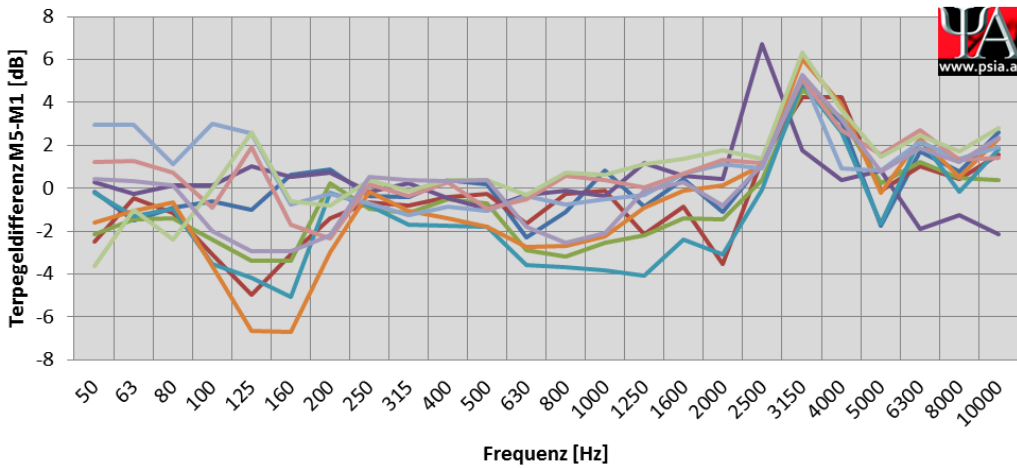
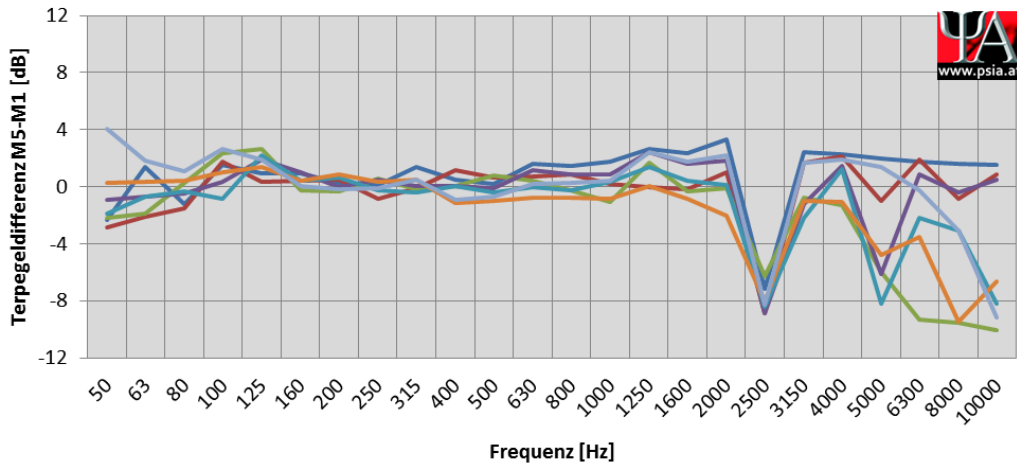


Abb. 6-2: Differenz der Terzspektren M5 (korrigiert) – M1 von Einzelfahrten der Kategorie 80-33 (CAT) der im Hörversuch als „quietschend“ klassifizierten Fahrten mit Lokalisierung auf der Bogenaußenschiene (oben) und auf der Bogeninnerschiene (unten)

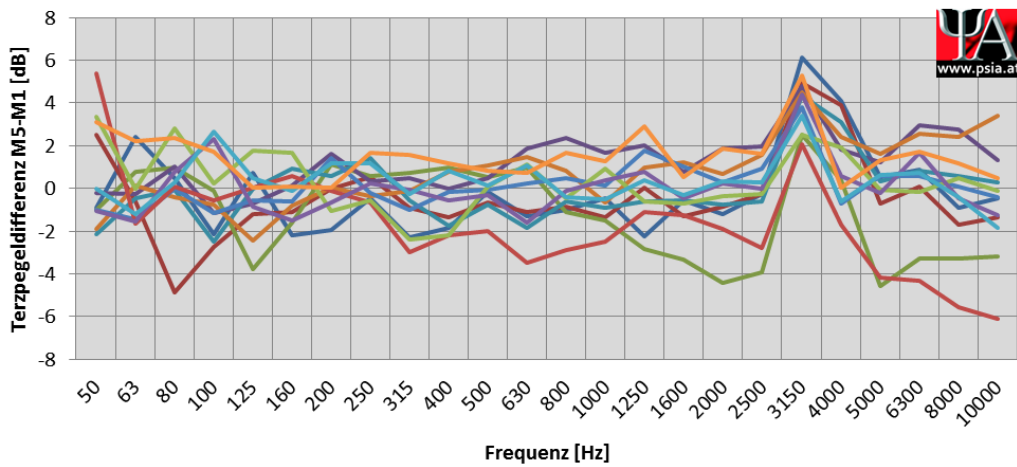


Abb. 6-3: Differenz der Terzspektren M5 (korrigiert) – M1 von Einzelfahrten der Kategorie S4020 (CAT) der im Hörversuch als „quietschend“ klassifizierten Fahrten mit Lokalisierung auf der Bogeninnerschiene

In Anhang D.1, Abb. D-5 sind für einige ausgewählte Einzelfahrten aus diesem Kollektiv die beiden Frequenzkurven von Messposition M1 und M5 einander gegenübergestellt.

Bei der Kategorie S4020, welche im Zuge der Hörproben als quietschende Vorbeifahrten deklariert wurden, sind die tonalen Auffälligkeiten nur auf der Bogeninnenseite bei 3,15 kHz sichtbar. Die Abb. 6-3 zeigt wieder die Differenz zwischen M5 und M1 mit positiven Werten bei höheren Pegeln an der Bogeninnenseite und negativen Werten für höhere Pegeln an der Bogenaußenseite. In Anhang D.1, Abb. D-6 sind beispielhaft für drei Vorbeifahrten die Terzpegel von M1 und M5 einander gegenübergestellt.

Für die Kategorie Güterzug „mit Kreischen“ sind in den Abb. 6-4 und Abb. 6-5 die Pegeldifferenzen in den einzelnen Terzbändern zwischen Messpunkt M1 und den

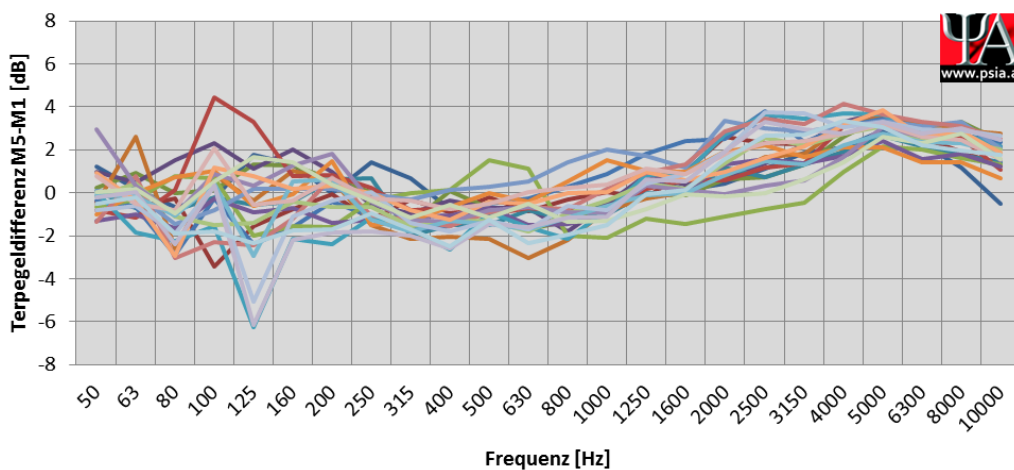


Abb. 6-4: Differenz der Terzspektrern M5 (korrigiert) – M1 von Einzelfahrten der Kategorie Güter der im Hörversuch als „kreischend“ klassifizierten Fahrten mit Lokalisierung auf der Bogeninnenschiene

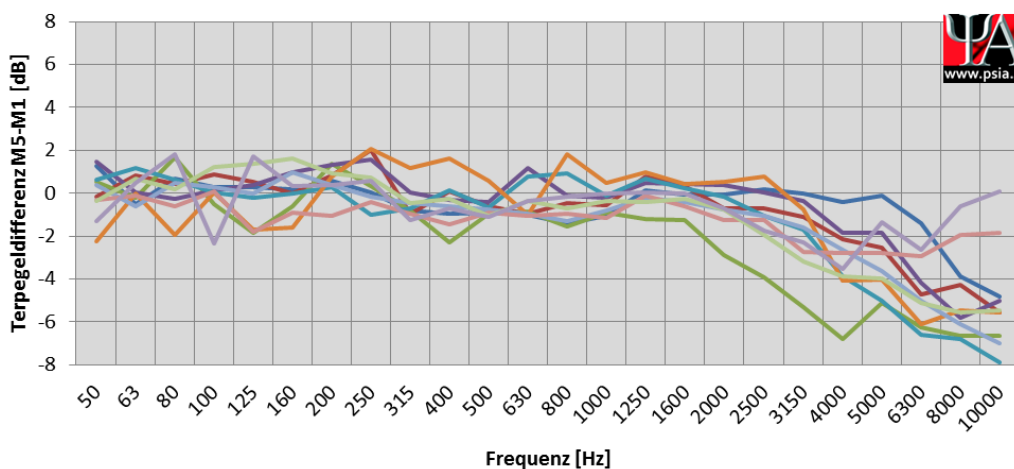


Abb. 6-5: Differenz der Terzspektrern M5 (korrigiert) – M1 von Einzelfahrten der Kategorie Güter der im Hörversuch als „kreischend“ klassifizierten Fahrten mit Lokalisierung auf der Bogenaußenschiene

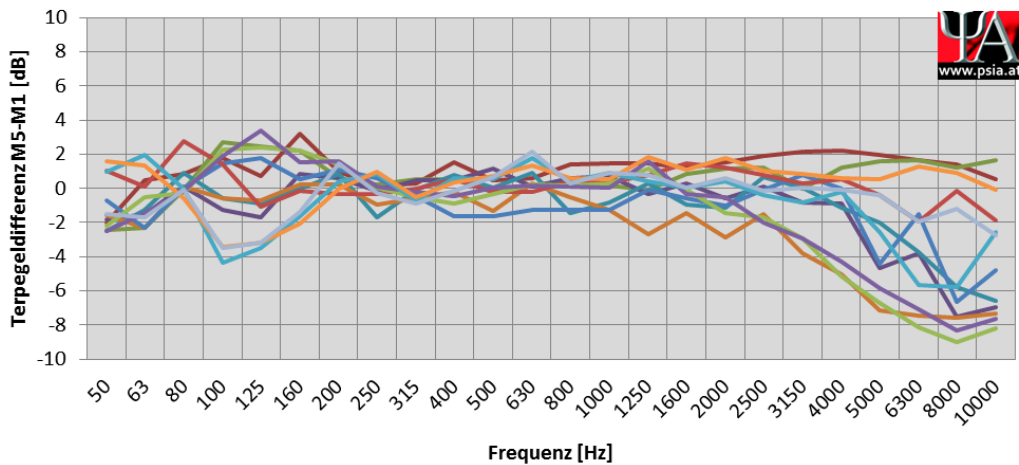


Abb. 6-6: Differenz der Terzspektren M5 (korrigiert) – M1 von Einzelfahrten der Kategorie 80-33 (CAT) der im Hörversuch als „kreischend“ klassifizierten Fahrten mit Lokalisierung auf der Bogenaußenschiene

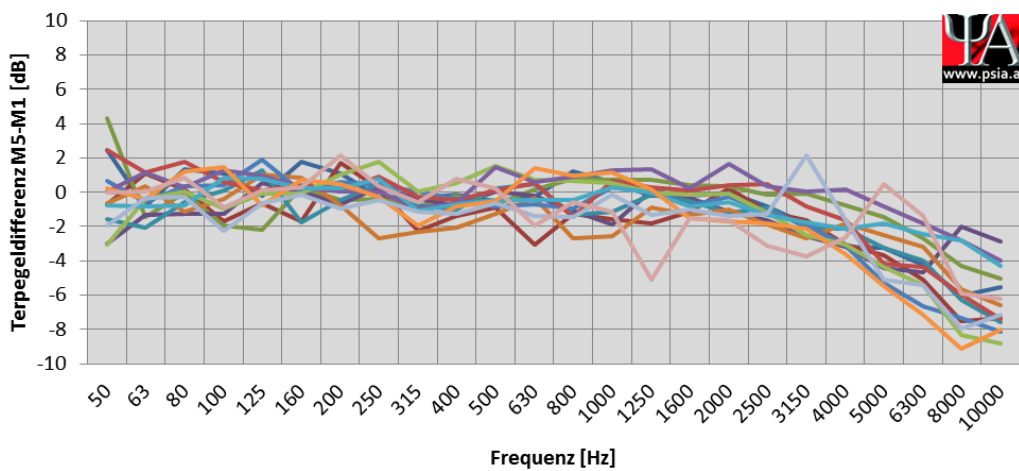
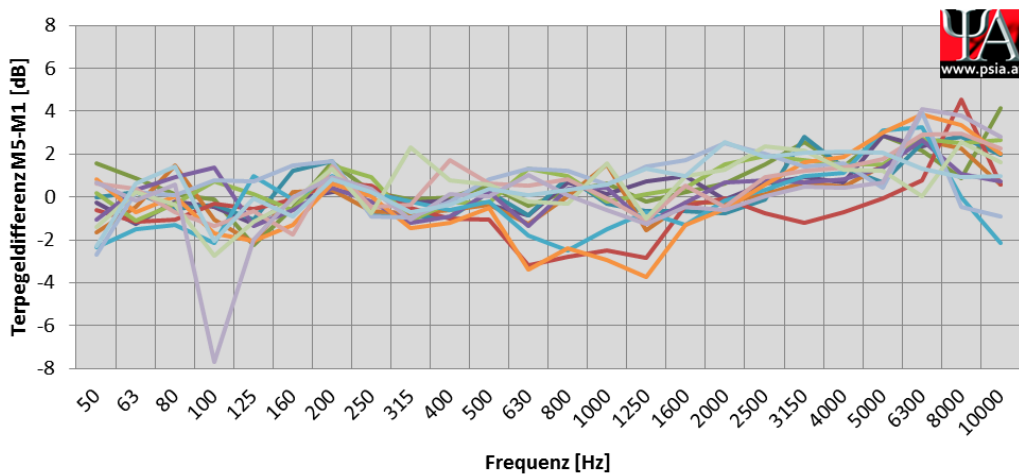


Abb. 6-7: Differenz der Terzspektren M5 (korrigiert) – M1 von Einzelfahrten der Kategorie S4020 der im Hörversuch als „kreischend“ klassifizierten Fahrten mit Lokalisierung auf der Bogenaußenschiene (unten) und der auf der Bogeninnenschiene (oben)

korrigierten Werten von Messpunkt M5 dargestellt. Man erkennt, dass die breitbandigen Auffälligkeiten im Frequenzbereich >2000 Hz sowohl an der Innen- als auch an der Außenschiene entstehen. Anhang D.1, Abb. D-7 zeigt wieder die Terzspektren von je 3 Vorbeifahrten mit breitbandigen Auffälligkeiten an Innen- und Außenschiene.

Für die Kategorie 80-33 „mit Kreischen“ sind in den Abb. 6-6 die Pegeldifferenzen in den einzelnen Terzbändern zwischen Messpunkt M1 und den korrigierten Werten von Messpunkt M5 dargestellt. Bei dieser Kategorie treten breitbandige Auffälligkeiten vor allem im Bereich der Außenschiene auf. Man erkennt zwar das vereinzelt Fahrten auch leichte Erhöhungen im positiven Bereich haben, und damit der Innenschienen zugeordnet werden können, diese liegen jedoch in einem Bereich von 2 dB und geringer, wodurch die Zuordnung zu Innen- oder Außenschiene nur schwer bestimmbar ist. Bei den Ausschlägen in den negativen Bereich und damit der Bogenaußenschiene zuordenbar erreichen die Differenzen zum Teil auch wesentlich höhere Differenzen von bis zu -8 dB. In Anhang D.1, Abb. D-9 sind beispielhaft für 3 Vorbeifahrt die Terzspektren der Messpunkte M1 und M5 (korrigiert) gegenüber gestellt.

Für die Kategorie S4020 „mit Kreischen“ sind in der Abb. 6-7 die Pegeldifferenzen in den einzelnen Terzbändern zwischen Messpunkt M1 und den korrigierten Werten von Messpunkt M5 dargestellt. In den Diagrammen erkennt man, dass sowohl auf der Bogenaußen- wie auch auf der Bogeninnenschiene breitbandige Auffälligkeiten auftreten. In Anhang D.1, Abb. D-8 wird wieder der Vergleich der Terzspektren für je drei Beispielfahrten dargestellt.

6.1.2. Automatische Erkennung der Vorbeifahrten aller Messkampagnen

Analog zu dem manuellen Vergleich in Kap. 6.1.1 werden im Folgenden die mit den Mikrofonen M1 und M5 erfassten Emissionsspektren beider Zugseiten entsprechend der Ergebnisse der automatisierten Erkennung von akustischen Auffälligkeiten einander gegenüber gestellt. Dabei werden für jede der drei Messkampagnen jeweils die Vorbeifahrten der drei jeweils am häufigsten vorkommenden Zugkategorien betrachtet.

Die für den Vergleich der Terzspektren der beiden Mikrofone erforderlichen, mittleren Differenzspektren wurden auf Basis von Zugvorbeifahrten der betrachteten Zugkategorie berechnet, welche keinerlei Auffälligkeiten aufweisen und demnach eine für akustisch unauffällige Bogenfahrten repräsentative Emissionsverteilung auf beiden Seiten zeigen. Um dabei auch geringfügige, breitbandige Terzpegelerhöhungen ausschließen zu können, deren Bewertungsgröße knapp unterhalb des gewählten Grenzwerts von 70 dB

liegt (vgl. Kap. 3.2.2), wurde hier der Grenzwert um 5 dB auf 65 dB gesenkt. Dadurch ist es zwar möglich, dass auch eine geringe Anzahl Vorbeifahrten mit regulären Schallemissionen nicht in die Mittelung einfließen. Gleichzeitig werden aber auch all jene Schallemissionen ausgeschlossen, deren Quelle sich bereits weiter entfernt vom Messquerschnitt befinden und aufgrund des langsamen Pegelanstiegs bzw. -abfalls noch geringe, möglicherweise einseitige Schallemissionsanteile im Messquerschnitt hervorrufen. Bei tonalen Auffälligkeiten wurde aufgrund der rascheren Anstiege und Abfälle der Terzpegel, wodurch selbst bei marginaler Unterschreitung der Erkennungsgrenzwerte nur geringere Erhöhungen im Terzspektrum der Vorbeifahrten zu erwarten sind, auf eine Senkung der Grenzwerte verzichtet.

Die mittleren Differenzspektren der Mikrofone für unauffällige Vorbeifahrten sind in Anhang D.2 inklusive der Streubreite (definiert durch die einfache Standardabweichung $\pm\sigma$) dargestellt. Allerdings ist nicht feststellbar, inwiefern die Streuung durch Variationen in den Ausbreitungspfaden (beispielsweise verschiedene Abschattungssituationen) bei gleichen Quellstärken der Emissionen von Rad und Schiene an beiden Zugseiten oder durch tatsächliche Unterschiede in den Emissionsquellen hervorgerufen wird. Während die erste Möglichkeit als überlagerte, zufällige Störgröße der Emissionsunterschiede interpretiert werden kann, würde bei zweiter Möglichkeit die Streubreite eine tatsächlich vorhandene Variation von asymmetrischen Emissionen beschreiben. Die ermittelte Standardabweichung σ , welche gemäß der Abbildungen in Anhang D.2 in der Regel zwischen 1-2 dB liegt, kann daher für die nachfolgend ermittelten Emissionsunterschiede nur als sehr grober Anhaltspunkt für die Genauigkeit der Umrechnung der Mikrofonpositionen dienen.

Der Vergleich von auffälligen Vorbeifahrten wurde separat für breitbandige und tonale Auffälligkeiten durchgeführt (siehe Abb. 6-8 linke und rechte Spalte), indem jeweils nur Züge mit entsprechenden Auffälligkeiten für die arithmetische Mittelung der Differenzspektren zu Grund gelegt wurden. Die Differenzspektren wurden dabei zwischen den Terzspektren der mit dem Mikrofon am Standardmesspunkt erfassten Emissionen und den Terzspektren der zwischen den Gleisen aufgezeichneten Emissionen, welche um die jeweils zugehörigen mittleren Differenzterzspektrums für den unauffälligen Fall aus Anhang D.2 vermindert wurden, gebildet. Da bei den Messkampagnen sowohl Links- wie auch Rechtsbögen vorhanden sind und die Mikrofonpositionen M1 und M5 nicht in allen Fällen mit der Bogeninnen- und -außenseite einhergehen, wird in Abb. 6-8 zur Vereinfachung nur auf die Bogenseite Bezug genommen.

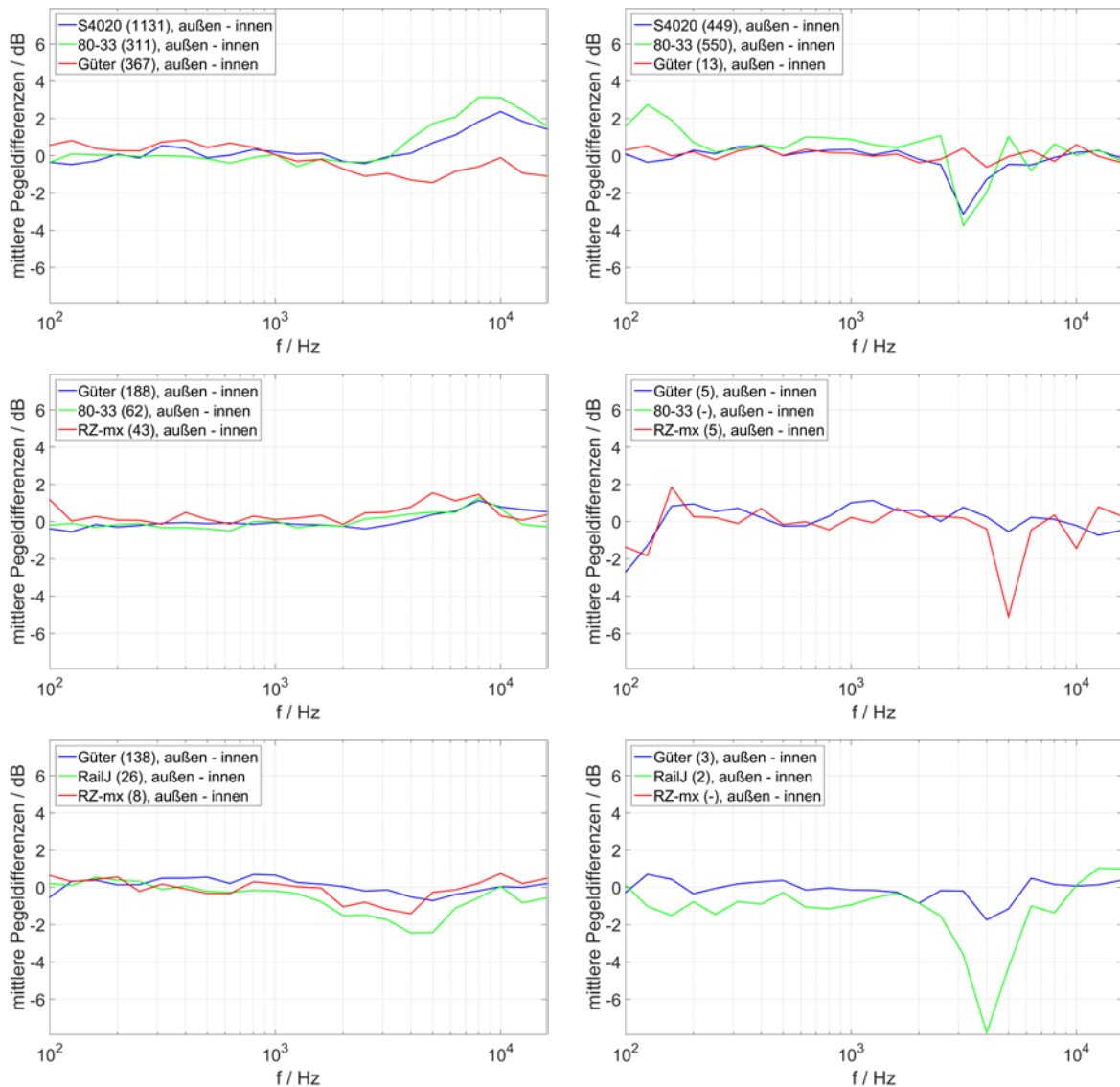


Abb. 6-8: mittlere Differenzen der Terzspektren von an der Bogenaußen- und an der Bogeninnenseite erfassten Schallemissionen (Umrechnung der unterschiedlichen Mikrofonpositionen mit Hilfe der mittleren Terzspektrendifferenzen für den unauffälligen Fall aus Anhang D.2) für Vorbeifahrten mit breitbandigen (linke Spalte) und mit tonalen (rechte Spalte) Auffälligkeiten bei Ausschluss von Niederschlag: separate Berechnung der drei, jeweils am häufigsten erfassten Zugkategorien für die Messkampagne 1 (oben), 2 (Mitte) und 3 (unten)

Breitbandige Auffälligkeiten

Bei einem Vergleich der mittleren Differenzterzspektren von breitbandigen und tonalen Auffälligkeiten zeigt, dass die Unterschiede bei breitbandigen Auffälligkeiten zum Teil deutlich niedriger ausfallen. Hierfür erscheinen zwei mögliche Ursachen plausibel. Einerseits besteht die Möglichkeit das bei tonalen Auffälligkeiten durch Kurvenquietschen, bei welchen die Räder zu Schwingungen angeregt werden, Abschattungseffekte durch die

Kamp.	Zugkat.	Anzahl	Grenzwert: 0,0 dB		Grenzwert: ±0,5 dB		Grenzwert: ±1,0 dB	
			innen	außen	innen	außen	innen	außen
1	S4020	1131	390	741	328	695	270	647
	80-33	311	122	189	113	181	103	175
	Güter	367	274	93	255	85	225	76
2	Güter	188	54	134	44	120	35	108
	80-33	62	22	40	20	39	20	36
	RZ-mx	43	10	33	8	30	7	28
3	Güter	138	84	54	69	48	56	43
	Railjet	26	17	9	15	8	15	8
	RZ-mx	8	4	4	4	4	4	4

Tab. 6-1: Anzahl der höheren breitbandigen Schallemissionen an der Bogeninnen- und Bogenaußenseite beurteilt durch die Differenzen der Bewertungsgrößen für breitbandige Auffälligkeiten (siehe Kap. 3.2.2): höhere Emissionen an der Bogenaußenseite bei Überschreitung der dargestellten Grenzwerte bzw. höhere Emissionen an der Bogeninnenseite bei Unterschreitung der negativen Grenzwerte, wobei eine Über- bzw. Unterschreitung von höheren Grenzwerten auf größere Unterschiede der Emissionen an beiden Seiten bedeutet

Fahrzeuge mehr zum Tragen kommen als bei breitbandigen Auffälligkeiten durch den Spurkranzanlauf, bei welchen auch der Schiene vergleichsweise hohe Emissionsanteile zugeschrieben werden können und eine direkte Sichtverbindung zu beiden Mikrofonen denkbar ist. Andererseits bewirkt eine höhere Emission an der Bogeninnen- oder an der Bogenaußenseite durch die arithmetische Mittelung einen Ausgleich in den Differenzterzspektren. Um Aufschluss über letztere Möglichkeit zu erhalten, wurden für jede Vorbeifahrt die Differenz der Bewertungsgrößen für breitbandige Auffälligkeiten aus Kap. 3.2.2 gebildet und die Anzahl der Überschreitungen von drei positiven Grenzwerten (entspricht höheren Emissionen an der Bogenaußenseite) bzw. die Unterschreitung der negativen Grenzwerte (entspricht höheren Emissionen an der Bogeninnenseite) bestimmt (siehe Tab. 6-1).

- Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7 (Abb. 6-8, oben links)

Sowohl bei Zügen der Kategorie S4020, wie auch der Kategorie 80-33 sind im relevanten Frequenzbereich deutliche Erhöhungen bei den bogenäußeren Schallemissionen zu verzeichnen. Bei Güterzügen scheinen hingegen die bogeninneren Emissionen zu dominieren, wenngleich die Emissionsdifferenzen eine geringere Ausprägung zeigen. Dies kann dadurch begründet sein, dass die derzeit meist noch mit Graugussbremssohlen ausgerüsteten Güterfahrzeuge als Folge der größeren Radrauheit grundsätzlich höhere Emissionen aufweisen. Auffällige Emissionsanteile bewirken dadurch geringere Pegelerhöhungen, sodass die

Differenzen an den beiden Mikrofonen geringer ausfallen können. Die aus Abb. 6-8 abgeleiteten Aussagen werden durch die in Tab. 6-1 dargestellten Zahlen der höheren Emissionen an der Bogeninnen- bzw. an der -außenseite bestätigt. Die Ergebnisse decken sich grundsätzlich auch mit den Erkenntnissen aus der manuellen Prüfung von Vorbeifahrten der Stichprobe (siehe Kap. 6.1.1). Zwar wird dabei für die Kategorie S4020 auch auf die Möglichkeit des Auftretens von höheren Emissionen an der Bogeninnenseite hingewiesen, jedoch können die exemplarischen Betrachtungen keinerlei Auskunft über Häufigkeitsverteilungen geben, weshalb dies nicht gegen die hier gewonnenen Erkenntnisse spricht.

- Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn (Abb. 6-8, Mitte links)
Im Vergleich zu Messkampagne 1 (Abb. 6-8, oben links) bestehen bei der 2. Messkampagne deutlich geringere Ausschläge der mittleren Differenzterzspektren, welche tendenziell eine höhere Schallemission an der Bogenaußenseite andeuten und im relevanten Frequenzbereich mit Werten zwischen 0 und 1,5 dB im Bereich der Streubreite der Differenzspektren für Umrechnung der beiden Mikrofonpositionen liegen. Die Werte aus Tab. 6-1 zeigen hier dennoch für alle drei betrachteten Zugkategorien und alle drei gewählten Grenzwerte einen deutlicheren Überhang der höheren Emissionen an der Bogenaußenseite. Die geringeren arithmetischen Mittelwerte können möglicherweise dadurch erklärt werden, dass aufgrund der deutlich höheren Fahrgeschwindigkeiten bei der 2. Messkampagne höhere Grundterzpegel im relevanten Frequenzbereich vorhanden sind. Da hingegen Terzpegelerhöhungen durch Spurkranzanlauf vermutlich auf gleichem Pegelniveau bleiben, sinken die Differenzen der Emissionen an beiden Zugseiten.
- Messkampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn (Abb. 6-8, unten links)
Die Ausschläge sind im relevanten Frequenzbereich noch geringer wie bei Messkampagne 2, wobei für die Kategorien Güterzüge und Railjet nur eine vage Interpretation hin zu höheren Emissionen an der Bogeninnenseite möglich ist. Bei der Kategorie Reisezug-mix scheint zwar eine höhere Emission an der Bogenaußenseite ableitbar, jedoch stehen für die Mittelung lediglich 8 Züge zur Verfügung. Die in Tab. 6-1 dargestellten Zahlen bestätigen diese Tendenz für Güterzüge und Railjets: sie weisen mehrheitlich höhere Emissionen an der Bogeninnenseite auf, während bei der geringen Anzahl an Zügen der Kategorie Reisezug-mix ausgeglichene Verhältnisse vorhanden sind. Auch bei dieser Kampagne verkehren die Züge mit höheren Geschwindigkeiten als bei Kampagne 1, wodurch die sehr geringen Ausschläge im

relevanten Frequenzbereich in Abb. 6-8 zum Teil erklärt werden könnten. Bei der Kategorie Güterzug deuten die in Tab. 6-1 dargestellten Zahlen im Vergleich zu Messkampagne 1 und 2 zudem eine weniger ausgeprägte, einseitige Emissionserhöhung, weshalb durch die arithmetische Mittelung ein Ausgleich bewirkt wird.

Tonale Auffälligkeiten

Die Unterschiede zwischen den Terzpegelspektren der beiden Zugseiten fallen bei tonalen Auffälligkeiten an Personenzügen deutlich höher aus, als bei Auffälligkeiten an Güterzügen (siehe Abb. 6-8, rechte Spalte). Dies resultiert aus den bei Personenzügen im Allgemeinen wesentlich kürzeren Zuglängen. Aufgrund der meist kurzen Auftrittsdauern tonaler Komponenten in den erfassten Emissionen sind die Terzspektren der längeren Güterzüge etwaige Pegelerhöhungen einer oder zweier benachbarter Terzen trotz energetischer Mittelung deutlich weniger ausgeprägt. Hinzu kommt, dass bei Güterzügen aufgrund des hohen Anteils an breitbandig auffälligen Zügen (im Bereich von ca. 60 bis 70%, vgl. Kap. 5.1.1) vergleichsweise selten tonale Auffälligkeiten isoliert auftreten. Daher basiert die Mittelung der in Abb. 6-8 dargestellten Differenzen der Terzspektren bei Güterzügen meist nur auf einer geringen Anzahl an Zügen. Aufgrund dieser beiden Eigenschaften ist von geringer Interpretierbarkeit auszugehen, weshalb wird im Folgenden nur auf die Erkenntnisse bei Personenzügen eingegangen wird:

- Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7 (Abb. 6-8, oben rechts)
Die Personenzüge der Kategorien S4020 und 80-33 weisen bei Vorhandensein tonaler Auffälligkeiten markant höhere Emissionen bei den 3,15 und 4 kHz Terzen an der Bogeninnenseite auf. Werden die Differenzen analog zu Tab. 6-1 zugswise betrachtet (hier nicht gesondert tabellarisch angeführt), so ist zu erkennen, dass sich bei Kategorie 80-33 in geringerer Anzahl auch weitere Emissionserhöhungen bei 2,5 kHz - allerdings auf der Bogenaußenseite - zeigen.
- Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn (Abb. 6-8, Mitte rechts) und Messkampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn (Abb. 6-8, unten rechts)
Bei diesen Kampagnen ist aufgrund der größeren Bogenradien nur ein sehr geringer Anteil an tonal auffälligen Zügen vorhanden (vgl. Kap. 5.2), deren Anzahl durch die vorgenommene Bedingung isoliert auftretender tonaler Auffälligkeiten weiter dezimiert wird. Die wenigen verbleibenden Personenzüge (bei 2. Kampagne 5 Reisezug-mix und bei 3. Kampagne 2 Railjets) deuten hier auf höhere Emissionen an der Bogeninnenseite hin.

6.2. Vergleich der Schienenbeschleunigungen von Innen- und Außenschiene

Die Auswertungen der an beiden Schienen erfassten, vertikalen und horizontalen Schienenbeschleunigungen wurden für Züge mit breitbandigen Auffälligkeiten entsprechend der Ausführungen von Kap. 4.2 und für Züge mit tonalen Auffälligkeiten entsprechend Kap. 4.3 durchgeführt. Im Gegensatz zu den Analysen des vorigen Unterkapitels, bei welchen die betrachteten Züge die jeweilige Auffälligkeit exklusiv aufweisen mussten, werden im Folgenden all jene Züge als Basis herangezogen, bei welchen die jeweiligen Auffälligkeiten unabhängig von dem Auftreten anderer Auffälligkeiten vorhanden sind. Dies erlaubt eine größere Anzahl an Vorbeifahrten einzubeziehen.

6.2.1. Breitbandige Auffälligkeiten

Die Ergebnisse der Auswertungen für Züge mit breitbandigen Auffälligkeiten in den Schallemissionen sind für die drei Messkampagnen in Abb. 6-9 zusammengestellt. Dabei werden sowohl die Achsen aller Züge mit breitbandigen Auffälligkeiten, sowie von breitbandig auffälligen Züge getrennt nach häufig vertretenen Zugkategorien betrachtet. Die dargestellten und im Folgenden diskutierten Ergebnisse dienen der groben Abschätzung, ob Auffälligkeiten tendenziell an der Bogeninnen- oder -außenschienen entstehen. Entsprechend der Ausführungen in Kap. 4.4 sind diese Ergebnisse jedoch mit größeren Unsicherheiten behaftet und liefern daher nur grobe Anhaltspunkte.

- Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7 (Abb. 6-9, oben)

Der Vergleich der Schienenbeschleunigungen deutet bei Betrachtung aller Vorbeifahrten mit breitbandigen Auffälligkeiten grundsätzlich auf Spurkranzanlauf sowohl an der bogeninneren, wie auch an der bogenäußeren Schiene hin. Bei Unterteilung der Vorbeifahrten nach Zugkategorien kann bei den Kategorien 80-33 und S4024 ein Überhang der bogenäußeren Schiene, bei Güterzügen hingegen der bogeninneren Schiene festgestellt werden. Im Gegensatz dazu zeigen Züge der Kategorien S4020 hier keine eindeutige Tendenz.

Die Ergebnisse der Kategorien 80-33 und der Güterzüge stehen im Einklang mit den Vergleichen der Schallemissionen beider Zugseiten (siehe Kap. 6.1). Zudem liegen die mittleren Geschwindigkeiten der Güterzüge rund 6 km/h unterhalb und die der Züge der Kategorie 80-33 ca. 21 km/h über der ausgeglichenen Geschwindigkeit (vgl. Kap. 0 bis 2.3). Dies lässt aufgrund der entstehenden Seitenbeschleunigungen bei

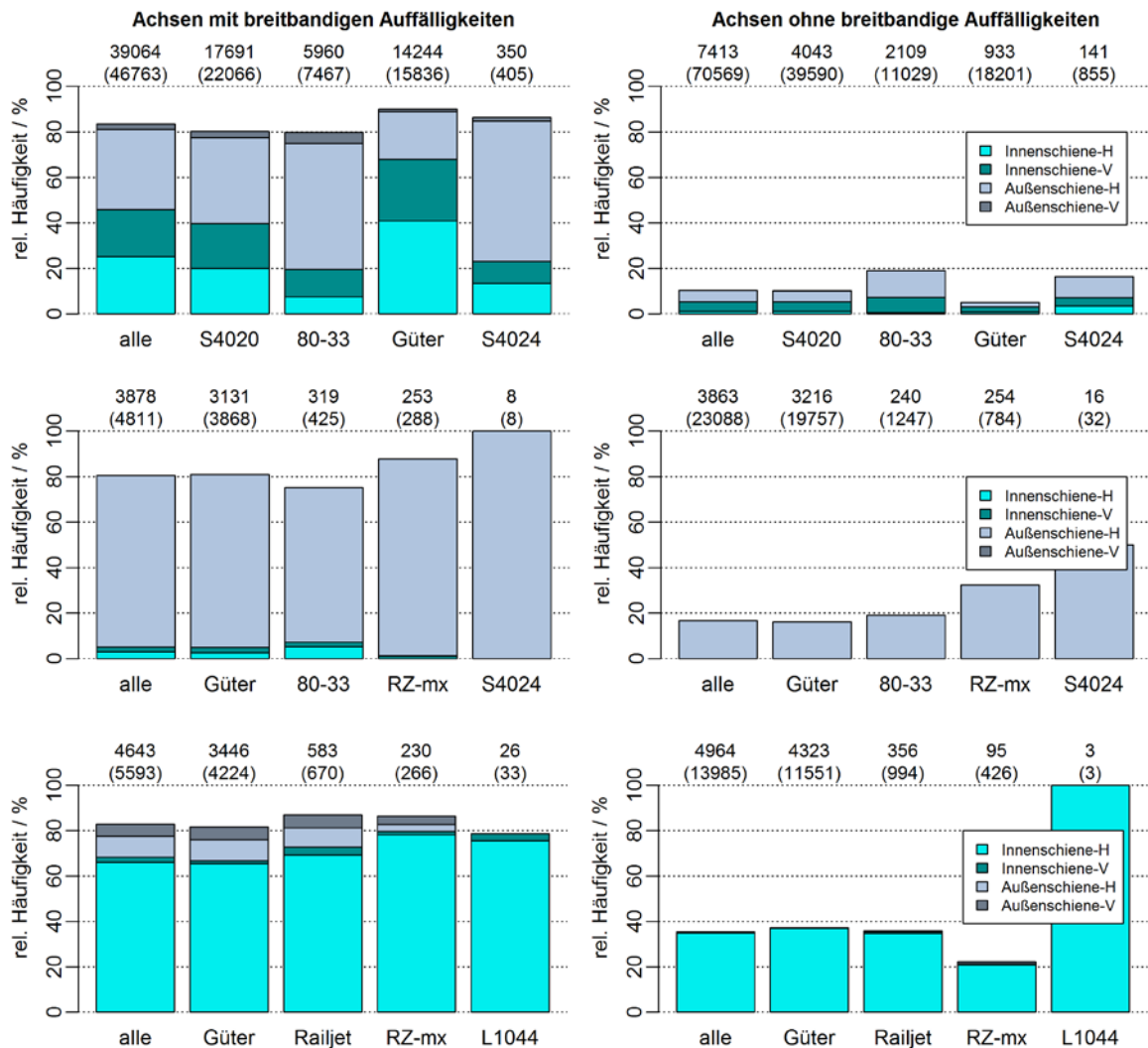


Abb. 6-9: rel. Häufigkeit der Achsen, bei welchen der maximale der vier arithmetischen Beschleunigungsmittelwerte, jeweils gebildet aus den Terzpegel von 8 bis 12,5 kHz, den jeweiligen Grenzwert überschritten hat (von oben nach unten: Messkampagne 1 mit einem Grenzwert von 45 dB und Messkampagne 2 und 3 mit einem Grenzwert von 25 dB); dargestellt jeweils getrennt für alle Züge bzw. für häufig vertretene Zugkategorien mit breitbandiger Auffälligkeit (Kampagne 1: 4840 Züge, Kampagne 2: 379 Züge und Kampagne 3: 301 Züge, jeweils in niederschlagsfreien Zeit erfasst), für Achsen mit (links) und ohne (rechts) erkannter, breitbandiger akustischer Auffälligkeit

Güterzügen einen Spurkranzanlauf auf der Innenschiene bzw. bei Zügen der Kategorie 80-33 auf der Außenschiene vermuten, sodass die Ergebnisse grundsätzlich plausibel erscheinen.

Für die Kategorie S4020 wurde bei den Vergleichen der Schallemissionen an beiden Zugseiten mehrheitliche höhere Emissionen an der Bogenaußenseite identifiziert, wobei sich dies nur bedingt mit den Ergebnissen der Beschleunigungen (ausgeglichene Verhältnisse) deckt. Die Fahrgeschwindigkeit liegt etwa 18 km/h über

der ausgeglichenen Geschwindigkeit, sodass auch hier ein mehrheitlicher Spurkranz an der bogenäußeren Schiene nahe liegt. Bei einer zu Abb. 6-9 analogen Auswertung, jedoch mit der Einschränkung der betrachteten Züge auf jene, bei welchen ausschließlich breitbandige Auffälligkeiten festgestellt wurden, ändert sich die Verteilung von nahezu 50:50 auf etwa 37:73 zu Gunsten der bogenäußeren Schiene. Über eine Erklärung dieser Verschiebung der Anteile kann auf Basis der verfügbaren Daten nur spekuliert werden. So wäre es denkbar, dass bei tonalen, meist an der Innenschiene auftretenden Auffälligkeiten (siehe Abb. 6-10) geringe Oberwellen auch in den Beschleunigungen vorhanden, welche zu Fehlinterpretationen bei der Bewertung von breitbandigen Auffälligkeiten führen. Vor dem Hintergrund der Unsicherheiten beider Auswerteverfahren (Vergleich von Schienenbeschleunigungen und Vergleich der Emissionen beider Zugseiten) kann für die Zugkategorie S4020 daher zusammenfassend festgehalten werden, dass für den Entstehungsort der Auffälligkeit sowohl der Rad-Schiene Kontakt an der Bogeninnen- wie auch an der Bogenaußenseite in Frage kommen kann, ein vermehrtes Auftreten an der Bogenaußenseite jedoch wahrscheinlich ist.

- Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn (Abb. 6-9, Mitte)

Bei allen Zügen bzw. Zugkategorien treten höhere Werte der Bewertungsgröße an der Außenschiene auf. Ähnliche Ergebnisse, wenngleich nicht so eindeutig, liefern auch die Schallemissionsvergleiche aus Kap. 6.1. Auch die mittleren Geschwindigkeiten aller dargestellten Zugkategorien liegen deutlich über der ausgeglichenen Geschwindigkeit (zwischen 7 und 18 km/h, vgl. Kap. 0 bis 2.3), weshalb ein Spurkranz an der Außenschiene plausibel ist. Aufgrund all dieser Übereinstimmungen können die Ergebnisse bzgl. der Tendenz des Entstehungsortes der Auffälligkeit an der Bogenaußenseite als gesichert angesehen werden.

- Messkampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn (Abb. 6-9, unten)

Im Gegensatz zu Kampagne 2 treten vor allem an der Bogeninnenseite höhere, breitbandige Beschleunigungen auf. Der Vergleich der Schallemissionen an beiden Zugseiten liefert hier nur vage Ergebnisse, wenngleich diese ebenso die Bogeninnenseite favorisieren. Die mittleren Fahrgeschwindigkeiten liegen stets über der ausgeglichenen Geschwindigkeit (zwischen rund 3 bis 12 km/h) und liefern daher keine Begründung für die höheren Beschleunigungen an der Bogeninnenseite. Da zwei unabhängige Auswertungen auf die Bogeninnenseite als Entstehungsort hinweisen, erscheint dieses Ergebnis trotz der Unsicherheiten dieser Verfahren

möglich. Dennoch kann eine zuverlässige Aussage nur durch weitere Untersuchungen sichergestellt werden.

6.2.2. Tonale Auffälligkeiten

Die Ergebnisse der Auswertungen für Züge mit tonalen Auffälligkeiten in den Schallemissionen sind in Abb. 6-10, für Messkampagne 2 in Abb. 6-11 und für Messkampagne 3 in Abb. 6-12 zusammengestellt. Dabei werden sowohl alle Züge mit tonalen Auffälligkeiten gemeinsam, wie auch getrennt nach häufig vorkommenden Zugkategorien betrachtet.

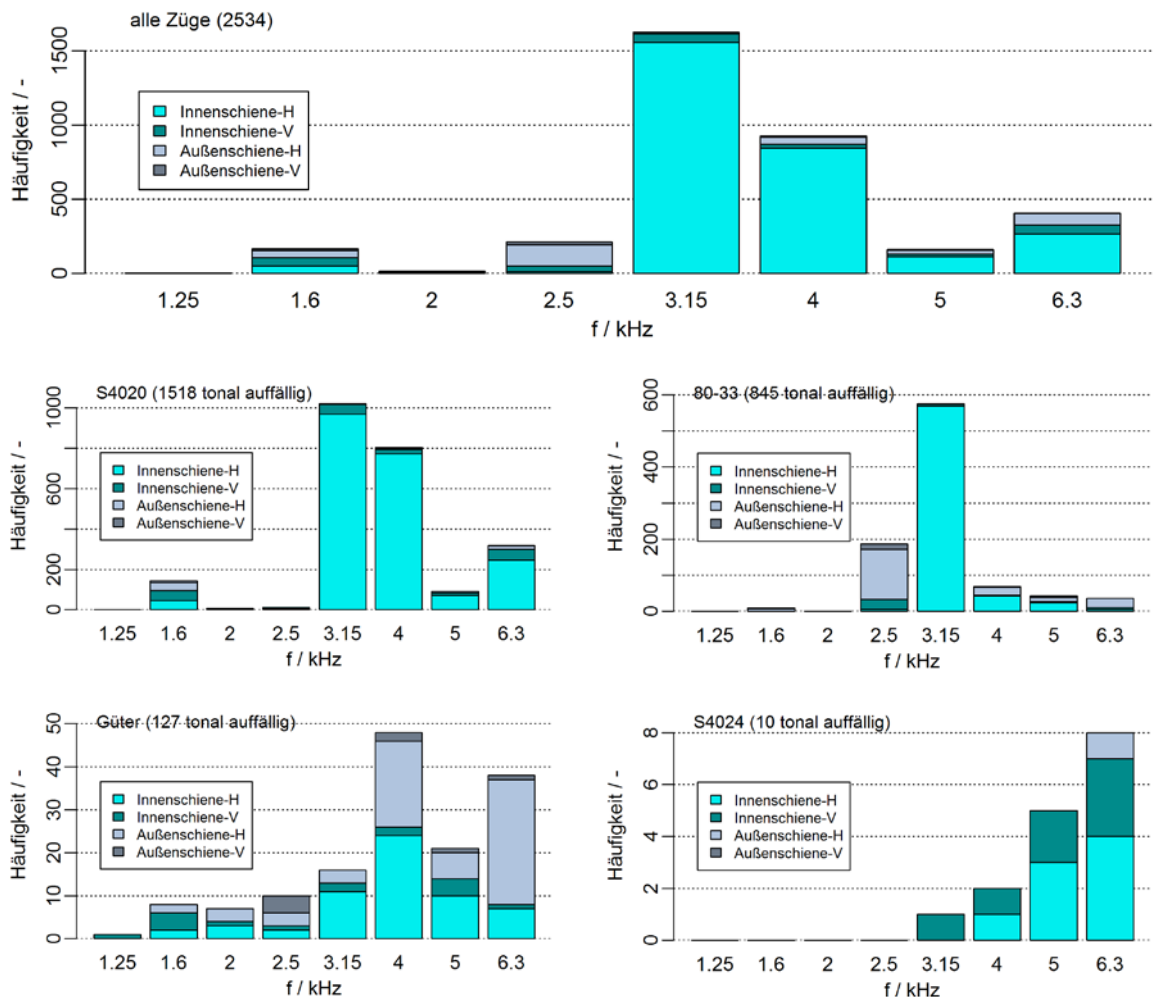


Abb. 6-10: Häufigkeit der jeweils höchsten der vier Beschleunigungsmittelwerte, gebildet über die erkannten Bereiche tonaler Auffälligkeiten in den Terzpegelzeitverläufe, dargestellt in Abhängigkeit der Terzmittenfrequenzen für Vorbeifahrten in niederschlagsfreien Abschnitten der Kampagne 1: Betrachtung aller Züge mit tonalen Auffälligkeiten (oben) und der am häufigsten erfassten Zugkategorien S4020 (Mitte links), 80-33 (Mitte rechts), Güterzüge (unten links) und S4024 (unten rechts)

Bei Personenzügen der Messkampagne 1 treten die tonalen Beschleunigungskomponenten mit den höchsten Mittelwerten im Allgemeinen an der Bogeninnenseite auf (vgl. in Abb. 6-10, Mitte und unten rechts). Lediglich bei Vorbeifahrten der Kategorie 80-33 zeigen sich bei tonalen Auffälligkeiten im 2,5 kHz Terzband überwiegend dominierende Beschleunigungen an der Bogenaußenseite. Die Auswertungen in Kap. 6.1.1 kommen für die betrachteten Zugkategorien zu identem Ergebnis: bei tonal auffälligen Vorbeifahrten der Kategorie S4020 werden höhere Emissionen ausschließlich an der Bogeninnenseite festgestellt, während bei Zügen der Kategorie 80-33 höhere Emissionen sowohl an der Bogeninnenseite (überwiegend im 3,15 kHz Terzband), wie auch an der Bogenaußenseite (ausschließlich im 2,5 kHz Terzband) aufgetreten sind. Bei Güterzügen stellt sich hingegen eine überwiegend ausgeglichene Situation dar: dominante Beschleunigungsmittelwerte werden sowohl auf der Innen- wie auch auf der Außenschiene erkannt. Eine Verifikation durch den Vergleich der Schallemissionen ist für Güterzüge, aufgrund der in Kap. 6.1.1 beschriebenen geringen Interpretierbarkeit der Ergebnisse, nicht möglich.

Die mittleren Fahrgeschwindigkeiten der Personenzüge liegen deutlich über der ausgeglichenen Geschwindigkeit (je nach Kategorie zwischen 17 und 21 km/h), während Güterzüge mit einer mittleren Geschwindigkeit von ca. 6 km/h unterhalb der ausgeglichenen Geschwindigkeit verkehren. Aufgrund dessen kann vermutet werden, dass es mit zunehmender Geschwindigkeit zu einer Entlastung des bogeninneren Rades kommt und daher dort der Stick-Slip Effekt und damit Kurvenquietschen begünstigt wird. Bei Geschwindigkeiten unterhalb der ausgeglichenen Geschwindigkeit könnte sich der Effekt umkehren, sodass es auch auf der bogenäußeren Schiene vermehrt zu Kurvenquietschen kommen kann.

Aufgrund der sehr geringen Anzahl an tonalen Auffälligkeiten bei Zügen der Messkampagne 2 (29 Züge) besitzen die in Abb. 6-11 dargestellten Ergebnisse nur geringe Aussagekraft. Allerdings bestätigen sie grundsätzlich die Erkenntnisse der ersten Messkampagne bzw. des Vergleichs der Schallemissionen in Kap. 6.1.1: Personenzüge, deren Geschwindigkeit im Mittel deutlich über der ausgeglichenen Geschwindigkeit liegt (rund 18 km/h für Züge der Kategorie 80-33 und Reisezug-mix) zeigen vorwiegend höhere, tonale Beschleunigungen an der bogeninneren Schiene. Güterzüge der 2. Messkampagne weisen im Mittel zwar um ca. 7 km/h höhere Geschwindigkeiten als die ausgeglichene Geschwindigkeit auf, fahren jedoch damit deutlich langsamer als die Personenzüge. Bei Güterzügen kommt es vereinzelt auch zu höheren tonalen

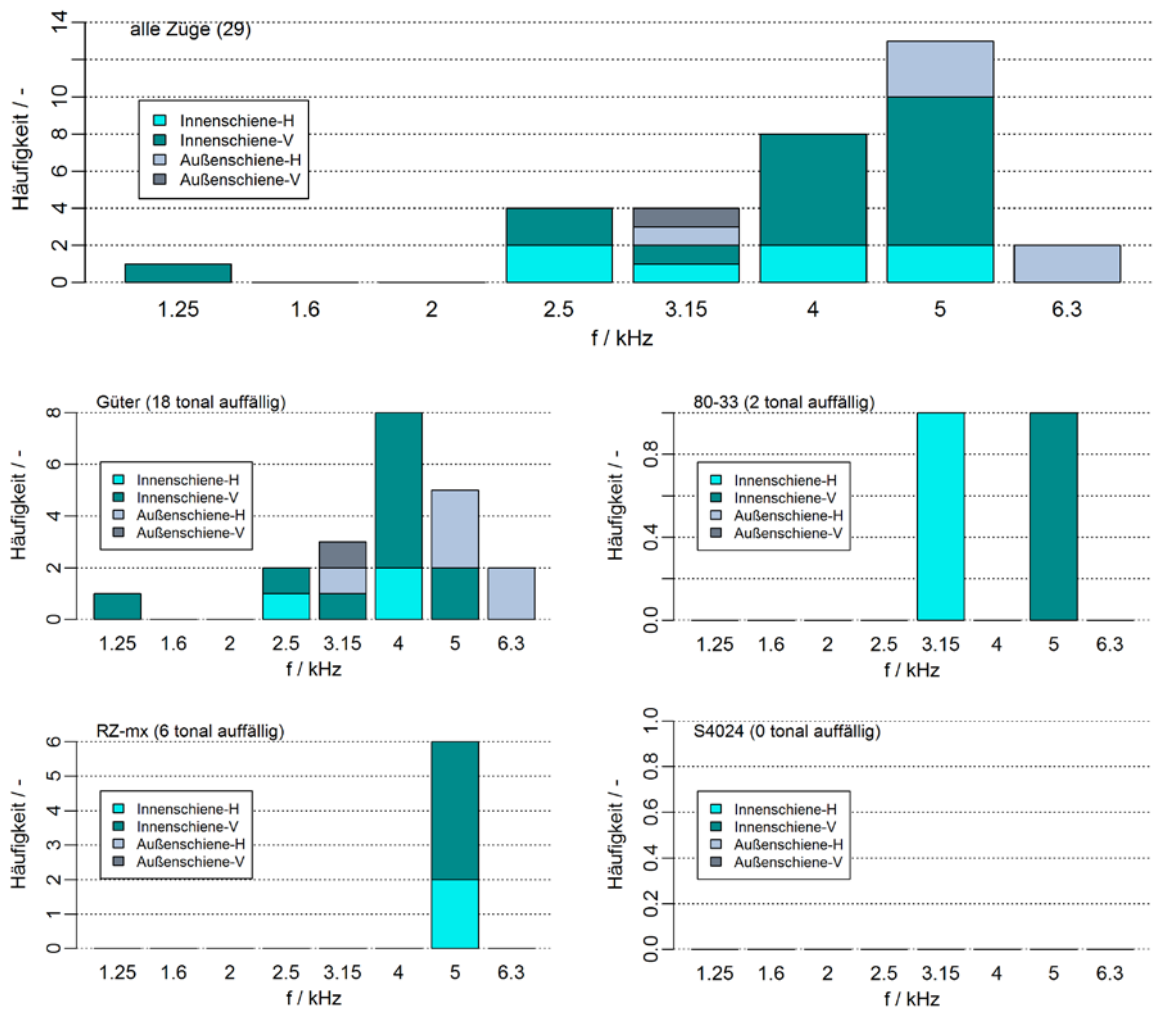


Abb. 6-11: Häufigkeit der jeweils höchsten der vier Beschleunigungsmittelwerte, gebildet über die erkannten Bereiche tonaler Auffälligkeiten in den Terzpegelzeitverläufe, dargestellt in Abhängigkeit der Terzmittenfrequenzen für Vorbeifahrten in niederschlagsfreien Abschnitten der Kampagne 2: Betrachtung aller Züge mit tonalen Auffälligkeiten (oben) und der am häufigsten erfassten Zugkategorien Güterzüge (Mitte links), 80-33 (Mitte rechts), Reisezug-mix (unten links) und S4024 (unten rechts)

Beschleunigungsmittelwerten an der Außenschiene, wodurch die Vermutung einer Begünstigung des Slip-Stick Effekts an der Außenschiene durch niedrigere Geschwindigkeiten bestärkt wird.

Messkampagne 3 weist gegenüber Kampagne 2 zwar eine höhere Anzahl an Zügen mit tonalen Auffälligkeiten auf. Als Folge der in Kap. 4.1 beschriebenen, vorhandenen Fehlmessung dezimiert sich die Anzahl jedoch von 73 auf 54, weshalb auch hier die Aussagekraft der Ergebnisse als gering einzustufen ist. Die in Abb. 6-12 gezeigten Häufigkeiten sind ähnlich gelagert, wie die der vorigen beiden Kampagnen: dominante Beschleunigungsmittelwerte sind vorwiegend an der Innenschiene zu beobachten. Die

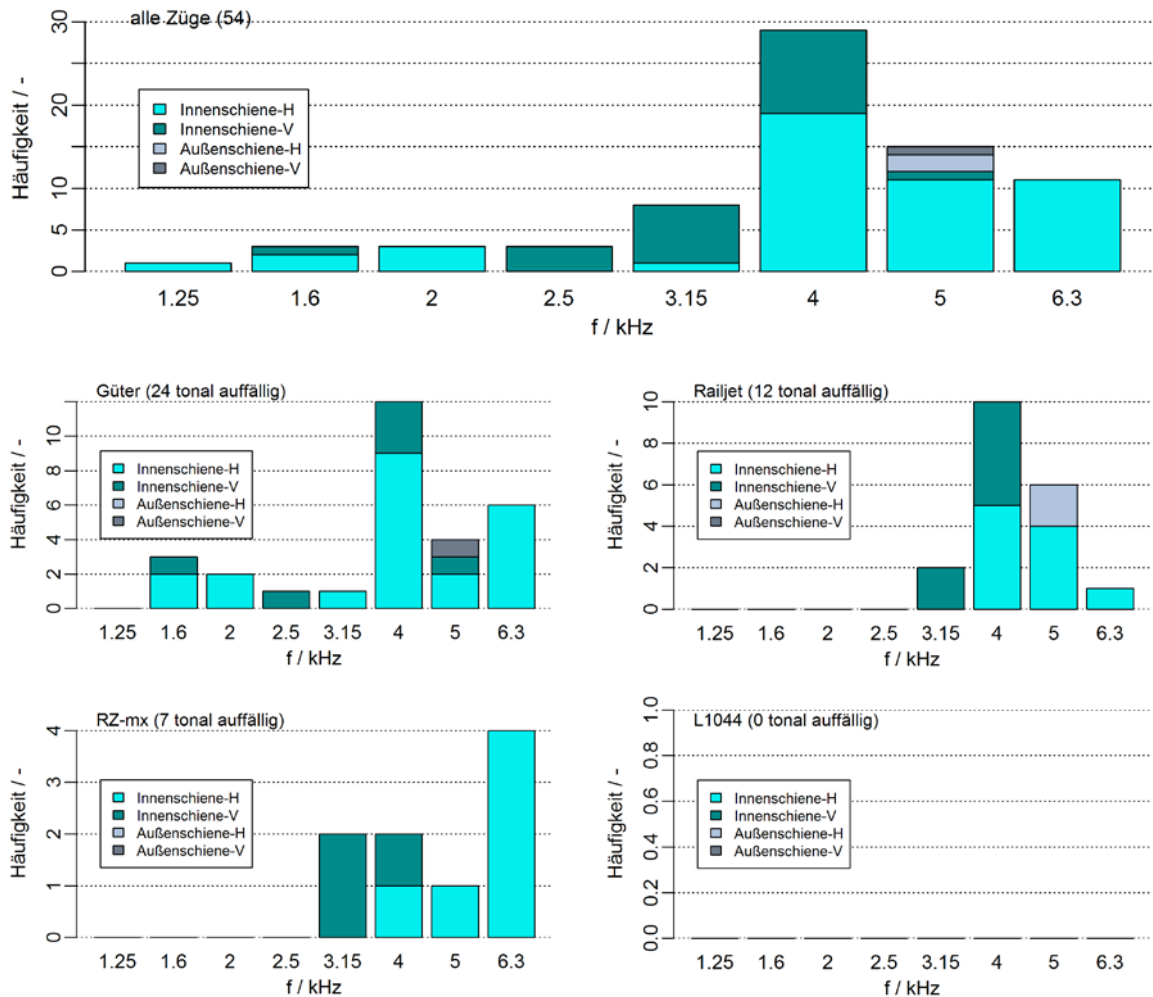


Abb. 6-12: Häufigkeit der jeweils höchsten der vier Beschleunigungsmittelwerte, gebildet über die erkannten Bereiche tonaler Auffälligkeiten in den Terzpegelzeitverläufe, dargestellt in Abhängigkeit der Terzmittenfrequenzen für Vorbeifahrten in niederschlagsfreien Abschnitten der Kampagne 3: Betrachtung aller Züge mit tonalen Auffälligkeiten (oben) und der am häufigsten erfassten Zugkategorien Güterzüge (Mitte links), Railjets (Mitte rechts), Reisezug-mix (unten links) und Lokzug 1044 (unten rechts)

mittleren Fahrgeschwindigkeiten liegen auch hier über der ausgeglichenen Geschwindigkeit, wenngleich die Differenzen etwas geringer als bei Messkampagne 2 ausfallen (Güterzüge ca. 3 km/h und Personenzüge etwa 12 km/h). Die Ergebnisse stützen daher die dargestellte Vermutung einer Geschwindigkeitsabhängigkeit des Entstehungsorts von Kurvenquietschen.

6.3. Zugkategoriebezogene Achsauswertung

Personenzüge der Kategorien S4020, 80-33, S4024 und Railjets verkehren an den betrachteten Strecken in der Regel entweder in einer einzigen Zugkonfiguration oder in

wenigen verschiedenen Konfigurationen (Einzel- oder Doppelgarnitur, Anzahl der Zwischenwagen, Variation der Position von Steuer- bzw. Triebwagen im Zugverband bzw. innerhalb der Garnitur). Anhand der Achszahl können Gruppen von Konfigurationen dahingehend unterschieden werden, dass die Anzahl an Zwischenwagen gleich ist und sich lediglich die Position von Steuer- und Triebwagen bzw. Triebfahrzeug unterscheiden können.

Für jede dieser, durch die Achszahl definierten Konfigurationsgruppen der erwähnten vier Kategorien von Personenzügen, die in ausreichender Zahl bei den Messkampagnen erfasst wurde, werden im Folgenden die Auffälligkeiten in den Schallemissionen, die zugehörigen Bewertungsgrößen bzw. Terzpegel und dominante Schienenbeschleunigungen achsbezogen ausgewertet. Dies erlaubt es, markante Unterschiede in der Häufigkeit, der akustischen Intensität oder/und dem Entstehungsort (Bogeninnen- oder -außenseite) im Zugverband zu identifizieren. Dabei ist zu beachten, dass die Positionen von Triebfahrzeugen, Triebwagen und/oder Steuerwagen innerhalb der Gruppe variieren können. Des Weiteren muss bei der Interpretation etwaiger Unterschiede berücksichtigt werden, dass aufgrund der Zuordnung von Emissionen zu den Achsen zwangsläufig nicht jede Achse, bei deren Überfahrt eine akustische Auffälligkeit erkannt wurde, als Verursacher dieser Auffälligkeit zu werten ist. Vielmehr werden für gewöhnlich bei mehreren Achsen in der Umgebung einer solchen verursachenden Achse akustische Auffälligkeiten auftreten, sodass nur eine grobe Abschätzung des Entstehungsorts auf Fahrzeug- bzw. Drehgestellebene möglich ist. Gleiches gilt für die Bewertungsgröße von breitbandigen akustischen Auffälligkeiten, für Pegel der auffälligen, tonalen Terzen, sowie für breitbandige und tonale Beschleunigungskomponenten. Bei letzterem sind zudem die in Kap. 4.4 diskutierten Unsicherheiten zu berücksichtigen.

6.3.1. Breitbandige Auffälligkeiten

Im Detail werden im Folgenden die Häufigkeiten breitbandiger Auffälligkeiten in den Schallemissionen, welche wie in Kap. 3.3.1 beschrieben den Achsen zugeschrieben werden, achsweise ausgewertet. Des Weiteren werden bei Achsen mit breitbandigen Auffälligkeiten die den Zeitpunkten der Achsüberfahrten am nächsten gelegenen Werten der Bewertungsgröße zur Identifizierung der Auffälligkeiten (arithmetischer Mittelwert der Terzpegel von 8 bis 12,5 kHz, siehe Kap. 3.2.2) betrachtet. Auch werden für die auffälligen Achsen, die dominanten der vier Schienenbeschleunigungen entsprechend

Kap. 4.2, welche den messquerschnittsabhängig gewählten Grenzwert überschreiten, achsbezogen untersucht. Da bei der Beschleunigungserfassung zum Teil Fehlmessungen auftraten (vgl. Kap. 4.1), werden zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur Vorbeifahrten berücksichtigt, bei welchen neben akustischen auch Beschleunigungsdaten vorliegen.

Die Ergebnisse sind für die beiden am häufigsten, erfassten Zugtypen (24-achsige Züge der Kategorie S4020 und 16-achsige Züge der Kategorie 80-33 bei Messkampagne 1) in Abb. 6-13 exemplarisch dargestellt. In Anhang E sind hingegen analog aufbereitete Diagramme aller betrachteten Zugtypen zusammengestellt:

- S4020 mit 12 und 24 Achsen der Messkampagne 1
- 80-33 mit 12, 16 und 20 Achsen der Messkampagne 1 und mit 16, 20 und 40 Achsen der Messkampagne 2
- S4024 mit 10 und 20 Achsen der Messkampagne 1 und mit 10 Achsen der Messkampagne 2
- Railjets mit 32 Achsen der Messkampagne 3

Im Folgenden werden die Zugkategorien einzeln betrachtet:

Schnellbahn 4020

Sowohl bei den 12-achsigen, wie auch bei den 24-achsigen Zugkonfigurationen (siehe Anhang E.1 bzw. Abb. 6-13, links) sind bei den Medianen der Bewertungsgröße für akustische Auffälligkeiten tendenziell leichte Einbrüche bei den Zwischenwagen (Achsen 5-8 und Achsen 17-20) zu verzeichnen. Das bedeutet, dass hier breitbandige Auffälligkeiten geringere Intensität zeigen, als in den übrigen Bereichen. Dies kann beispielsweise dadurch verursacht werden, dass breitbandige Auffälligkeiten mit hoher Intensität von Achsen benachbarter Drehgestelle den Pegel der betrachteten Achsen beeinflussen, sodass diese als breitbandig auffällig mit niedrigeren Bewertungsgrößen identifiziert werden. Gerade in der Zugmitte der 24-achsigen Züge sind zudem die Auftrittshäufigkeiten geringfügig erhöht. Beim den dominanten Schienenbeschleunigungen sind für akustisch auffällige Achsen ähnliche Auftrittshäufigkeiten der an der Bogeninnen- und -außenseite zu beobachten.

Züge der Kategorie S4020 bestehen stets aus Garnituren zu je drei Fahrzeugen: einem Triebwagen, einem Zwischenwagen und einem Steuerwagen. Der Triebwagen ist deutlich schwerer als die anderen Wagen und weist einen um 0,2 m höheren Drehgestellachsabstand auf. Der Triebwagen kann am Anfang oder am Ende einer

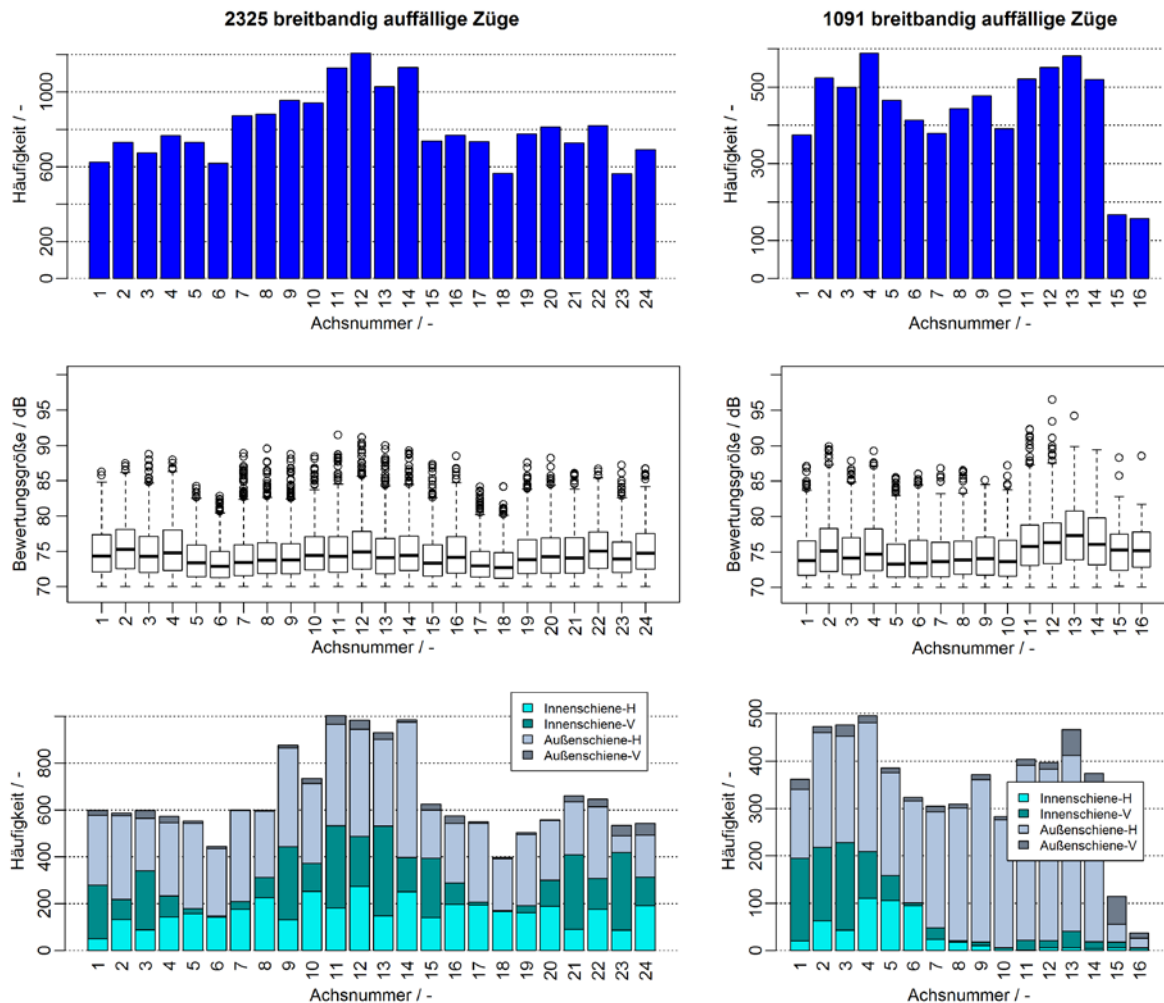


Abb. 6-13: achsbezogene Auswertung für 24-achsige Züge der Kategorie S4020 (links) und für 16-achsige Züge der Kategorie 80-33 (rechts) für niederschlagsfreie Abschnitte der Messkampagne 1 bei Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 45 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

Garnitur gereiht sein, sodass 12-achsige Einfachgarnituren in 2 Konfigurationen und 24-achsige Doppelgarnituren in 4 Konfigurationen verkehren können. Bei den erfassten Vorbeifahrten der 1. Messkampagne waren die verschiedenen Konfigurationen annähernd gleich verteilt, weshalb eine konfigurationsabhängige Darstellung der Auftrittshäufigkeiten und Bewertungsgrößen aus Anhang E.1 bzw. aus Abb. 6-13 (links) möglich wird. Die Ergebnisse dieser Unterteilung (siehe Anhang G.1) zeigen, dass breitbandige Auffälligkeiten sowohl bei 12- wie auch bei 24-achsigen Zügen vor allem im Bereich der Triebwagen inklusive der jeweils benachbarten Drehgestelle vorliegen. Aufgrund dessen

kann davon ausgegangen werden, dass die Triebwagen der Kategorie S4020 das Auftreten der breitbandigen Auffälligkeiten - möglicherweise als Folge höherer Drehgestellachsabstände und/oder des höheren Gewichts - stark begünstigen.

Doppelstockzüge 80-33

Die Auswertungen der Vorbeifahrten der 1. Messkampagne (siehe Anhang E.2 und E.3 bzw. Abb. 6-13, rechts) sind vor dem Hintergrund der Triebfahrzeugposition zu betrachten: die zum Einsatz kommenden Triebfahrzeuge (meist vom Typ 1116, vereinzelt auch vom Typ 1144) sind bei 8- und 16-achsigen Zügen mit Ausnahme einer einzigen Fahrt am Zuganfang und bei 20-achsigen Zügen ausschließlich am Zugende angeordnet. Der Drehgestellachsabstände dieser Triebfahrzeugen betragen 3,0 m (Typ 1116) bzw. 2,9 m (Typ 1144) und sind damit gegenüber den Achsabständen von Steuer- und Zwischenwagen um 0,5 m bzw. 0,4 m länger.

Ogleich der geringen Anzahl an betrachteten Vorbeifahrten bei 8-achsigen Zügen scheinen bei diesen, sowie bei 20-achsigen Zügen scheinen die Triebfahrzeuge für die markanten Häufigkeitserhöhungen von breitbandigen Auffälligkeiten verantwortlich zu sein. Bei den zahlreich erfassten, 16-achsigen Zügen ist neben einer Häufigkeitserhöhungen bei den Triebfahrzeugen am Zuganfang eine weitere Erhöhung im Bereich des letzten Zwischen- bzw. des Steuerwagens zu erkennen. Dieser Bereich weist, ebenso wie der Bereich des Triebfahrzeugs eine Erhöhung der mittleren Bewertungsgrößen auf. Ähnliches Verhalten der Bewertungsgröße ist auch bei 20-achsigen Zügen zu beobachten, wenngleich es bei Steuer- und 1. Zwischenwagen nicht zu einer Erhöhung der Auftrittshäufigkeiten kommt.

Die dominanten Schienenbeschleunigungen zeigen im Bereich der Triebfahrzeuge meist geringfügig höhere Häufigkeiten an der Bogenaußenseite. Im Bereich des letzten Zwischen- und des Steuerwagens der 16-achsigen Züge überwiegt dieser Anteil hingegen deutlich.

Bei der 2. Messkampagne befinden sich bei Einfach- wie auch bei Doppelgarnituren die Triebfahrzeuge bei betrachteten Vorbeifahrten stets am Beginn der Garnituren. Wie in Anhang E.5 und E.6 zu erkennen ist, zeigen die Häufigkeiten in diesen Bereichen markante Erhöhungen, weshalb auch hier ein Zusammenhang mit den Triebfahrzeugen nahe liegt. Die Bewertungsgrößen im Bereich der Triebfahrzeuge liegen tendenziell etwas unterhalb jenen der Messkampagne 1, wobei dies durch möglicherweise durch den deutlich größeren Bogenradius bei der 2. Messkampagne zu erklären ist. Die restlichen Bewertungsgrößen sind schwer zu interpretieren, da nur wenige breitbandige

Auffälligkeiten abseits der Bereiche der Triebfahrzeuge auftreten. So wird bei 20-achsigen Zügen der Eindruck erweckt, dass, sofern breitbandige Auffälligkeiten im Bereich der Personenwagen auftreten, diese von höherer Intensität sind als bei Auffälligkeiten bei Triebfahrzeugen. Aufgrund der Basis von im Mittel rund 5 Auffälligkeiten, kann diese Eigenschaft allerdings nicht als gesichert eingestuft werden. Die dominanten Beschleunigungen treten im Bereich der Triebfahrzeuge durchwegs an den Bogenaußenseiten auf, während in den restlichen Bereichen für eine Interpretation eine zu geringe Anzahl an Bewertungsgrößen der Beschleunigung vorhanden sind, welche den Grenzwert von 25 dB übersteigen.

Zusammenfassend kann für die Kategorie 80-33 festgehalten werden, dass breitbandige Auffälligkeiten häufig durch die Triebfahrzeuge verursacht werden dürften. Bei Messkampagne 1 zeigt sich zudem auch im Bereich des letzten Zwischen- und des Steuerwagens Auffälligkeiten vermehrt auftreten können.

Talent 4024

Bei den Messkampagnen 1 und 2 wurden nur wenige, 10-achsige Einfachgarnituren mit breitbandigen Auffälligkeiten erfasst (siehe Anhang E.4 und E.7), weshalb von einer Deutung der Daten abgesehen wird. Die 20-achsigen Doppelgarnituren zeigen vor allem im Bereich Zugmitte eine Erhöhung der Häufigkeiten. Die Verteilung der Bewertungsgrößen liefert hierzu allerdings keine interpretierbaren Informationen. Ebenso zeigt auch die Beschleunigungsauswertung durchwegs etwas höhere Häufigkeiten der dominanten Beschleunigungen an der Bogenaußenseite.

Die Achsabstände des ersten und letzten Drehgestells von 10-achsigen Garnitur weisen 2,3 m auf, während in den restlichen Drehgestellen der Abstand 2,8 m beträgt. Der Anstieg der Häufigkeiten in der Zugmitte von Doppelgarnituren ist demnach schwer erklärbar, da sich gerade hier zwei Drehgestelle (Achse 9-12) mit kürzeren Achsabständen befinden und aufgrund der geringeren Anlaufwinkel eine geringe Neigung zum Spurkranzanlauf zu erwarten wäre.

Railjets mit 32 Achsen der Messkampagne 3

Bei den in Messkampagne 3 erfassten, 32-achsigen Railjets befinden sich die Triebfahrzeuge mit Drehgestellachsabständen von 3,0 m ausschließlich am Zugsanfang, während die nachfolgenden Reisezugwagen Achsabstände im Drehgestell von 2,5 m aufweisen. Wie in Anhang E.8 zu erkennen ist, traten breitbandigen Auffälligkeiten vor allem am Zugsanfang, wie auch ab der Zugmitte vermehrt auf. Die Bewertungsgrößen für

breitbandige Auffälligkeiten zeigen ebenso wie die Beschleunigungen über den gesamten Zug ähnliches Verhalten: die Bewertungsgrößen liegen durchwegs auf ähnlichem Niveau und die dominanten Beschleunigungen werden überwiegend auf der Bogeninnenseite detektiert. Die Häufigkeitserhöhung zu Beginn könnte grundsätzlich durch das Triebfahrzeug begründet sein, jedoch konnte keine Begründung für die Erhöhung in der zweiten Zughälfte gefunden werden.

6.3.2. Tonale Auffälligkeiten

Entsprechend der Beschreibung in Kap. 3.3.2 werden tonale Auffälligkeiten in den Schallemissionen den Achsen zugeordnet und anschließend die Auftrittshäufigkeiten für gleiche Gruppen von Zügen wie im vorigen Unterkapitel achsweise ausgewertet. Auch werden für Achsen mit tonalen Auffälligkeiten die den Zeitpunkten der Achsüberfahrten am nächsten gelegenen Werte der Bewertungsgröße (dominante Terzpegel der Erhöhung zwischen 1,25 und 6,3 kHz, siehe Kap. 3.2.3), sowie die dominanten der vier Schienenbeschleunigungen (siehe Kap. 4.3) achsweise untersucht. Bei all diesen Auswertungen werden zur besseren Vergleichbarkeit erneut nur jene Züge betrachtet, bei welchen die Beschleunigungen korrekt erfasst wurden (vgl. Kap. 4.1). In Abb. 6-14 sind die Ergebnisse für die beiden am häufigsten, erfassten Zugtypen (24-achsige Züge der Kategorie S4020 und 16-achsige Züge der Kategorie 80-33) exemplarisch dargestellt. In Anhang F sind hingegen analog aufbereitete Diagramme aller betrachteten Zugtypen zusammengestellt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für jede Zugkategorie einzeln diskutiert:

Schnellbahn der Reihe 4020

In den Abbildungen in Anhang F.1 bzw. in Abb. 6-14 sind bei 12-achsigen Einfachgarnituren, wie auch bei den 24-achsigen Doppelgarnituren markante Erhöhungen der Häufigkeiten und zum Teil auch der Pegel der auffälligen Terz in der Zugmitte zu erkennen. Auch wenn die Frequenzen der tonalen Auffälligkeiten weit streuen, sind Auffälligkeiten bei einer Frequenz von 3,15 kHz am Häufigsten vertreten. Die dominanten Beschleunigungen an den Schienen befinden zu einem überwiegenden Anteil an der Bogeninnenseite.

Aufgrund der in Kap. 6.3.1 beschriebenen, erfassten Konfigurationen bzgl. der Anordnung des schwereren Triebwagens (mit einem um 0,2 m längeren Drehgestellachsabstand), des Steuerwagens und des Zwischenwagens wurde auch hier eine konfigurationsabhängige Auswertung der Häufigkeiten und der Pegel der auffälligen Terz

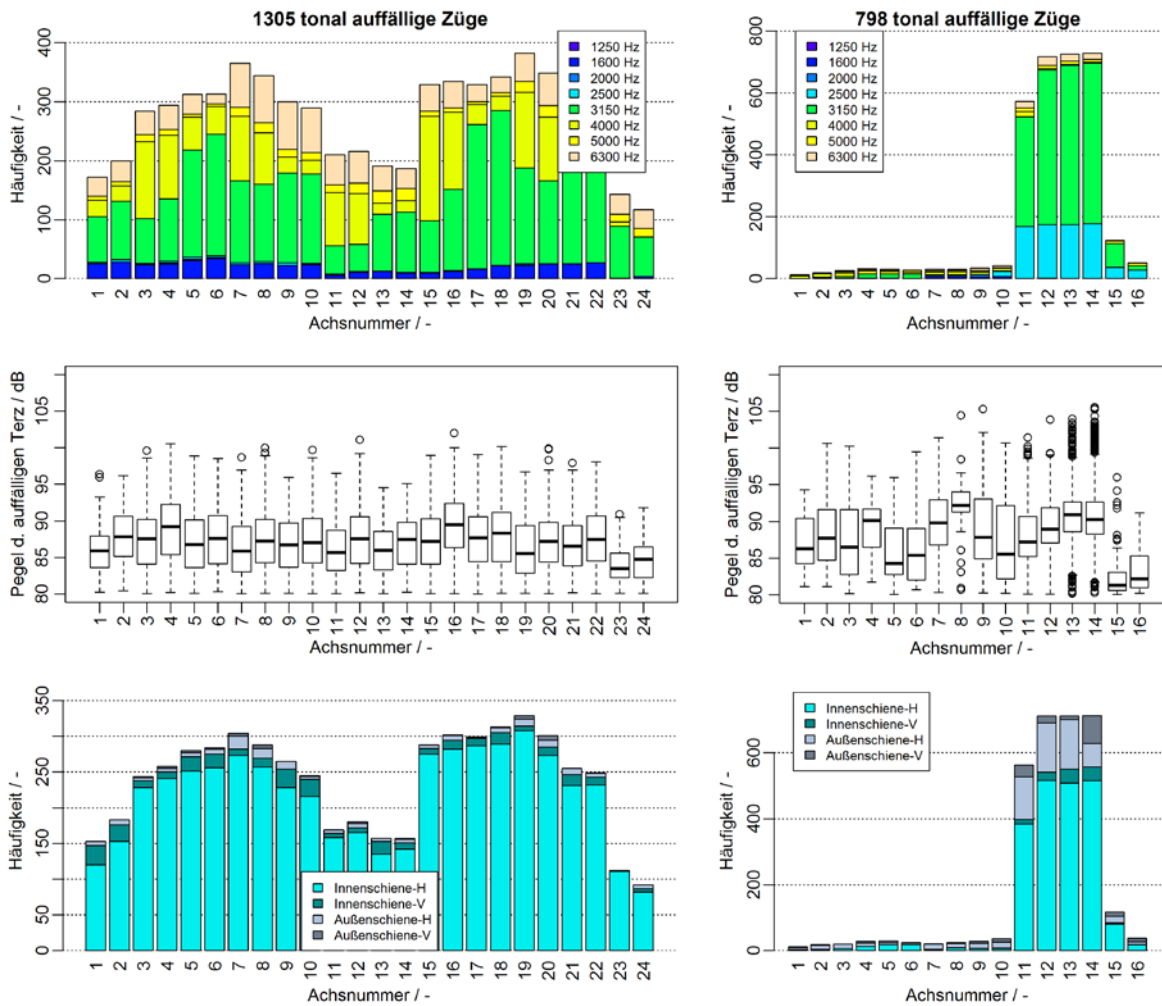


Abb. 6-14: achsbezogene Auswertung für 24-achsige Züge der Kategorie S4020 (links) und für 16-achsige Züge der Kategorie 80-33 (rechts) für niederschlagsfreie Abschnitte der Messkampagne 1 bei Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

durchgeführt. Die in Anhang G.2 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass im Bereich der Triebwagen tonale Auffälligkeiten deutlich seltener auftreten, als im Bereich von Zwischen- und Steuerwagen. Meist sind bei jenen Drehgestellen der Triebwagen, welche sich in direkter Nachbarschaft zu den Zwischenwagen befinden, bereits Anstiege der Auftretshäufigkeit festzustellen. Diese können jedoch auch von Auffälligkeiten in den Schallemissionen, welche durch den Zwischenwagen verursacht werden und noch zum Zeitpunkt der Überfahrt des Triebwagendrehgestells vorhanden sind, herrühren Darüber hinaus ist auch die Tendenz zu erkennen, dass die wenigen tonalen Auffälligkeiten im Bereich der Triebwagen meist eine deutlich höhere Frequenz von 6,3 kHz aufweisen.

Bei Vergleich mit breitbandigen Auffälligkeiten (siehe Kap. 6.3.1, und Anhang G.1) fällt auf, dass im Bereich der Triebwagen häufiger breitbandige Auffälligkeiten bestehen, während es zu einer geringen Anzahl an tonalen Auffälligkeiten, welche jedoch vorwiegend hohe Frequenzen ausweisen, kommt. Bei Steuer- und Zwischenwagen steigt hingegen die Häufigkeit von tonalen Auffälligkeiten, während jene von breitbandigen Auffälligkeiten sinkt. Dieses Verhalten deckt sich mit Ausführungen von Thompson [3] über eine verminderte Wahrscheinlichkeit von Kurvenquietschen bei Spurkranzanlauf.

Wie in Kap. 3.1.3 hingewiesen, ist bei gleichzeitigem Auftreten mit breitbandigen Auffälligkeiten für tonalen Komponenten im oberen Frequenzbereich ab 8 kHz nicht klar, ob diese durch lateralen Stick-Slip-Effekt (Kurvenquietschen) hervorgerufen werden oder ob diese eine der verschiedenen Ausprägungen der Schallemissionen bei Spurkranzanlauf (Kurvenkreischen) darstellen. Die Grenze von 8 kHz wurde empirisch ermittelt, sodass es nicht auszuschließen ist, dass in geringem Ausmaß tonale Auffälligkeiten in der dem Grenzwert benachbarten Terz mit einer Frequenz von 6,3 kHz dem Spurkranzanlauf zuzuschreiben sind. In diesem Fall würden die Auftrittshäufigkeiten tonaler Auffälligkeiten im Bereich der Triebwagen weiter sinken.

Doppelstockzüge 80-33

In Summe sind tonale Auffälligkeiten der Vorbeifahrten von Messkampagne 2 aufgrund des großen Bogenradius lediglich 2-mal aufgetreten (vgl. Anhang F.5 und F.6). Diese Auffälligkeiten sind daher als Einzelereignisse zu verstehen, aus welchen keine Aussagen über ein allgemeines Verhalten abgeleitet werden kann.

Bei Messkampagne 1 verkehren 8- und 16-achsige Züge mit dem Triebfahrzeug am Zuganfang, sowie 20-achsige Züge mit einem Triebfahrzeug am Zugende (vgl. Beschreibung in Kap. 6.3.1), wobei die Triebfahrzeuge die längsten Achsabstände aufweisen (3,0 m vs. 2,5 m von Zwischen- und Steuerwagen). Zwar liegt bei den 20-achsigen Zügen nur eine geringe Anzahl an tonalen Auffälligkeiten vor, dennoch decken sich alle drei Konfigurationsgruppen in ihren Häufungspunkten (siehe Anhang F.2 und F.3 bzw. Abb. 6-14): markant erhöhte Häufigkeiten treten stets an den beiden unmittelbar benachbarten Drehgestellen von Steuerwagen und den daran gekuppelten Zwischenwagen auf, während bei den restlichen Drehgestellen markant weniger bzw. keine Auffälligkeiten in den Schallemissionen detektiert wurden. Ein Vergleich der Pegel der auffälligen Terzen der betroffenen vier Achsen zeigt, dass den Drehgestellen der Triebwagen zumeist höhere Terzpegel zugeschrieben werden. Zudem werden bei Achsen der Zwischenwagendrehgestelle zum Teil weniger Auffälligkeiten erkannt. Beides legt die

Vermutung nahe, dass die Drehgestelle der Triebwagen in ursächlichem Zusammenhang mit den tonalen Auffälligkeiten stehen und bei den benachbarten Zwischenwagendrehgestellen diese Auffälligkeiten lediglich in den Emissionen bereits bzw. noch vorhanden waren.

Bei 12-achsigen Zügen treten die Auffälligkeiten vor allem mit einer Frequenz von 3,15 kHz auf, während bei 16-achsigen Zügen neben dieser Frequenz bei rund einem Viertel der Vorbeifahrten Auffälligkeiten mit einer Frequenz von 2,5 kHz vorkommen. Die geringe Anzahl an Auffälligkeiten bei 20-achsigen Zügen zeigen beim Häufungspunkt zwar auch Auffälligkeiten mit 3,15 kHz, jedoch sind über die gesamte Zuglänge mehrheitlich tonale Auffälligkeiten mit höheren Frequenzen zu beobachten.

Die dominanten Beschleunigungen befinden sich zumeist auf der Bogeninnenseite. Lediglich bei den 16-achsigen Zügen treten in rund einem Viertel der Vorbeifahrten auch an der Bogenaußenseite auf. Wie bereits aus Abb. 6-10 (Mitte, rechts) ersichtlich ist, welche eine Verteilung der dominanten Beschleunigungen für die Zugkategorie 80-33 in Abhängigkeit der Frequenz zeigt, ist der Anteil der dominanten Beschleunigungen an der Bogenaußenseite überwiegend den tonalen Auffälligkeiten mit einer Frequenz von 2,5 kHz zuzuschreiben.

Die beschriebenen Häufungspunkte der tonalen Auffälligkeiten sind bei den 12- und 20-achsigen Zügen der 1. Messkampagne in Bereichen der Züge zu beobachten, in welchen geringe breitbandige Auffälligkeiten vorhanden sind und umgekehrt (vgl. Kap. 6.3.1). Bei den am häufigsten erfassten 16-achsigen Zügen sind die Häufigkeiten der breitbandigen Auffälligkeiten über die Zuglänge einigermaßen gleich verteilt, sodass der markante Häufungspunkt der tonalen Auffälligkeiten bei Steuerwagen bzw. benachbartem Zwischenwagen in den Bereich hoher breitbandiger Auffälligkeiten fällt. Jedoch zeigen nur 232 Züge gleichzeitig tonale und breitbandige Auffälligkeiten. Dieser Anteil entspricht 21% aller breitbandig auffälligen bzw. 29% aller tonal auffälligen Züge, weshalb zumindest keine statistische Abhängigkeit der beiden Auffälligkeiten gegeben scheint. Eine verminderte Wahrscheinlichkeit von Kurvenquietschen bei Spurkranzanlauf, wie sie von Thompson [3] angedeutet wird, kann damit für 16-achsige Züge nicht bestätigt, sondern nur bei 12- und 20-achsigen Zügen beobachtet werden.

Die 20-achsigen Züge der Messkampagne 1 sind Regionalzüge (R2448), welche die Messstelle täglich um ca. 8 Uhr morgens passiert. Bei den 12- und 16-achsigen Zügen handelt es sich hingegen um die City Airport Trains (CAT), die zwischen Wien Mitte und Flughafen Schwechat im 30 Minuten Takt verkehren. Da hier lediglich drei verschiedene

Garnituren jeweils bestehend aus einem Steuer- und einem oder zumeist zwei Zwischenwagen im Einsatz sind, konnte auf Basis von Umlaufplänen und Daten aus der Fuhrparksoftware COSware der ÖBB nachträglich eine fahrzeugabhängige Analyse durchgeführt werden. Zwar bestehen aufgrund der Ergebnisse noch Unsicherheiten, ob die zu Grunde liegenden Umlaufdaten stets mit den tatsächlichen Einsätzen der Fahrzeuge übereinstimmen, jedoch scheinen aufgrund von hoher Plausibilität folgende Erkenntnisse als gesichert:

- Bei einem der drei Steuerwagen weisen tonale Auffälligkeiten trotz baugleicher Radsätze und trotz gleicher mittlerer Fahrgeschwindigkeiten im Messbogen überwiegend eine Frequenz von 2,5 kHz auf, welche an der Bogenaußenseite dominante Beschleunigungen zeigen, während die beiden anderen Steuerwagen vor allem tonale Auffälligkeiten mit einer Frequenz von 3,15 kHz und mit dominanten Beschleunigungen an der Bogeninnenseite hervorrufen
- Von Beginn der 1. Messkampagne an waren phasenweise (über Zeiträume von mehreren Wochen) bei jeweils einem der beiden Steuerwagen mit tonalen Auffälligkeiten bei 3,15 kHz nahezu 100% der Vorbeifahrten tonal auffällig. Dieser hohe Anteil wechselte bei einem Werkstättenaufenthalt des einen Steuerwagens auf den anderen Steuerwagen und endete bei einem Werkstättenaufenthalt des zweiten Steuerwagens, bei welchen u.a. die Radsätze überdreht wurden. Danach lag der Anteil tonaler Auffälligkeiten dauerhaft bei nahezu 0%. Demzufolge wird vermutet, dass Eigenschaften des Radsatzes das Entstehen der tonalen Auffälligkeiten stark begünstigt haben. Hingegen sind für den beschriebenen Wechsel des hohen Anteils tonaler Auffälligkeiten von einem Steuerwagen zum anderen keine Gründe ersichtlich.

Auch wenn die Ergebnisse der Umlaufanalyse nicht restlos erklärbar sind, kann zusammenfassend festgehalten werden, dass die Auftrittshäufigkeit der tonalen Auffälligkeiten stark von Fahrzeugeigenschaften abhängig sein können. Da entsprechend der Projektziele die Analyse des fahrzeugseitigen Einflusses im vorliegenden Projekt auf einer Unterscheidung von Zugkategorien beruht, wurden konkrete Fahrzeugeigenschaften nicht erhoben. Demzufolge sind auf Basis vorliegender Untersuchungen keine belegbaren Aussagen hinsichtlich relevanter Fahrzeugeigenschaften möglich. Jedoch liegt die Vermutung nahe, dass Eigenschaften wie Radprofil oder Kupplungszustand, welche die Laufeigenschaften der Fahrzeuge (vor allem in Bögen) beeinflussen, signifikante Auswirkungen auf die Auftrittshäufigkeit haben können.

Talent 4024

Bei den Zügen der Kategorie S4024 sind bei Messkampagne 2 nur sehr wenige, bei Messkampagne 3 gar keine tonalen Auffälligkeiten bei den betrachteten Vorbeifahrten aufgetreten (siehe Anhang F.4 und Anhang F.7). Diese wenigen Auffälligkeiten der 2. Kampagne zeigen keine besonders markanten Häufungspunkte innerhalb des Zugverbands. Gleiches gilt für die Pegel der auffälligen Terzen. Auch sind dominante Beschleunigungen durchwegs an der Bogeninnenseite mehrheitlich vorhanden. Aufgrund der geringen Anzahl und aufgrund der gleichmäßigen Verteilung besteht daher keine Möglichkeit einer Interpretation in Bezug auf die in Kap. 6.3.1 beschriebenen Unterschiede der Drehgestellachsabstände.

Railjets mit 32 Achsen der Messkampagne 3

Die sehr geringe Anzahl an tonalen Auffälligkeiten der betrachteten Vorbeifahrten aus Messkampagne 3 (siehe Anhang F.8) sind vor allem im Bereich des Personenwagen mit Schwerpunkt in der 2. Zughälfte konzentriert. Die dabei auftretenden Frequenzen liegen zwischen 3,15 und 6,3 kHz. Die Pegel der auffälligen Terzen zeigen über den gesamten Zug gesehen - vermutlich der geringe Anzahl an Auffälligkeiten geschuldet - starke Schwankungen, die eine weitere Beurteilung verhindern. Bei den dominanten Schienenbeschleunigungen sind über die Zuglänge keine nennenswerten Variation festzustellen: zumeist treten höhere Beschleunigungen an der Bogeninnenseite auf.

Bei einer gemeinsamen Betrachtung mit breitbandigen Auffälligkeiten aus Kap. 6.3.1 sind zwei Bereiche zu unterscheiden. Rund um das Triebfahrzeugs am Zuganfang, welches einen Drehgestellachsabstand von 3,0 m gegenüber den Achsabständen von 2,5 m der Personenwagen aufweist, sind vermehrt breitbandige, jedoch keine tonalen Auffälligkeiten vorhanden. Dies stimmt mit den bereits erwähnten, in Thompson [3] beschriebenen einer verminderten Wahrscheinlichkeit von Kurvenquietschen bei Spurkranzanlauf überein.

Der zweite Bereich umfasst die letzten zwei Zugdritteln, in welchem sowohl breitbandige wie auch tonale Auffälligkeiten häufiger (wenngleich in geringer Anzahl) erkannt wurden. Eine Hörprobe und manuelle Sichtung der Terzpegelzeitverläufe der betroffenen 11 tonal auffälligen Züge hat ergeben, dass in diesem Bereich nahezu immer tonale und breitbandige Auffälligkeiten überlagert auftreten. Ob hier ein Spurkranzanlauf vorhanden ist und dieser unerwartet tieffrequente tonale Auffälligkeiten verursacht, oder ob tatsächlich sowohl Spurkranzanlauf, wie auch durch lateralen Slip-Stick Effekt hervorgerufenes Kurvenquietschen vorliegt, kann anhand der zur Verfügung stehenden Daten jedoch nicht weiter beurteilt werden.

7. ABSCHÄTZUNG VON TERZSPEKTREN

Die in Kap. 3 beschriebene Erkennung von akustischen Auffälligkeiten liefert grobe Informationen, in welchen Zeitbereichen und für tonale Auffälligkeiten zusätzlich in welchen Frequenzbereichen diese auftreten. Anhand dessen werden im Folgenden Abschätzungen für jene Terzspektren durchgeführt, welche ohne diese Auffälligkeiten und welche bei Vorhandensein der Auffälligkeiten während der gesamten Zugvorbeifahrt auftreten würden.

7.1. Terzspektren bei Ausblendung vorhandener Auffälligkeiten

Durch die Ausblendung von auffälligen Bereichen im Terzspektrum einer Vorbeifahrt können durch energetische Mittelung der verbleibenden Bereiche das Terzspektrum abgeschätzt werden, welches sich ergeben würden, wenn bei dem betrachteten Zug keine Auffälligkeiten vorhanden gewesen wären. Alternativ wäre auch eine Substitution der auffälligen Terzpegel durch Standardwerte denkbar, jedoch ergäbe sich dadurch für die abgeschätzten Terzspektren eine zu starke Abhängigkeit von der Wahl dieser Ersatzwerte. Dementsprechend wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Wesentliche Voraussetzungen für die Abschätzungen sind:

- ausreichende Länge der Schallemissionen ohne Auffälligkeit: erst wenn in den Terzspektren für jede Terz eine ausreichende zeitliche Dauer ohne akustische Auffälligkeiten vorhanden ist, können diese für die Abschätzung herangezogen werden. Im Allgemeinen ist diese Bedingung bei den nachfolgenden Betrachtungen in ausreichender Anzahl erfüllt. Lediglich bei Lokzügen mit akustischen Auffälligkeiten bestehen nach deren Ausblendung meist keine nutzbaren Zeitbereiche.
- repräsentative Bereiche der Schallemissionen ohne Auffälligkeit: die Qualität der Abschätzung ist direkt von der Repräsentativität der verbleibenden Bereiche abhängig. Anhand der äquivalenten Auftrittswerte (siehe Abb. 5-31 in Kap. 5.1.7) ist ersichtlich, dass diese sowohl bei tonalen Auffälligkeiten, aber auch bei - in der Regel länger andauernden - breitbandigen Auffälligkeiten für gewöhnlich deutlich kürzer sind, als mittlere Längen der dargestellten Zugkategorien. Da davon auszugehen ist, dass die verbleibenden, unauffälligen Bereiche variieren und verschiedene Positionen am Zug abdecken, kann speziell bei Mittelung mehrere Züge eine ausreichend hohe Repräsentativität unterstellt werden.

Zur Ausblendung und nachfolgenden Berechnung der Terzspektren werden folgende Schritte durchgeführt:

- Maskierung der der breitbandigen Auffälligkeiten: da der Frequenzbereich von breitbandigen Auffälligkeiten stark variiert, wird für die Ausblendung stets der gesamte Frequenzbereich ≥ 2 kHz gewählt, in welchen diese Auffälligkeiten zu beobachten waren (vgl. Abb. 3-11).
- Maskierung aller tonalen Auffälligkeiten: für Züge mit tonalen Auffälligkeiten werden zur Unterdrückung von Oberwellen neben den erkannten Auffälligkeiten des mittleren und des oberen Frequenzbereichs alle weiteren tonalen Komponenten maskiert, welche unabhängig vom absoluten Terzpegel eine Terzpegelerhöhung $\Delta L_i \geq 10$ dB aufweisen (vgl. Kap. 3.2.3).
- zeitliche Ausdehnung der Maskierungen: da durch die Identifizierung mittels Grenzwertvergleichs im Allgemeinen vor und nach den Auffälligkeiten Anstiege bzw. Abfälle von Terzpegeln zu verzeichnen sind, werden alle Maskierungen um 1 s ausgedehnt (0,5 s zu Beginn und 0,5 s am Ende jeder Auffälligkeit).
- Mittelung der verbleibenden Terzpegel: für all jene Terzen, bei welchen noch unmaskierte Bereiche mit einer zeitlichen Dauer $\geq 0,5$ s bestehen, werden diese Terzpegel im Zeitverlauf energetisch gemittelt. Die daraus entstehenden Terzspektren enthalten daher für all jene Terzfrequenzen gültige Werte, bei welchen ausreichend interpretierbare Bereiche vorhanden sind.
- Mittelung der Terzspektren: die berechneten Terzspektren von allen bzw. von ausgewählten Gruppen von Vorbeifahrten werden im Anschluss energetisch zu Gesamtspektren gemittelt. Dies ist einerseits für aussagekräftige Ergebnisse erforderlich und gleicht andererseits die fehlende Information von nicht vorhandenen Terzpegeln einzelner Vorbeifahrtspektren aus.

Zur Verifizierung der Qualität des Abschätzungsansatzes wurden die Terzspektren von auffälligen und von unauffälligen Vorbeifahrten, sowie die errechneten Terzspektren jeweils getrennt für die drei Messkampagnen energetisch gemittelt und einander gegenübergestellt (siehe Abb. 7-1, linke Spalte). Zudem wurden zum Vergleich der Ausblendungseigenschaften für tonale und breitbandige Auffälligkeiten die Terzspektren vor und nach der Ausblendung von ausschließlich tonal und ausschließlich breitbandig auffälligen Zügen eingezeichnet. Zur Interpretation der Aussagekraft der gemittelten

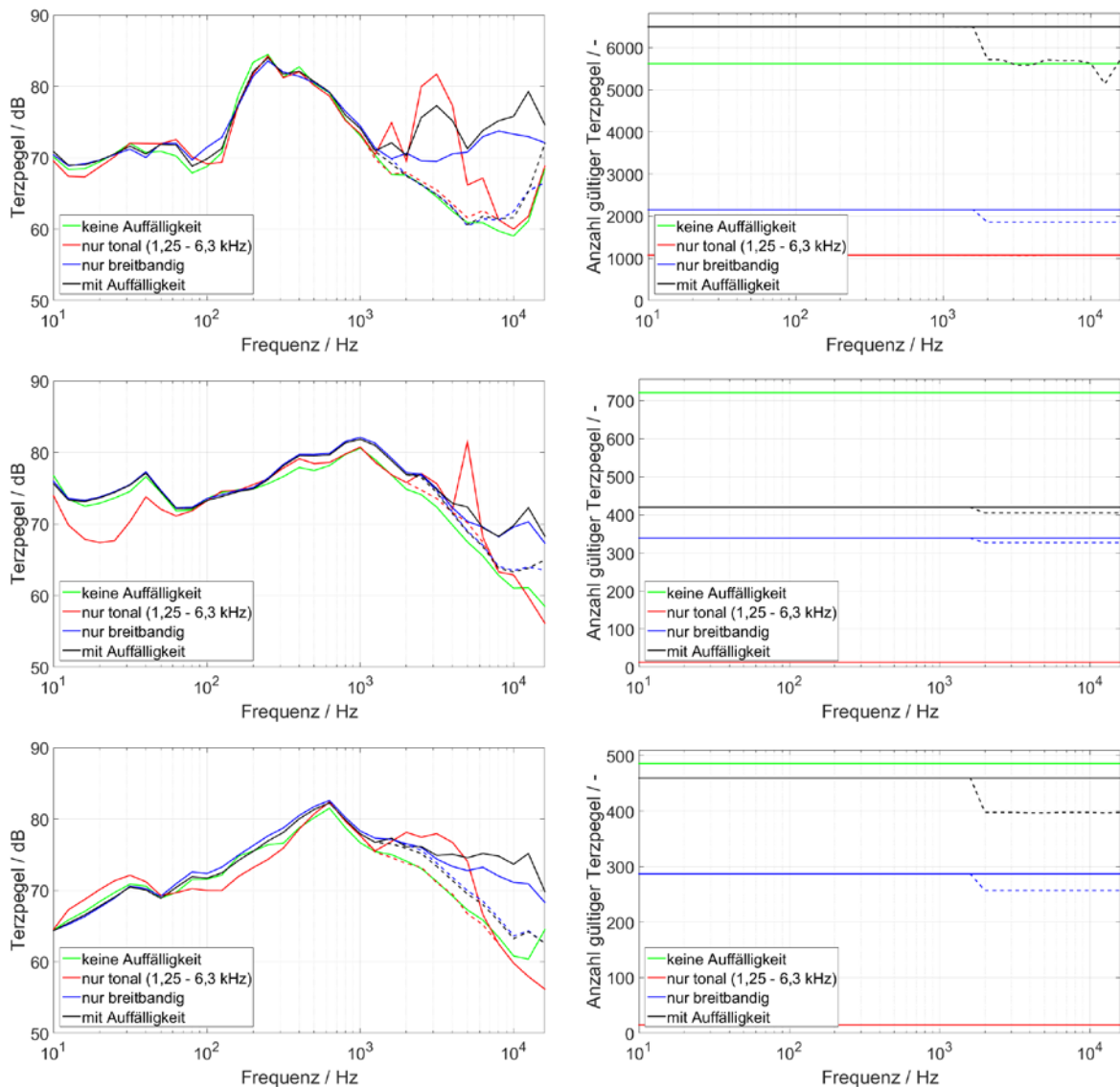


Abb. 7-1: Vergleich der energetisch gemittelten Vorbeifahrtterzspektren (linke Spalte) und Anzahl der für die Mittelung verfügbaren Terzpegel (rechte Spalte) der originalen Schallemissionen (durchgezogene Linien) und der Emissionen mit Ausblendung von erkannten Auffälligkeiten (strichlierte Linien) für alle Züge der Messkampagnen 1 (oben), 2 (Mitte) und 3 (unten): eine Unterscheidung erfolgt zwischen unauffälligen (grün) und auffälligen (schwarz) Vorbeifahrten, aus welchen zusätzlich die Untergruppen ausschließlich tonaler (rot) und ausschließlich breitbandiger (blau) Auffälligkeiten gebildet werden

Spektren in den Diagrammen der linken Spalte wurden in Abb. 7-1 in der rechten Spalte die für die Mittelung verfügbare Anzahl Terzpegeln über der Frequenz aufgetragen. Eine analoge, separate Darstellung für die in den jeweiligen Kampagnen am häufigsten erfassten vier Zugkategorien findet sich in Anhang B.

Bei vollständiger Ausblendung kann erwartet werden, dass in den Diagrammen nur geringe Unterschiede zwischen den Spektren mit Ausblendung (strichlierte Linien) und

den Spektren der Vorbeifahrten ohne erkannte Auffälligkeiten bestehen (grüne Linie). Gerade im Bereich der tonalen Auffälligkeiten bei der 1. Messkampagne können hier bei hoher Anzahl Vorbeifahrten mit tonalen Auffälligkeiten sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Die Ergebnisse der 2. und 3. Kampagne erscheinen aufgrund der geringen Anzahl nicht aussagekräftig, weshalb anhand der Ergebnisse der 1. Messkampagne dem Ansatz gute Ausblendungseigenschaften für tonale Auffälligkeiten attestiert werden können.

Sowohl bei der 1., wie auch bei der 2. Messkampagne, bei welchen jeweils eine höhere Anzahl von breitbandig auffälligen Zügen vorhanden ist, ist die Qualität der Ausblendung im Frequenzbereich bis ca. 7 bis 8 kHz ebenfalls als gut einzustufen. Bei höheren Frequenzen nehmen die Abschätzungseigenschaften jedoch zunehmend ab. Dies kann vor allem durch die beobachtete, vergleichsweise langsame Abnahme von Terzpegeln der oberen Frequenzen erklärt werden (sowohl bei dem in Kap. 3.1.1 beschriebenen, andauernden, breitbandigen Zischeln, wie auch bei den in Kap. 3.1.3 gezeigten, tonalen Komponenten der oberen Frequenzen), durch welche auch in den unmaskierten Bereichen Erhöhungen (unterhalb des Grenzwertes) verbleiben.

Anhand der in Abb. 7-1 dargestellten Anzahl an verfügbaren Terzpegel zeigt sich, dass im Allgemeinen nur eine niedrige bis mäßige Anzahl an Züge auftritt, bei welchen der verbleibende Bereich zu gering ist, um eine Berechnung einzelner Terzpegeln für die Vorbeifahrt zuzulassen. Als Beispiel für eine vergleichsweise hohe Anzahl an nicht berechenbaren Terzen (rund 20-25%) sind vor allem Güterzüge mit andauernden, breitbandigen Auffälligkeiten, wie auch Züge der Kategorie 80-33 mit dauerhaft vorhandenen, tonalen Komponenten bei einer Frequenz von 12,5 kHz hervorzuheben (vgl. Anhang B.1).

Zusammenfassend können durch die beschriebene Ausblendung von akustischen Auffälligkeiten die Terzspektren der Vorbeifahrt ohne Auffälligkeiten vor allem für Frequenzen bis etwa 7 bis 8 kHz gut abgeschätzt werden, während bei höheren Frequenzen die Abschätzungsqualität abnimmt. Aufgrund der im Berechnungsansatz inhärenten imperfekten Ausblendung der gesamten Erhöhung ist davon auszugehen, dass die Terzspektren grundsätzlich überschätzt werden. Werden daraus Differenzspektren zur Abschätzung der akustischen Auswirkung von Kurvenkreischen und -quietschen gebildet, so stellen diese für gewöhnlich eine untere Schranke dar. Das bedeutet, dass die wahren Pegeldifferenzen der Emissionen stets über den abgeschätzten Werten liegen. Dies gilt jedoch nur für jene Frequenzen, in welchen auch

tatsächlich Auffälligkeiten aufgetreten bzw. ausgeblendet wurden, während alle anderen Terzpegel im Spektrum unverändert bleiben.

7.2. Terzspektren bei anhaltenden Auffälligkeiten

Wie bereits erwähnt, sind Auffälligkeiten in den erfassten Schallemissionen nicht während der gesamten Zugvorbeifahrt wahrzunehmen. Im Folgenden werden jene Terzspektren grob abgeschätzt, welche auftreten, sofern die akustischen Auffälligkeiten während der gesamten Vorbeifahrtzeit vorhanden sein würden. Gemeinsam mit den in Kap. 7.1 beschriebenen Spektren ohne Auffälligkeiten sind zukünftig für weiterführende Betrachtungen außerhalb des Projekts Schätzungen der Terzspektren wie auch Korrekturfaktoren bei geänderten Auftrittsdauern der Auffälligkeiten bzw. des Einflusses dieser Änderungen möglich.

Für die Ermittlung der Terzspektren bei anhaltenden Auffälligkeiten werden bei jenen Zügen, welche eine Auffälligkeit aufweisen, folgende Berechnungsschritte durchgeführt:

1. Auswahl der der breitbandigen Auffälligkeiten: da der Frequenzbereich von breitbandigen Auffälligkeiten stark variiert, wird für die Ausblendung stets der gesamte Frequenzbereich ≥ 2 kHz gewählt, in welchen diese Auffälligkeiten zu beobachten waren (vgl. Abb. 3-11).
2. Auswahl aller tonalen Auffälligkeiten: für Züge mit tonalen Auffälligkeiten werden zur Unterdrückung von Oberwellen neben den erkannten Auffälligkeiten des mittleren und des oberen Frequenzbereichs alle weiteren tonalen Komponenten ausgewählt, welche unabhängig vom absoluten Terzpegel eine Terzpegelerhöhung $\Delta L_i \geq 10$ dB aufweisen (siehe Kap. 3.2.3).
3. Substitution der Terzpegel im Spektrum der Vorbeifahrt: jene Terzpegel im Gesamtspektrum mit Frequenzen, bei welchen auch Terzpegel im Terzpegelzeitverlauf selektiert sind, werden durch die energetischen Mittelwerte der selektierten Terzpegel je Frequenz ersetzt. Die restlichen Terzpegel werden hingegen beibehalten.
4. Mittelung der Terzspektren: für aussagekräftige Ergebnisse werden die berechneten Terzspektren von allen bzw. von ausgewählten Gruppen von Vorbeifahrten energetisch zu einem Gesamtspektrum gemittelt.

Die Ergebnisse wurden in gleicher Weise grafisch aufbereitet wie in Kap. 7.1. Lediglich die gemittelten Terzspektren bei Ausblendung von Auffälligkeiten wurde durch die energetischen Mittelungen der abgeschätzten Terzspektren von anhaltend Auffälligkeiten

(strichlierte Linie) ersetzt. Die resultierenden Terzspektren inklusive der zu Grunde liegenden Zugzahlen sind für alle Züge getrennt nach Messkampagnen in Abb. 7-2 dargestellt. Eine Aufteilung nach den in vier, in den Kampagnen jeweils am häufigsten erfassten Zugkategorien ist in Anhang H zu finden.

Die Abschätzungen zeigen, dass bei Betrachtung von allen Zügen mit Auffälligkeiten (schwarze Linien) die Terzspektren bei durchgängig vorhandenen Auffälligkeiten in allen

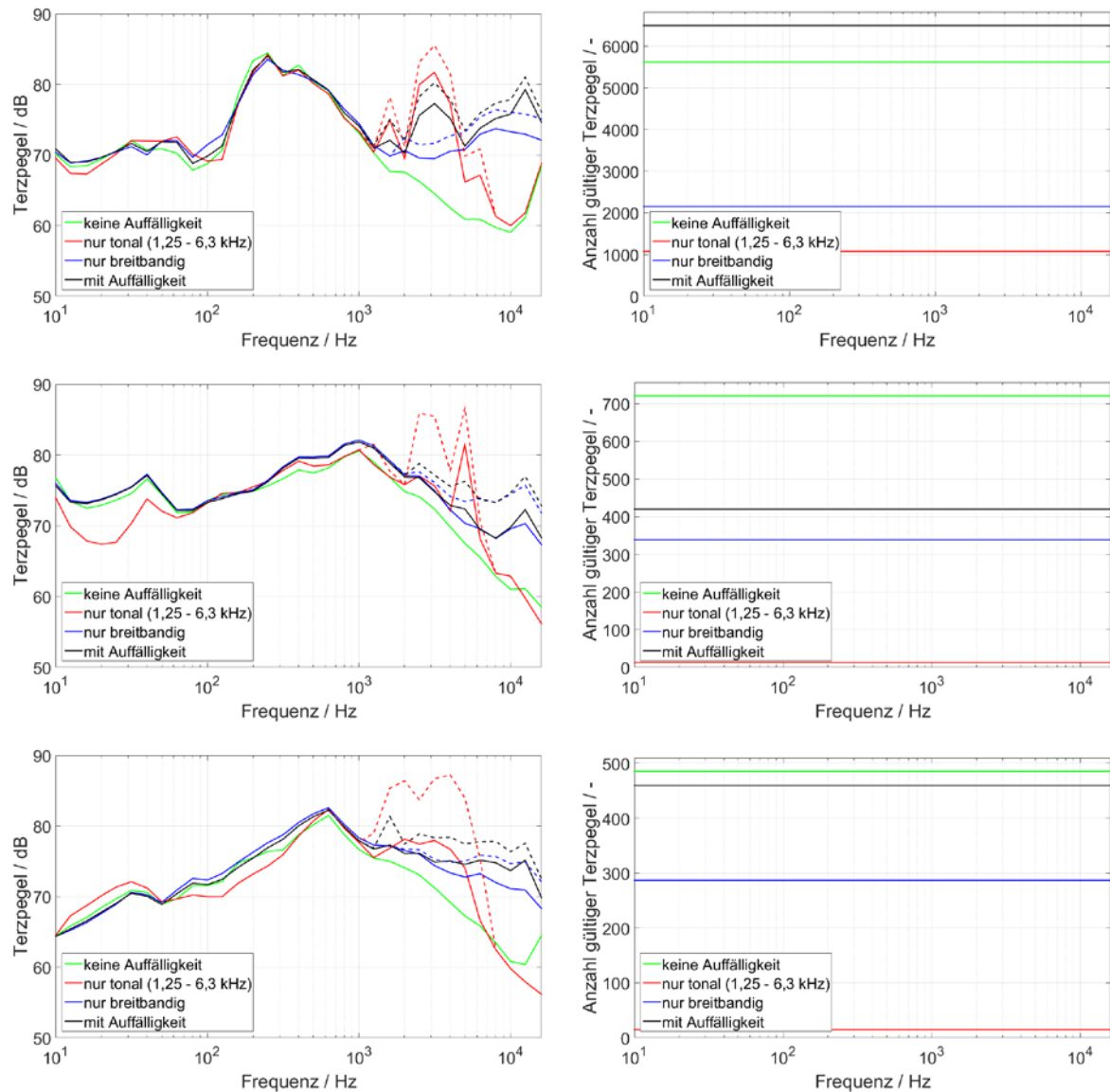


Abb. 7-2: Vergleich der energetisch gemittelten Vorbeifahrterzspektren (linke Spalte) und Anzahl der für die Mittelung verfügbaren Terzpegel (rechte Spalte) der originalen Schallemissionen (durchgezogene Linien) und der Abschätzung von durchgängig vorhandenen Auffälligkeiten (strichlierte Linien) für alle Züge der Messkampagnen 1 (oben), 2 (Mitte) und 3 (unten): eine Unterscheidung erfolgt zwischen unauffälligen (grün) und auffälligen (schwarz) Vorbeifahrten, aus welchen zusätzlich die Untergruppen ausschließlich tonaler (rot) und ausschließlich breitbandiger (blau) Auffälligkeiten gebildet werden

Kampagnen zu Erhöhungen von mehreren Dezibel führen können. Werden nur Züge mit tonalen Auffälligkeiten betrachtet, so sind bei einigen Terzfrequenzen zum Teil etwas größere Pegelerhöhungen zu verzeichnen. Dies ist dadurch erklärbar, dass tonale gegenüber breitbandige Auffälligkeiten im Allgemeinen kürzer andauern (vgl. äquivalente Auftrittswerte in Abb. 5-31, Kap 5.1.7). Dementsprechend ergeben sich bei Hochrechnung auf die gesamte Vorbeifahrtzeit größere Pegelerhöhungen, als bei Auffälligkeiten, die bereits größere Bereiche der Schallemissionen einnehmen.

Zusammenfassend liefert auch dieser Abschätzungsansatz plausible Ergebnisse. Jedoch kann gerade bei dieser Art der Berechnung trotz energetischer Mittelung eine Abhängigkeit von der Wahl des Grenzwertes zur Erkennung von Auffälligkeiten vermutet werden. Aus diesem Grund sind die dargestellten Ergebnisse als grobe Abschätzungen zu verstehen.

8. KORREKTURFAKTOREN

8.1. Längenbezogene Schalleistungspegel

Der längenbezogene Schalleistungspegel $L_{W'}$ in dB(A)/m beschreibt die abgestrahlte Schallenergie pro 1 Meter Fahrzeug. Für die Ermittlung des längenbezogenen Schalleistungspegel gem. ÖNORM S5026 [13] wird ein Messsetup mit drei in einem Halbkreis um die Gleisachse angeordneten Mikrofonen gefordert. In Messkampagne 1 wurden zu diesem Zweck die zusätzlichen Messpunkte M2 (7,5 m / 13 m ü. SOK), M3 (10,6 m / 10,6 m ü. SOK) und M4 (13 m / 7,5 m ü. SOK) installiert und während der gesamten Dauer der ersten Kampagne aufgezeichnet.

Die ÖNORM S5026 sieht vor, dass pro Zugkategorie jeweils 3 Vorbeifahrten mit ähnlicher Geschwindigkeit ausgewählt werden, welche in den Oktavbändern von 63 Hz bis 8 kHz eine Differenz von maximal 3 dB aufweisen dürfen.

Aufgrund des eingesetzten Messverfahrens und der großen Anzahl an gemessenen Vorbeifahrten, wurden im Zuge dieses Projektes die Schalleistungspegel jedoch jeweils für Einzelfahrten berechnet. Zudem wurden die Berechnung des Schalleistungspegels für Terzen anstatt Oktaven durchgeführt. Für die Darstellung von Korrekturfaktoren für die ONR 305011 [1] wurde die Berechnung der Oktaven erst im letzten Schritt aus den Terzbändern ermittelt.

Für die Berechnung der längenbezogenen Schalleistungspegel $L_{W'}$ werden in einem ersten Schritt die einzelnen Terzbänder mit dem Faktor für Bodenbedämpfung ΔL_b korrigiert und anschließend mit folgender Zahlenwertgleichung der längenbezogenen Schalleistungspegel für die einzelnen Mikrofonpositionen bestimmt [13].

$$L_{W',i,j} = L_{i,j} + 19,2 - 10 \cdot \log_{10} \left[2,83 \cdot \frac{s_j^2}{r^2} \cdot \left(\frac{z}{r^2 + \frac{z^2}{4}} + \frac{2}{r} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{z}{2r} \right) \right) + \frac{2}{r} \tan^{-1} \left(\frac{z}{2r} \right) \right]$$

$L_{W',i,j}$.. längenbezogener Schalleistungspegel für die Terz i an der Mikrofonposition j in dB

$L_{i,j}$ für Bodeneinflüsse korrigiertes Terzband - Schalldruckpegel in der Terz i an der Mikrofonposition j in dB

r Radius des Messbogens in m

s $r \cdot \cos(\varphi_i)$, Horizontalabstand in m

φ_i Winkel zwischen der Horizontalen und der Verbindungslinie des Messpunktes mit dem Mittelpunkt des Kreisbogens in Grad

z Zuglänge in m

Die Ergebnisse der 3 Mikrofonpositionen werden anschließend energetisch gemittelt und A-bewertet. Aus der energetischen Aufsummierung der einzelnen Terzbänder erhält man den längenbezogenen Schalleistungspegel $L_{W'}$ in dB(A) pro Meter.

Im Zuge des Projektes sollte für die zwei anderen Messstellen, ausgehend von den Daten aus Messkampagne 1, die Berechnung der längenbezogenen Schalleistungspegel aus dem Standardmesspunkt M1 erfolgen.

Für diese Umrechnung wurde ein geschwindigkeitsabhängiger Umrechnungsfaktor je Kategorie gebildet. Dafür wurde in einem ersten Schritt der unbewertete längenbezogene Schalleistungspegel für den Messpunkt M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK) je Terzband für alle Vorbeifahrten von Messkampagne 1 berechnet. Für jedes Terzband wurde anschließend die Differenz zwischen dem Schalleistungspegel aus M1 und den Ergebnissen der normgerechten Ermittlung berechnet. Im nächsten Schritt wurden die Differenzen nach Kategorie gruppiert und pro Terzband eine geschwindigkeitsabhängige Regressionsgerade (über alle gemessenen Züge, je Kategorie) ermittelt. Für die ermittelten Geradengleichungen ($y = k \cdot x + d$) sind die Faktoren k und d je Terzband und Kategorie in Abb. 8-1 und Abb. 8-2 dargestellt. Aufgrund fehlender Vorbeifahrten wurde für die Kategorien RZ-mix und Railjet der Umrechnungsfaktor aus einem Mittelwert der Kategorien S4020, S4024 und 80-33 ermittelt. Abschließend wurden für alle Vorbeifahrten der Messkampagne 2 und 3 der längenbezogene Schalleistungspegel für die Messposition M1 ermittelt und anschließend der jeweilige Umrechnungsfaktor für diese Kategorie addiert.

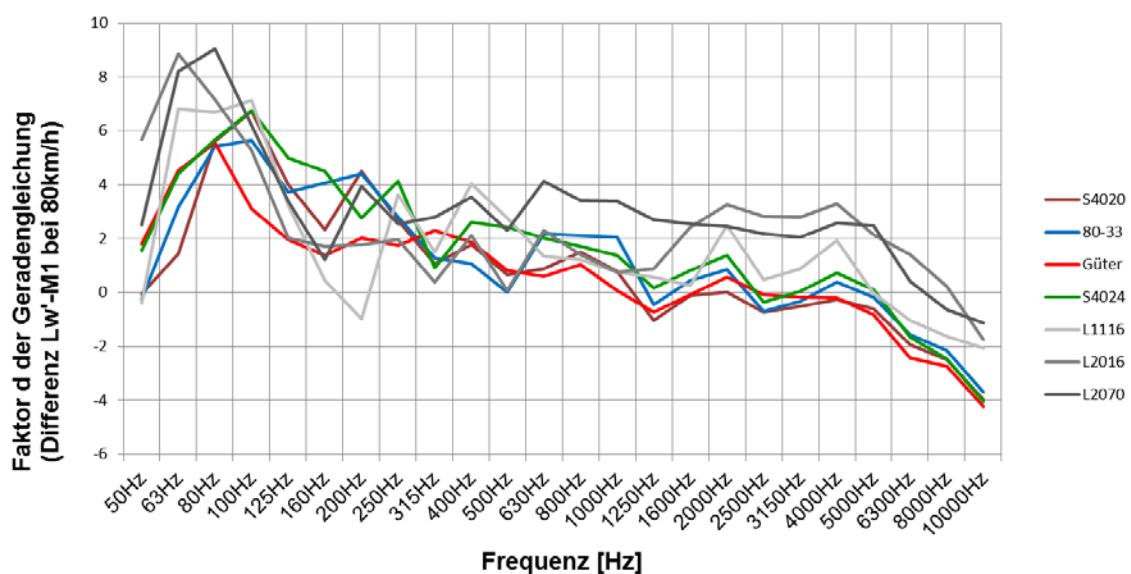


Abb. 8-1: Faktor d der Geradengleichung für den geschwindigkeitsabhängigen Umrechnungsfaktor zur Berechnung des $L_{W'}$ aus dem $L_{W'}$ von M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK)

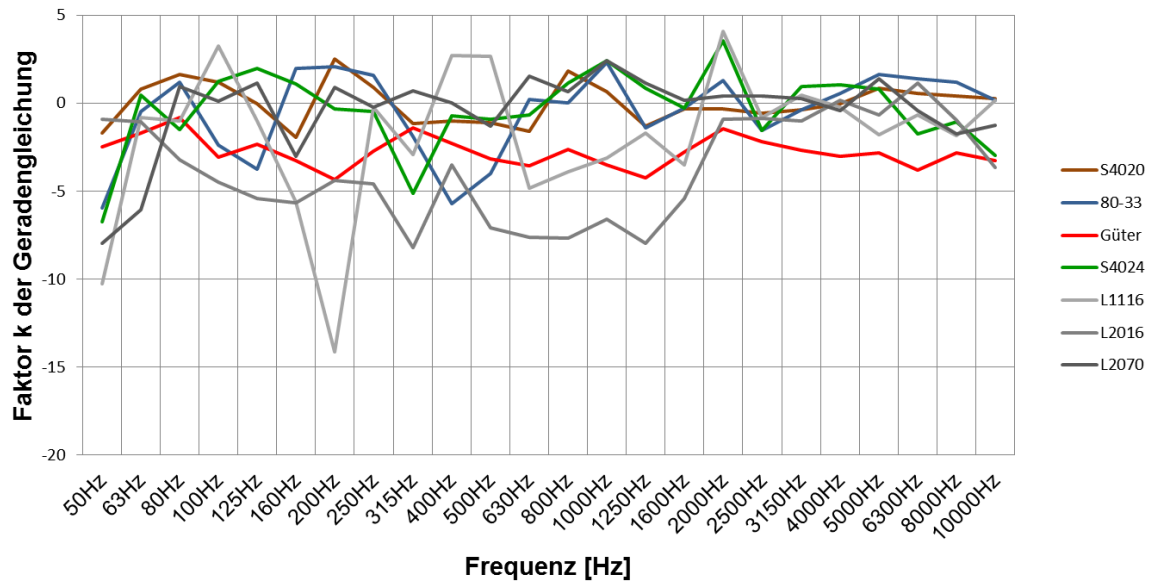


Abb. 8-2: Faktor k der Geradengleichung für den geschwindigkeitsabhängigen Umrechnungsfaktor zur Berechnung des $L_{W'}$ aus dem $L_{W'}$ von M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK)

		50Hz	63Hz	80Hz	100Hz	125Hz	160Hz	200Hz	250Hz	315Hz	400Hz	500Hz	630Hz
S4020	k =	-1,70	0,80	1,63	1,20	-0,05	-1,92	2,52	0,89	-1,18	-1,03	-1,13	-1,62
S4020	d =	-0,05	1,44	5,60	6,73	4,01	2,33	4,51	2,67	1,08	1,77	0,67	0,88
80-33	k =	-5,94	-0,45	1,19	-2,39	-3,75	1,97	2,09	1,56	-1,89	-5,70	-4,00	0,24
80-33	d =	-0,22	3,17	5,42	5,65	3,73	4,07	4,42	2,80	1,30	1,06	0,03	2,17
Güter	k =	-2,47	-1,71	-0,81	-3,05	-2,34	-3,29	-4,34	-2,72	-1,40	-2,27	-3,14	-3,58
Güter	d =	1,81	4,53	5,55	3,10	1,96	1,39	2,03	1,74	2,32	1,89	0,82	0,61
S4024	k =	-6,75	0,47	-1,48	1,22	1,99	1,08	-0,34	-0,48	-5,10	-0,72	-0,93	-0,69
S4024	d =	1,55	4,42	5,68	6,76	4,99	4,50	2,76	4,15	0,92	2,61	2,42	2,04
L1116	k =	-10,26	-0,83	-1,02	3,24	-1,01	-5,62	-14,13	-0,23	-2,93	2,71	2,64	-4,83
L1116	d =	-0,40	6,82	6,70	7,14	3,24	0,45	-0,97	3,63	1,51	4,05	2,76	1,35
L2016	k =	-0,92	-1,06	-3,19	-4,50	-5,42	-5,65	-4,38	-4,58	-8,20	-3,50	-7,09	-7,61
L2016	d =	5,67	8,85	7,16	5,27	2,04	1,73	1,79	1,96	0,39	2,11	0,09	2,30
L2070	k =	-7,98	-6,07	0,96	0,12	1,15	-3,01	0,92	-0,24	0,71	0,01	-1,29	1,56
L2070	d =	2,52	8,22	9,04	6,20	3,38	1,23	3,96	2,56	2,80	3,54	2,30	4,14
Mittelwert	k =	-4,80	0,27	0,45	0,01	-0,60	0,38	1,42	0,66	-2,72	-2,48	-2,02	-0,69
Mittelwert	d =	0,43	3,01	5,57	6,38	4,25	3,63	3,90	3,20	1,10	1,81	1,04	1,70
		800Hz	1000Hz	1250Hz	1600Hz	2000Hz	2500Hz	3150Hz	4000Hz	5000Hz	6300Hz	8000Hz	10000Hz
S4020	k =	1,81	0,63	-1,31	-0,34	-0,34	-0,59	-0,39	-0,01	0,83	0,54	0,42	0,24
S4020	d =	1,51	0,80	-1,03	-0,11	0,01	-0,73	-0,50	-0,26	-0,59	-1,94	-2,50	-3,98
80-33	k =	0,04	2,30	-1,39	-0,29	1,28	-1,57	-0,36	0,56	1,65	1,40	1,20	0,16
80-33	d =	2,11	2,06	-0,45	0,44	0,87	-0,70	-0,32	0,40	-0,17	-1,55	-2,16	-3,68
Güter	k =	-2,61	-3,53	-4,23	-2,79	-1,44	-2,21	-2,65	-2,99	-2,81	-3,80	-2,83	-3,26
Güter	d =	1,05	0,08	-0,74	-0,09	0,57	-0,08	-0,18	-0,21	-0,82	-2,44	-2,73	-4,22
S4024	k =	1,15	2,41	0,85	-0,29	3,55	-1,56	0,95	1,05	0,81	-1,77	-1,08	-2,95
S4024	d =	1,73	1,37	0,17	0,82	1,37	-0,36	0,04	0,74	0,11	-1,65	-2,47	-4,03
L1116	k =	-3,92	-3,11	-1,68	-3,49	4,08	-0,81	0,48	-0,22	-1,81	-0,66	-1,82	0,16
L1116	d =	1,21	0,75	0,57	0,26	2,49	0,48	0,87	1,93	-0,01	-1,05	-1,64	-2,05
L2016	k =	-7,65	-6,57	-7,95	-5,43	-0,93	-0,88	-1,02	0,19	-0,66	1,14	-0,98	-3,67
L2016	d =	1,40	0,77	0,90	2,43	3,26	2,82	2,80	3,29	2,14	1,40	0,22	-1,74
L2070	k =	0,64	2,40	1,13	0,16	0,43	0,40	0,25	-0,43	1,38	-0,40	-1,76	-1,25
L2070	d =	3,41	3,38	2,72	2,56	2,47	2,17	2,07	2,58	2,49	0,43	-0,63	-1,13
Mittelwert	k =	1,00	1,78	-0,62	-0,31	1,50	-1,24	0,06	0,54	1,10	0,06	0,18	-0,85
Mittelwert	d =	1,78	1,41	-0,44	0,38	0,75	-0,60	-0,26	0,29	-0,22	-1,71	-2,38	-3,90

Tab. 8-1: Faktor k und d der Geradengleichung je Terzband, für die Ermittlung der geschwindigkeitsabhängigen Umrechnungsfaktoren zur Berechnung des $L_{W'}$ aus dem $L_{W'}$ von M1 (7,5 m / 1,2 m ü. SOK)

8.2. Abgleich der Messergebnisse mit ONR 305011

Die Berechnung der Schallimmission basiert auf der ONR 305011. In dieser Regel sind Schallemissionswerte (längenbezogene Schalleistungspegel $L_{w'}$) für unterschiedliche Zugkategorien und Geschwindigkeiten definiert. Darüber hinaus wird in dieser Regel pauschal ein A-bewerteter Schalleistungspegel als Einzahlwert mit 79 dB für Kurvenquietschen im Vershub- und Umschlagbetrieb für 1 Ereignis pro Stunde angegeben. Die Emissionswerte in ONR 305011 sind in Oktaven von 63 Hz bis 8000 Hz angeführt. Für die in diesem Projekt in unterschiedlichen Bögen (Kampagne 1 - Kleinschwechat/S7: K1, Kampagne 2 - Eichgraben/Westbahn: K2, Kampagne 3 - Mürzzuschlag/Südbahn: K3) messtechnisch ermittelten Emissionswerte sollen Korrekturfaktoren gegenüber ONR 305011 abgeleitet werden. Damit dies möglich ist, ist ein Abgleich der Messergebnisse mit ONR 305011 nötig. Dieser wird in zwei Schritten vorgenommen. Im ersten Schritt erfolgt eine Zuordnung der gemessenen Zugkategorien zu denen in der ONR 305011, wie in Tab. 8-2 dargestellt.

Im zweiten Schritt wird eine Erweiterung der Tabelle der Emissionswerte in ONR 305011 an gemessene Geschwindigkeiten durch Inter- bzw. Extrapolation vorgenommen. Dadurch können die Messdaten besser genutzt und ein größerer

Zugkat.	ONR-Kat.	Kurzbeschreibung (lt. ONR 305011)
Güterzug	6	Güterwagen mit Grauguss-Bremsklotzsohlen
RZ-mix	2	Reisezugwagen, scheiben- oder kombiniert gebremst mit K- oder L-Bremsklotzsohle
Railjet	2	Reisezugwagen, scheiben- oder kombiniert gebremst mit K- oder L-Bremsklotzsohle
80-33	2	Reisezugwagen, scheiben- oder kombiniert gebremst mit K- oder L-Bremsklotzsohle
S4020	3	Triebwagengarnitur BR 4020 (Nahverkehr)
S4023	4	Triebwagengarnitur BR 4023/4024/4124 (Nahverkehr)
S4024	4	Triebwagengarnitur BR 4023/4024/4124 (Nahverkehr)
L1116	10	Elektro-Triebfahrzeug (BR 1016/1116/1216)
L1044	9	Elektro-Triebfahrzeug (BR 1044/1144)
L2016	12	Diesel-Triebfahrzeug (BR2016)
L2143	11	Diesel-Triebfahrzeug (BR2143)

Tab. 8-2: Zuordnung der gemessenen Zugkategorien zu denen der ONR 305011

Ort	r [m]	Zug	ONR-Kat.	v [km/h]	L _w ' [dB]								
					f [Hz]								A [dB]
					63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
K1	256,0	GZ	6	40	93,7	97,3	104,0	99,3	91,3	91,7	87,0	76,0	100,7
K3	310,0	GZ	6	60	96,3	98,7	104,0	102,7	96,7	96,3	91,0	80,0	103,9
K3	310,0	GZ	6	70	97,7	99,3	104,0	104,3	99,3	98,7	93,0	82,0	105,7
K3	310,0	GZ	6	80	99,0	100,0	104,0	106,0	102,0	101,0	95,0	84,0	107,7
K2	440,0	GZ	6	60	96,3	98,7	104,0	102,7	96,7	96,3	91,0	80,0	103,9
K2	440,0	GZ	6	70	97,7	99,3	104,0	104,3	99,3	98,7	93,0	82,0	105,7
K2	440,0	GZ	6	80	99,0	100,0	104,0	106,0	102,0	101,0	95,0	84,0	107,7
K2	440,0	GZ	6	90	100,0	100,5	104,0	107,0	104,0	102,5	96,5	85,5	109,1
K3	310,0	RZ-mx	2	80	85,0	85,0	91,0	95,0	94,0	92,0	87,0	75,0	98,4
K2	440,0	RZ-mx	2	90	87,7	85,7	91,0	96,0	95,3	93,7	88,7	77,0	99,8
K3	310,0	RailJ	2	70	82,3	84,3	91,0	94,0	92,7	90,3	85,3	73,0	97,1
K3	310,0	RailJ	2	80	85,0	85,0	91,0	95,0	94,0	92,0	87,0	75,0	98,4
K1	256,0	80-33	2	40	74,3	82,3	91,0	91,0	88,7	85,3	80,3	67,0	93,2
K1	256,0	80-33	2	50	77,0	83,0	91,0	92,0	90,0	87,0	82,0	69,0	94,5
K1	256,0	80-33	2	60	79,7	83,7	91,0	93,0	91,3	88,7	83,7	71,0	95,8
K2	440,0	80-33	2	90	87,7	85,7	91,0	96,0	95,3	93,7	88,7	77,0	99,8
K1	256,0	S4020	3	40	83,7	90,7	96,7	98,0	88,7	87,3	82,0	70,3	97,3
K1	256,0	S4020	3	50	85,3	91,3	97,3	99,0	91,3	89,7	84,0	72,7	98,7
K1	256,0	S4020	3	60	87,0	92,0	98,0	100,0	94,0	92,0	86,0	75,0	100,3
K1	256,0	S4024	4	50	83,5	87,0	88,0	88,0	87,0	80,5	79,5	71,0	90,7
K1	256,0	S4024	4	60	85,0	88,0	89,0	89,0	89,0	83,0	81,0	73,0	92,4
K1	256,0	L2016	12	40	88,0	92,0	88,0	91,0	87,0	80,0	75,0	68,0	91,5

Tab. 8-3: erweiterte Emissionstabelle aus ONR 305011 (Tabelle 1) für gemessene Zugkategorien und Geschwindigkeiten durch Extra- bzw. Interpolation auf 10 km/h-Intervall verdichtet

Geschwindigkeitsbereich berücksichtigt bzw. eine detailliertere Aussage hinsichtlich Geschwindigkeitsabhängigkeiten erzielt werden. Die Korrekturfaktoren können somit, ausgehend von den Messdaten, über einen größeren Geschwindigkeitsbereich bzw. in feiner unterteilten Geschwindigkeitsstufen (10 km/h) als nach ONR 305011 ermittelt werden. Tab. 8-3 zeigt die so erhaltene, erweiterte Emissionstabelle aus der ONR 305011.

8.3. Ermittlung der Korrekturfaktoren

8.3.1. Grundsätzliches

Ausgangspunkt der Ermittlung der Korrekturfaktoren sind die bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (40 bis 90 km/h in 10 km/h-Schritten) in Terzen (von 50 Hz bis 10 kHz) gemessenen, längenbezogenen Schallleistungspegel $L_{W'}(f)$ der unterschiedlichen Zugkategorien in den drei Bögen (K1, K2, K3). Siehe hierzu Kap. 8.1.

Die aus den Messungen erhaltenen Werte sind nun mit den in Kapitel 8.2 auf Basis der ONR 305011 (für gerade Strecke) ermittelten in Beziehung zu setzen. Da die Messwerte in Terzen, die Werte gemäß ONR 305011 aber in Oktaven vorliegen, erfolgt ein Abgleich von Terzen auf Oktaven.

Im gegenständlichen Projekt interessieren speziell die Auffälligkeiten der Bogenfahrt, daher werden in der Auswertung akustisch unauffällige und akustisch auffällige Ereignisse für die jeweilige Zugkategorie unterschieden. Damit besteht die Möglichkeit, akustische Auffälligkeiten zu charakterisieren (z. B. in Form einer Pegeldifferenz zu akustisch unauffälligen Ereignissen), den möglichen Einfluss von Maßnahmen (Reduktion akustischer Auffälligkeiten) zu beschreiben und die spezifische Wirkung des Bogens darzustellen.

In Kap. 1.3 werden breitbandige Auffälligkeiten (kennzeichnend für Kurvenkreischen), tonale Auffälligkeiten (kennzeichnend für Kurvenquietschen) und hochfrequente tonale Auffälligkeiten unterschieden. Gegenständlich soll die Gesamtheit der akustischen Auffälligkeiten betrachtet werden. Lediglich im Zusammenhang mit der Frage der schalltechnischen Wirkung einer Schienenkopfkonditionierung werden neben den akustischen Auffälligkeiten speziell auch tonale Auffälligkeiten betrachtet.

Die Betrachtungen beziehen sich auf ein trockenes Gleis. Daher erfolgt eine Ausblendung von Regen in einem Zeitraum von 1 Stunde vor und 1 Stunde nach der Messung in der Auswertung.

Zur Ermittlung der Korrekturfaktoren wird eine Mindestanzahl von zehn Ereignissen (je Zug- bzw. Geschwindigkeitskategorie) zugrunde gelegt und eine energetische Mittelung für akustisch unauffällige bzw. akustisch auffällige Ereignisse vorgenommen. Daraus werden die Korrekturfaktoren (in Oktaven) gegenüber ONR 305011 ermittelt.

8.3.2. Auswertevarianten

Bei der Auswertung von akustischen Auffälligkeiten werden im Weiteren zwei Varianten unterschieden.

- Variante A

Bei dieser Variante erfolgt ein Vergleich akustisch auffälliger (breitbandiger, tonaler und hochfrequenter tonaler) Ereignisse je Zugkategorie und Geschwindigkeit mit denselben Ereignissen, für die die Auffälligkeiten (künstlich) ausgeblendet wurden. Durch das Ausblenden der Auffälligkeiten wird (künstlich) eine Menge „akustisch unauffälliger“ Ereignisse gebildet. Wird nun die Menge der akustisch auffälligen Ereignisse mit dieser Menge „akustisch unauffälliger“ Ereignisse verglichen, so erhält man die akustische Wirkung (Pegeldifferenz) der Auffälligkeit, also einen Korrekturfaktor für die akustische Auffälligkeit.

Der Vorteil dieser Methode ist, dass dieselben Ereignisse (mit bzw. ohne Ausblendung der Auffälligkeiten) betrachtet werden und damit die Charakterisierung der Auffälligkeiten auf derselben Emission beruht. Dadurch ist es möglich, die Auswirkung der Auffälligkeiten für dieselben Ereignisse zu erfassen, d. h. direkt zu erhalten. Der Nachteil dieser Methode ist, dass die Ereignisse künstlich beeinflusst, also die „akustisch unauffälligen“ Ereignisse nicht direkt durch Messung ermittelt werden. Anzumerken ist weiters, dass die Ausblendung von Auffälligkeiten von 1,25 kHz bis 12,5 kHz erfolgt. Für die Korrekturfaktoren fließen die Frequenzen lediglich bis 10 kHz ein. Zur Abschätzung von Terzspektren bei Ausblendung vorhandener Auffälligkeiten siehe Kap. 7.1.

- Variante B

Bei dieser Variante erfolgt ein Vergleich akustisch auffälliger (breitbandiger, tonaler und hochfrequenter tonaler) Ereignisse mit akustisch unauffälligen Ereignissen je Zugkategorie und Geschwindigkeit. Diese Ereignisse gehören nicht mehr derselben Menge an, das heißt es handelt sich bei den akustisch auffälligen um andere Vorbeifahrtereignisse wie bei den akustisch unauffälligen.

Der Vorteil dieser Methode ist, dass es sich stets um gemessene Ereignisse handelt, die tatsächlich vor Ort aufgetreten sind. Der Nachteil ist, dass die Ereignisse unterschiedlich sind, d. h. dass lediglich Zugkategorie und Geschwindigkeitsklasse übereinstimmen, die Schallemission (beispielsweise durch Änderung anderer, nicht betrachteter Einflussfaktoren) aber durchaus unterschiedlich sein kann. Dadurch kann die Auswirkung der Auffälligkeiten lediglich durch den Vergleich unterschiedlicher Ereignisse ermittelt werden.

8.3.3. Auswertergebnisse nach Variante A und B

Da, wie vorstehend beschrieben, sowohl akustisch unauffällige als auch akustisch auffällige Ereignisse betrachtet werden, ergeben sich für beide Fälle Korrekturfaktoren gegenüber ONR 305011 (d. h. für die Strecke ohne Bogenzuschlag). Für akustisch unauffällige Ereignisse können sich z. B. aufgrund anderer Gleissituationen Abweichungen in der Schallemission zur ONR 305011 ergeben. Akustisch auffällige Ereignisse beinhalten zusätzlich tonale und/oder breitbandige Auffälligkeiten im Bogen.

Die Vorgehensweise erfolgt nun derart, dass für die akustisch unauffälligen Ereignisse Korrekturfaktoren gegenüber ONR 305011 gebildet werden. Zu den akustisch unauffälligen Ereignissen werden dann weitere Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse nach den beiden Varianten A und B gebildet.

In Tab. 8-4 ist ein Überblick über die Situationen gegeben, für welche Korrekturfaktoren auf Basis der Messdaten ermittelt werden können. Die erste Spalte beschreibt die jeweilige Zugkategorie, die zweite die entsprechende Kategorie nach ONR 305011, weiters sind die entsprechenden Bögen bzw. die Geschwindigkeiten angeführt.

In Tab. 8-5 bis Tab. 8-7 sind Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse gegenüber ONR 305011 (gerade Strecke) sowie für akustisch auffällige Ereignisse nach den beiden Auswertvarianten A bzw. B aufgeführt.

Zugkat.	ONR-Kat.	vorhandene Ergebnisse (stat. „ausreichende“ Anzahl ≥ 10)	
		Bögen	Geschwindigkeit [km/h]
Güterzüge	6	K1, K3, K2	K1: 40 K3: 60, 70, 80 K2: 60, 70, 80, 90
RZ-mix	2	K3, K2	K3: 80 K2: 90
Railjet	2	K3	K3: 70, 80
80-33	2	K1, K2	K1: 40, 50, 60 K2: 90
S4020	3	K1	K1: 40, 50, 60
S4024	4	K1	K1: 50, 60
L2016	12	K1	K1: 40

Tab. 8-4: Überblick Ergebnisse Auswertung Varianten A und B

Ort	r [m]	Zug	v [km/h]	Anz.	Korrekturfaktoren [dB]								
					63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]	8000 [Hz]	A
K1	256	GZ	40	99	7,8	4,6	1,3	2,3	6,0	1,4	0,1	3,4	2,4
K3	310	GZ	60	15	4,7	-1,3	-4,4	0,5	4,6	3,6	5,1	7,5	2,4
K3	310	GZ	70	57	3,2	-2,0	-4,4	0,1	3,5	1,3	2,1	4,5	1,3
K3	310	GZ	80	30	3,1	-2,7	-5,8	-1,5	1,5	-1,1	-0,8	0,7	-0,5
K2	440	GZ	60	15	5,5	-1,3	-4,7	-2,6	5,6	4,2	4,6	6,2	2,4
K2	440	GZ	70	13	4,4	-2,0	-2,7	-0,9	7,4	6,1	7,3	8,5	4,8
K2	440	GZ	80	23	3,3	-4,5	-5,2	-4,2	3,5	1,1	2,0	3,5	0,7
K2	440	GZ	90	36	5,5	-3,0	-5,5	-5,5	2,0	-0,2	-1,5	-1,9	-0,5
K3	310	RZ-mx	80	24	9,7	10,3	3,6	0,8	0,4	-2,0	-0,9	5,0	0,0
K2	440	RZ-mx	90	31	11,4	14,8	5,1	0,2	5,7	0,1	0,5	4,4	3,1
K3	310	RailJ	70	36	12,9	10,5	2,0	-0,3	-1,0	-1,9	-0,3	7,3	-0,7
K3	310	RailJ	80	59	10,8	9,6	2,7	-0,7	-1,5	-3,4	-1,7	4,8	-1,5
K1	256	80-33	40	52	22,8	17,6	10,2	3,6	-0,2	-1,0	1,5	12,5	3,4
K1	256	80-33	50	77	20,0	20,6	13,4	7,6	2,6	0,2	0,8	9,7	6,0
K1	256	80-33	60	2193	17,0	18,6	16,9	10,6	4,6	0,7	1,0	7,8	7,8
K2	440	80-33	90	98	12,9	15,9	7,1	0,2	4,1	-1,0	-0,4	5,0	2,0
K1	256	S4020	40	59	13,4	7,9	5,3	0,0	3,1	-1,2	1,9	9,7	1,6
K1	256	S4020	50	273	12,0	5,8	6,5	2,4	4,8	-0,9	1,0	7,7	3,0
K1	256	S4020	60	862	10,7	4,0	6,9	2,8	4,2	-1,7	-0,5	6,1	3,0
K1	256	S4024	50	50	7,7	5,7	8,3	7,4	5,1	4,1	-0,1	6,3	5,7
K1	256	S4024	60	165	6,5	4,7	9,5	8,1	5,2	3,4	0,0	5,7	5,9
K1	256	L2016	40	28	14,3	8,4	13,2	8,3	8,8	10,8	14,9	19,5	9,6

Tab. 8-5: Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse gegenüber ONR 305011 (gerade Strecke)

In Kap. 8.3.4 werden Empfehlungen zur Wahl der Varianten A und B gegeben. In Kap. 8.3.5 werden die Korrekturfaktoren unter Berücksichtigung der entsprechenden Varianten (A bzw. B) in Tab. 8-8 dargestellt.

In den hier dargestellten Tabellen (Tab. 8-5 bis Tab. 8-7) sind die Korrekturfaktoren dargestellt. Absolutwerte befinden sich in Tab. 8-13 und Tab. 8-14.

Ort	r [m]	Zug	v [km/h]	Anz.	Korrekturfaktoren [dB]								
					63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]	8000 [Hz]	A
K1	256	GZ	40	203	0	0	0	0	0	1,9	8,5	12,4	1,4
K3	310	GZ	60	62	0	0	0	0	0	0,3	1,6	3,6	0,3
K3	310	GZ	70	105	0	0	0	0	0	1,4	1,3	4,7	0,6
K3	310	GZ	80	38	0	0	0	0	0	0,3	1,8	7,2	0,3
K2	440	GZ	60	18	0	0	0	0	0	0,4	2,2	3,1	0,4
K2	440	GZ	70	34	0	0	0	0	0	0,2	0,4	2,3	0,1
K2	440	GZ	80	54	0	0	0	0	0	0,1	0,3	1,7	0,1
K2	440	GZ	90	59	0	0	0	0	0	0,1	0,6	3,1	0,1
K3	310	RZ-mx	80	16	0	0	0	0	0	1,2	8,5	13,7	2,7
K2	440	RZ-mx	90	41	0	0	0	0	0	0,9	6,4	5,9	1
K3	310	RailJ	70	22	0	0	0	0	0	1,9	9	10,4	3,3
K3	310	RailJ	80	48	0	0	0	0	0	1,2	10	9,7	3,4
K1	256	80-33	40	42	0	0	0	0	0	5,4	12,6	11,2	2,5
K1	256	80-33	50	76	0	0	0	0	0	9	11,4	11,6	2,9
K1	256	80-33	60	1652	0	0	0	0	0	8,1	11,7	9,6	1,9
K2	440	80-33	90	43	0	0	0	0	0	1,4	4	6,9	0,5
K1	256	S4020	40	163	0	0	0	0	0	2,3	12,8	10,3	2,5
K1	256	S4020	50	731	0	0	0	0	0	1,8	12,6	11,5	1,9
K1	256	S4020	60	2189	0	0	0	0	0	2,8	11,3	11,4	1,4
K1	256	S4024	50	11	0	0	0	0	0	0,6	4,5	8,8	1
K1	256	S4024	60	46	0	0	0	0	0	1,5	4,9	9,3	0,9
K1	256	L2016	40	11	0	0	0	0	0	0,2	2,3	2,7	0,3

Tab. 8-6: Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse gegenüber akustisch unauffälligen nach Variante A

Für akustisch auffällige Ereignisse ergeben sich durch die beiden Auswertevarianten A und B unterschiedliche Korrekturfaktoren (gegenüber akustisch unauffälligen). Nun stellt sich die Frage, welche der beiden Varianten für eine eindeutige Ableitung von Korrekturfaktoren den Vorzug verdient. Nachfolgend werden Anmerkungen/Empfehlungen zur Wahl der Varianten gegeben.

Ort	r [m]	Zug	v [km/h]	Anz.	Korrekturfaktoren [dB]								
					63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]	8000 [Hz]	A
K1	256	GZ	40	203	-0,1	-0,1	-0,5	-0,4	0,4	2,9	10,4	17,4	2,0
K3	310	GZ	60	62	0,3	0,6	1,4	0,4	0,3	0,4	1,7	5,7	0,7
K3	310	GZ	70	105	0,9	0,0	-1,1	-3,8	-0,2	0,2	1,8	2,5	-1,0
K3	310	GZ	80	38	0,5	0,8	1,5	1,5	1,9	3,7	4,3	9,4	2,3
K2	440	GZ	60	18	-2,7	-1,6	1,2	0,3	-1,2	-1,5	-1,6	0,5	-0,7
K2	440	GZ	70	34	-2,1	-1,2	-2,7	-0,6	-5,9	-7,0	-6,9	3,5	-4,9
K2	440	GZ	80	54	-0,5	0,8	0,6	0,5	-0,4	0,4	0,0	1,3	0,0
K2	440	GZ	90	59	-1,7	-1,0	-0,8	-0,3	-1,0	-0,7	0,6	4,4	-0,7
K3	310	RZ-mx	80	16	0,6	0,0	-0,5	-0,1	0,2	1,6	10,9	16,2	3,8
K2	440	RZ-mx	90	41	-0,1	-0,6	0,2	-0,1	-1,1	0,1	6,0	6,7	0,1
K3	310	RailJ	70	22	0,1	-0,4	-0,3	0,1	-0,1	2,6	11,0	16,2	4,8
K3	310	RailJ	80	48	0,0	0,4	0,9	0,0	-0,2	2,0	11,0	14,3	3,9
K1	256	80-33	40	42	-0,2	0,4	-0,4	-0,3	0,0	5,4	10,9	17,9	3,6
K1	256	80-33	50	76	1,6	-0,7	-0,2	-0,5	0,0	9,9	13,9	16,8	3,5
K1	256	80-33	60	1652	2,0	0,1	0,0	0,3	-0,1	8,8	11,9	14,1	2,2
K2	440	80-33	90	43	0,0	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5	2,3	6,1	0,6
K1	256	S4020	40	163	0,4	-0,4	-0,2	-0,4	0,7	2,7	12,1	12,7	2,6
K1	256	S4020	50	731	0,1	-0,7	-0,5	-0,6	0,2	2,2	12,4	13,9	1,9
K1	256	S4020	60	2189	0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-0,1	2,7	11,7	13,1	1,4
K1	256	S4024	50	11	0,0	0,3	0,4	0,2	0,1	1,6	10,0	15,6	2,1
K1	256	S4024	60	46	0,3	-0,5	0,0	0,0	-0,1	2,7	12,1	17,1	2,6
K1	256	L2016	40	11	0,7	-1,2	-0,5	0,3	0,6	3,9	12,3	10,8	4,9

Tab. 8-7: Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse gegenüber akustisch unauffälligen nach Variante B

8.3.4. Wahl der Varianten

Für die Ermittlung der Korrekturfaktoren wird nun eine Auswahl getroffen, welche der beiden Varianten A und B für die jeweilige Zugkategorie in der Auswertung zugrunde gelegt wird.

Eigenschaften

Variante A bietet Vorteile bei geringen Anzahlen an Zugvorbeifahrten, sofern die Schallemissionen neben auffällige auch repräsentative, akustische unauffällige Zeitbereiche in den Terzpegelzeitverläufen enthalten. Letzteres ist vor allem bei tonalen Auffälligkeiten (betrachtet bis 6,3 kHz) gegeben, da diese üblicherweise nur an einzelnen Achsen im Zugverband entstehen und deren Schallanteile in 7,5 m üblicherweise rasch abfallen. Im Gegensatz dazu kommt es bei breitbandigen Auffälligkeiten häufiger dazu, dass diese zeitlich deutlich langsamer abklingen, sodass deren Pegelerhöhung durch Variante A gerade in den höherfrequenten Terzen zum Teil deutlich unterschätzt wird. Variante A ist zudem nicht für die Abschätzung von Pegelerhöhungen bei sehr kurzen Zügen (beispielsweise Lokzüge) geeignet, da Auffälligkeiten hier meist während der gesamten Zugvorbeifahrt bestehen und eine Ausblendung unmöglich wird. Daher sollte in Fällen, in denen Variante A weniger geeignet für die Ermittlung der Korrekturfaktoren erscheint, überlegt werden, Variante B zu bevorzugen.

Wahl der Varianten

Aufgrund der zum Teil sehr unterschiedlichen Abschätzungseigenschaften erscheint es vorteilhaft, durch Vergleich und Interpretation der Korrekturfaktoren (siehe beispielsweise Abb. 8-3), sowie der durch die Analysen gewonnenen Eigenschaften die Wahl für jede

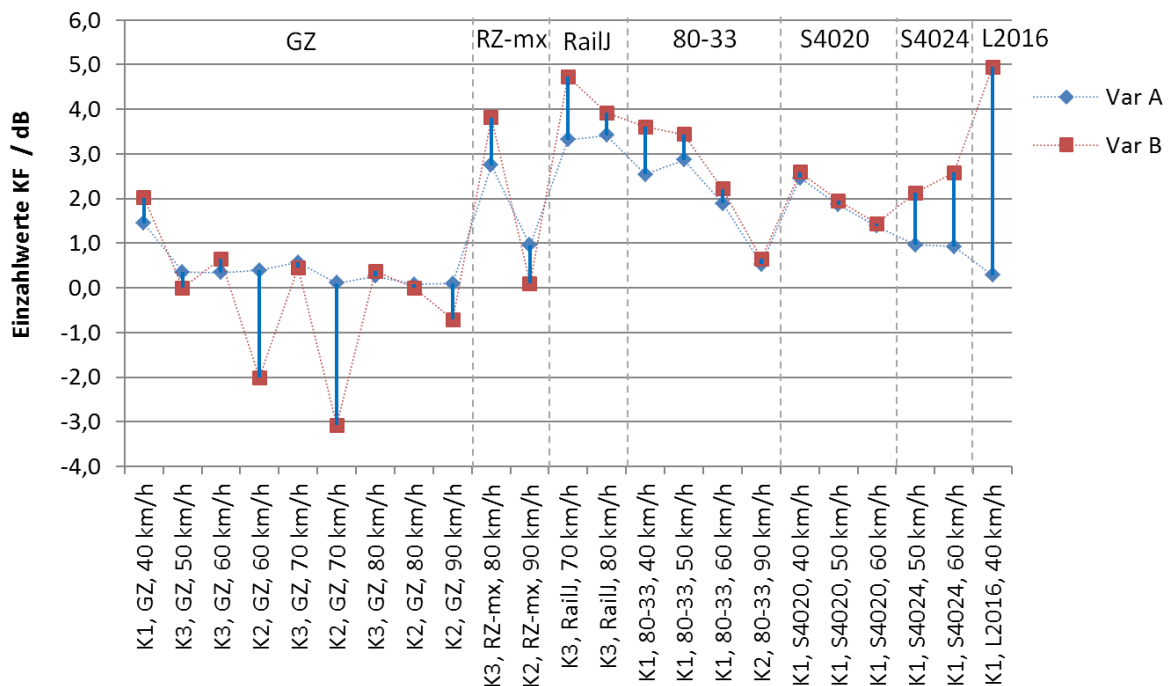


Abb. 8-3: Vergleich der Einzahlwerte der Korrekturfaktoren für Variante A und B sortiert nach Zugkategorie und Geschwindigkeit

Zugkategorie einzeln vorzunehmen (Expertenurteil). Jedoch ist häufig zu erkennen (siehe Tab. 8-6 bzw. Tab. 8-7), dass durch Variante A für den 8 kHz Oktavpegel deutlich geringere Korrekturfaktoren als durch Variante B abgeschätzt werden und die Differenzen der 2 und 4 kHz Oktaven deutlich geringer ausfallen. Dies deutet darauf hin, dass gerade die breitbandigen Auffälligkeiten bzw. die dadurch einhergehenden Pegelerhöhungen, welche in der Regel mit der Frequenz steigen (und sich damit in den Korrekturwerten für die 8 kHz Oktaven am deutlichsten manifestieren) durch Variante A aufgrund der oben beschriebenen Problematik des Ausblendens mehr unterschätzt werden als tonale Auffälligkeiten. Sind diese Erhöhungen für signifikante Unterschiede in den Einzahlwerten maßgeblich, so sollte generell Variante B trotz etwaiger höherer (unbekannter) Unsicherheiten der Vorzug gegeben werden.

- Güterzüge (GZ)

Diese Zugkategorie zeichnet sich durch eine hohe Vielfalt an Fahrzeugtypen, sowie durch unterschiedliche Bremssysteme aus. Bei Vergleich der Einzahlwerte ist zu erkennen, dass sich zum Teil hohe, negative Korrekturwerte ergeben. Sind die Korrekturwerte jedoch positiv, so unterscheiden sich die Werte von Variante A und B nur unwesentlich. Aus diesem Grund erscheint Variante A für Güterzüge geeigneter.

- RZ-mix

Ähnlich wie bei Güterzügen umfasst auch die Kategorie Reisezüge-Mix unterschiedliche Fahrzeugtypen. Auch hier zeigt sich ein differentes Bild: bei der Kampagne 2 liefert Variante A einen um ca. 1 dB höheren und bei Kampagne 3 einen um ca. 1 dB niedrigeren Einzahlkorrekturfaktor. Da Variante A als untere Schranke anzusehen ist, deutet vor allem das Ergebnis von Kampagne 2 auf eine hohe Schwankungsbreite von Variante B hin, welche durch die verschiedenen Fahrzeuge verursacht werden kann. Ähnlich wie bei Güterzügen sollte daher auch für die Abschätzung der Korrekturfaktoren der Kategorie RZ-mix Variante A bevorzugt Anwendung finden.

- RailJ

Railjets zeigen zwischen den Berechnungsvarianten bei der 8 kHz Oktav einen Pegelunterschied von ca. 5 bzw. 6 dB, während dieser bei der 4 kHz Oktav sich nur auf 2 bzw. 1 dB beläuft. Es ist davon auszugehen, dass Variante A die Pegelerhöhungen von breitbandigen Auffälligkeiten vergleichsweise konservativ (zu gering) abschätzt, weshalb Variante B der Vorzug gegeben werden kann.

- 80-33

Die Züge der Kategorie 80-33 weisen mit zunehmender Geschwindigkeit eine gute Übereinstimmung der Einzahlwerte auf. In den Oktavpegelspektren ist zu erkennen, dass die größten Abweichungen bei der 8 kHz Oktav auftreten (bei Kampagne 1 zw. 4 und 7 dB). In den restlichen Oktavpegeln bzw. bei Kampagne 2 liegen die Werte hingegen meist unter 2,5 dB. Ähnlich wie beim Railjet deuten diese deutlich höheren Unterschiede bei der 8 kHz Oktav auf eine mittelmäßig gute Abschätzung der durch breitbandige Auffälligkeiten verursachten Pegelerhöhungen hin. Aus diesem Grund sollte Variante B gewählt werden.

- S4020

Bei der Zugkategorie S4020 liefert Variante A lediglich bei der 8 kHz Oktav um ca. 2 - 2,5 dB geringere Pegel als Variante B, während bei den darunter liegenden Oktaven Unterschiede <1 dB betragen. Da die daraus resultierenden Einzahlwerte sich nur marginal (max. 0,1 dB) unterscheiden, erscheinen grundsätzlich die Ergebnisse beider Varianten geeignet, zumal die geringen Unterschiede auch auf geringe Unsicherheiten bei Variante B hindeuten.

- S4024

Züge des Typs S4024 zeichnen sich durch ein sehr geringes Vorbeifahrtgrundgeräusch aus. Zudem treten kaum tonale und nur mäßig häufig breitbandige Auffälligkeiten auf, wobei sich letztere aufgrund der niedrigen Pegelwerte auch schon bei Terzen mit geringeren Frequenzen auswirken (ab etwa 3 - 4 kHz). Aus diesem Grund dürften nicht nur die 8 kHz, sondern bereits die 4 kHz Oktav durch Variante A sehr konservativ geschätzt werden (im Vergleich dazu liegen die beiden Oktaven der Variante B um jeweils 6 - 8 dB höher). Folglich scheint zur Abschätzung der Korrekturfaktoren für die Kategorie S4024 Variante B besser geeignet zu sein.

- L2016

Bei Lokzügen wie der Zugkategorie L2016 lieferte Variante A aufgrund der kurzen Vorbeifahrtzeit erwartungsgemäß eine massive Unterschätzung, weshalb hier Variante B bevorzugt verwendet werden sollte.

Die vorangestellten Empfehlungen kann man nun folgendermaßen zusammenfassen:

Für Güterzüge bzw. RZ-mix wird Variante A für alle anderen Zugkategorien Variante B empfohlen.

8.3.5. Korrekturfaktoren unter Berücksichtigung der Auswahl der Varianten A und B für akustisch auffällige Ereignisse gegenüber akustisch unauffälligen Ereignissen

In Tab. 8-8 sind unter Berücksichtigung der Wahl der Varianten A und B für unterschiedliche Zugkategorien Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse gegenüber akustisch unauffälligen Ereignissen dargestellt.

Ort	r [m]	Zugkat.	v [km/h]	Anz.	Korrekturfaktoren [dB]								
					63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]	8000 [Hz]	A
K1	256	GZ	40	203	0	0	0	0	0	1,9	8,5	12,4	1,4
K3	310	GZ	60	62	0	0	0	0	0	0,3	1,6	3,6	0,3
K3	310	GZ	70	105	0	0	0	0	0	1,4	1,3	4,7	0,6
K3	310	GZ	80	38	0	0	0	0	0	0,3	1,8	7,2	0,3
K2	440	GZ	60	18	0	0	0	0	0	0,4	2,2	3,1	0,4
K2	440	GZ	70	34	0	0	0	0	0	0,2	0,4	2,3	0,1
K2	440	GZ	80	54	0	0	0	0	0	0,1	0,3	1,7	0,1
K2	440	GZ	90	59	0	0	0	0	0	0,1	0,6	3,1	0,1
K3	310	RZ-mx	80	16	0	0	0	0	0	1,2	8,5	13,7	2,7
K2	440	RZ-mx	90	41	0	0	0	0	0	0,9	6,4	5,9	1
K3	310	RailJ	70	22	0,1	-0,4	-0,3	0,1	-0,1	2,6	11,0	16,2	4,8
K3	310	RailJ	80	48	0,0	0,4	0,9	0,0	-0,2	2,0	11,0	14,3	3,9
K1	256	80-33	40	42	-0,2	0,4	-0,4	-0,3	0,0	5,4	10,9	17,9	3,6
K1	256	80-33	50	76	1,6	-0,7	-0,2	-0,5	0,0	9,9	13,9	16,8	3,5
K1	256	80-33	60	1652	2,0	0,1	0,0	0,3	-0,1	8,8	11,9	14,1	2,2
K2	440	80-33	90	43	0,0	0,3	0,2	0,5	0,4	0,5	2,3	6,1	0,6
K1	256	S4020	40	163	0,4	-0,4	-0,2	-0,4	0,7	2,7	12,1	12,7	2,6
K1	256	S4020	50	731	0,1	-0,7	-0,5	-0,6	0,2	2,2	12,4	13,9	1,9
K1	256	S4020	60	2189	0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-0,1	2,7	11,7	13,1	1,4
K1	256	S4024	50	11	0,0	0,3	0,4	0,2	0,1	1,6	10,0	15,6	2,1
K1	256	S4024	60	46	0,3	-0,5	0,0	0,0	-0,1	2,7	12,1	17,1	2,6
K1	256	L2016	40	11	0,7	-1,2	-0,5	0,3	0,6	3,9	12,3	10,8	4,9

Tab. 8-8: Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse gegenüber akustisch unauffälligen unter Berücksichtigung der Varianten A und B

8.3.6. Theoretische Abschätzung hinsichtlich Schienenkopfkonditionierung

Für Konditioniermaßnahmen können im gegenständlichen Projekt keine auf Messdaten aufbauenden Korrekturfaktoren abgeleitet werden, da es während der Messzeiträume Probleme bei der Konditionierung gab und demnach aus den Messdaten keine eindeutigen akustischen Verbesserungen erkennbar sind.

Ort	r [m]	Zug	v [km/h]	Anz.	Korrekturfaktoren [dB]								
					63 [Hz]	125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]	8000 [Hz]	A
K1	256	GZ	40	203	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	2,1	0,6	0,6
K3	310	GZ	60	62	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1
K3	310	GZ	70	105	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,4	0,4	0,4
K3	310	GZ	80	38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,5	0,2
K2	440	GZ	60	18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1	0,1
K2	440	GZ	70	34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K2	440	GZ	80	54	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
K2	440	GZ	90	59	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
K3	310	RZ-mx	80	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	1,7	1,7
K2	440	RZ-mx	90	41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,1	0,5
K3	310	RailJ	70	22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,4	1,1
K3	310	RailJ	80	48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	1,1
K1	256	80-33	40	42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	5,8	0,1	1,2
K1	256	80-33	50	76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	5,7	0,3	2,3
K1	256	80-33	60	1652	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7	7,6	0,5	1,7
K2	440	80-33	90	43	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K1	256	S4020	40	163	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	7,1	0,3	1,5
K1	256	S4020	50	731	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	8,0	0,7	1,4
K1	256	S4020	60	2189	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	7,7	0,8	1,1
K1	256	S4024	50	11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,9	0,6
K1	256	S4024	60	46	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,8	0,5
K1	256	L2016	40	11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 8-9: Korrekturfaktoren für tonale Ereignisse gegenüber nichttonalen (Variante A)

Nun kann man eine theoretische Abschätzung dahingehend vornehmen, dass eine Schienenkopfkonditionierung eventuell zu einer Eliminierung akustischer Auffälligkeiten führt. Dann würden lediglich Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, wie in Tab. 8-5 dargestellt, zu berücksichtigen sein.

Eine andere Abschätzung beruht auf der Annahme, dass eine Schienenkopfkonditionierung eventuell zu einer Eliminierung tonaler Auffälligkeiten führt. Um eine entsprechende Abschätzung zu erzielen, werden mit Variante A nur tonale Komponenten ausgeblendet und ein Vergleich mit den Ereignissen ohne Ausblendung tonaler Komponenten angestellt. Die Differenz zwischen den Ergebnissen ohne bzw. mit tonaler Ausblendung ergibt die Korrekturfaktoren für tonale Ereignisse (siehe Tab. 8-9), und damit eine weitere Möglichkeit, die eventuell auftretende akustische Wirkung einer Schienenkopfkonditionierung abzuschätzen.

8.3.7. Erweiterung von Korrekturfaktoren

In diesem Kapitel wurden sowohl Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse gegenüber ONR 305011 als auch akustisch auffällige Ereignisse gegenüber akustisch unauffälligen gebildet. Es stellt sich nun die Frage, inwieweit aus den vorhandenen Daten Korrekturfaktoren für andere Bogenradien, Zugkategorien, Geschwindigkeiten abgeleitet werden können.

Um den Sachverhalt möglichst gut zu verdeutlichen, werden die ermittelten Korrekturfaktoren als A-bewertete Einzahlwerte (unter Berücksichtigung der Varianten A und B) nochmals in Tab. 8-10 dargestellt. Hierbei sind die Einzahlwerte je Zugkategorie in Abhängigkeit vom Bogenradius sowie der Geschwindigkeit dargestellt. Für jeden Bogenradius sowie für jede Geschwindigkeit gibt es zwei Spalten. In der jeweils linken Spalte stehen die Pegeldifferenzen zwischen akustisch unauffälligen Ereignissen und der ONR 305011 (mit „ A_{oA} “ bezeichnet) in der jeweils rechten Spalte die Pegeldifferenz der akustisch auffälligen zu den akustisch unauffälligen Ereignissen (mit „ A_{mA} “ bezeichnet).

Hierbei sind jene Felder gelb markiert sowie ausgekreuzt, für welche die zulässige Geschwindigkeit (VzG-Geschwindigkeit) überschritten würde. Diese Fälle spielen daher keine Rolle mehr, da keine Züge mit höheren Geschwindigkeiten als die zulässigen fahren (dürfen). Grün sind jene Felder mit den zulässigen VzG-Geschwindigkeiten. Man kann in der Regel davon ausgehen, dass diese Geschwindigkeiten häufig in den Bogen gefahren werden. Daher sind diese Geschwindigkeiten für die Betrachtungen von besonderem

Interesse. Die weißen Felder markieren jene Geschwindigkeiten, welche unterhalb der zulässigen VzG-Geschwindigkeiten liegen und gefahren werden können.

Wie aus Tab. 8-10 zu ersehen, sind jene Felder mit Korrekturfaktoren versehen, für welche diese aus den Messdaten erhoben werden konnten. Diese Tabelle zeigt für die

Korrekturfaktoren (ohne bzw. mit Auffälligkeiten) auf Basis der Messergebnisse													
Zug- Kat.	v [km/h]	40		50		60		70		80		90	
		r [m]	A _{oA} [dB]	A _{mA} [dB]	A _{oA} [dB]	A _{mA} [dB]	A _{oA} [dB]	A _{mA} [dB]	A _{oA} [dB]	A _{mA} [dB]	A _{oA} [dB]	A _{mA} [dB]	A _{oA} [dB]
GZ	256	2,4	1,4					x	x	x	x	x	x
	310					2,4	0,3	1,3	0,6	-0,5	0,3	x	x
	440					2,4	0,4	4,8	0,1	0,7	0,1	-0,5	0,1
RZ-mx	256							x	x	x	x	x	x
	310									0	2,7	x	x
	440											3,1	1
Railjet	256							x	x	x	x	x	x
	310							-0,7	4,8	-1,5	3,9	x	x
	440												
80-33	256	3,4	3,6	6	3,5	7,8	2,2	x	x	x	x	x	x
	310											x	x
	440											2	0,6
S4020	256	1,6	2,6	3	1,9	3	1,4	x	x	x	x	x	x
	310											x	x
	440												
S4024	256			5,7	2,1	5,9	2,6	x	x	x	x	x	x
	310											x	x
	440												
L2016	256	9,6	4,9					x	x	x	x	x	x
	310											x	x
	440												

Tab. 8-10: Darstellung abgeleiteter Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige gegenüber ONR 305011 sowie akustisch auffällige Ereignisse gegenüber akustisch unauffälligen Ereignissen

unterschiedlichen Zugkategorien fehlende Bereiche. Es könnte grob eine Tendenz abgelesen werden, die besagt, dass die Korrekturfaktoren für die akustisch auffälligen gegenüber den akustisch unauffälligen Ereignissen mit zunehmendem Bogenradius bzw. zunehmender Geschwindigkeit geringer werden. Weiters zeigt sich tendenziell, dass die grundsätzlich lautereren Güterzüge geringere Korrekturfaktoren speziell bei den VzG-Geschwindigkeiten aufweisen. Die Abnahme der Korrekturfaktoren mit dem Bogenradius entspräche den Erwartungen, da man davon ausgeht, dass größere Bogenradien geringere Auswirkungen auf das Kurvengeräusch haben. Die Abnahme der Korrekturfaktoren mit der Geschwindigkeit sieht auf den ersten Blick weniger einleuchtend aus, da man vermuten könnte, dass mit zunehmender Geschwindigkeit der Schlupf etc. sich noch verstärkt und daher das Kurvengeräusch sich erhöht. Jedoch ist zu bedenken, dass bei höheren Geschwindigkeiten die Emission insgesamt steigt. Man könnte vermuten, dass das Kurvengeräusch im Verhältnis zur Emission weniger stark ansteigt (oder vielleicht sogar annähernd gleich bleibt) und daher bei größeren Geschwindigkeiten eine geringere Auswirkung relativ zur Emission aufweist.

Die Tab. 8-10 zeigt, dass nicht alle möglichen Felder befüllt werden konnten, da entsprechende Züge bei diesen Geschwindigkeiten in den jeweiligen Bögen entweder nicht verkehrten oder die Anzahl zu gering war, um daraus eine statistisch einigermaßen abgesicherte Aussage zu treffen.

Es wurde überlegt, ob eine Extrapolation auf andere Radien bzw. Geschwindigkeitsbereiche etc. sinnvoll wäre. Die Datenlage ist aber zu wenig eindeutig. Daher können in diesem Projekt lediglich (vorläufige) Korrekturfaktoren für die vorliegenden Fälle angegeben werden.

8.3.8. Vergleich der Ergebnisse mit anderen Normen bzw. Regelwerken

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über die Aussagen von Normen bzw. Regelwerken zu Anpass- bzw. Korrekturwerten hinsichtlich Gleisbögen gegeben:

- ONR 305011-Österreich
 - Der Begriff „Kurvenquietschen“ wird dieser ONR-Regel nicht näher definiert
 - Im Verschub- und Umschlagbetrieb ist ein Schalleistungspegel für Kurvenquietschen von 79 dB für 1 Ereignis pro Stunde angeführt (Radius <300 m)
 - Anpassungswert für Geräuschanteile durch Kurvenquietschen bei Zugverkehr in der Höhe von 5 dB

- CNOSSOS-EU

- Der Begriff „Kurvenkreischen“ findet sich in deutscher Übersetzung, wird allerdings nicht näher definiert.
- Kurvenkreischen ist abhängig vom Kurvenradius, Reibungsbedingungen, Zuggeschwindigkeit, Schiene-Rad-Geometrie und der Fahrdynamik
- die Schallemission ist spezifisch für jedes Schienenfahrzeug
- die Schalleistungsspektren sollten vor Ort überprüft werden

In einfacher Näherung können Quietschgeräusche durch folgende Zuschläge berücksichtigt werden:

- 8 dB für Radien < 300 m
- 5 dB für Radien zwischen 300 m und 500 m

für alle Frequenzen

Berücksichtigung innerhalb der oben angeführten Radien für mindestens 50 m Bogenlänge

- Schall 03 bzw. Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen VBUSch-Deutschland (Korrekturwerte siehe Tab. 8-11)

- Modell SonRail-Schweiz

Der Einfluss von Kurvenradien auf die Schallabstrahlung wird durch das Modell erfasst, auf akustische Auffälligkeiten (wie z. B. Kurvenquietschen, Kurvenkreischen etc.) wird nicht eingegangen. Der Einfluss von Gleisbögen auf das Emissionsverhalten von Fahrzeugen wird durch äquivalente Radrauheiten beschrieben. Ein Gleisabschnitt wird als Kurve definiert, wenn dessen Radius weniger als 1000 m beträgt.

In Tab. 8-12 sind die Ergebnisse der hier ermittelten Korrekturfaktoren (abgestimmt auf die Emissionen der ONR 305011) für Ereignisse ohne Auffälligkeiten sowie Ereignisse mit Auffälligkeiten den Werten aus der Literatur gegenübergestellt. Die hier ermittelten

Spalte	A	B
Zeile	Kurvenradius	$D_{Ra} [dB]$
1	< 300m	8
2	von 300 m bis < 500 m	3
3	≥ 500 m	0

Tab. 8-11: Pegelkorrekturen für die Auffälligkeit von Kurvenfahrgeräusch bei Eisenbahnstrecken

Ort	r [m]	Zug-Kat.	v [km/h]	v-v _a [km/h]	Anz. Züge	A _{oA} [dB]	A _{oA+mA} [dB]	p _{mA} [%]	A _p [dB]	ONR [dB]	CNOS-SOS [dB]	Schall 03/VBU-Sch [dB]
Bogen K1: v _{VZG} = 60 km/h, v _a = 39 km/h												
K1	256	80-33	40	1	94	3,4	7	44,7	5,4	5	8	8
K1	256	80-33	50	11	153	6	9,5	49,7	8,1	5	8	8
K1	256	80-33	60	21	3845	7,8	10	43	8,9	5	8	8
K1	256	GZ	40	1	302	2,4	3,8	67,2	3,4	5	8	8
K1	256	L2016	40	1	39	9,6	14,5	28,2	11,6	5	8	8
K1	256	S4020	40	1	222	1,6	4,2	73,4	3,6	5	8	8
K1	256	S4020	50	11	1004	3	4,9	72,8	4,5	5	8	8
K1	256	S4020	60	21	3051	3	4,4	71,7	4,0	5	8	8
K1	256	S4024	50	11	61	5,7	7,8	18	6,2	5	8	8
K1	256	S4024	60	21	211	5,9	8,5	21,8	6,6	5	8	8
Bogen K3: v _{VZG} = 80 km/h, v _a = 63 km/h												
K3	310	GZ	60	-3	77	2,4	2,7	80,5	2,6	0	5	3
K3	310	GZ	70	7	162	1,3	1,9	64,8	1,7	0	5	3
K3	310	GZ	80	17	68	-0,5	-0,2	55,9	-0,3	0	5	3
K3	310	RailJ	70	7	58	-0,7	4,1	37,9	1,8	0	5	3
K3	310	RailJ	80	17	107	-1,5	2,4	44,9	0,7	0	5	3
K3	310	RZ-mx	80	17	40	0	2,7	40	1,3	0	5	3
Bogen K2: v _{VZG} = 90 km/h, v _a = 70 km/h												
K2	440	80-33	90	20	141	2	2,6	30,5	2,2	0	5	3
K2	440	GZ	60	-10	33	2,4	2,8	54,5	2,6	0	5	3
K2	440	GZ	70	0	47	4,8	4,9	72,3	4,9	0	5	3
K2	440	GZ	80	10	77	0,7	0,8	70,1	0,8	0	5	3
K2	440	GZ	90	20	95	-0,5	-0,4	62,1	-0,4	0	5	3
K2	440	RZ-mx	90	20	72	3,1	4,1	56,9	3,7	0	5	3
v-v _a ... Differenz der Geschwindigkeit v zur ausgeglichenen Geschwindigkeit v _a A _{oA} ... Korrekturfaktoren (A-bewertet) für akustisch unauffällige Ereignisse gegenüber ONR A _{oA+mA} ... Korrekturfaktoren (A-bewertet) für akustisch auffällige Ereignisse gegenüber ONR p _{mA} ... Prozentsatz der Züge mit akustischen Auffälligkeiten A _p ... Korrekturfaktoren (A-bewertet) für den Prozentsatz p _{mA} an auffälligen Ereignissen gegenüber ONR												

Tab. 8-12: Gegenüberstellung Einzahlwerte der Korrekturfaktoren mit Ergebnissen aus der Literatur (Normen, Richtlinien)

Korrekturfaktoren enthalten keine Lästigkeitszuschläge. Eine Übertragung dieser Korrekturfaktoren auf andere Modelle (wie z. B. CNOSSOS) würde noch eine spezielle Anpassung erfordern. Zu beachten ist, dass für Ausbreitungsrechnungen in der Regel VzG-Geschwindigkeiten (zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit im Streckenabschnitt) herangezogen werden.

Neben Messort, Bogenradius, Zugkategorie, Geschwindigkeit ist hier auch die Differenz zur ausgeglichenen Geschwindigkeit v_a (Geschwindigkeit, bei der keine unausgeglichene Seitenbeschleunigung eintritt), die Anzahl der entsprechenden Züge, sowie der im Zuge der Messungen ermittelte Prozentsatz der Züge mit Auffälligkeiten dargestellt.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Korrekturfaktoren aus den Messungen in einem ähnlichen Bereich liegen, wie diejenigen aus der Literatur, allerdings eine deutliche Streuung aufweisen. Bei Bogenradien größer 300 m zeigt sich, dass die hier ermittelten Korrekturfaktoren für sämtliche Zugkategorien sowie Geschwindigkeiten unterhalb jenen von CNOSSOS liegen. Besonders deutlich liegen hierbei die Korrekturfaktoren für die Güterzüge bei den entsprechenden VzG-Geschwindigkeiten unterhalb des Wertes von CNOSSOS. Sie sind für die VzG-Geschwindigkeiten sogar leicht negativ (auch mit Auffälligkeiten), führen also zu einer gegenüber der ONR 305011 leicht verminderten Schallemission.

8.4. Implementierung

In Kapitel 8.3 wurden Korrekturfaktoren für die entsprechenden Gleisbögen (K1, K2, K3) ermittelt. Diese Korrekturfaktoren beinhalten den physikalischen Effekt von Pegeländerungen im Gleisbogen. Sie stellen keine Lästigkeitszuschläge für das Kurvengeräusch dar. Nun stellt sich die Frage, wie diese in der Schallausbreitungsberechnung berücksichtigt werden können. Gemäß ONR 305011 wird einer bestimmten Zugkategorie ein längenbezogener Schalleistungspegel für jede Oktave von 63 Hz bis 8000 Hz in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit zugeordnet. Zusätzlich erfolgt die Angabe der Länge der Züge der Zugkategorie sowie die Anzahl der Züge bei der entsprechenden Geschwindigkeit im jeweiligen Zeitabschnitt (Tag, Abend, Nacht).

Die Korrekturfaktoren im Bogen beziehen sich nun auf die entsprechenden Zugkategorien, welche darüber hinaus mit ihren Eingangsparametern wie Länge, Anzahl, Geschwindigkeit, Zeitabschnitt ergänzt werden.

Die Implementierung der Korrekturfaktoren in Schallausbreitungsberechnungsprogrammen erfolgt nun sinnvollerweise durch Beaufschlagung der vorgegebenen

Emissionswerte für eine bestimmte Zugkategorie (erweiterte ONR-Werte) mit den entsprechenden Korrekturfaktoren in Oktaven für den Bereich des Bogens. Das heißt, es ergibt sich ein neues Emissionsspektrum für den Bogen unter Berücksichtigung der Korrekturfaktoren.

Im Zusammenhang mit den Korrekturfaktoren hat sich die Frage gestellt, ob anstatt des Oktavspektrums Einzahlwerte verwendet werden könnten.

Zum Vergleich wurden hierzu Schallausbreitungsberechnungen durchgeführt, wo anstatt eines Spektrums Einzahlwerte verwendet werden. In diesem Fall wurde von einer geraden Strecke (unendlich großer Bogen) ausgegangen, um die Differenzen zwischen Oktavpegelspektren zu Einzahlwerten in der Schallausbreitung allgemein darzustellen. Abb. 8-4 zeigt exemplarisch eine Ausbreitungsberechnung in einem Gebiet von 1000 m mal 1000 m. Links im Bild sind Lärmkarten mit Absolutwerten, rechts die Differenzlärmkarte (Oktavpegelspektrum zu Einzahlwert) dargestellt. Anhand der Skala rechts unten können die Pegeldifferenzen der Schallausbreitung in der Differenzlärmkarte abgelesen werden. In diesem exemplarischen Beispiel zeigen sich Pegeldifferenzen in der Schallausbreitung von bis zu 1 dB, bei Verwendung des Oktavpegelspektrums gegenüber dem energieäquivalenten Einzahlwert in der Schallemission. Weitere Darstellungen finden sich im Anhang I.

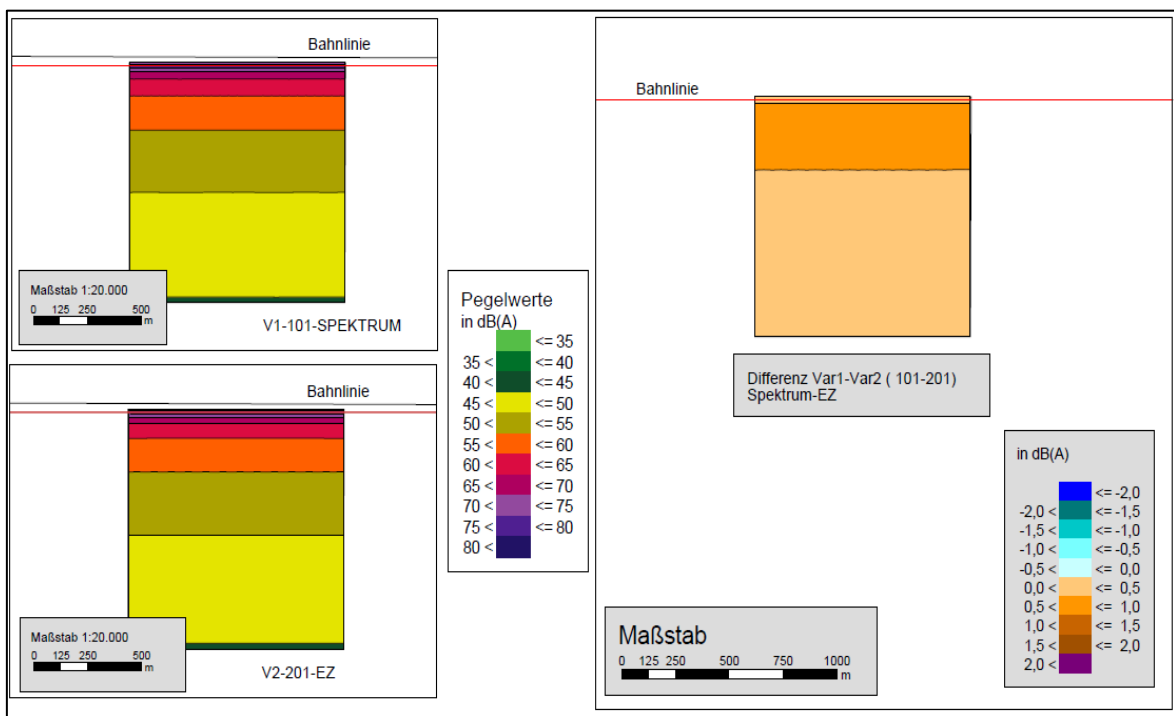


Abb. 8-4: exemplarische Darstellung einer Vergleichsberechnung mit Oktavspektrum zu Einzahlwert

Es hat sich allerdings gezeigt, dass es zu Abweichungen von bis zu rd. 3 dB kommen kann, sodass unter den Projektpartnern darüber Übereinkunft erzielt wurde, dass für weitere Betrachtungen stets die Korrekturfaktoren in Oktaven verwendet werden sollten.

Zu beachten ist, dass im gegenständlichen Fall die Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige bzw. akustisch auffällige Ereignisse für die jeweilige Zugkategorie und Geschwindigkeit im Bogen bestimmt wurden. Im Allgemeinen wird man weder nur akustisch unauffällige noch nur akustisch auffällige Ereignisse vorfinden. Es wird sich ein Mix an akustisch unauffälligen und akustisch auffälligen Zügen einer Zugkategorie i bei einer bestimmten Geschwindigkeit v_i ergeben. Für diesen Mix lässt sich das Emissionsspektrum im Bogen nach folgender Formel bestimmen.

$$L'_{W,KF,i}(f) = 10 \cdot \lg((1 - p_i) \cdot 10^{0,1 \cdot (L'_{W,ONR,i}(f) + KF_{ua,i}(f))} + p_i \cdot 10^{0,1 \cdot (L'_{W,ONR,i}(f) + KF_{a,i}(f))})$$

i Index der Zugtype mit Geschwindigkeit v_i

p_i Anteil der auffälligen Züge der Kategorie i mit Geschwindigkeit v_i .

$L'_{W,KF,i}(f)$ spektraler längenbezogener Schalleistungspegel mit Korrekturfaktoren

$L'_{W,ONR,i}(f)$... spektraler längenbezogener Schalleistungspegel nach ONR 305011 (erweitert)

$KF_{ua,i}(f)$ spektraler Korrekturfaktor für akustisch unauffällige Züge (gegenüber ONR)

$KF_{a,i}(f)$ spektraler Korrekturfaktor für akustisch auffällige Züge (gegenüber ONR)

Die Beaufschlagung der erweiterten ONR-Spektren mit den spektralen Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige $L'_{W,ONR,i}(f) + KF_{ua,i}(f)$ sowie akustisch auffällige Züge $L'_{W,ONR,i}(f) + KF_{a,i}(f)$ ergibt die Emissionsspektren akustisch unauffälliger bzw. akustisch auffälliger Züge im Bogen.

Die Emissionsspektren für akustisch unauffällige Ereignisse sind in Tab. 8-13, die für akustisch auffällige Ereignisse in Tab. 8-14 aufgeführt und können direkt in vorstehender Formel verwendet werden. Die Zeilen mit den VzG-Geschwindigkeiten des jeweiligen Bogens sind zur leichteren Lesbarkeit grün hinterlegt. Es ist möglich, das Emissionsspektrum im Bogen unmittelbar über vorstehende Formel zu ermitteln, sofern der Anteil akustisch auffälliger Züge für die jeweilige Zugkategorie und Geschwindigkeit bekannt ist. In der gegenständlichen Untersuchung ist der Anteil akustisch auffälliger Züge in Tab. 8-12 aufgeführt. Eine allgemeine Aussage hinsichtlich Prozentsätze akustisch auffälliger Ereignisse, wie in Tab. 8-12 für die gegenständliche Untersuchung dargestellt, kann auf Basis der erhobenen Daten, für einen beliebigen Bogen nicht getroffen werden.

In Tab. 8-13 und Tab. 8-14 sind der Messort (Bogen), der Bogenradius, die Zugkategorie, die Geschwindigkeit sowie die spektralen Schallleistungspegel in Oktaven sowie der A-bewertete Einzählwert angeführt.

Ort	r [m]	Zugkat.	v [km/h]	L _w ' [dB]								
				f [Hz]								A
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
K1	256,0	GZ	40	101,5	102,0	105,3	101,7	97,3	93,1	87,1	79,4	103,1
K3	310,0	GZ	60	101,0	97,4	99,6	103,2	101,3	100,0	96,1	87,5	106,3
K3	310,0	GZ	70	100,9	97,3	99,6	104,4	102,9	100,0	95,1	86,5	107
K3	310,0	GZ	80	102,1	97,3	98,2	104,5	103,5	99,9	94,2	84,7	107,2
K2	440,0	GZ	60	101,9	97,3	99,3	100,0	102,3	100,5	95,6	86,2	106,3
K2	440,0	GZ	70	102,1	97,3	101,3	103,5	106,8	104,8	100,3	90,5	110,5
K2	440,0	GZ	80	102,3	95,5	98,8	101,8	105,5	102,1	97,0	87,5	108,4
K2	440,0	GZ	90	105,5	97,5	98,5	101,5	106,0	102,3	95,0	83,6	108,6
K3	310,0	RZ-mx	80	94,7	95,3	94,6	95,8	94,4	90,0	86,1	80,0	98,4
K2	440,0	RZ-mx	90	99,1	100,4	96,1	96,2	101,1	93,7	89,2	81,4	102,9
K3	310,0	RailJ	70	95,2	94,8	93,0	93,7	91,6	88,5	85,0	80,3	96,4
K3	310,0	RailJ	80	95,8	94,6	93,7	94,3	92,5	88,6	85,3	79,8	96,9
K1	256,0	80-33	40	97,1	99,9	101,2	94,6	88,5	84,3	81,9	79,5	96,6
K1	256,0	80-33	50	97,0	103,6	104,4	99,6	92,6	87,2	82,8	78,7	100,5
K1	256,0	80-33	60	96,7	102,2	107,9	103,6	96,0	89,4	84,7	78,8	103,6
K2	440,0	80-33	90	100,6	101,5	98,1	96,2	99,4	92,6	88,2	82,0	101,8
K1	256,0	S4020	40	97,1	98,6	102,0	98,0	91,8	86,1	83,9	80,0	98,9
K1	256,0	S4020	50	97,3	97,1	103,9	101,4	96,2	88,8	85,0	80,4	101,7
K1	256,0	S4020	60	97,7	96,0	104,9	102,8	98,2	90,3	85,5	81,1	103,3
K1	256,0	S4024	50	91,2	92,7	96,3	95,4	92,1	84,6	79,4	77,3	96,4
K1	256,0	S4024	60	91,5	92,7	98,5	97,1	94,2	86,4	81,0	78,7	98,3
K1	256,0	L2016	40	102,3	100,4	101,2	99,3	95,8	90,8	89,9	87,5	101,1

Tab. 8-13: Spektrum inkl. Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Züge

Ort	r [m]	Zugkat.	v [km/h]	L _w ' [dB]								
				f [Hz]								A
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
K1	256,0	GZ	40	101,5	102,0	105,3	101,7	97,3	95,0	95,6	91,8	104,5
K3	310,0	GZ	60	101,0	97,4	99,6	103,2	101,3	100,3	97,7	91,1	106,6
K3	310,0	GZ	70	100,9	97,3	99,6	104,4	102,9	101,4	96,4	91,2	107,6
K3	310,0	GZ	80	102,1	97,3	98,2	104,5	103,5	100,2	96,0	91,9	107,5
K2	440,0	GZ	60	101,9	97,3	99,3	100,0	102,3	100,9	97,8	89,3	106,7
K2	440,0	GZ	70	102,1	97,3	101,3	103,5	106,8	105,0	100,7	92,8	110,6
K2	440,0	GZ	80	102,3	95,5	98,8	101,8	105,5	102,2	97,3	89,2	108,5
K2	440,0	GZ	90	105,5	97,5	98,5	101,5	106,0	102,4	95,6	86,7	108,7
K3	310,0	RZ-mx	80	94,7	95,3	94,6	95,8	94,4	91,2	94,6	93,7	101,1
K2	440,0	RZ-mx	90	99,1	100,4	96,1	96,2	101,1	94,6	95,6	87,3	103,9
K3	310,0	RailJ	70	95,3	94,4	92,7	93,8	91,6	91,1	96,0	96,6	101,1
K3	310,0	RailJ	80	95,8	95,1	94,6	94,2	92,2	90,6	96,4	94,1	100,8
K1	256,0	80-33	40	96,9	100,3	100,8	94,3	88,5	89,7	92,8	97,4	100,2
K1	256,0	80-33	50	98,6	102,9	104,2	99,1	92,7	97,1	96,7	95,5	103,9
K1	256,0	80-33	60	98,7	102,4	108,0	103,9	95,9	98,2	96,5	92,9	105,8
K2	440,0	80-33	90	100,6	101,9	98,3	96,8	99,8	93,1	90,6	88,1	102,4
K1	256,0	S4020	40	97,5	98,2	101,8	97,6	92,5	88,8	95,9	92,7	101,5
K1	256,0	S4020	50	97,4	96,4	103,4	100,8	96,3	91,0	97,5	94,3	103,6
K1	256,0	S4020	60	97,8	95,7	104,6	102,4	98,1	93,1	97,2	94,3	104,7
K1	256,0	S4024	50	91,1	93,0	96,7	95,6	92,2	86,2	89,4	92,9	98,5
K1	256,0	S4024	60	91,7	92,2	98,5	97,2	94,1	89,0	93,0	95,8	100,9
K1	256,0	L2016	40	102,9	99,2	100,8	99,5	96,5	94,6	102,2	98,2	106

Tab. 8-14: Spektrum inkl. Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Züge

Die Implementierung der Korrekturfaktoren erfolgt im gegenständlichen Projekt im Schallausbreitungsberechnungsprogramm SoundPlan.

Hierbei wird das Modellelement „Schiene“ mit der entsprechenden Emission belegt. Die geraden Abschnitte werden mit den (erweiterten) Emissionswerten nach ONR 305011

belegt. Der Bogen wird mit den Emissionswerten der ONR 305011 inklusive Korrekturfaktoren für die jeweilige Zugkategorie, Geschwindigkeit etc. belegt.

Auf Basis der Implementierung können Beispielberechnungen durchgeführt werden, wie nachfolgend beschrieben.

8.5. Beispielberechnungen

Anhand der implementierten Korrekturfaktoren werden Beispielberechnungen durchgeführt, um die schalltechnische Auswirkung von Gleisbögen beispielhaft darzustellen. Die schalltechnischen Auswirkungen der Korrekturfaktoren sollen möglichst unbeeinflusst von anderen Gegebenheiten, wie Gelände, Bebauung etc. ermittelt werden. Hierfür wird ein möglichst einfaches Modell (ebenes Gelände, gleichbleibender Boden, keine schirmenden oder reflektierenden Gegenstände im Ausbreitungsweg) gewählt. Durch diese Wahl soll die schalltechnische Auswirkung von Gleisbögen (gegenüber der Strecke ohne Zuschlag - vergleichbar mit gerader Strecke) unmittelbar dargestellt werden. Für die Beispielberechnungen werden die in Tab. 8-15 dargestellten (mit dem Projektteam inkl. ÖBB abgesprochenen) Varianten gewählt.

Die Berechnungen werden sowohl für akustisch unauffällige als auch für akustisch auffällige Züge durchgeführt. Dadurch sollen die beiden Grenzfälle „alle Züge akustisch unauffällig“ sowie „alle Züge akustisch auffällig“ berücksichtigt und dargestellt werden. Zusätzlich werden Berechnungen mit einer 2 m hohen Lärmschutzwand im Außenbereich des Bogens sowie entlang der Geradenstücke durchgeführt.

Bogen	r [m]	Zug-Kategorie	Geschwindigkeit [km/h]
K1	256	Güterzüge	40 ²
		80-33	60
		S4020	60
		S4024	60
K3	310	Railjet	80
		Güterzüge	80
K2	440	Güterzüge	90
		Reisezug-Mix	90
		80-33	90

Tab. 8-15: Varianten für Beispielberechnungen in SoundPlan

² Die Geschwindigkeit für Güterzüge im Bogen Kleinschwechat an der S7 lag bei den Messungen bei 40 km/h, d. h. die VzG-Geschwindigkeit wurde hier nicht erreicht.

Das Ergebnis der Berechnungen sind Rasterlärmkarten (in einer Höhe von 4 m) mit und ohne Korrekturfaktoren im jeweiligen Bogen. Aus diesen Rasterlärmkarten werden Differenzlärmkarten gebildet. Die Differenzlärmkarten stellen den Unterschied mit und ohne Korrekturfaktoren für Gleisbögen in der Schallausbreitung dar. Dieser Unterschied kann als schalltechnische Auswirkung des Bogens im Vergleich mit der geraden Strecke betrachtet werden.

Die Differenzlärmkarten sind im Anhang J aufgeführt.

In Abb. 8-5 ist das Ergebnis einer Berechnung exemplarisch dargestellt. Es sind drei Lärmkarten zu sehen. Die linke obere Grafik zeigt die Pegel der Schallausbreitung im Bereich des Bogens für ein Emissionsspektrum nach ONR 305011. Die rechte obere Grafik zeigt die Pegel der Schallausbreitung für ein Spektrum, in welchem der spektrale Korrekturfaktor bereits berücksichtigt ist. Links unten ist die Differenzlärmkarte der beiden oberen Rasterlärmkarten dargestellt. Sie zeigt den Pegelunterschied, der durch Anwendung des spektralen Korrekturfaktors für den Gleisbogen entsteht. Im gegenständlichen Fall zeigt sich eine Pegeldifferenz zwischen 2 und 3 dB in einem Bereich von bis rd. 1000 m Abstand vom Außenbereich des Bogens. Es ist zu erkennen, dass hier der Bogen vor allem im Außenbereich gegenüber der geraden Strecke dominiert. Im Innenbereich des Bogens ist dessen Auswirkung über eine geringere Distanz merklich. Die schalltechnische Auswirkung des Bogens hängt von den jeweiligen spektralen Korrekturfaktoren ab. Nichtsdestotrotz kann man allgemein sagen, dass ein Pegelzuschlag im Bogen im Außenbereich über einen größeren Bereich Auswirkungen zeigt gegenüber der geraden Strecke als im Innenbereich des Bogens.

Bei der Betrachtung der Lärmkarten, wie sie in Abb. 8-5 bzw. im Anhang J.1 dargestellt sind, ist zu beachten, dass die auftretenden Schallpegel bei größeren Abständen in der Regel im Bereich des Umgebungsgeräusches liegen und daher etwaige Differenzen, wie sie in den Differenzlärmkarten dargestellt sind, teilweise von untergeordneter Bedeutung sein können. In Abb. 8-6 wird der Sachverhalt verdeutlicht, indem neben die Differenzlärmkarte von Abb. 8-5 zusätzlich die Lärmkarte der Schallausbreitung dargestellt wird: beispielsweise liegt ab etwa der Hälfte der Entfernung des Differenzareals „2 bis 3 dB(A)“ (braun) von der Gleisachse jener Bereich, in dem die Pegelwerte „kleiner gleich als 45 dB(A)“ (grün) betragen.

Im Anhang J.2 wird die Wirkung einer 2 m hohen Lärmschutzwand gegenüber dem Fall ohne Lärmschutzwand dargestellt. Die positiven Pegel in den Differenzlärmkarten stellen hierbei die Schirmwirkung der Lärmschutzwand dar.

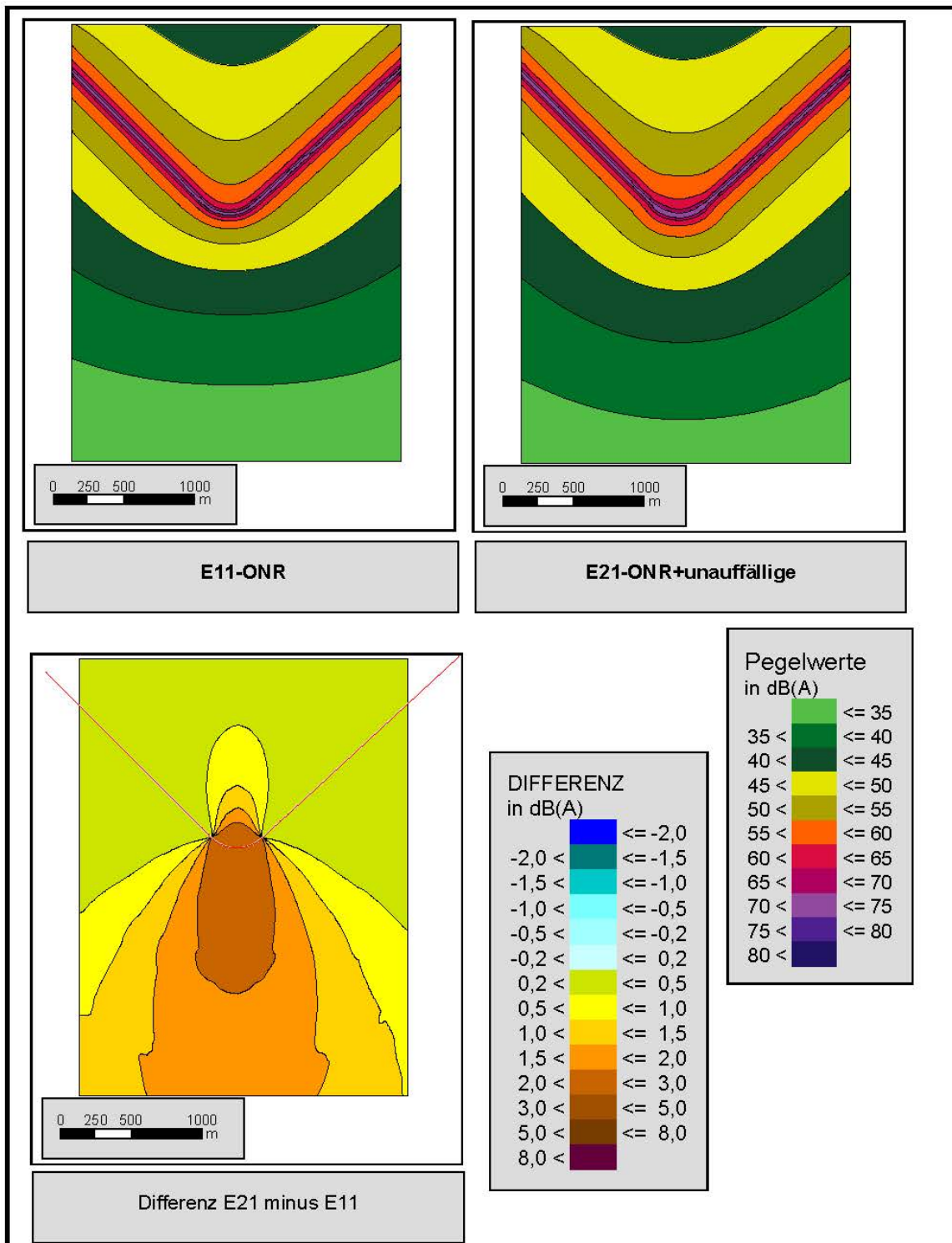


Abb. 8-5: exemplarische Darstellung einer Beispielberechnung

Die Beispielberechnungen sollen exemplarisch die schalltechnische Auswirkung von Gleisbögen darstellen. Die Ergebnisse sind nicht für alle Situationen anwendbar. Konkrete Situationen in der Praxis erfordern stets eine schalltechnische Detailbetrachtung, in

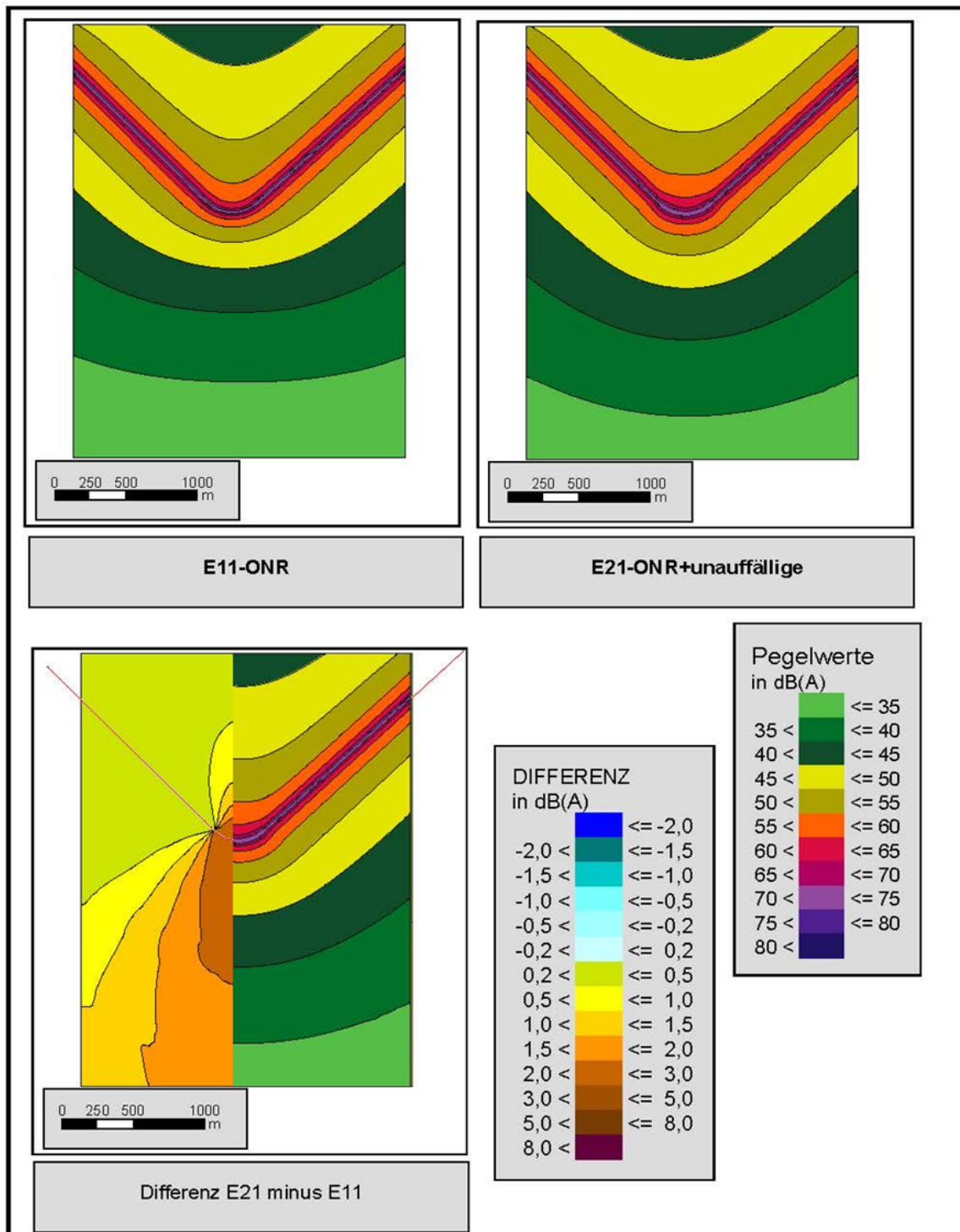


Abb. 8-6: exemplarische Darstellung einer Beispielberechnung mit direkter Gegenüberstellung von Differenzlärmkarte und Lärmkarte

welcher Gelände, Bebauung, Lärmschutzwände, andere Lärmquellen etc. zu berücksichtigen sind. Die hier ermittelten Korrekturfaktoren bilden aber eine Grundlage für derartige Betrachtungen.

9. ZUSAMMENFASSUNG

In vorliegendem Projekt wurden die von Schienenfahrzeugen in engen Gleisbögen erzeugten Kurvengeräusche im Hinblick auf potentielle Einflussparameter und auf die Prognose der Erhöhungen von Schalldruckpegel untersucht. Im Detail wurden durch infrastrukturseitige Messungen Schallemissionen und Beschleunigungen beider Schienen an repräsentativen Gleisbögen mit Radien von 256 m (Kampagne 1, Kleinschwechat, S7), 440 m (Kampagne 2, Eichgraben, Westbahn) und 310 m (Kampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn) erfasst. Zudem kam phasenweise eine Schienenkopfkonditionierung zum Einsatz, um anhand von Emissionsänderungen Aufschluss über deren schalltechnische Wirkung zu erhalten.

Aufgrund der großen Anzahl an Vorbeifahrten (14213 Züge) wurde ein Algorithmus zur automatisierten Erkennung von auffälligen Geräuschkomponenten mit breitbandigen Charakter, welche kennzeichnend für Geräusche durch Spurkranzanlauf sind (Kurvenkreischen), und von auffälligen tonalen Komponenten, welche kennzeichnend für Geräusche durch lateralen Slip-Stick-Effekt sind (Kurvenquietschen), entwickelt. Darauf aufbauend wurden potentielle Einflüsse wie Bogenradius, Geschwindigkeit und Zugkategorie analysiert.

Um das grundlegende Verständnis für das Auftreten von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten in den Schallemissionen weiter zu steigern, wurden durch Vergleich von Schallemissionen an beiden Zugseiten und von Schienenbeschleunigungen der Entstehungsort der akustischen Auffälligkeiten (Bogeninnen- oder -außenseite) abgeschätzt, sowie für ausgewählte Gruppen von Personenzügen achsbezogene Auswertungen der Schallemissionen zur Lokalisation von etwaigen Häufungspunkten der akustischen Auffälligkeiten innerhalb des Zugverband durchgeführt.

Für eine emissionsgerechte Prognose wurden auf Basis der Messdaten frequenzabhängige Korrekturfaktoren ermittelt, welche in gängigen, dem Stand der Technik entsprechenden Rechenmodellen für die Erstellung von Lärmrasterkarten (Schallausbreitungsrechnung mittels IMMI, Soundplan, etc) anwendbar sind und mit allgemein bzw. pauschal gehaltenen Aussagen aus der Literatur verglichen. Auf Basis der Korrekturfaktoren wurden Beispielberechnungen (Schallausbreitung) durchgeführt.

Einflussparameter

Der Einfluss der Zugkategorie auf das Auftreten von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ist stark unterschiedlich. Die Kategorie Güterzug weist auf allen drei

Messstellen die höchste Anzahl an Vorbeifahrten mit breitbandigen Auffälligkeiten auf, während die tonalen Auffälligkeiten eher gering sind. Die höchsten relativen Häufigkeiten an Vorbeifahrten mit tonalen Auffälligkeiten wurden bei der Kategorie S4020 im engsten Gleisbogen der Messkampagne 1 in Kleinschwechat an der S7 beobachtet. Als Kategorie mit dem geringsten Prozentsatz an Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten konnte die Kategorie S4024 ermittelt werden. Diese Kategorie ist auch jene mit den geringsten Vorbeifahrtpegeln. Im Unterschied zu den anderen Kategorien verfügt diese Zugkategorie über Räder mit relativ kleinem Durchmesser, zudem sind die fest verbundenen Wagen mit Jakobsdrehgestellen ausgestattet. Diese Drehgestelle weisen im Vergleich zu den anderen Kategorien die höchsten Achsabstände auf, wodurch die Annahme das höhere Abstände eher zu tonalen Auffälligkeiten führen als Drehgestelle mit geringem Achsabstand nicht bestätigt werden konnte.

Im Zuge der Messkampagne 2 in Eichgraben an der Westbahn wurde, mit einem Radius von 440 m, der weiteste Bogen gemessen. Hier konnten auch die niedrigsten Häufigkeiten sowohl von tonalen als auch von breitbandigen Auffälligkeiten beobachtet werden.

Generell scheint mit sinkendem Bogenradius die Rauheit der bogeninnenliegenden Schiene anzusteigen, was auf vermehrte Schlupfwellenbildung hindeutet. Die Rauheit alleine kann jedoch die Differenzen zu den Vorbeifahrtpegeln der geraden Strecke, welche auch ohne tonale und breitbandige Auffälligkeiten, zum Teil wesentlich höher liegen, nicht erklären. Gerade beim Vergleich der Kampagne 2 und der Kampagne 3 zeigt sich, dass trotz höherer Schienenrauheiten die Vorbeifahrtpegel beim weiteren Bogen trotzdem geringer sind.

Bei der Gegenüberstellung von Vorbeifahrten im Bereich der ausgeglichenen Geschwindigkeit, sowie jenen welche unter bzw. über dieser liegen, wurden je nach Zugkategorie unterschiedliche Tendenzen beobachtet. Wird das Verhalten zusätzlich auch noch bei unterschiedlichen Schientemperaturen überprüft, zeigt sich auch innerhalb der Kategorien einmal ein Anstieg und einmal ein Abfall der Häufigkeiten von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten. Ein klarer Zusammenhang konnte nicht ermittelt werden.

Eine Emissionssenkung durch Regen konnten anhand der Daten klar belegt werden, wobei sich die Wirkung mit zunehmender Schientemperatur verringerte. Bei den Messkampagnen 1 und 2 konnten bei höheren Schientemperaturen geringere Häufigkeiten von tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten festgestellt werden. Bei der

3. Messkampagne ist dieser Einfluss jedoch nicht erkennbar bzw. scheint eher konträr zu den anderen beiden Messstellen aufzutreten. Die Position des Messquerschnitts war bei dieser Kampagne eher im Bereich des Bogenanfangs, während bei den anderen Kampagnen die Messung in der Mitte des Bogens erfolgte.

Die Wirkung einer, auf Gleis 2 installierten Flankenschmieranlage (nicht als Teil des Projekts) konnte beim Vergleich vor und nach Aktivierung der Anlage je nach Kategorie mit bis zu 5 dB bestimmt werden. Tonale und breitbandige Auffälligkeiten wurden bei dieser Gegenüberstellung jedoch nicht speziell betrachtet, da die Grenzwerte des Algorithmus zur Detektion der Auffälligkeiten nur für den Standardmesspunkt in 7,5 m Entfernung empirisch ermittelt wurden.

Die Wirkung von Schienenkopfkonditionieranlagen konnte im Zuge des Projektes nicht erhoben werden, da die eingesetzte Konstruktion während der Messphase mehrmals durch Vorbeifahrten von der Schiene weggedrückt wurde und so nicht ausreichend Konditioniermittel an den Schienenkopf gelangte. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse hat die Firma HY-POWER die gesamte Halterung der Leisten modifiziert. Mit der außerhalb des Projektes weiterentwickelten und angepassten Halterung ist die durch Erschütterungen hervorgerufene Lockerung der Leistenbefestigungen nicht mehr möglich, und auch das problemlose Überfahren von Zwei-Wegefahrzeugen ist gewährleistet.

Entstehungsort von Auffälligkeiten

Ein Vergleich der Schienenbeschleunigungen von breitbandig auffälligen Achsen, welche während der ersten Messkampagne erfasst wurden, zeigt im Mittel zwar ausgeglichene Verteilung der dominanten Beschleunigungen an der Bogeninnen- und -außenseite. Bei zugkategorie-spezifischer Betrachtung weisen Personenzüge, welche mit mittleren Geschwindigkeiten über der ausgeglichenen Geschwindigkeit den Bogen durchfahren, mehrheitlich dominante Beschleunigungen an der Bogenaußenseite. Bei Güterzügen mit mittleren Fahrgeschwindigkeiten unterhalb der ausgeglichenen Geschwindigkeit sind dominante Beschleunigungen hingegen häufiger an der Bogeninnenseite vorhanden. Dieses Verhalten erscheint plausibel, da die entstehenden Seitenbeschleunigungen je nach Fahrgeschwindigkeit zu Spurkranzanlauf an der Bogeninnen- oder -außenseite führen können.

Bei der 2. Messkampagne bestätigt sich die Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit: die mittleren Geschwindigkeiten aller Zugkategorien liegen über der ausgeglichenen Geschwindigkeit und dominante Beschleunigungen treten überwiegend an der

Bogenaußenseite auf. Im Gegensatz dazu und entgegen den Erwartungen stellen sich die dominanten Beschleunigungen bei der 3. Messkampagne - trotz nur geringfügig kleineren Differenzen zur ausgeglichenen Geschwindigkeit als bei Kampagne 2 - vorwiegend an der bogeninneren Schiene ein.

Die Ergebnisse wurden anhand des Vergleichs von Schallemissionen beider Zugseiten verifiziert. Bei der 2. und 3. Messkampagne sind jedoch die Pegelunterschiede in den relevanten Terzen, vermutlich aufgrund der höheren Fahrgeschwindigkeiten, sehr gering und liefern (im Gegensatz zu Messkampagne 1) nur grobe Indizien. Zwar bestätigen diese die Ergebnisse der Beschleunigungsauswertung für breitbandige Auffälligkeiten. Jedoch bestehen zum Teil erhebliche Unsicherheiten bei beiden vergleichenden Auswerteverfahren (ein vermutlich geringes Abklingverhalten von Beschleunigungen bei hohen Frequenzen verhindert hohe Selektivität bei Betrachtung auffälliger Achsen, unbekannte Unterschiede der Schienenlagerung können unterschiedliche Beschleunigungen bei gleicher Anregung hervorrufen, unterschiedliche Messpositionen der Mikrofone an Bogeninnen- und -außenseite bedingt eine Umrechnung auf Basis mittlerer Emissionsdifferenzen). Demzufolge sind die dargestellten Erkenntnisse als grobe Abschätzungen zu verstehen.

Für tonale Auffälligkeiten liefern sowohl akustische Vergleiche wie auch Vergleiche der Schienenbeschleunigungen bei allen Messkampagnen plausible Ergebnisse. Bei Zügen mit Geschwindigkeiten über der ausgeglichenen Geschwindigkeit sind an der Bogeninnenseite höhere Emissionen bzw. höhere Pegel der relevanten Frequenz zu beobachten. Lediglich die langsam verkehrenden Güterzüge der Messkampagne 1 zeigen sich dominanten Beschleunigungen nahezu ausgeglichen an beiden Bogenseiten (aufgrund sehr geringe Zahl an isoliert auftretenden, tonalen Auffälligkeiten ist dies nicht durch Vergleich der Schallemissionen beider Zugseiten verifizierbar). Nur bei der Zugkategorie 80-33 der Messkampagne 1 sind trotz hoher Geschwindigkeiten bei rund einem Viertel der tonalen Auffälligkeiten (vorwiegend mit einer Frequenz von 2,5 kHz) die Schienenbeschleunigungen an der Bogenaußenseite dominant.

Abgesehen von letzterer Ausnahme kann ein Zusammenhang mit der Geschwindigkeitsdifferenz zur ausgeglichenen Geschwindigkeit unterstellt werden. Bei Geschwindigkeit über der ausgeglichenen Geschwindigkeit kommt es zu einer Entlastung des bogeninneren Rades, wodurch dort der Stick-Slip Effekt und damit Kurvenquietschen begünstigt wird, während bei geringeren Geschwindigkeiten das bogenäußere Rad als Folge der Entlastung zum Kurvenquietschen neigt.

Zugkategoriebezogene Achsauswertung

Für Personenzugkategorien wurden Auffälligkeiten, deren Bewertungsgrößen und die dominante Schienenbeschleunigungen aus Zeitverläufen einzelnen Achsen zugeordnet und für Kategorien mit gleicher Achszahl gemeinsam betrachtet. Dies erlaubt es je betrachteter Zuggruppe, markante Unterschiede in der Häufigkeit, der akustischen Intensität oder/und dem Entstehungsort (Bogeninnen- oder -außenseite) im Zugverband zu identifizieren.

Für breitbandige Auffälligkeiten der Zugkategorien S4020, 80-33 (Doppelstockzüge) und Railjets können des Öfteren, aber nicht ausschließlich Triebfahrzeuge bzw. Triebwagen mit einer Erhöhung der Auftrittshäufigkeit in Zusammenhang gebracht werden. Bei diesen Zugkategorien weisen die Drehgestelle der Triebfahrzeuge bzw. der Triebwagen längere Achsabstände als die restlichen Drehgestelle auf. Daher kann vermutet werden, dass der sich ergebende, größere Anlaufwinkel die Wahrscheinlichkeit für Kurvenkreischen erhöht. Lediglich bei der geringen Anzahl an erfassten, breitbandig auffälligen Doppelgarnituren der Kategorie S4024 (Talent), welcher verkürzte Achsabstände nur an den beiden angetriebenen Drehgestellen an den Enden der 4-teiligen Garnituren besitzt, ergibt sich ein anderes Bild: in der Zugmitte und damit im Bereich der beiden benachbarten, angetriebenen Drehgestelle mit kürzeren Achsabständen zeigt sich eine Erhöhung der Auffälligkeiten. Möglicherweise kann dies durch Unterschiede in den Drehgestellen (Jakobsdrehgestelle in der Mitte der Garnituren vs. konventionelle, angetriebene Drehgestelle an den Garniturenden) oder durch die unterschiedliche Art der Kupplung der beiden Garnituren in der Zugmitte erklärt werden.

Tonale Auffälligkeiten sind oftmals, wenngleich auch hier nicht ausschließlich auf den Bereich von Zwischen- und Steuerwagen konzentriert. Diese Tendenz entspricht dem in der Literatur beschriebenen Verhalten einer verminderten Wahrscheinlichkeit von Kurvenquietschen bei Spurkranzanlauf.

Speziell bei der Kategorie S4020 der Messkampagne 1 ist dieses Verhalten ausgeprägt zu erkennen, wobei im Bereich der Steuer- und Zwischenwagen Frequenzen von 3,15 und 4 kHz dominieren. Die deutlich geringere Anzahl an tonalen Auffälligkeiten im Bereich der Triebwagen weist hingegen meist höhere Frequenzen (im Bereich von 6,3 kHz) auf. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass es sich bei diesen tonalen Komponenten um alternative akustische Erscheinungsformen der vermuteten, häufiger auftretenden Spurkranzanläufe handelt.

Die sehr geringe und damit nur begrenzt aussagekräftige Anzahl an tonalen Auffälligkeiten bei Railjets (11 Züge der Messkampagne 3) sind überwiegend im Frequenzbereich um 5 kHz angesiedelt und waren durchwegs im Bereich der Personenwagen verteilt. Diese gehen meist mit breitbandigen Auffälligkeiten einher, wodurch ein ursächlicher Zusammenhang mit dem Spurkranzanlauf nicht ausgeschlossen werden kann.

Bei Doppelstockzügen (Zugkategorie 80-33) wurde aufgrund der geringen Anzahl an tonalen Auffälligkeiten bei größeren Bogenradien der Fokus auf die 1. Messkampagne gelegt. Die Schallemissionen dieser Züge weisen sehr markante Häufigkeitserhöhungen der tonalen Auffälligkeiten im Bereich der beiden unmittelbar benachbarten Drehgestelle von Steuerwagen und den daran gekuppelten Zwischenwagen auf. Meist sind hier Frequenzen von 3,15 kHz und zum Teil auch von 2,5 kHz vertreten. Sowohl Häufigkeits- wie auch Bewertungsgrößenverteilung deuten darauf hin, dass die tonalen Komponenten vom Drehgestell des Steuerwagens herrühren. Eine Umlaufanalyse der drei bei Messkampagne 1 im Einsatz befindlichen Steuerwagen des City Airport Train (CAT) lässt zudem darauf schließen, dass die Auffälligkeiten bei 2,5 kHz einem einzelnen Steuerwagen zuzuschreiben sind. Bei Auffälligkeiten mit einer Frequenz von 3,15 kHz ist zwar nicht ersichtlich, ob diese von einem oder zwei verschiedenen Steuerwagen stammen. Jedoch konnten zeitlich zusammenhängende Abschnitte von mehreren Wochen identifiziert werden, in welchen eine nahezu 100%ige Auftrittshäufigkeit der tonalen Auffälligkeiten vorlag und die mit der Überdrehung der Radsätze im Zuge eines Werkstättenaufenthalts endeten. In Folge dessen sind Auftrittshäufigkeiten in Bögen nicht zwangsweise als statische Größe zu verstehen, welche rein aus den Eigenschaften der Infrastruktur und den Betriebsbedingungen erwächst, sondern die Auftrittshäufigkeiten können auch stark von den Eigenschaften des Wagenmaterials (und deren Änderungen) abhängig sein.

Korrekturfaktoren

Aus den gemessenen längenbezogenen Schalleistungspegeln wurden Emissionswerte im Vergleich mit ONR 305011 (gerade Strecke) ermittelt. Aus den Messungen wurden spektrale Korrekturfaktoren (in Oktaven von 63 Hz bis 8000 Hz) für die entsprechenden Bögen abgeleitet. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde zwischen akustisch unauffälligen und akustisch auffälligen Ereignissen unterschieden. Somit ergeben sich zwei unterschiedliche Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige und akustisch auffällige

Ereignisse gegenüber ONR 305011. Weiters wurden zwei unterschiedliche Auswertevarianten (A - Ausblenden von Auffälligkeiten und Vergleich mit denselben Ereignissen mit Auffälligkeiten - bzw. B - Vergleich akustisch auffälliger Ereignisse mit akustisch unauffälligen Ereignissen) angewendet und eine Wahl für die jeweils plausibelste Auswertevariante zur Ableitung der Korrekturfaktoren für eine bestimmte Zugkategorie getroffen. Die Ergebnisse wurden auch mit Werten aus der Literatur (ONR 305011, CNOSSOS, Schall 03, VBusch) gegenübergestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung haben gezeigt, dass aufgrund des Entstehungsortes bei breitbandigen und tonalen Auffälligkeiten eine Unterscheidung der Bogenseite in den Korrekturfaktoren nicht sinnvoll erscheint. Es hat sich gezeigt, dass die hier auf der Basis der Messungen ermittelten physikalischen Korrekturfaktoren (keine Lästigkeitszuschläge) in ähnlichen Bereichen liegen, wie diejenigen aus der Literatur (5 bis 8 dB für Bögen kleiner als 300 m bzw. 0 bis 5 dB für Bögen größer als 300 m), allerdings eine deutliche Streuung aufweisen.

Bei Bogenradien größer 300 m zeigt sich, dass die hier ermittelten Korrekturfaktoren für sämtliche Zugkategorien sowie Geschwindigkeiten unterhalb jenen von CNOSSOS liegen. Besonders deutlich liegen hierbei die Korrekturfaktoren für die Güterzüge bei den entsprechenden VzG-Geschwindigkeiten (zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit des Abschnittes) unterhalb des Wertes von CNOSSOS. Sie sind für die VzG-Geschwindigkeiten leicht negativ, führen also zu einer gegenüber der ONR 305011 leicht verminderten Schallemission. Zu beachten ist, dass für Ausbreitungsrechnungen in der Regel VzG-Geschwindigkeiten herangezogen werden. Allerdings ist bei einem derartigen Vergleich zu beachten, dass die Korrekturfaktoren auf die jeweiligen Emissionsmodelle bezogen sind und eine Übertragung eine spezielle Anpassung erfordern würde.

Die Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse werden tendenziell mit zunehmendem Bogenradius bzw. zunehmender Geschwindigkeit geringer. Weiters zeigt sich, dass die grundsätzlich lautereren Güterzüge tendenziell geringere Korrekturfaktoren speziell bei den VzG-Geschwindigkeiten aufweisen. Die Abnahme der Korrekturfaktoren mit dem Bogenradius entspräche den Erwartungen, da man davon ausgeht, dass größere Bogenradien geringere Auswirkungen auf das Kurvengeräusch haben. Die Abnahme der Korrekturfaktoren mit der Geschwindigkeit könnte ihre Ursache darin haben, dass bei höheren Geschwindigkeiten die Emission insgesamt steigt. Man könnte vermuten, dass das Kurvengeräusch im Verhältnis zur Emission weniger stark ansteigt (oder vielleicht

sogar annähernd gleich bleibt) und daher bei größeren Geschwindigkeiten eine geringere Auswirkung relativ zur Emission aufweist. Allerdings ist nochmals darauf hinzuweisen, dass die ermittelten Korrekturfaktoren auf der bestehenden Datenlage (gemessene Bögen, Geschwindigkeiten, Zugkategorien etc.) der vorliegenden Messungen in diesem Projekt basieren.

Auf Grundlage der vorhandenen Daten (Probleme bei der Konditionierung) lassen sich keine Rückschlüsse auf die akustische Wirkung einer Konditionierung ziehen. Allerdings wurden theoretische Abschätzungen zur akustischen Wirkung einer Schienenkopfkonditionierung angestellt.

Die ermittelten Korrekturfaktoren wurden in einem standardisierten Schallausbreitungsberechnungsverfahren implementiert und Beispielberechnungen in Form von Raster- bzw. Differenzlärmmkarten durchgeführt.

Ausblick

Die Untersuchungen haben die Komplexität der Zusammenhänge von Einflussfaktoren, welche die Entstehung von tonalen oder breitbandigen Bogengeräuschen begünstigen, und die daraus resultierenden Schwierigkeiten allgemeingültiger Abschätzungen von Korrekturfaktoren verdeutlicht. Grundsätzliche Tendenzen konnten im Rahmen des vorliegenden Projekts aufgezeigt werden, welche dem in der Literatur dargestellten Wissenstand zum Teil bestätigen. Fallweise liefern die Auswertungen jedoch auch Ergebnisse, welche gegen die (meist allgemein gehaltenen,) in der Literatur dargestellten Erkenntnisse über Einflüsse oder Eigenschaften von Bogengeräuschen sprechen. Dies zeigt, dass die Ursachen und Einflussparameter von Schallemissionen von Eisenbahnfahrzeugen in Bögen äußerst vielschichtig sind und nur schwer durch einfache Modelle verallgemeinert werden können. Die gegenständliche Untersuchung bildet einen weiteren Baustein für ein grundlegendes Verständnis über die Entstehungsmechanismen von Kurvenkreischen und -quietschen, welches eine detaillierte Differenzierung der unterschiedlichsten Einflüsse erfordert.

Bei Messungen, welche wie in vorliegendem Projekt ausschließlich während des Betrieb umgesetzt wurden, sind die Variationen mehrerer Einflussparameter (Temperaturänderungen, verschiedene Fahrzeugeigenschaften, etc.) nur schwer auszuschließen, wodurch Unsicherheiten in den Auswertergebnissen entstehen. Weiters sind bei diesem Messansatz Korrekturfaktoren auch nur für die im Betrieb häufiger auftretenden Geschwindigkeitsbereiche abschätzbar, sodass durch die geringe Spreizung

der Geschwindigkeiten Extrapolationen verhindert werden. Zudem besteht bei der Abschätzung der Wirkung einer Schienenkopfkonditionierung das Problem einer Verifikation des tatsächlich vorhandenen Konditioniermittelauftrags, dessen Lösung in vorliegendem Projekt geholfen hätte, messtechnisch begründete Korrekturfaktoren zu ermitteln. Aus Sicht des Projektteams ist daher weiterer Forschungsbedarf in verschiedener Hinsicht gegeben:

- analoge Messungen und Auswertungen mit Variation des Bogens bzw. Bogenradius und der Fahrzeuggeschwindigkeiten zur Ermittlung von weiteren Korrekturfaktoren für geänderte Rahmenbedingungen, sowie analoge Messungen und Auswertung mit verbesserter Schienenkopfkonditionierung um theoretisch ermittelte Korrekturwerte messtechnisch zu verifizieren
- Durchführung weiterer, infrastrukturseitiger Messungen während des Betriebs über längere Zeiträume, um mit Hilfe großer Datenmenge Unsicherheiten aus Einflüssen mit zufälligen Charakter verringern und/oder bei Variation einzelner Einflussfaktoren Tendenzen besser erkennen zu können
- fahrzeug- bzw. garniturabhängige Analyse dieser Messungen inklusive regelmäßiger Erfassung bzw. Überwachung von Fahrzeugeigenschaften, um den Einfluss auf die Auftrittshäufigkeiten besser abschätzen zu können
- Verifizierung und ggf. Weiterentwicklung des Algorithmus zur automatisierten Erkennung von Auffälligkeiten unter geänderten Rahmenbedingungen (Betrachtung weiterer Oberbauformen, Bogenradien, Gleiszustände, weitere Zugkategorien, etc.)
- Durchführung von gezielten Messfahrten mit verschiedenen Testfahrzeugen, bei welchen sowohl die Fahrzeuge wie auch der Bogen mit entsprechendem Messeinrichtungen zur Erfassung von Schallemissionen und Beschleunigungen an Fahrzeug und Schiene ausgerüstet sind, zur grundlegenden Erforschung des Phänomens von Kurvenkreischen und Kurvenquietschen mittels gezielter Variation einzelner Einflussparameter und zur besseren Interpretation infrastrukturseitiger Messdaten

10. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Fachnormenausschuss 138 Akustik, "ONR 305011 - Berechnung der Schallimmission durch Schienenverkehr - Zugverkehr, Vershub- und Umschlagbetrieb", 2004.
- [2] European Commission, "Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)", Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, 2012, ISBN 978-92-79-25281-5, ISSN 1831-9424.
- [3] David Thompson, *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*, 1. Auflage, Oxford, United Kingdom, Elsevier Ltd., 2009, ISBN 978-0-08-045147-3.
- [4] Friedrich Krüger et al., *Schall- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr, Grundlagen der Schall- und Schwingungstechnik- Praxisorientierte Anwendung von Schall- und Erschütterungsschutzmaßnahmen*, 2. Auflage, Renningen, Deutschland, Expert Verlag, 2006, ISBN 978-3816924944.
- [5] Yacin Ben Othman, "Kurvenquietschen: Untersuchung des Quietschvorgangs und Wege der Minderung", Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, Deutschland, Dissertation 2009.
- [6] D. Fourie, R. Fröhling und A. Nurick, "Railway wheel squeal in larger radius curves", in *9th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, Chengdu, China, 2012, S. 630-639.
- [7] D. Curley, D.C. Anderson, J. Jiang und D. Hanson, "Field trials of gauge face lubrication and top-of-rail friction modification for curve noise mitigation", in *Proceedings of the 11th International Workshop on Railway Noise*, Uddevalla, Sweden, 2013, S. 511-518.
- [8] Michael Dittrich, Erwin Jansen, Beatriz Martin López und Juan Carlos Gómez, "ACOUTRAIN, Deliverable D1.10: Braking noise and Curving noise: corresponding indicators and measurement procedures (final, update of D1.3)", 2014.
- [9] Christoph Glocker und Cataldi Spinola, "Kurvenkreischen: Messung und numerische Analyse", *ZEVrail, Glasers Annalen*, no. 132, S. 436-446, Oktober 2008.
- [10] Daniel Johannes Fourier, "Mechanisms influencing railway wheel squeal excitation in larger radius curves", Faculty of Engineering, University of Johannesburg, Dissertation 2011.

- [11] Klaus Genuit, *Sound-Engineering im Automobilbereich*, Berlin Heidelberg, Deutschland, Springer-Verlag, 2010, ISBN 978-3-642-01414-7, DOI 10.1007/978-3-642-01415-4.
- [12] Peter Zeller (Hrsg.), *Handbuch Fahrzeugakustik - Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch*, 2. Auflage, Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag, 2012, ISBN 978-3-8348-1443-2, DOI 10.1007/978-3-8348-8657-6.
- [13] Fachnormenausschuss 138 Akustik, "ÖNORM S5026 - Messung der Schallemission von Schienenfahrzeugen - Längenbezogener Schalleistungspegel", 1996.
- [14] CEN/TC 256/WG 3, "pr EN 15461:2007: Railway applications - Noise emission - Characterisation of the dynamic properties of track sections for pass by noise measurements; draft standard", 2006-03-01.
- [15] Europäische Kommission, "Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem "Fahrzeuge-Lärm" des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems (2011/229/EU)", Beschluss der Kommission vom 4. April 2011.
- [16] C.E. Tickell, P. Downing und C.J. Jacobsen, "Rail Wheel Squeal - Some Causes and a Case Study of Freight-Car Wheel Squeal Reduction", in *Proceedings of ACOUSTICS 2004*, Gold Coast, Australia, November 2004, S. 239-244.
- [17] Dorothea Salz, "Terzspektrenbasierte Bewertung der Tonhaltigkeit von Schienenfahrzeuggeräuschen", Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, Berlin, Dissertation 2006.
- [18] Joachim Fiedler, *Bahnwesen*, 5. Auflage, München, Werner Verlag, 2005.
- [19] Yacin Ben Othman, "Kurvenquietschen: Untersuchung des Quietschvorgangs und Wege der Minderung", Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland, Dissertation 2009.
- [20] Werner Talasch und Alexander Weghofer, "S45 Vororte Linie Überprüfung der Wirksamkeit von Schienenschmiereinrichtungen", Wiener Umweltschutzabteilung (MA22), Messbericht 2010.
- [21] ÖBB Dienstbehelf 731.
- [22] Stuart L. Grassie, "Rail irregularities, corrugation and acoustic roughness: characteristics, significance and effects of reprofiling", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, S. 542-557, Mai 2012.

- [23] "HARMONOISE Definition of Track Influence: Roughness in Rolling Noise", 17.Juli 2003.
- [24] R.A. Broadbent, D.J. Thompson und C.J.C. Jones, "Evaluation of the effects of temperature on rail pad properties, rail decay rates and noise radiation", in *Proceedings of the 16th International Congress on Sound and Vibration (ICSV16)*, Krakow, Poland, Juli 2009.

Anhang A Schienenbeschleunigungen - Variation der Grenzwerte zur Bewertung von breitbandigen Auffälligkeiten

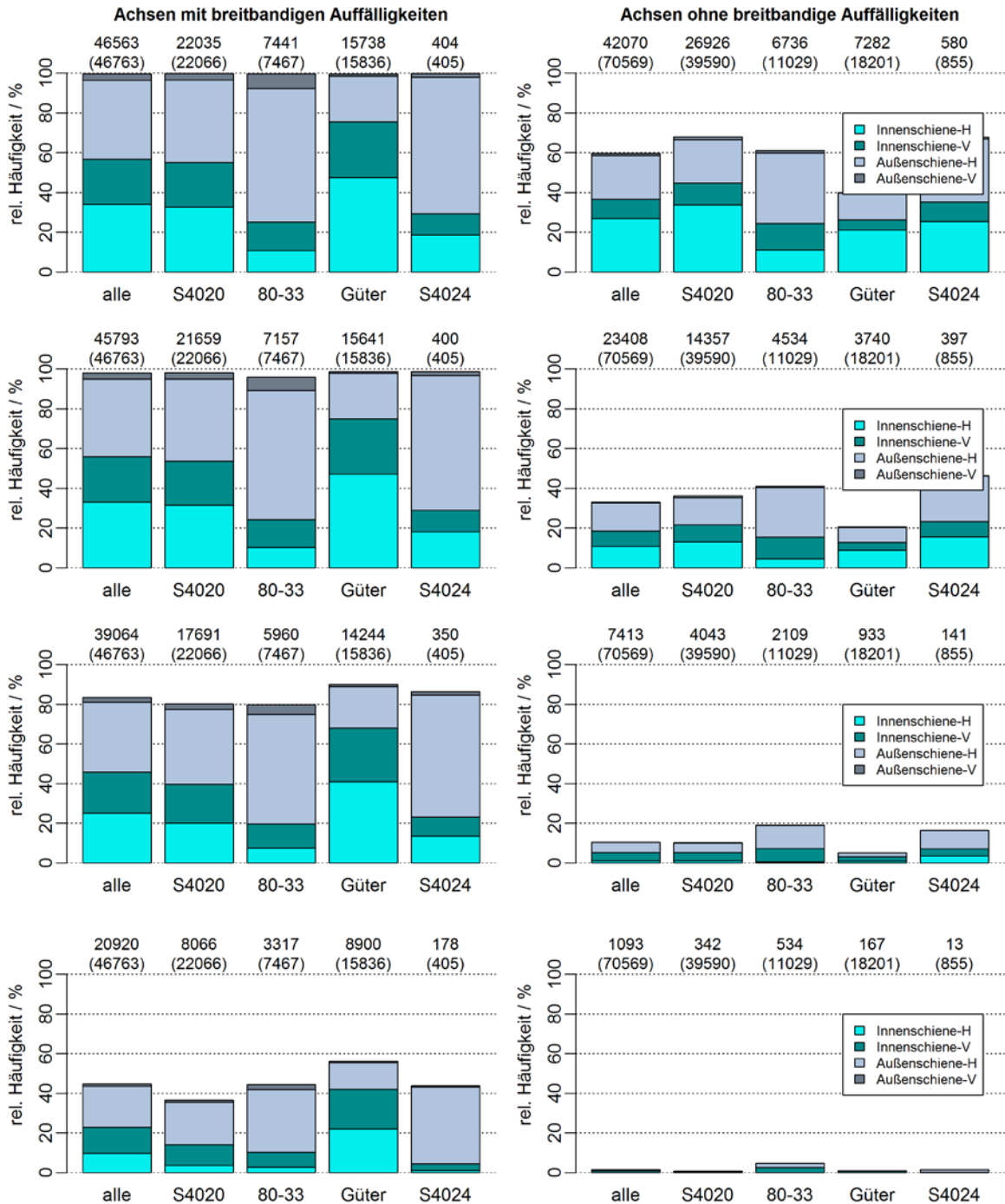


Abb. A-1: rel. Häufigkeit der Achsen, bei welchen der maximale der vier arithmetischen Beschleunigungsmittelwerte, jeweils gebildet aus den Terzpegel von 8 bis 12,5 kHz, den Grenzwert überschritten hat (Messkampagne 1, niederschlagsfreie Abschnitte); dargestellt jeweils getrennt für alle Züge bzw. für häufig vertretene Zugkategorien, für Achsen mit (links) und ohne (rechts) erkannter, breitbandiger akustischer Auffälligkeit und für unterschiedliche Grenzwerte (von oben nach unten: 35 dB, 40 dB, 45 dB und 50 dB)

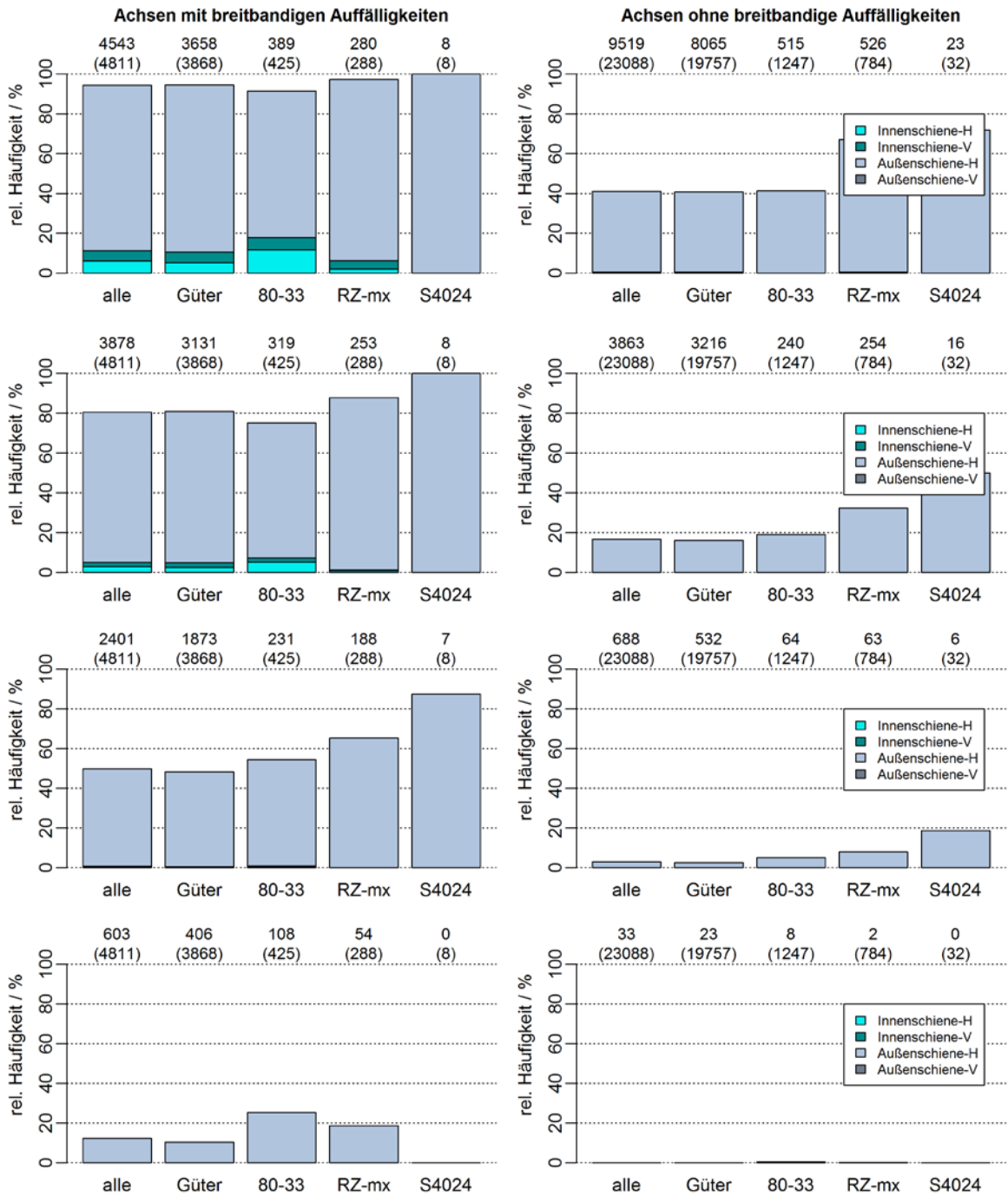


Abb. A-2: rel. Häufigkeit der Achsen, bei welchen der maximale der vier arithmetischen Beschleunigungsmittelwerte, jeweils gebildet aus den Terzpegel von 8 bis 12,5 kHz, den Grenzwert überschritten hat (Messkampagne 2, niederschlagsfreie Abschnitte); dargestellt jeweils getrennt für alle Züge bzw. für häufig vertretene Zugkategorien, für Achsen mit (links) und ohne (rechts) erkannter, breitbandiger akustischer Auffälligkeit und für unterschiedliche Grenzwerte (von oben nach unten: 20 dB, 25 dB, 30 dB und 35 dB)

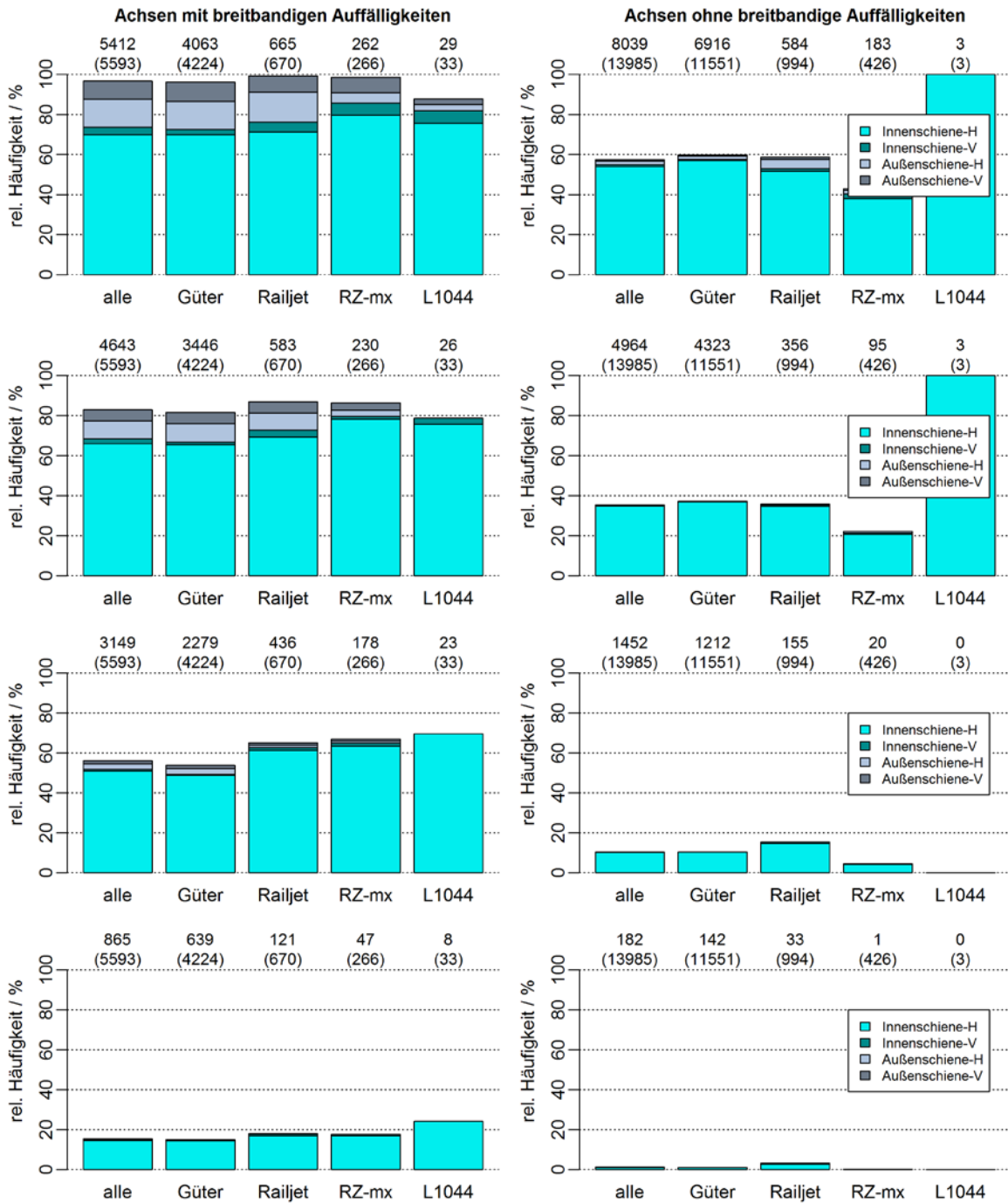


Abb. A-3: rel. Häufigkeit der Achsen, bei welchen der maximale der vier arithmetischen Beschleunigungsmittelwerte, jeweils gebildet aus den Terzpegel von 8 bis 12,5 kHz, den Grenzwert überschritten hat (Messkampagne 3, niederschlagsfreie Abschnitte); dargestellt jeweils getrennt für alle Züge bzw. für häufig vertretene Zugkategorien, für Achsen mit (links) und ohne (rechts) erkannter, breitbandiger akustischer Auffälligkeit und für unterschiedliche Grenzwerte (von oben nach unten: 20 dB, 25 dB, 30 dB und 35 dB)

Anhang B Terzspektren bei Ausblendung vorhandener Auffälligkeiten

B.1 Messkampagne 1 (Kleinschwechat, S7)

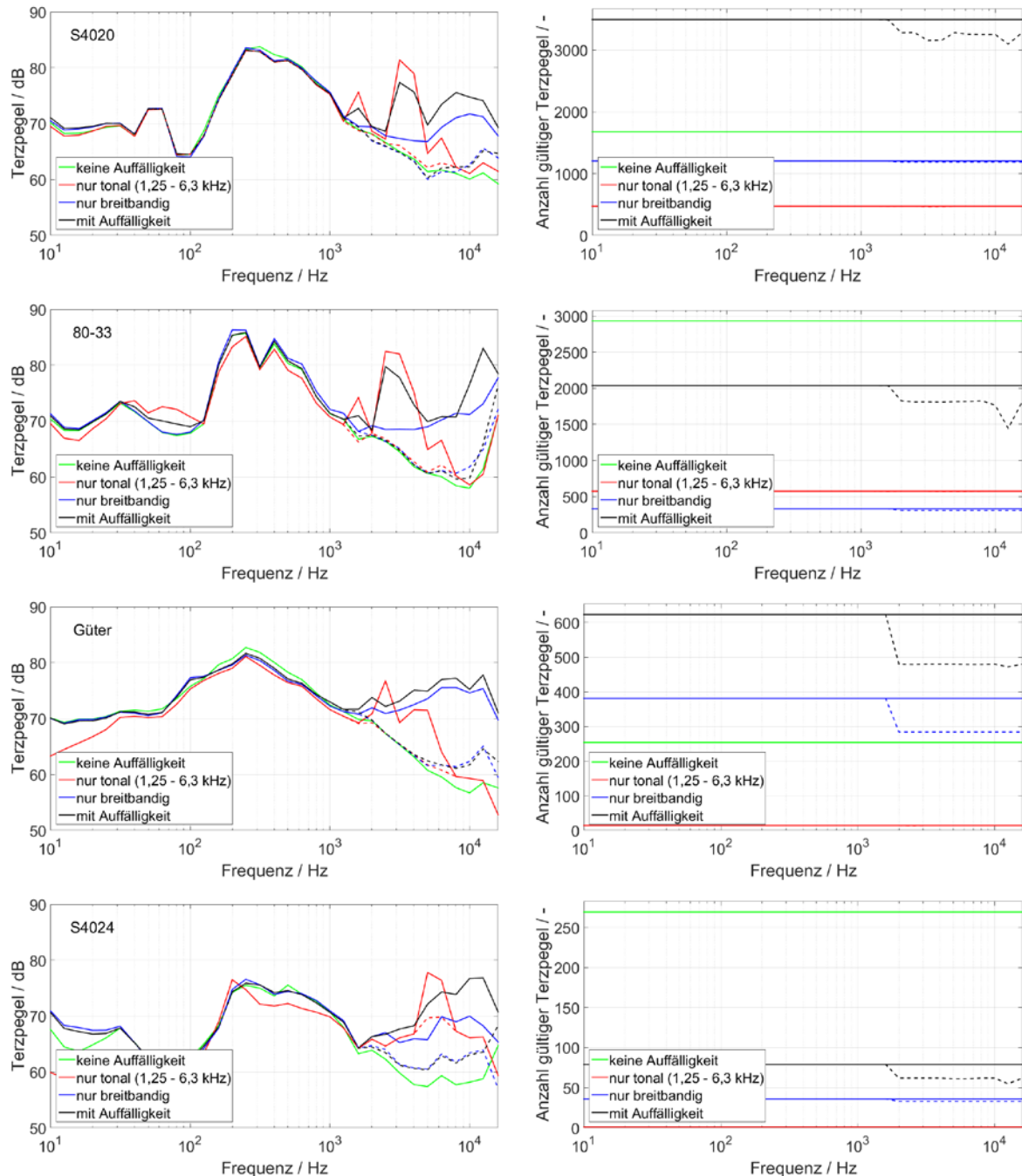


Abb. B-1: Vergleich der energetisch gemittelten Terzspektren (linke Spalte) und Anzahl der für die Mittelung verfügbaren Terzpegel (rechte Spalte) der originalen Schallemissionen (durchgezogene Linien) und der Emissionen mit Ausblendung von erkannten Auffälligkeiten (strichlierte Linien) für Zugkategorien S4020, 80-33, Güterzüge und S4024 (von oben nach unten): eine Unterscheidung erfolgt zwischen unauffälligen (grün) und auffälligen (schwarz) Vorbeifahrten, aus welchen zusätzlich die Untergruppen ausschließlich tonaler (rot) und ausschließlich breitbandiger (blau) Auffälligkeiten gebildet werden

B.2 Messkampagne 2 (Eichgraben, Westbahn)

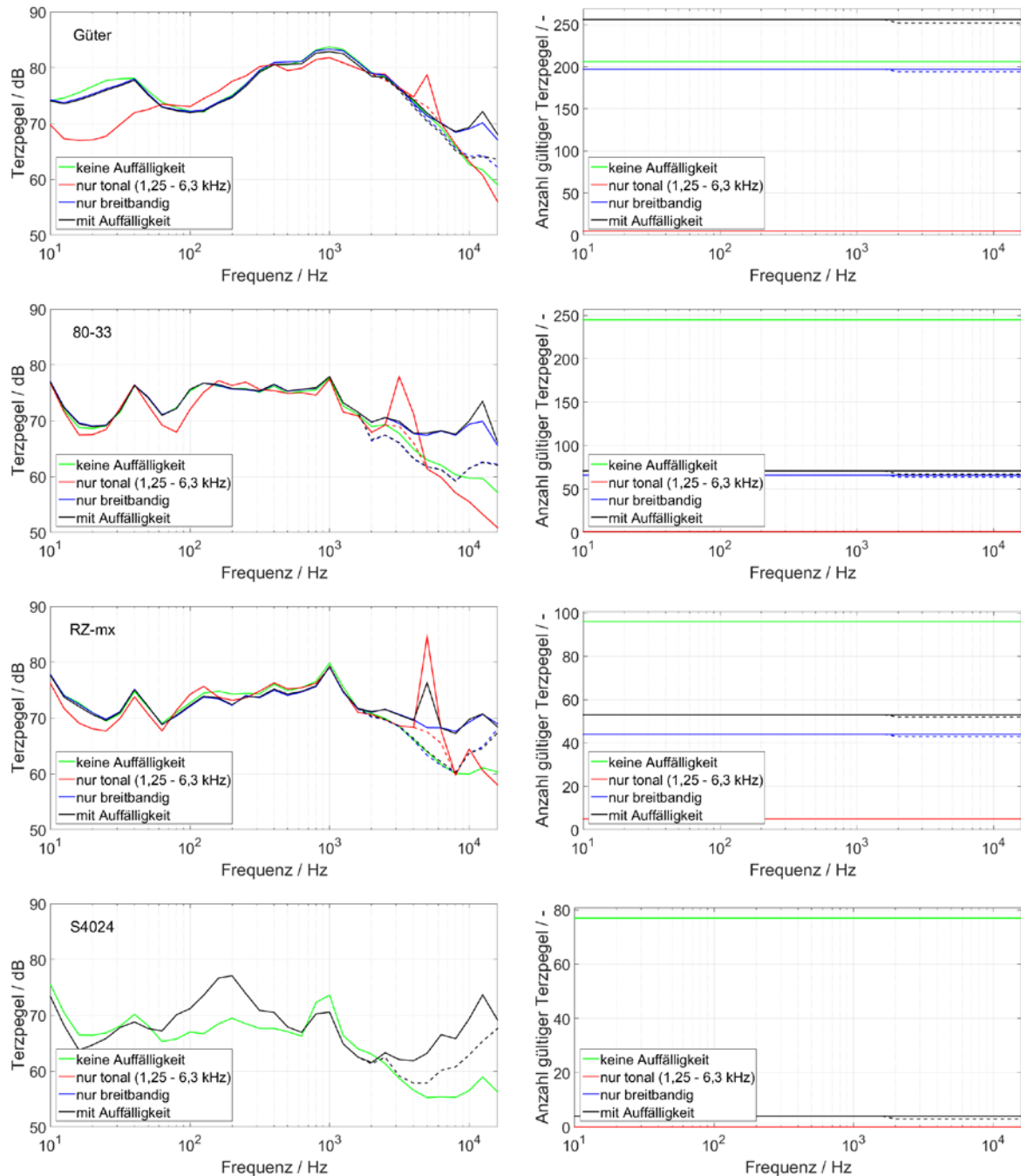


Abb. B-2: Vergleich der energetisch gemittelten Terzspektren (linke Spalte) und Anzahl der für die Mittelung verfügbaren Terzpegel (rechte Spalte) der originalen Schallemissionen (durchgezogene Linien) und der Emissionen mit Ausblendung von erkannten Auffälligkeiten (strichlierte Linien) für Zugkategorien Güterzüge, 80-33, Reisezug-mix, und S4024 (von oben nach unten): eine Unterscheidung erfolgt zwischen unauffälligen (grün) und auffälligen (schwarz) Vorbeifahrten, aus welchen zusätzlich die Untergruppen ausschließlich tonaler (rot) und ausschließlich breitbandiger (blau) Auffälligkeiten gebildet werden

B.3 Messkampagne 3 (Mürzzuschlag, Südbahn)

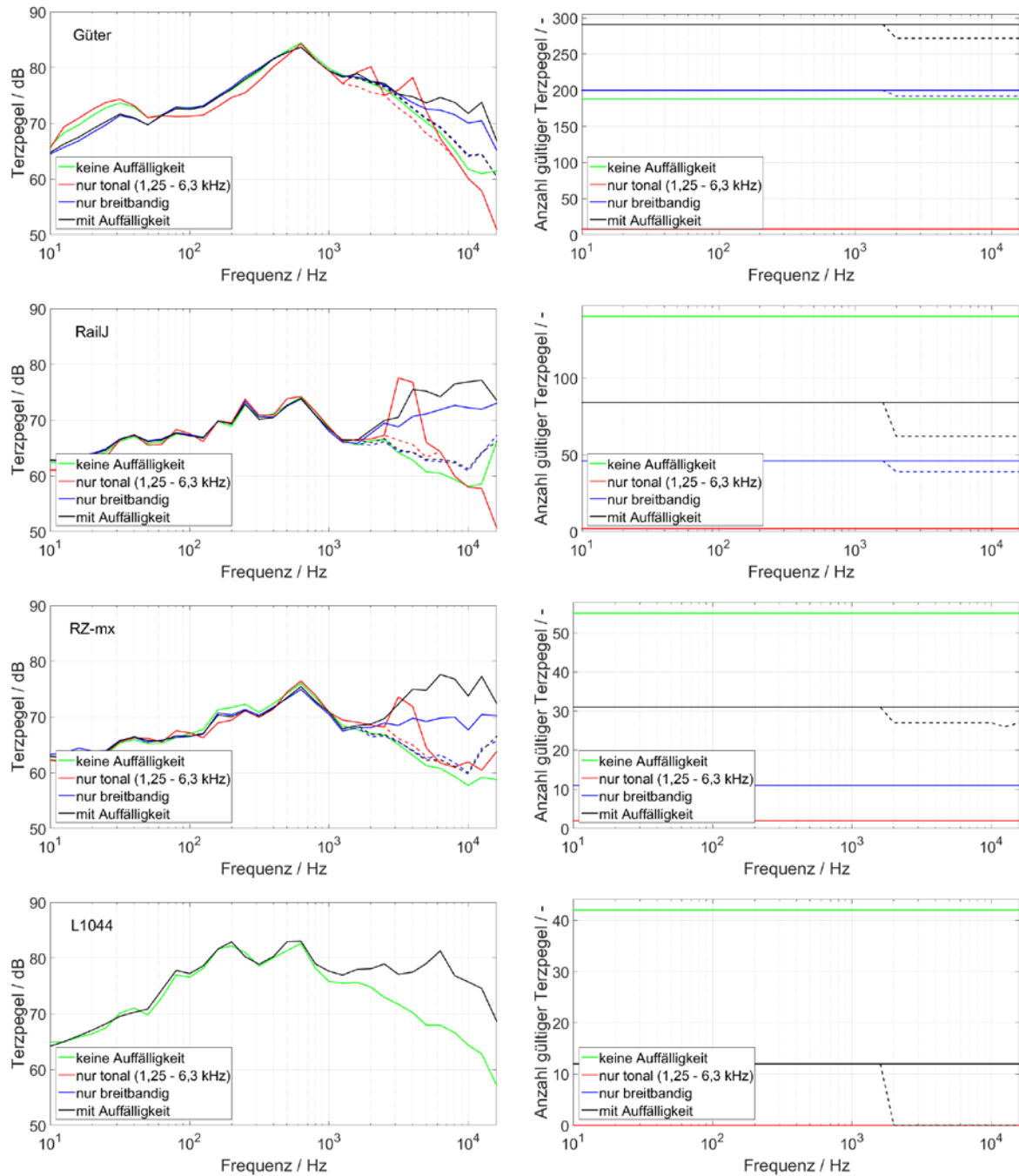


Abb. B- 3: Vergleich der energetisch gemittelten Terzspektren (linke Spalte) und Anzahl der für die Mittelung verfügbaren Terzpegel (rechte Spalte) der originalen Schallemissionen (durchgezogene Linien) und der Emissionen mit Ausblendung von erkannten Auffälligkeiten (strichlierte Linien) für Zugkategorien Güterzüge, Railjet, Reisezug-mix, und Lokzug 1044 (von oben nach unten): eine Unterscheidung erfolgt zwischen unauffälligen (grün) und auffälligen (schwarz) Vorbeifahrten, aus welchen zusätzlich die Untergruppen ausschließlich tonaler (rot) und ausschließlich breitbandiger (blau) Auffälligkeiten gebildet werden

Anhang C Einflussfaktoren

C.1 Geschwindigkeit

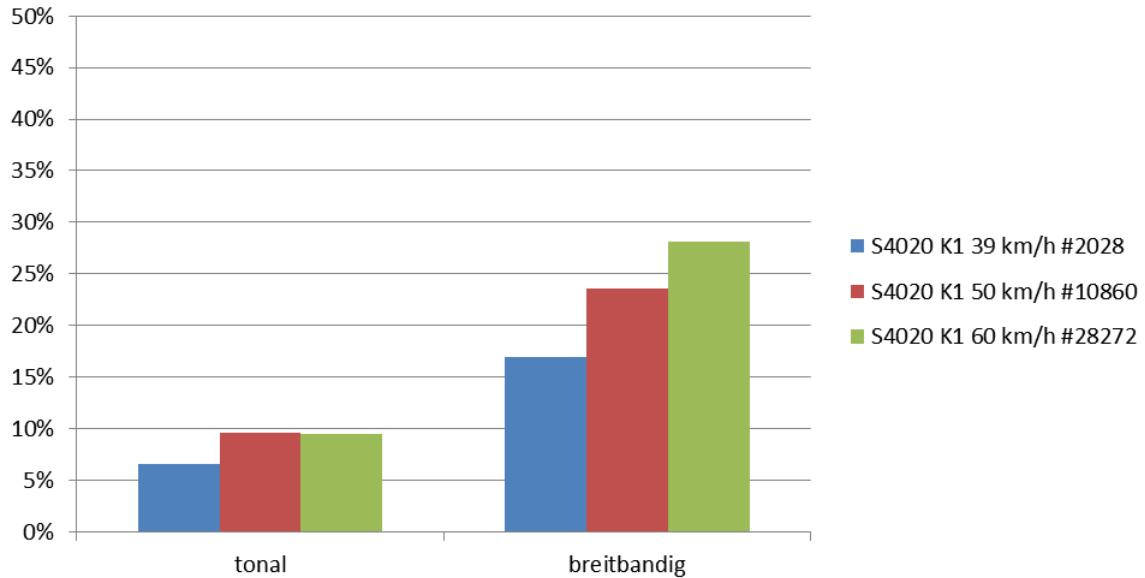


Abb. C-1: relative Häufigkeiten von Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Temperaturbereich 0-10°C, Kategorie S4020

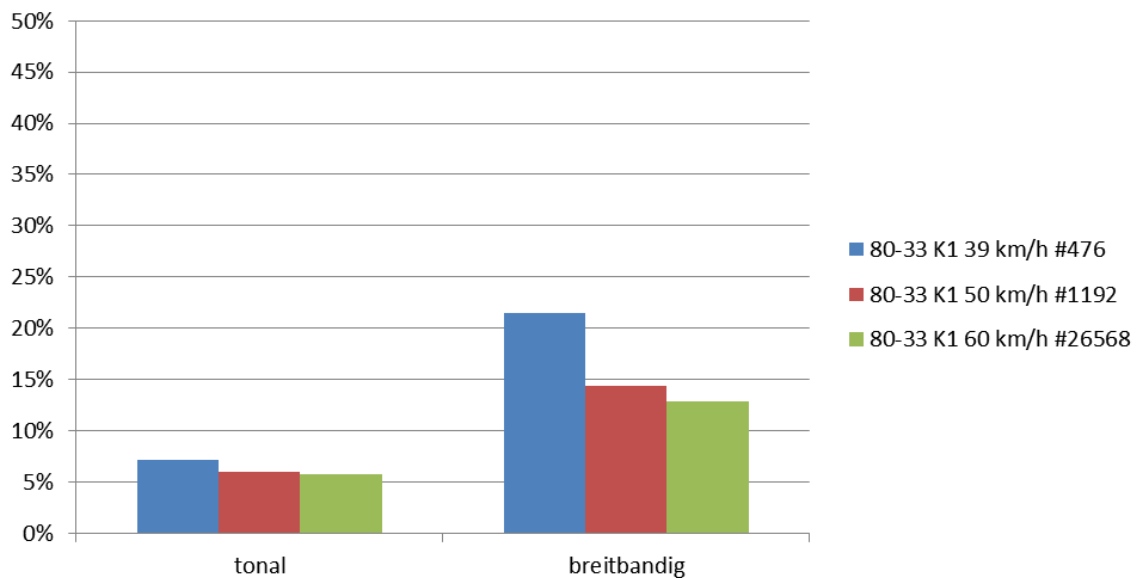


Abb. C-2: relative Häufigkeiten von Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Temperaturbereich 0-10°C, Kategorie 80-33

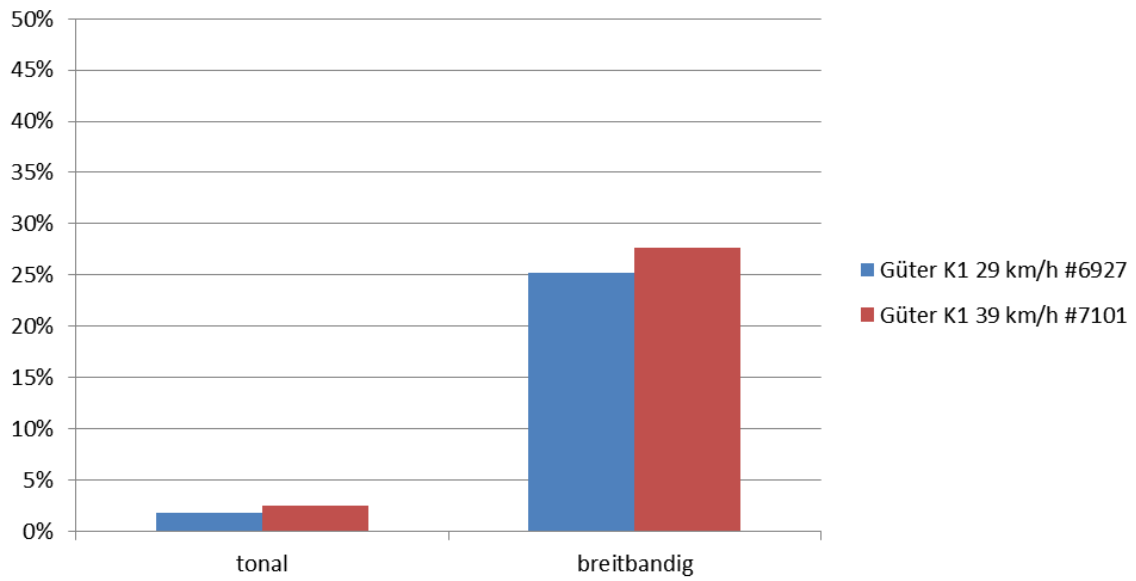


Abb. C-3: relative Häufigkeiten von Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Temperaturbereich 0-10°C, Kategorie Güterzug

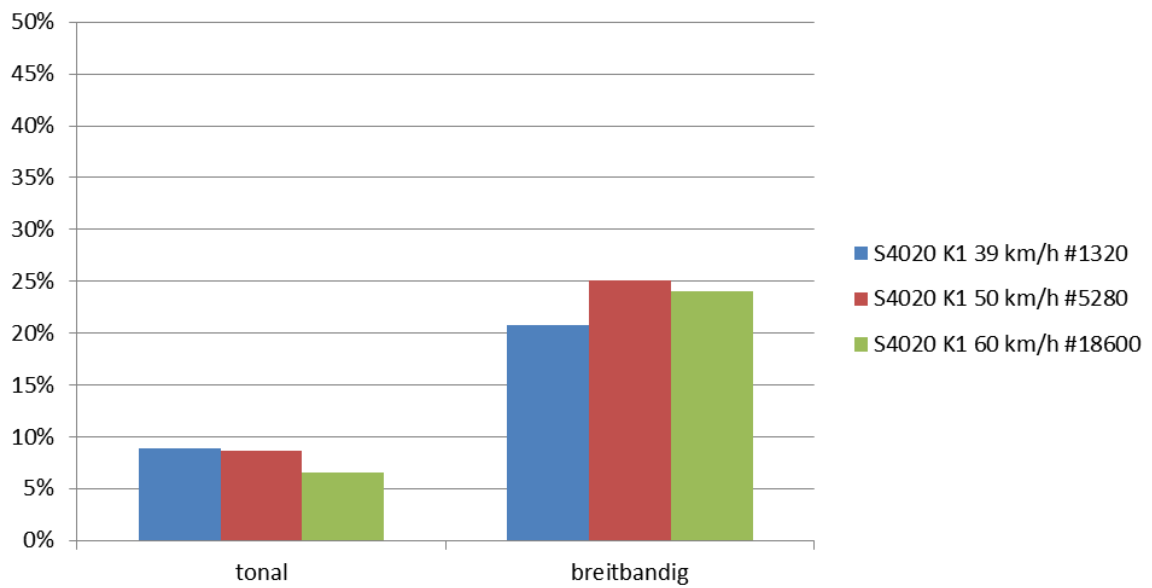


Abb. C-4: relative Häufigkeiten von Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Temperaturbereich 10-20°C, Kategorie S4020

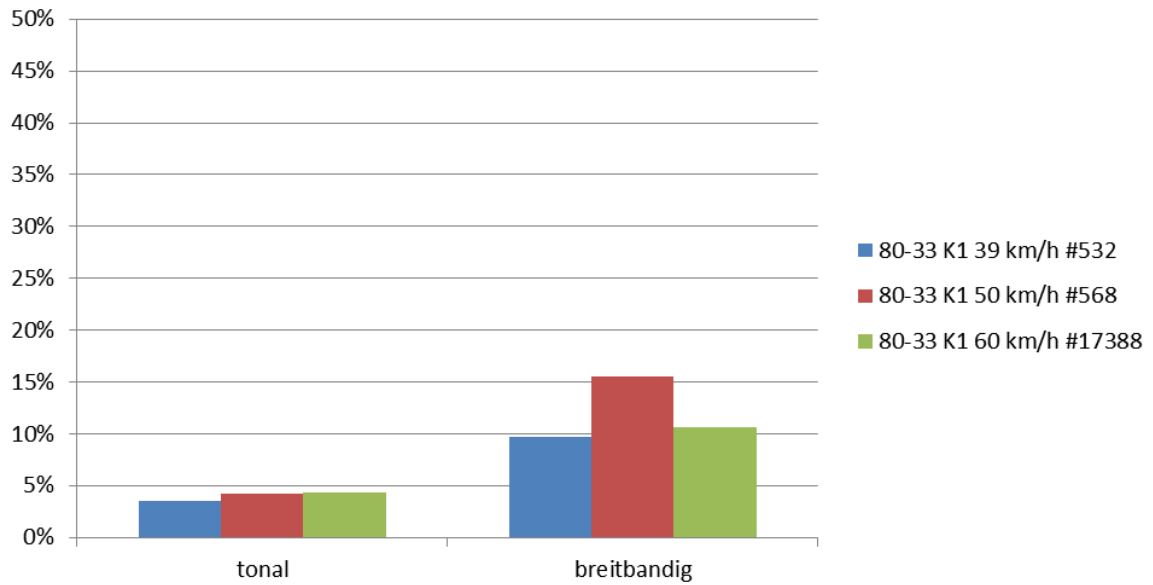


Abb. C-5: relative Häufigkeiten von Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Temperaturbereich 10-20°C, Kategorie 80-33

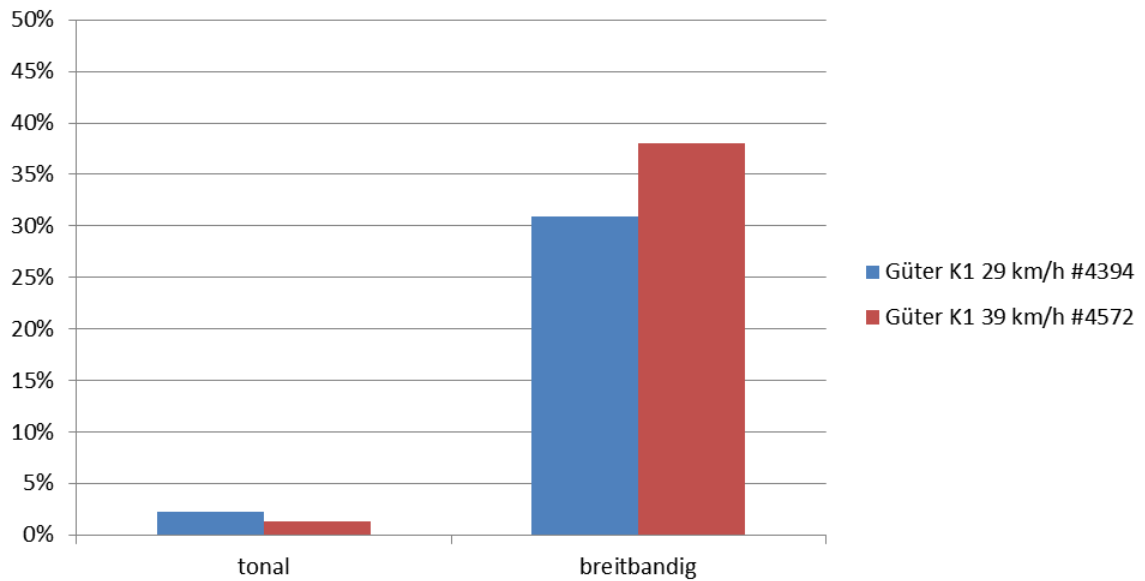


Abb. C-6: relative Häufigkeiten von Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten, Temperaturbereich 10-20°C, Kategorie Güterzug

C.2 Abklingrate

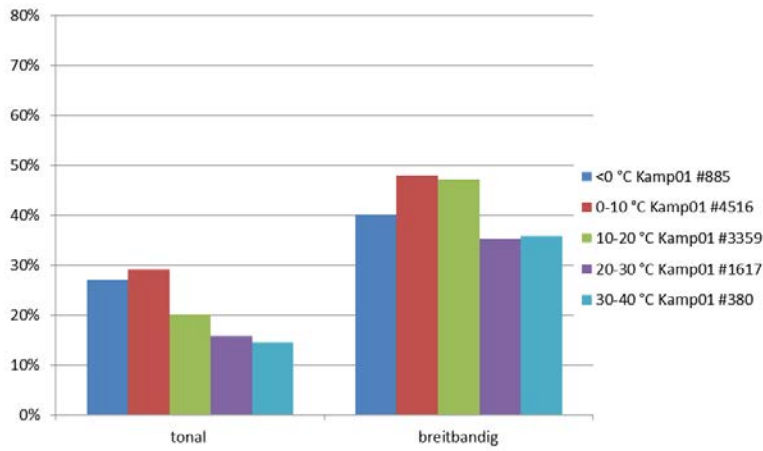
K1															
IDZug	ZugTypID	FileDatum	FileZeit	ZugVmittel	ZugVmin	ZugVmax	Regelrichtung	ZugAx	ZugGleis	ZugLng	Temp_Schiene	Temp_Luft	Regen_2h	Ch01ID	Ch01Value
117	80-33	19.10.2013	10:36:46	60,58	60,24	60,98	WAHR	16,00	G1	95,43	18,3	16,2		M1	89
638	S4020	23.10.2013	19:50:16	61,18	60,95	61,31	WAHR	24,00	G1	134,896	14,3	14,2		M1	87,6
800	S4020	24.10.2013	19:43:48	57,3	56,14	58,94	WAHR	24,00	G1	134,631	13	11,7		M1	87,08
899	80-33	25.10.2013	12:33:06	60,65	60,4	60,94	WAHR	16,00	G1	95,344	14,7	13,5		M1	89,13
1034	S4020	26.10.2013	09:44:22	61	60,88	61,1	WAHR	12,00	G1	64,729	12,3	12,7		M1	87,67
1048	80-33	26.10.2013	11:32:50	60,4	60,22	60,62	WAHR	16,00	G1	95,375	15,8	15,6		M1	88,94
1118	80-33	26.10.2013	20:03:09	60,62	60,38	60,72	WAHR	16,00	G1	95,268	12,5	11,4		M1	89,07
1147	S4020	27.10.2013	00:17:14	50,76	50,71	50,86	WAHR	12,00	G1	64,721	8,6	7,8		M1	86
1173	S4020	30.10.2013	19:17:49	58,8	58,69	59,07	WAHR	24,00	G1	134,899	9,7	9,6		M1	87,28
1275	S4020	31.10.2013	11:43:42	54,97	54,88	55,09	WAHR	24,00	G1	134,857	21,5	16,6		M1	86,67
1436	S4020	01.11.2013	11:16:55	52,74	52,57	53,05	WAHR	24,00	G1	64,721	19,4	16,8		M1	86,24
1490	80-33	01.11.2013	18:02:46	60,61	60,49	60,92	WAHR	16,00	G1	95,455	8,6	7,5		M1	89,12
1617	80-33	02.11.2013	14:32:51	60,64	60,54	60,79	WAHR	16,00	G1	95,334	12,5	11,6		M1	89,06
1752	80-33	04.11.2013	14:03:03	60,6	60,49	60,73	WAHR	16,00	G1	95,414	12,8	11,7		M1	89,03
1757	80-33	04.11.2013	14:32:58	60,72	60,48	60,9	WAHR	16,00	G1	95,388	12,5	11,2		M1	89,03
1834	S4020	05.11.2013	05:38:17	49,76	48,78	50,85	WAHR	12,00	G1	64,492	7,3	8,2	1	M1	85,64
1966	S4020	06.11.2013	11:16:36	60,13	60,02	60,26	WAHR	24,00	G1	134,948	11,2	12		M1	87,47
1979	S4020	06.11.2013	12:43:35	59,34	59,28	59,52	WAHR	24,00	G1	134,963	11,2	10,8		M1	87,46
K2															
IDZug	ZugTypID	FileDatum	FileZeit	ZugVmittel	ZugVmin	ZugVmax	Regelrichtung	ZugAx	ZugGleis	ZugLng	Temp_Schiene	Temp_Luft	Regen_2h	Ch01ID	Ch01Value
940	80-33	19.07.2014	09:41:54	89,84	89,32	90,36	WAHR	20,00	G1	118,345	30,1	30,2		M1	84,28
1770	80-33	26.07.2014	00:27:47	86,05	85,64	86,44	WAHR	40,00	G1	240,125	15,8	14,3		M1	84,61
1825	S4024	26.07.2014	12:42:24	88,7	88,41	89,11	WAHR	10,00	G1	60,778	35,6	27,7		M1	78,84
1840	S4024	26.07.2014	15:41:22	88,71	88,35	89,2	WAHR	10,00	G1	60,877	34,1	25,4		M1	79,41
1845	S4024	26.07.2014	16:41:01	89,19	89,07	89,41	WAHR	10,00	G1	61,366	30,3	24,7		M1	79,36
1849	80-33	26.07.2014	17:18:45	89,05	88,1	89,43	WAHR	20,00	G1	118,21	29,2	24,8		M1	84,61
1863	S4024	26.07.2014	19:40:54	89,13	89,02	89,23	WAHR	10,00	G1	61,272	24,6	22,6		M1	78,79
1899	80-33	27.07.2014	06:19:33	87,12	86,36	87,53	WAHR	20,00	G1	118,603	15,4	15,7		M1	83,37
1921	S4024	27.07.2014	11:41:09	85,61	85,09	85,93	WAHR	10,00	G1	61,136	33,9	26,1		M1	78,45
1946	80-33	27.07.2014	17:19:04	91,1	90,69	91,71	WAHR	20,00	G1	118,368	27,3	25,5		M1	84,32
K3															
IDZug	ZugTypID	FileDatum	FileZeit	ZugVmittel	ZugVmin	ZugVmax	Regelrichtung	ZugAx	ZugGleis	ZugLng	Temp_Schiene	Temp_Luft	Regen_2h	Ch01ID	Ch01Value
14	Railjet	12.09.2014	13:38:32	78,29	77,11	79,76	WAHR	32,00	G1	198,726	15,8	14,3		M1	80,15
52	RZ-mix	12.09.2014	20:01:58	79,7	78,72	81,18	WAHR	40,00	G1	249,648	11,4	10,8		M1	81,6
54	S4024	12.09.2014	20:09:55	73,67	73,06	74,07	WAHR	8,00	G1	46,497	11,7	10,8		M1	76,6
68	RZ-mix	12.09.2014	21:43:38	78,66	77,65	80,02	WAHR	48,00	G1	301,111	10,8	10,4		M1	81,44
146	Railjet	13.09.2014	12:14:33	67,85	67,49	68,62	WAHR	32,00	G1	198,469	11	13,3		M1	78,67
994	S4024	19.09.2014	20:09:28	70,99	70,46	71,31	WAHR	8,00	G1	46,504	17,2	12,7		M1	76,1
1272	Railjet	22.09.2014	07:15:09	62,8	62,26	63,99	WAHR	32,00	G1	198,266	9,7	-		M1	77,95
1395	S4024	26.09.2014	13:06:57	78,56	78,35	78,93	WAHR	8,00	G1	46,593	9,5	10,4	1	M1	77,34
1456	RZ-mix	26.09.2014	22:14:57	75,63	75,03	76,98	WAHR	36,00	G1	224,349	7,5	8,8	1	M1	80,92

Abb. C-7: Für die Berechnung der Abklingrate herangezogenen Vorbeifahrten

K1 <0°C															
IDZug	ZugTypID	FileDatum	FileZeit	ZugVmittel	ZugVmin	ZugVmax	Regelrichtung	ZugAx	ZugGleis	ZugLng	Temp_Schiene	Temp_Luft	Regen_2h	Ch01ID	Ch01Value
1171	80-33	30.10.2013	19:02:42	60,69	60,58	60,88	WAHR	16,00	G1	95,326	9,7	9,9		M1	88,9
3118	S4020	14.11.2013	18:26:27	60,82	60,68	61,17	WAHR	24,00	G1	134,984	3,1	5,9		M1	87,19
3889	80-33	21.11.2013	19:11:51	58,54	56,94	60,2	WAHR	16,00	G1	95,764	2,9	7,2		M1	88,44
3889	80-33	21.11.2013	21:42:18	60,11	59,99	60,22	WAHR	16,00	G1	95,52	1,3	6,8		M1	86,91
9628	80-33	16.02.2014	22:10:49	57,14	56,34	57,99	WAHR	16,00	G1	95,899	4	5,5		M1	81,29
9929	80-33	18.02.2014	16:10:20	47,61	38,64	55,97	WAHR	16,00	G1	93,36	7,5	6		M1	80,28
13248	S4020	21.03.2014	04:59:23	55,23	55,06	55,53	WAHR	12,00	G1	64,962	4,8	3,4		M1	85
14233	80-33	27.03.2014	23:39:21	44,02	36	52,07	WAHR	16,00	G1	93,688	9,2	9		M1	77,21
18711	S4020	02.05.2014	06:13:13	60,66	60,6	60,8	WAHR	12,00	G1	65,13	8,4	7,8		M1	86,92
19138	S4020	30.05.2014	00:21:20	49,62	48,44	51,01	WAHR	12,00	G1	64,947	9	9,8		M1	85,77
K1 0-10°C															
IDZug	ZugTypID	FileDatum	FileZeit	ZugVmittel	ZugVmin	ZugVmax	Regelrichtung	ZugAx	ZugGleis	ZugLng	Temp_Schiene	Temp_Luft	Regen_2h	Ch01ID	Ch01Value
5343	80-33	04.12.2013	09:42:31	55,27	53,72	56,66	WAHR	16,00	G1	95,176	-2,2	-2,6		M1	82,46
6509	80-33	19.12.2013	17:41:58	57,62	56,04	58,93	WAHR	16,00	G1	95,389	-2,2	-2,5		M1	82,67
6602	S4020	20.12.2013	09:25:37	50,2	48,44	51,93	WAHR	24,00	G1	135,296	-0,9	-0,6		M1	84,07
6761	S4020	21.12.2013	09:25:32	55,19	53	57,01	WAHR	24,00	G1	135,425	-2,6	-0,8		M1	84,47
7349	S4020	02.02.2014	07:46:20	57,1	57,04	57,18	WAHR	12,00	G1	64,87	-1,7	-1,4		M1	84,54
7352	S4020	02.02.2014	08:17:58	45,28	44,02	46,47	WAHR	12,00	G1	64,672	-1,7	-1,3		M1	83,38
7382	80-33	02.02.2014	12:11:19	60,98	60,87	61,1	WAHR	16,00	G1	95,695	-0,4	-0,4		M1	85,43
7414	80-33	02.02.2014	16:10:55	58,39	58,13	58,72	WAHR	16,00	G1	95,681	-0,6	-0,3		M1	82,18
8142	80-33	06.02.2014	22:10:49	56,41	55,82	57,28	WAHR	16,00	G1	95,849	-1,7	-1,7		M1	84,6
8150	80-33	06.02.2014	23:10:38	51,33	49,3	54,08	WAHR	16,00	G1	96,181	-2,2	-1,5		M1	83,53
K1 10-20°C															
IDZug	ZugTypID	FileDatum	FileZeit	ZugVmittel	ZugVmin	ZugVmax	Regelrichtung	ZugAx	ZugGleis	ZugLng	Temp_Schiene	Temp_Luft	Regen_2h	Ch01ID	Ch01Value
537	80-33	23.10.2013	09:03:14	60,39	60,26	60,55	WAHR	16,00	G1	95,347	12,8	13,5		M1	90,39
564	80-33	23.10.2013	12:03:14	56,9	55,88	58,2	WAHR	16,00	G1	95,6	16,9	16,2		M1	89,06
806	80-33	24.10.2013	20:34:47	60,44	60,28	60,52	WAHR	16,00	G1	95,416	12,3	11,8		M1	89,72
10969	S4020	27.02.2014	11:50:06	55,98	55,9	56,11	WAHR	24,00	G1	135,32	14,5	10,8		M1	84,62
12262	S4020	12.03.2014	17:47:50	60,04	59,98	60,18	WAHR	24,00	G1	135,226	15,2	12,8		M1	86,19
13608	S4020	23.03.2014	09:23:36	50,28	49,72	50,85	WAHR	24,00	G1	135,186	11,7	11,8		M1	85,73
14522	S4020	29.03.2014	20:03:16	60,02	59,92	60,09	WAHR	12,00	G1	64,956	13,9	11,1		M1	86,15
18314	80-33	28.04.2014	21:38:15	58,36	56,1	59,88	WAHR	16,00	G1	96,433	15,6	13,4		M1	84,52
20219	80-33	15.06.2014	20:36:45	61,05	60,78	61,32	WAHR	16,00	G1	96,415	19,6	18,5		M1	85,16
K1 20-30°C															
IDZug	ZugTypID	FileDatum	FileZeit	ZugVmittel	ZugVmin	ZugVmax	Regelrichtung	ZugAx	ZugGleis	ZugLng	Temp_Schiene	Temp_Luft	Regen_2h	Ch01ID	Ch01Value
572	80-33	23.10.2013	13:03:39	56,35	56,08	56,77	WAHR	16,00	G1	95,525	24,4	21,1		M1	88,37
577	80-33	23.10.2013	13:35:11	24,65	21,54	27,68	WAHR	16,00	G1	94,029	27,7	21,5		M1	75,53
1056	80-33	26.10.2013	12:33:21	54,16	53,84	54,63	WAHR	16,00	G1	95,248	24,2	20,8		M1	86,76
1064	80-33	26.10.2013	13:32:54	55,47	54,91	56,6	WAHR	16,00	G1	95,536	28,6	21,2		M1	87,94
15611	80-33	05.04.2014	13:39:05	60,82	60,55	61,19	WAHR	16,00	G1	95,969	25,9	21,1		M1	86,59
17791	80-33	24.04.2014	10:09:16	58,08	57,27	59,24	WAHR	16,00	G1	95,967	25,1	21		M1	85,12
17796	80-33	24.04.2014	10:38:36	61,04	60,81	61,31	WAHR	16,00	G1	96,264	27	22,4		M1	85,93
21703	S4020	28.06.2014	07:41:40	55,75	55,25	55,86	WAHR	24,00	G1	135,834	20,2	25,3		M1	85,56
22722	S4020	04.07.2014	08:11:07	60,12	58,61	61,11	WAHR	24,00	G1	136,007	21,5	25,2		M1	88,15
22909	S4020	05.07.2014	10:45:16	58,26	57,85	58,47	WAHR	24,00	G1	135,727	26,6	23,6		M1	87,91
K1 30-40°C															
IDZug	ZugTypID	FileDatum	FileZeit	ZugVmittel	ZugVmin	ZugVmax	Regelrichtung	ZugAx	ZugGleis	ZugLng	Temp_Schiene	Temp_Luft	Regen_2h	Ch01ID	Ch01Value
19760	80-33	10.06.2014	14:36:49	61,25	60,72	61,78	WAHR	16,00	G1	96,667	47,9	39		M1	86,12
19832	80-33	11.06.2014	09:36:23	61,12	60,66	61,44	WAHR	16,00	G1	96,335	34,1	33,9		M1	85,42
19834	80-33	11.06.2014	10:06:42	61,03	60,56	61,53	WAHR	16,00	G1	96,314	36	32,7		M1	86,66
19837	80-33	11.06.2014	10:37:00	61,02	60,59	61,48	WAHR	16,00	G1	96,307	38,7	35,2		M1	85
19930	S4020	12.06.2014	11:45:36	62,19	62	62,77	WAHR	24,00	G1	136,475	36,9	31,5		M1	86,61
19965	80-33	12.06.2014	18:36:33	61,08	60,8	61,46	WAHR	16,00	G1	96,275	34,5	32,8		M1	86,51
20435	S4020	18.06.2014	13:20:48	52,9	49,59	55,85	WAHR	24,00	G1	136,724	31,3	31,3		M1	85,69
20448	80-33	18.06.2014	15:36:10	61	60,73	61,32	WAHR	16,00	G1	96,314	31,3	32,7		M1	86,52
20458	S4020	18.06.2014	17:20:18	60,04	59,37	60,76	WAHR	24,00	G1	136,321	34,2	32,4		M1	85,75
20460	80-33	18.06.2014	17:36:05	61,02	60,78	61,4	WAHR	16,00	G1	96,145	34,2	32,2		M1	86,37

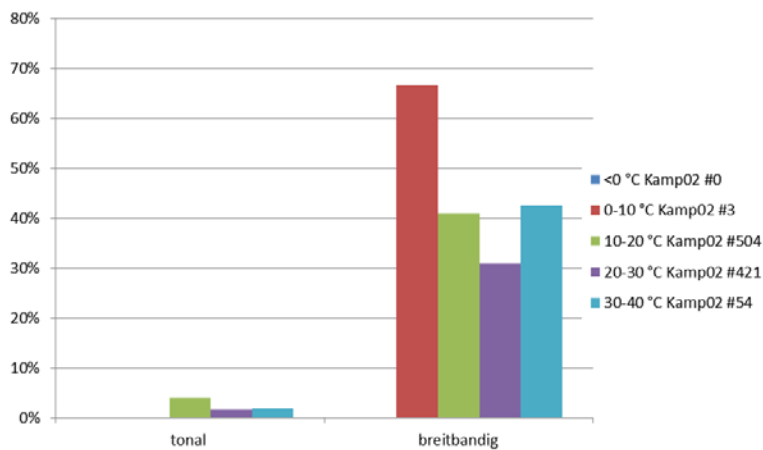
Abb. C-8: Für die Berechnung der Abklingrate bei unterschiedlichen Temperaturen herangezogenen Vorbeifahrten

C.3 Temperatur



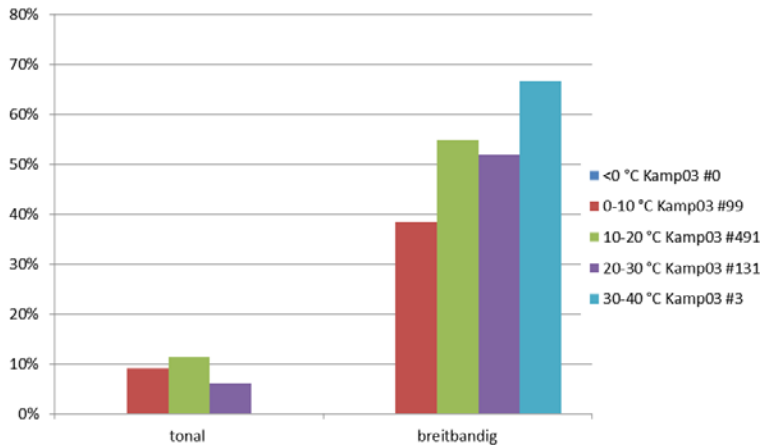
Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp01	#885	27,01%	40,11%
0-10 °C	Kamp01	#4516	29,12%	47,94%
10-20 °C	Kamp01	#3359	20,04%	47,07%
20-30 °C	Kamp01	#1617	15,83%	35,06%
30-40 °C	Kamp01	#380	14,47%	35,79%

Abb. C-9: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Lufttemperatur) Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



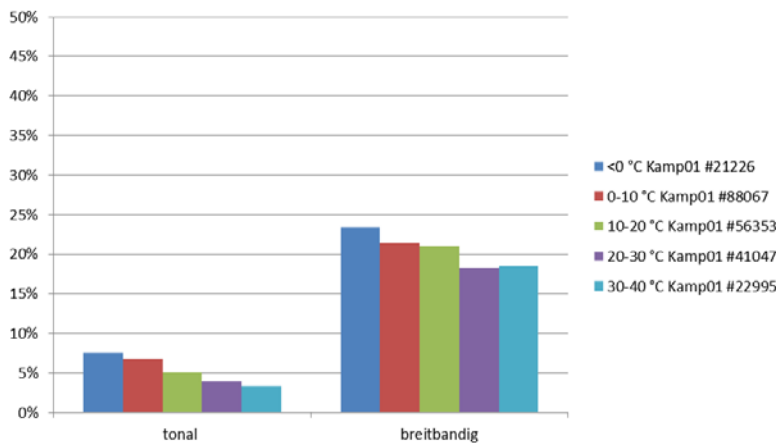
Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp02	#0		
0-10 °C	Kamp02	#3	0,00%	66,67%
10-20 °C	Kamp02	#504	3,97%	40,87%
20-30 °C	Kamp02	#421	1,66%	30,88%
30-40 °C	Kamp02	#54	1,85%	42,59%

Abb. C-10: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Lufttemperatur) Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn



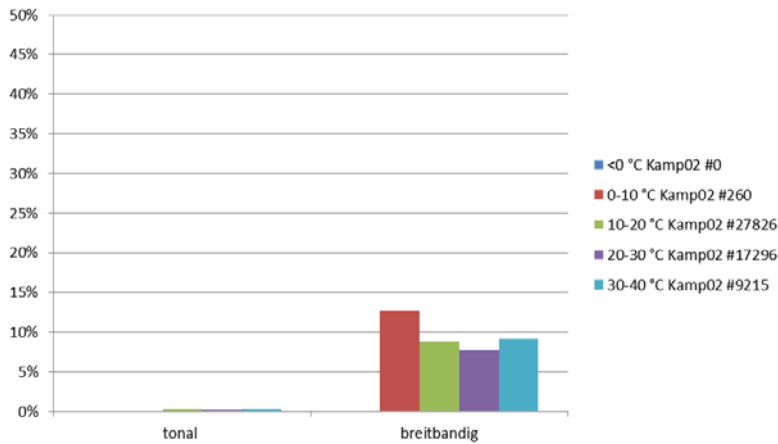
Temperatur	Kampagne	Anzahl Vorbeifahrten	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp03	#0		
0-10 °C	Kamp03	#99	9,09%	38,38%
10-20 °C	Kamp03	#491	11,41%	54,79%
20-30 °C	Kamp03	#131	6,11%	51,91%
30-40 °C	Kamp03	#3	0,00%	66,67%

Abb. C-11: Anteil der Vorbeifahrten mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Lufttemperatur) Messkampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn



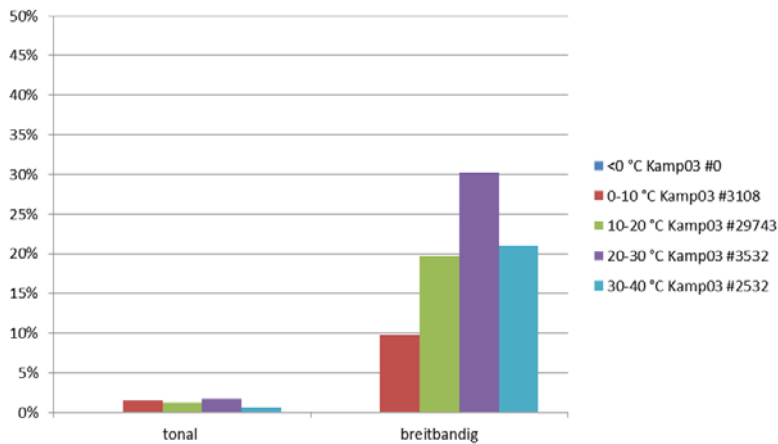
Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp01	#21226	7,58%	23,40%
0-10 °C	Kamp01	#88067	6,70%	21,42%
10-20 °C	Kamp01	#56353	5,01%	20,96%
20-30 °C	Kamp01	#41047	3,92%	18,33%
30-40 °C	Kamp01	#22995	3,34%	18,46%

Abb. C-12: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Schienentemperatur) Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



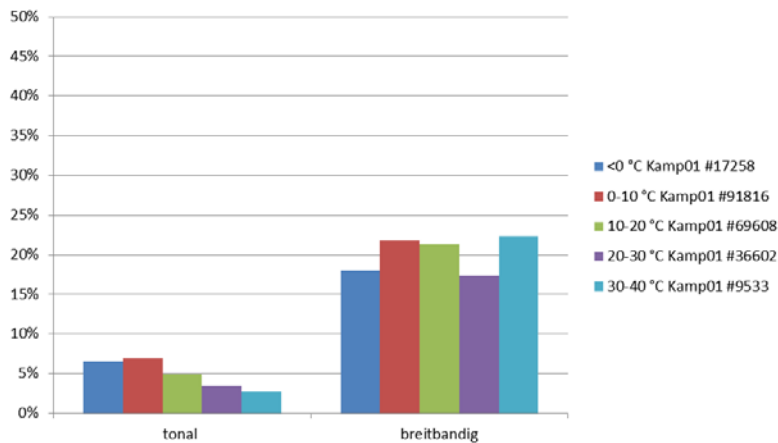
Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp02	#0		
0-10 °C	Kamp02	#260	0,00%	12,69%
10-20 °C	Kamp02	#27826	0,29%	8,80%
20-30 °C	Kamp02	#17296	0,18%	7,72%
30-40 °C	Kamp02	#9215	0,30%	9,15%

Abb. C-13: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Schienentemperatur) Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn



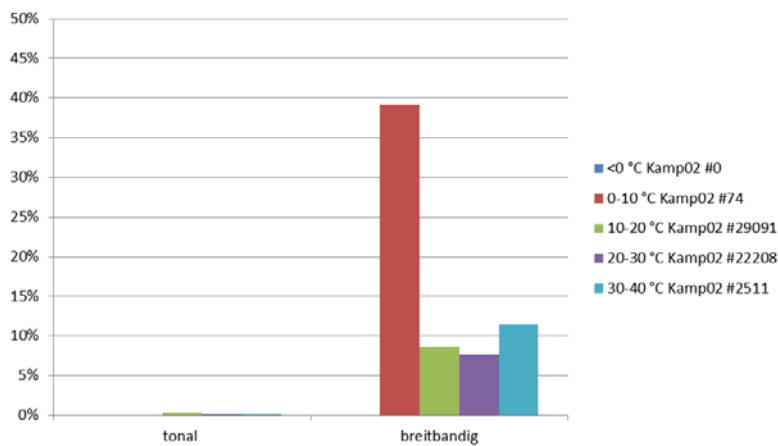
Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp03	#0		
0-10 °C	Kamp03	#3108	1,54%	9,72%
10-20 °C	Kamp03	#29743	1,25%	19,66%
20-30 °C	Kamp03	#3532	1,70%	30,24%
30-40 °C	Kamp03	#2532	0,59%	21,01%

Abb. C-14: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Schienentemperatur) Messkampagne 3, Mürrzuslag, Südbahn



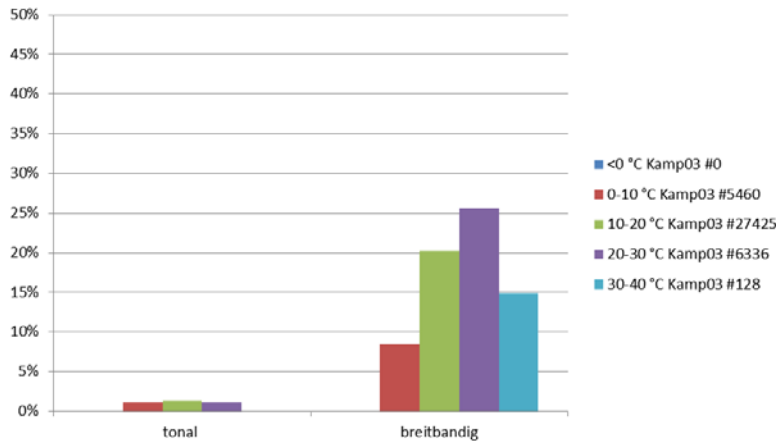
Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp01	#17258	6,54%	18,00%
0-10 °C	Kamp01	#91816	6,96%	21,80%
10-20 °C	Kamp01	#69608	4,95%	21,30%
20-30 °C	Kamp01	#36602	3,39%	17,40%
30-40 °C	Kamp01	#9533	2,69%	22,31%

Abb. C-15: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Lufttemperatur) Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp02	#0		
0-10 °C	Kamp02	#74	0,00%	39,19%
10-20 °C	Kamp02	#29091	0,32%	8,65%
20-30 °C	Kamp02	#22208	0,16%	7,68%
30-40 °C	Kamp02	#2511	0,16%	11,43%

Abb. C-16: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Lufttemperatur) Messkampagne 2, Eichgraben, Westbahn



Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	Kamp03	#0		
0-10 °C	Kamp03	#5460	1,12%	8,41%
10-20 °C	Kamp03	#27425	1,30%	20,24%
20-30 °C	Kamp03	#6336	1,17%	25,63%
30-40 °C	Kamp03	#128	0,00%	14,84%

Abb. C-17: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten für unterschiedliche Temperaturbereiche (Lufttemperatur) Messkampagne 3, Mürzzuschlag, Südbahn

C.4 Niederschlag

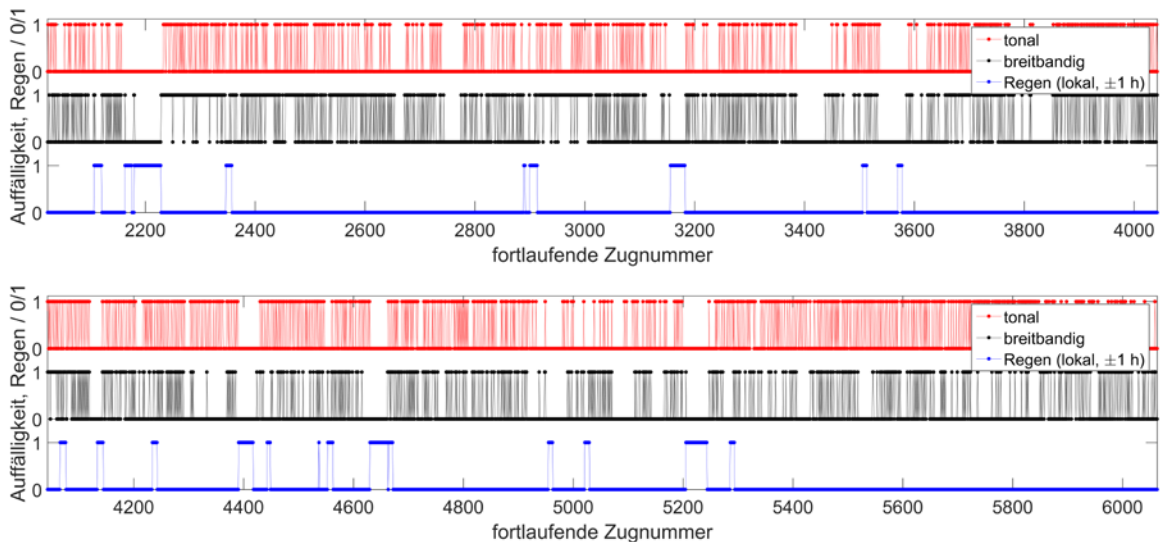


Abb. C-18: zeitlicher Verlauf des Auftretens von Einzelfahrten (alle Kategorien) mit/ohne tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten sowie der Angabe ob die Fahrten im Bereich „mit Regen“ (Regendetektion ± 1 h) liegen, Messkampagne 1 Kleinschwechat, S7 (ZugNr. 2022-6063)

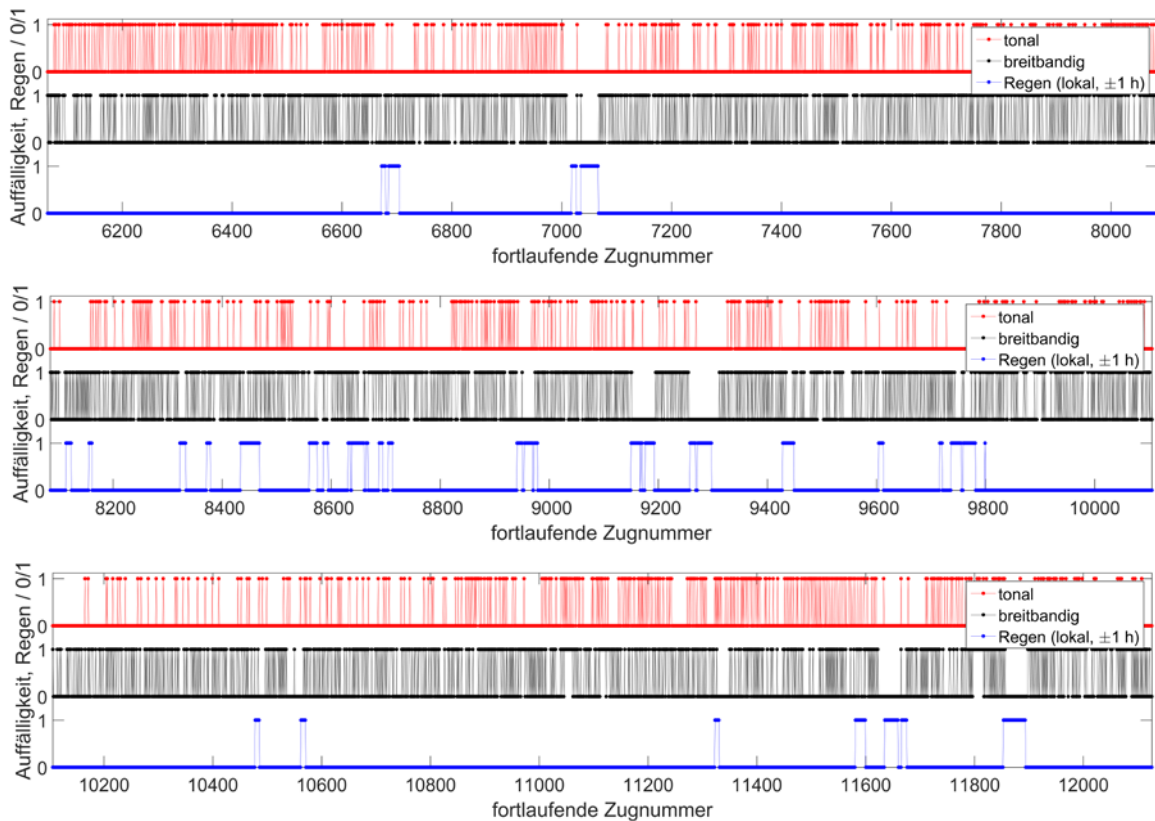


Abb. C-19: zeitlicher Verlauf des Auftretens von Einzelfahrten (alle Kategorien) mit/ohne tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten sowie der Angabe ob die Fahrten im Bereich „mit Regen“ (Regendetektion ± 1 h) liegen, Messkampagne 1 Kleinschwechat, S7 (ZugNr. 6064-12126)

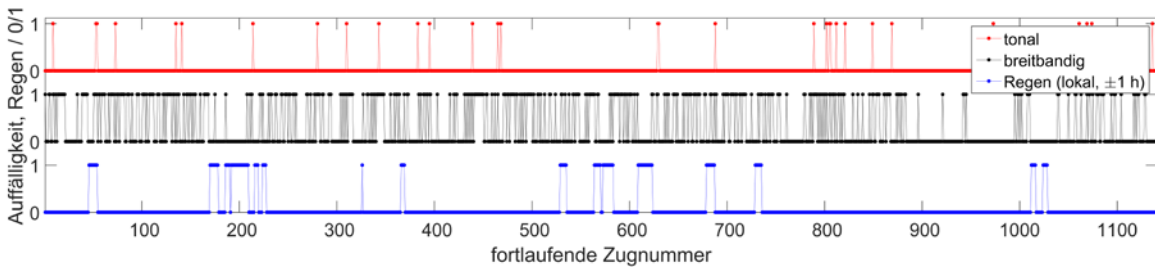


Abb. C- 20: zeitlicher Verlauf des Auftretens von Einzelfahrten (alle Kategorien) mit/ohne tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten sowie der Angabe ob die Fahrten im Bereich „mit Regen“ (Regendetektion ± 1 h) liegen, Messkampagne 2 Eichgraben, Westbahn

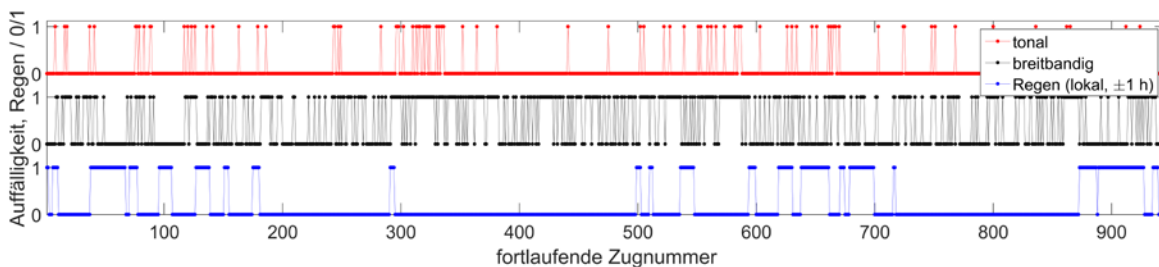
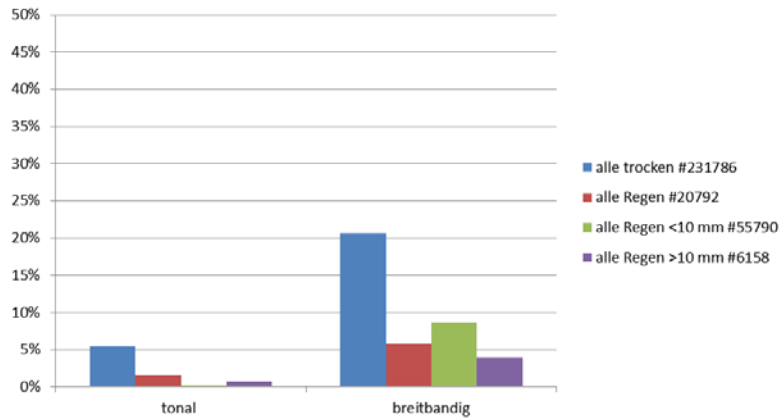
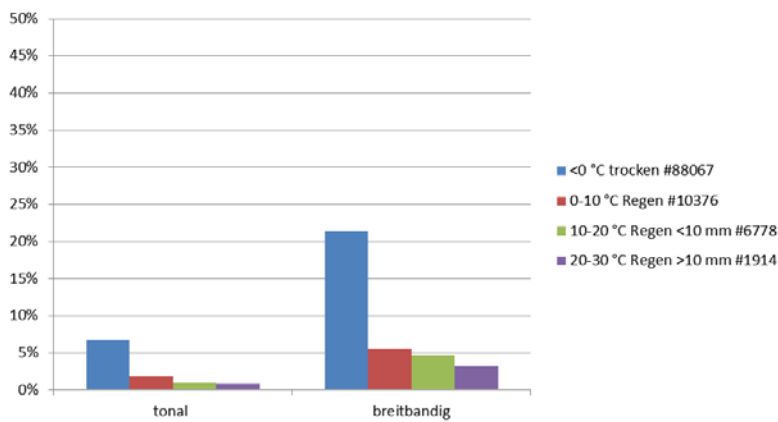


Abb. C-21: zeitlicher Verlauf des Auftretens von Einzelfahrten (alle Kategorien) mit/ohne tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten sowie der Angabe ob die Fahrten im Bereich „mit Regen“ (Regendetektion ± 1 h) liegen, Messkampagne 3 Mürzzuschlag, Südbahn



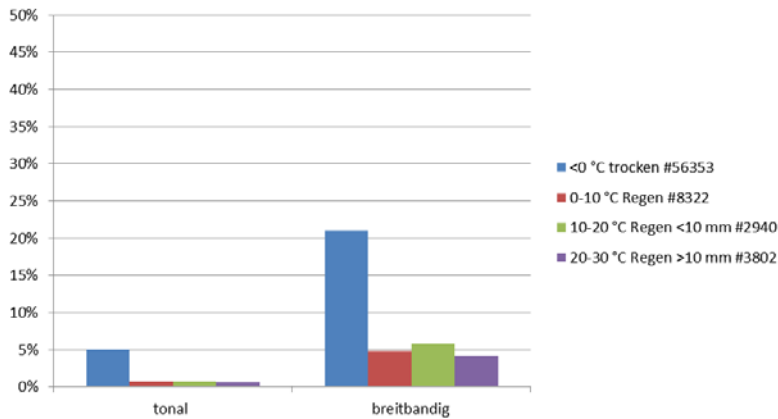
Temperatur	Regen	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
alle	trocken	#231786	5,50%	20,65%
alle	Regen	#20792	1,65%	5,82%
alle	Regen <10 mm	#55790	0,25%	8,62%
alle	Regen >10 mm	#6158	0,80%	3,95%

Abb. C-22: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; alle Temperaturen; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



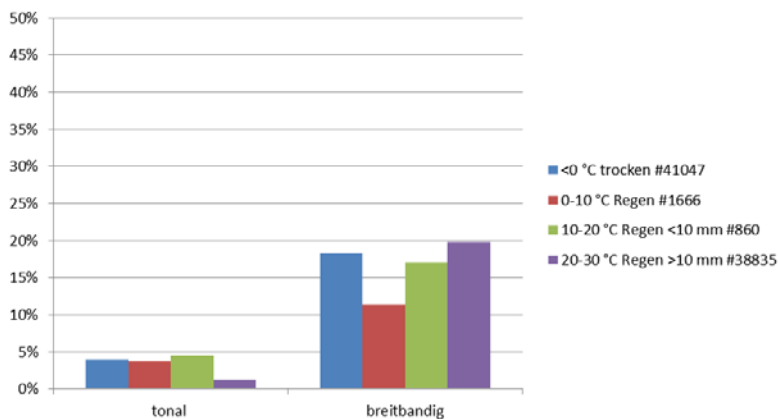
Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	trocken	#88067	6,70%	21,42%
0-10 °C	Regen	#10376	1,82%	5,52%
10-20 °C	Regen <10 mm	#6778	1,00%	4,74%
20-30 °C	Regen >10 mm	#1914	0,89%	3,19%

Abb. C-23: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Temperaturbereich: 0-10°C; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



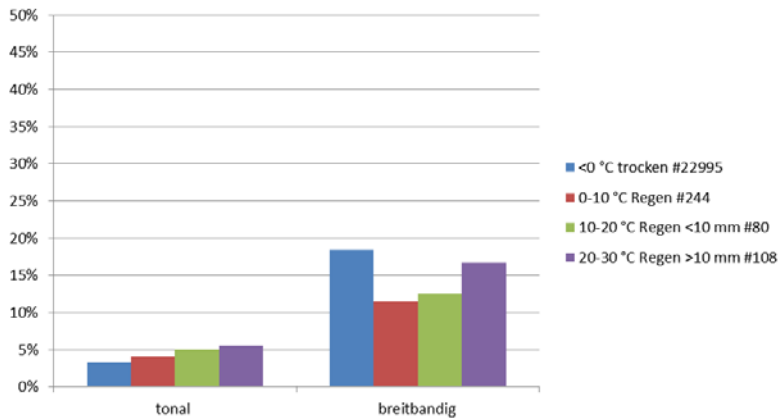
Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	trocken	#56353	5,01%	20,96%
0-10 °C	Regen	#8322	0,71%	4,87%
10-20 °C	Regen <10 mm	#2940	0,75%	5,75%
20-30 °C	Regen >10 mm	#3802	0,68%	4,13%

Abb. C-24: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Temperaturbereich: 10-20°C; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	trocken	#41047	3,92%	18,33%
0-10 °C	Regen	#1666	3,78%	11,34%
10-20 °C	Regen <10 mm	#860	4,53%	16,98%
20-30 °C	Regen >10 mm	#38835	1,28%	19,77%

Abb. C-25: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Temperaturbereich: 20-30°C; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7



Temperatur	Kampagne	Anzahl Achsen	tonal	breitbandig
<0 °C	trocken	#22995	3,34%	18,46%
0-10 °C	Regen	#244	4,10%	11,48%
10-20 °C	Regen <10 mm	#80	5,00%	12,50%
20-30 °C	Regen >10 mm	#108	5,56%	16,67%

Abb. C-26: Anteil der Achsen mit tonalen und breitbandigen Auffälligkeiten ohne Regen, mit Regen sowie mit Regen und zusätzlich eingeschränkt auf die Tagesgesamtmenge <10 mm und >10 mm; Temperaturbereich: 30-40°C; Messkampagne 1, Kleinschwechat, S7

Anhang D Differenzspektren zum Vergleich der verschiedenen Mikrofonpositionen

D.1 Manuell bewertete Vorbeifahrten der Stichprobe (Messkampagne 1)

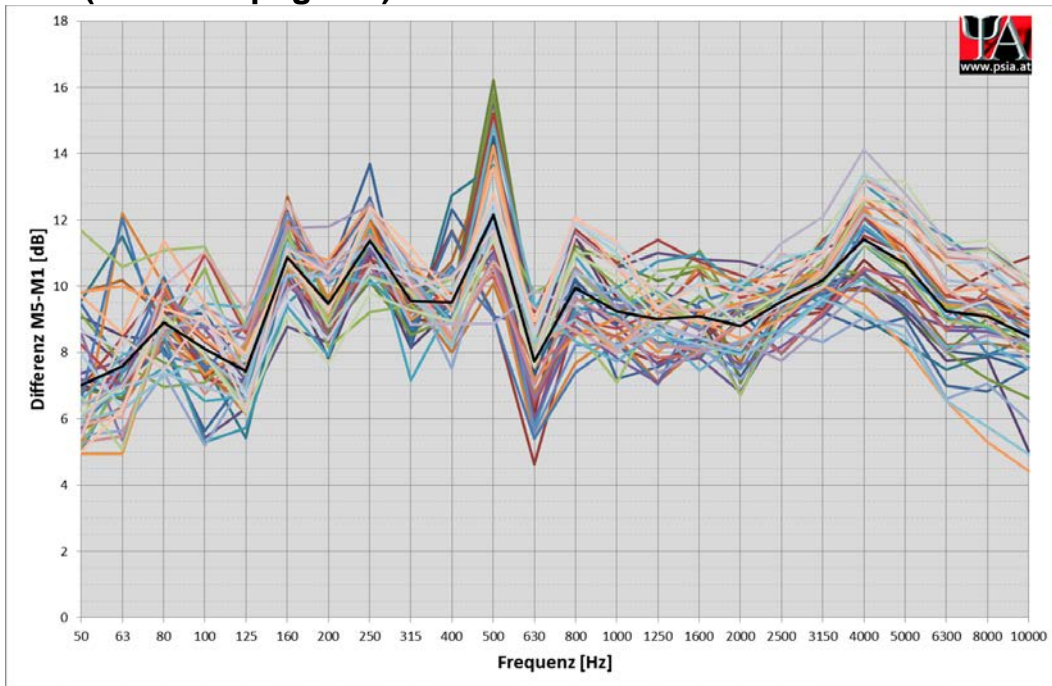


Abb. D-1: Differenz der Terzspektren (M5 – M1) für die Kategorie S4024 ohne Auffälligkeiten, gemittelte Korrekturfaktoren je Terzband (schwarz)

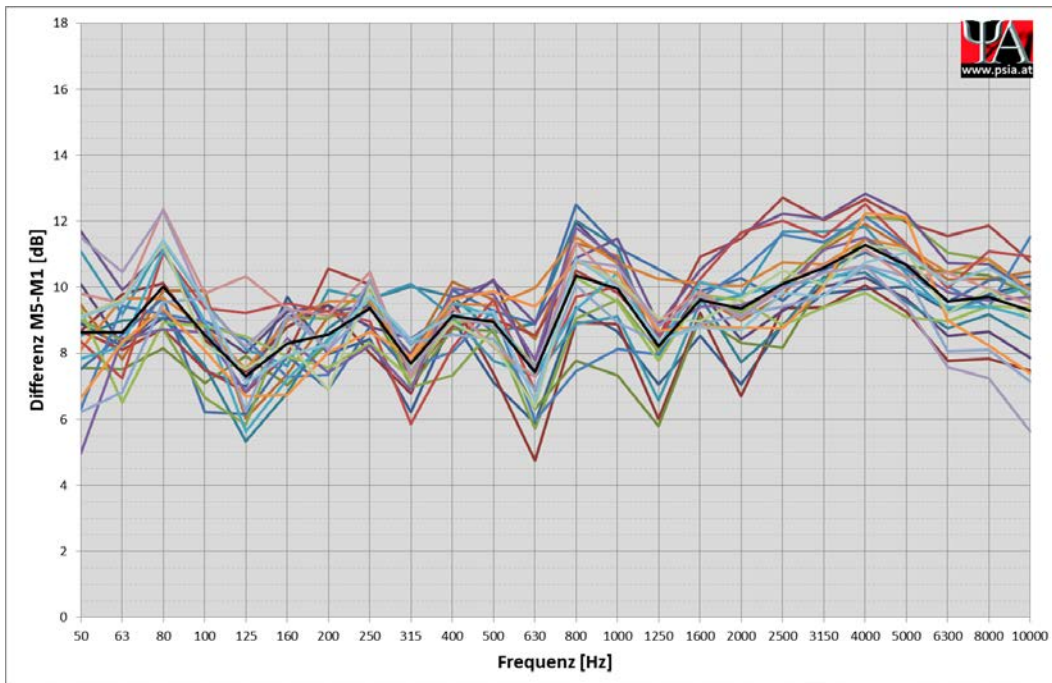


Abb. D-2: Differenz der Terzspektren (M5 – M1) für die Kategorie S4020 ohne Auffälligkeiten, gemittelte Korrekturfaktoren je Terzband (schwarz)

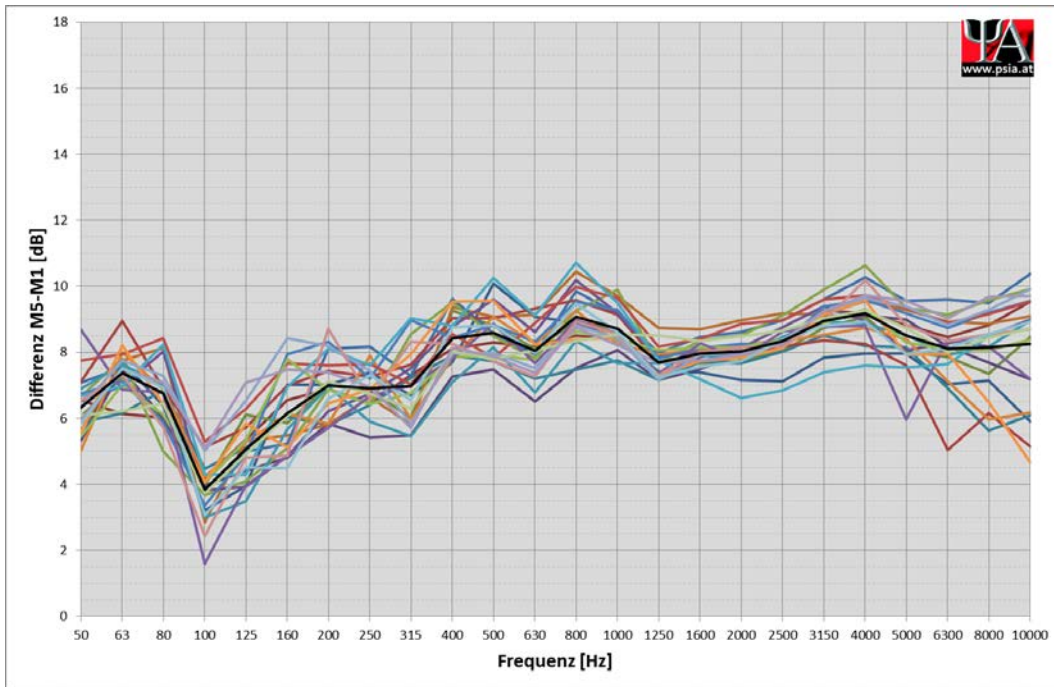


Abb. D-3: Differenz der Terzspektren (M5 – M1) für die Kategorie Güter ohne Auffälligkeiten, gemittelte Korrekturfaktoren je Terzband (schwarz)

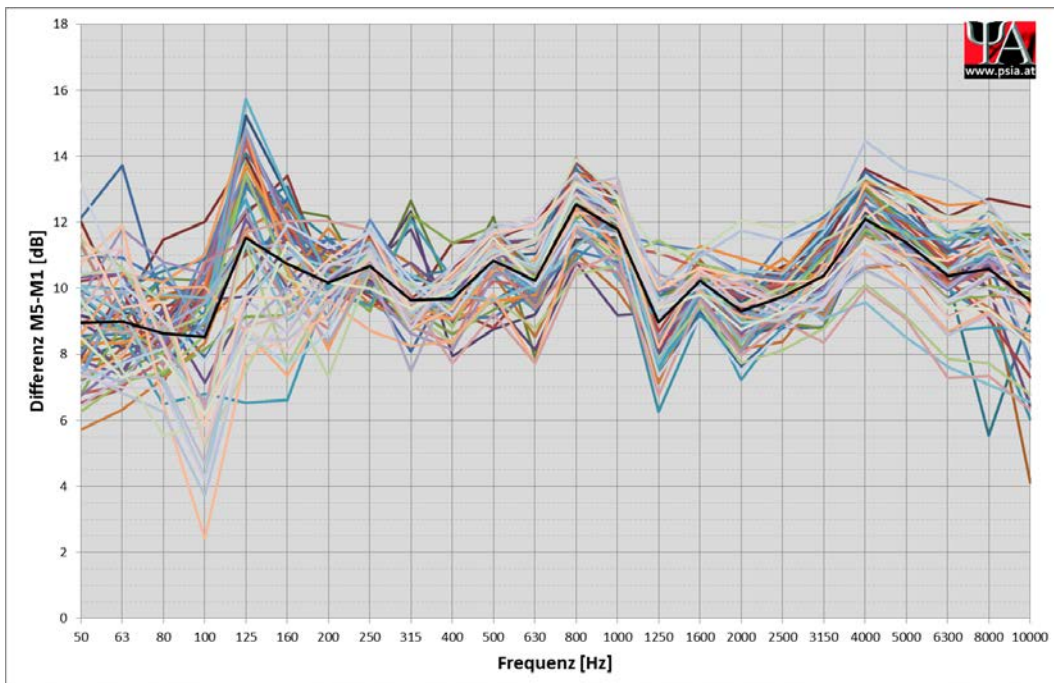


Abb. D-4: Differenz der Terzspektren (M5 – M1) für die Kategorie 80-33 (CAT) ohne Auffälligkeiten, gemittelte Korrekturfaktoren je Terzband (schwarz)

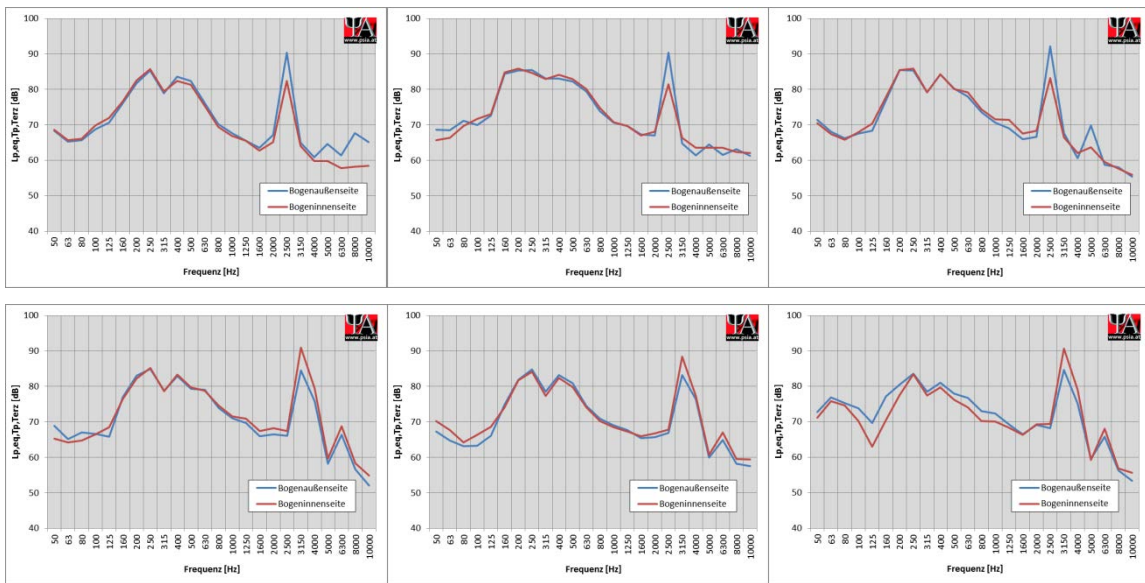


Abb. D-5: Vergleich Einzelfahrten Kat. 80-33 im Hörversuch als „quietschend“ klassifiziert, Terzspektren M1 (blau) und M5_korrigiert (rot), oben: tonale Auffälligkeiten an der Bogenaußenseite; unten: tonale Auffälligkeiten an der Bogenninnenseite

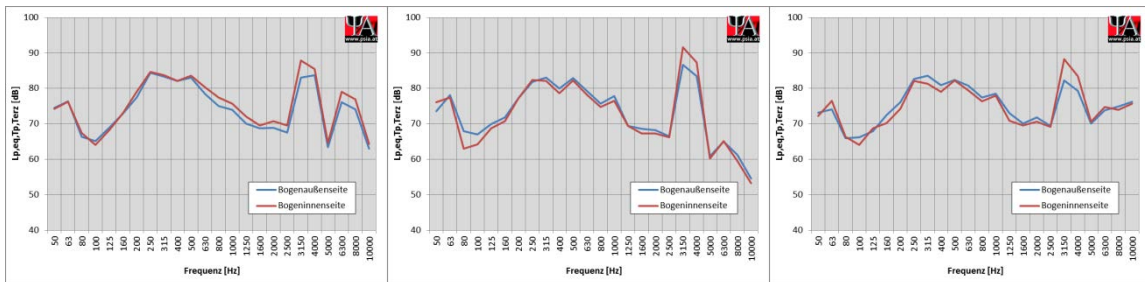


Abb. D-6: Vergleich Einzelfahrten Kat. 80-33 im Hörversuch als „quietschend“ klassifiziert, Terzspektren M1 (blau) und M5_korrigiert (rot), tonale Auffälligkeiten an der Bogenninnenseite

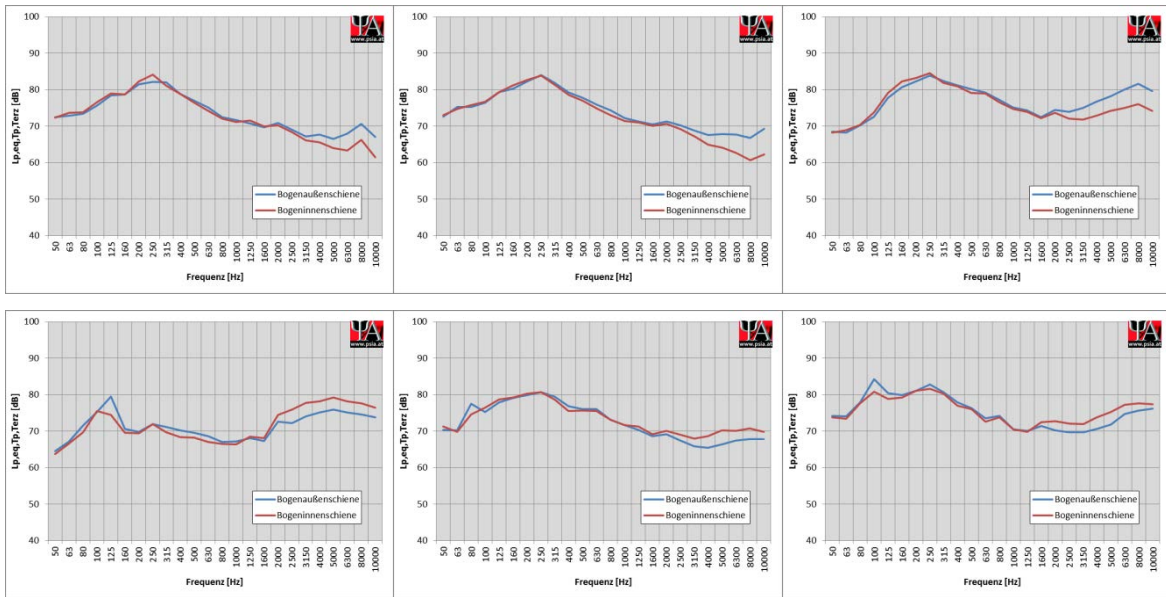


Abb. D-7: Vergleich Einzelfahrten Kat. Güter im Hörversuch als „kreisend“ klassifiziert, Terzspektren M1 (blau) und M5_korrigiert (rot) oben: breitbandige Auffälligkeiten an der Bogenaußenseite; unten: breitbandige Auffälligkeiten an der Bogeninnenseite

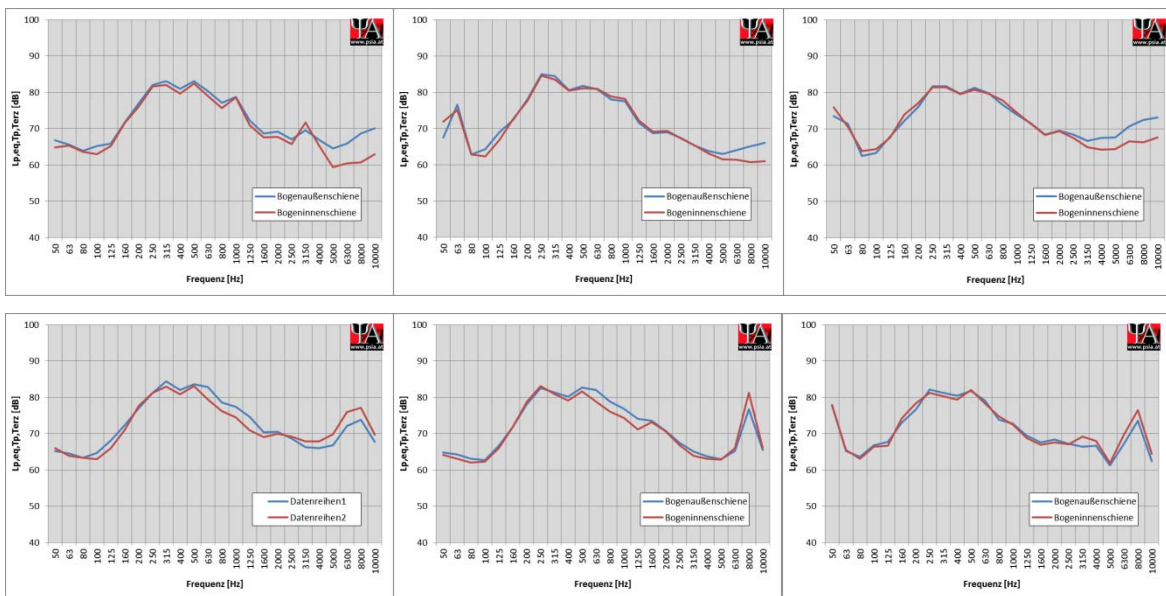


Abb. D-8: Vergleich Einzelfahrten Kat. S4020 im Hörversuch als „kreisend“ klassifiziert, Terzspektren M1 (blau) und M5_korrigiert (rot) oben: breitbandige Auffälligkeiten an der Bogenaußenseite; unten: breitbandige Auffälligkeiten an der Bogeninnenseite

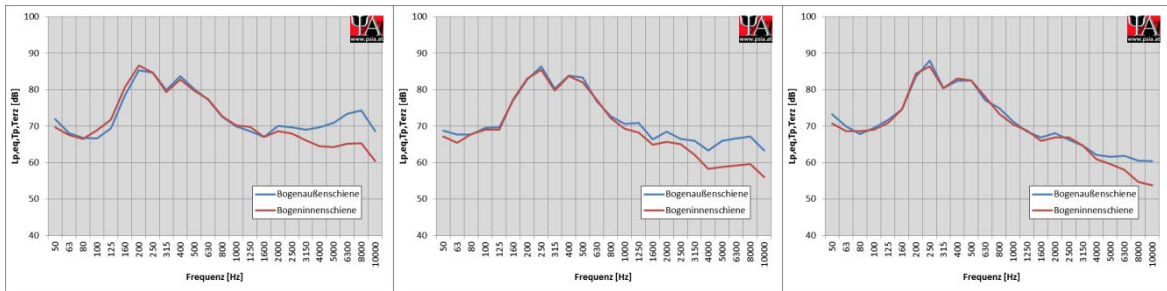


Abb. D-9: Vergleich Einzelfahrten Kat. 80-33 (CAT) im Hörversuch als „kreischend“ klassifiziert, Terzspektren M1 (blau) und M5_korrigiert (rot) oben: breitbandige Auffälligkeiten an der Bogenaußenseite; unten: breitbandige Auffälligkeiten an der Bogeninnenseite

D.2 Automatische Erkennung der Vorbeifahrten aller Messkampagnen

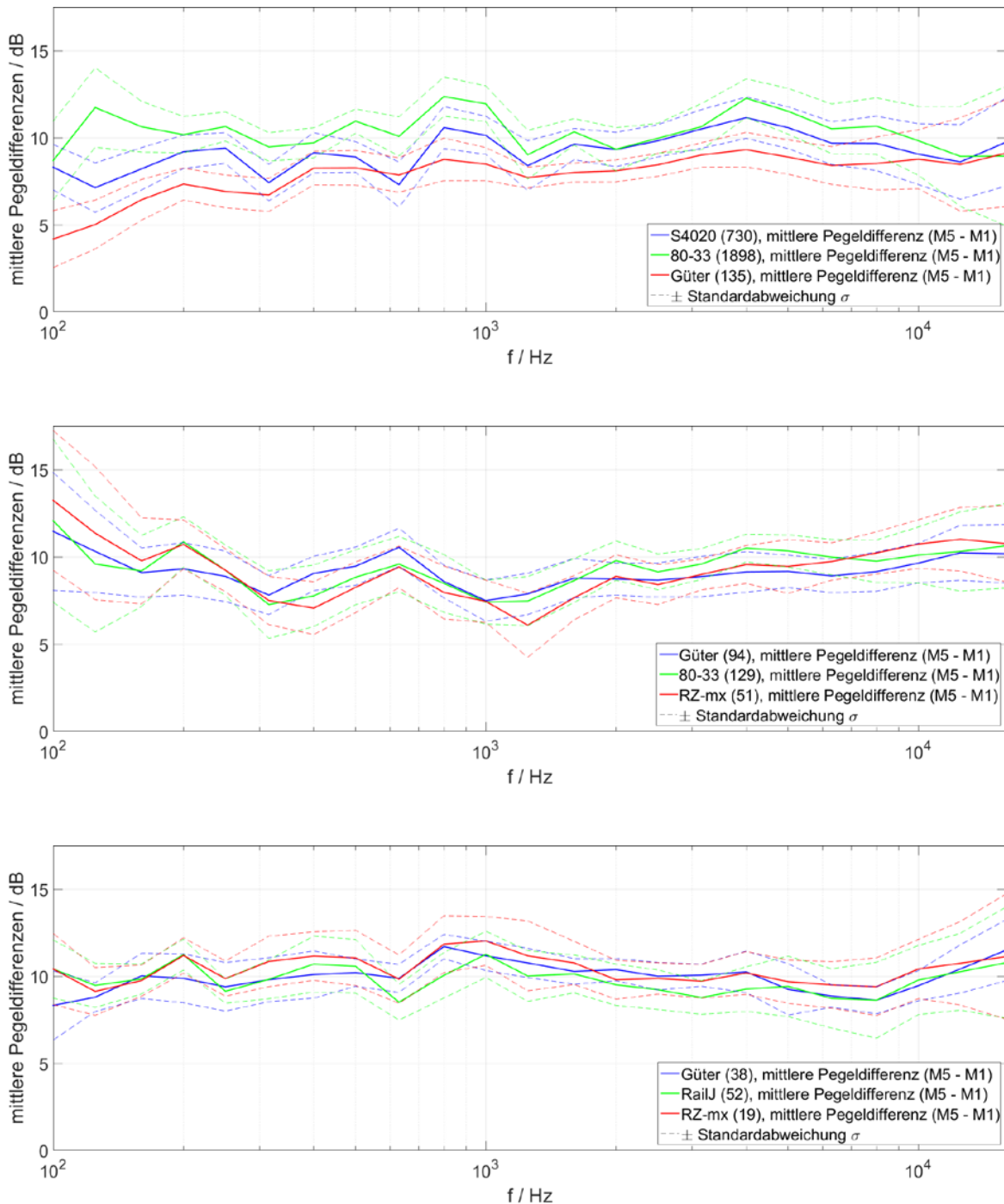


Abb. D-10: mittlere Differenzen (inkl. jeweiliger Standardabweichungen) der Terzspektren von Mikrophon M5 zwischen den Gleisen (2,25 m / 0,5 m über SOK) und der Terzspektren des Mikrophon M1 am Standardmesspunkt neben der Strecke (7,5 m / 1,2 m über SOK) für Vorbeifahrten ohne tonale, tonal hochfrequente und breitbandige Auffälligkeiten (letztere wurden mit dem sensitiveren Grenzwert von 65 dB identifiziert, um auch geringe, ev. asymmetrisch abstrahlende Auffälligkeiten ausschließen zu können) und bei Ausschluss von Niederschlag: separate Berechnung der drei, jeweils am häufigsten erfassten Zugkategorien für die Messkampagne 1 (oben), 2 (Mitte) und 3 (unten)

Anhang E Zugkategoriebezogene Achsauswertung von breitbandigen Auffälligkeiten

E.1 Messkampagne 1, Kategorie S4020, 12 und 24 Achsen

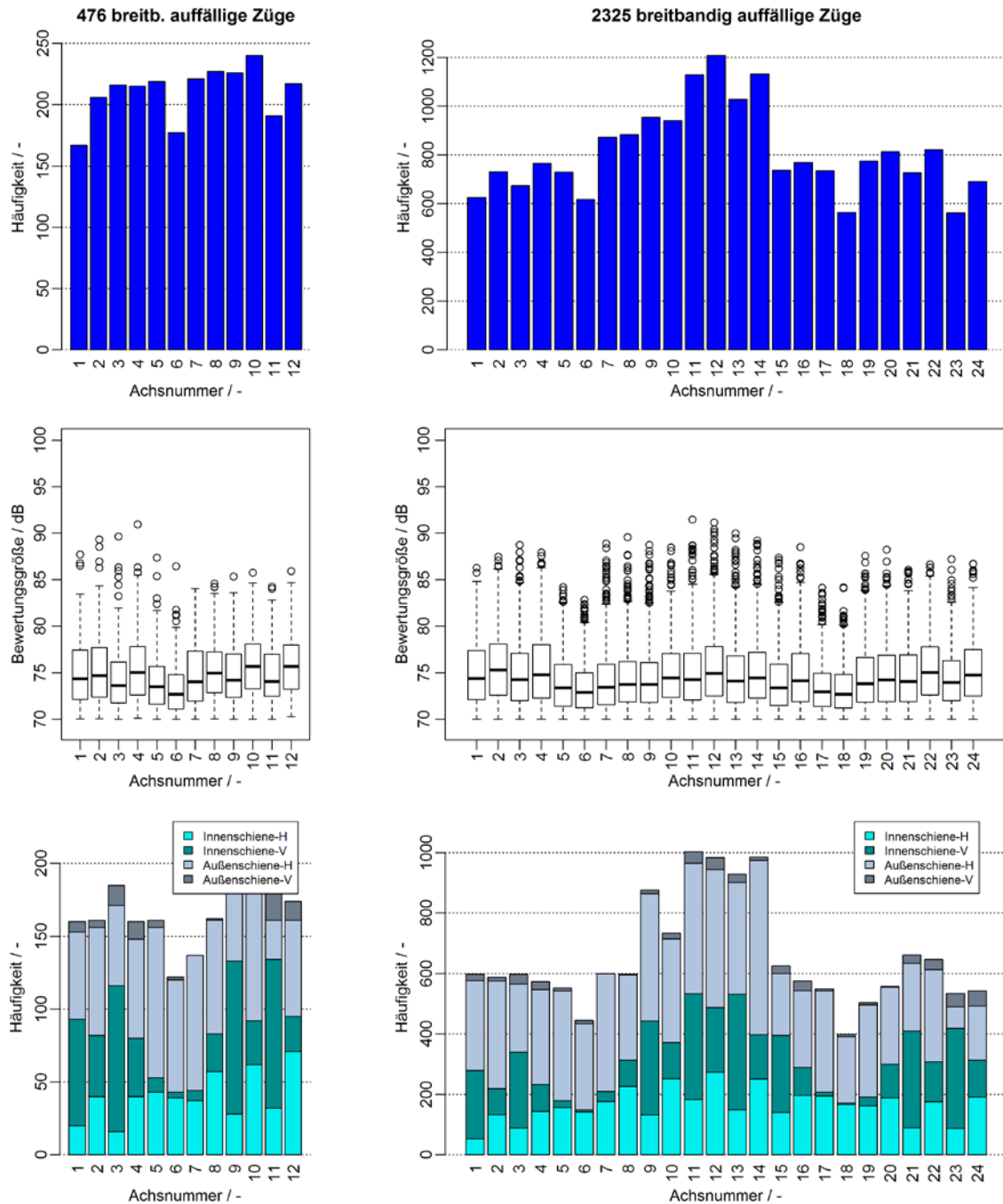


Abb. E-1: achsbezogene Auswertung für 12-achsige (links) und 24-achsige (rechts) Züge der Kategorie S4020 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 45 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

E.2 Messkampagne 1, Kategorie 80-33, 12 und 16 Achsen

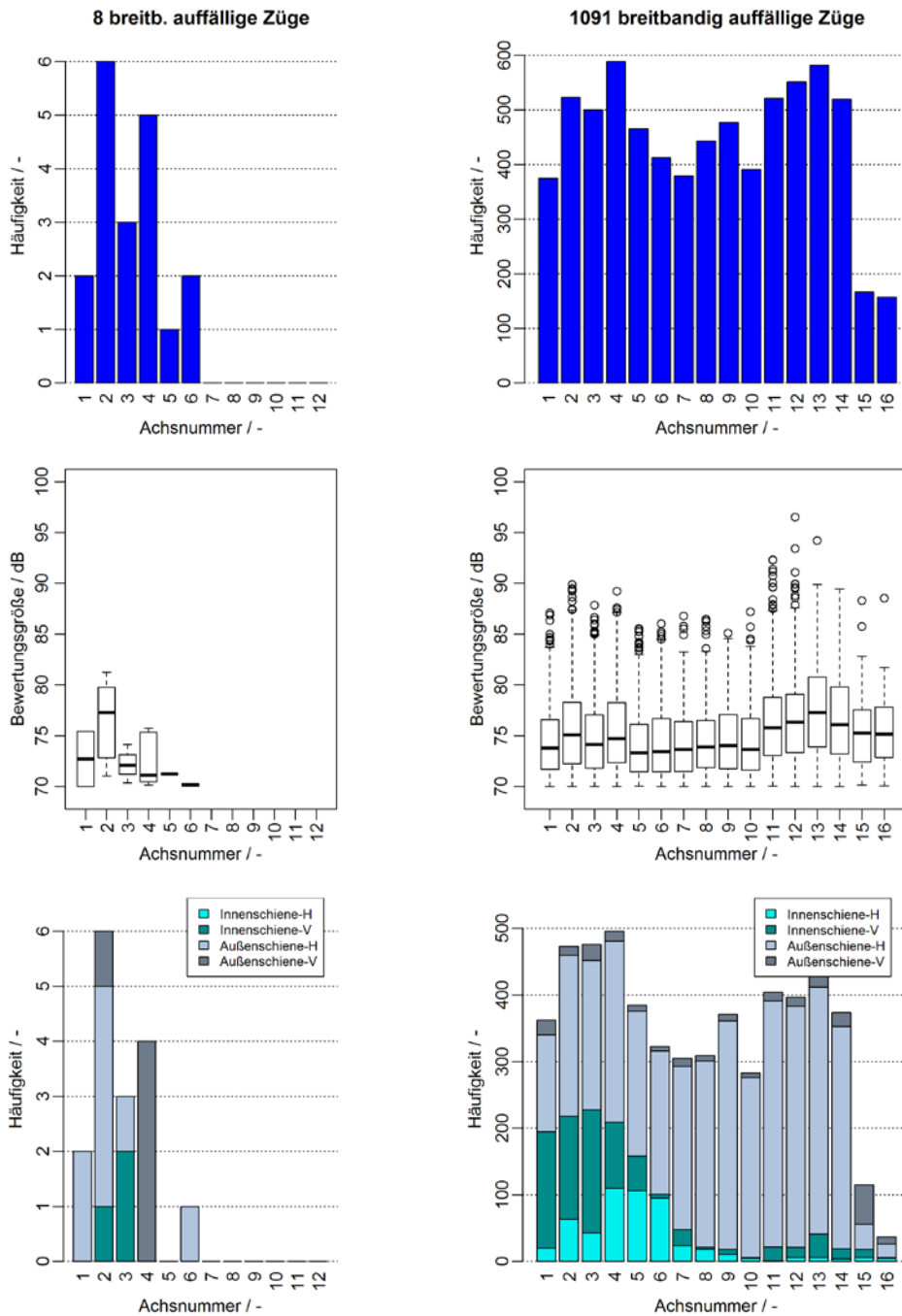


Abb. E-2: achsbezogene Auswertung für 12-achsige (links) und 16-achsige (rechts) Züge der Kategorie 80-33 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 45 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

E.3 Messkampagne 1, Kategorie 80-33, 20 Achsen

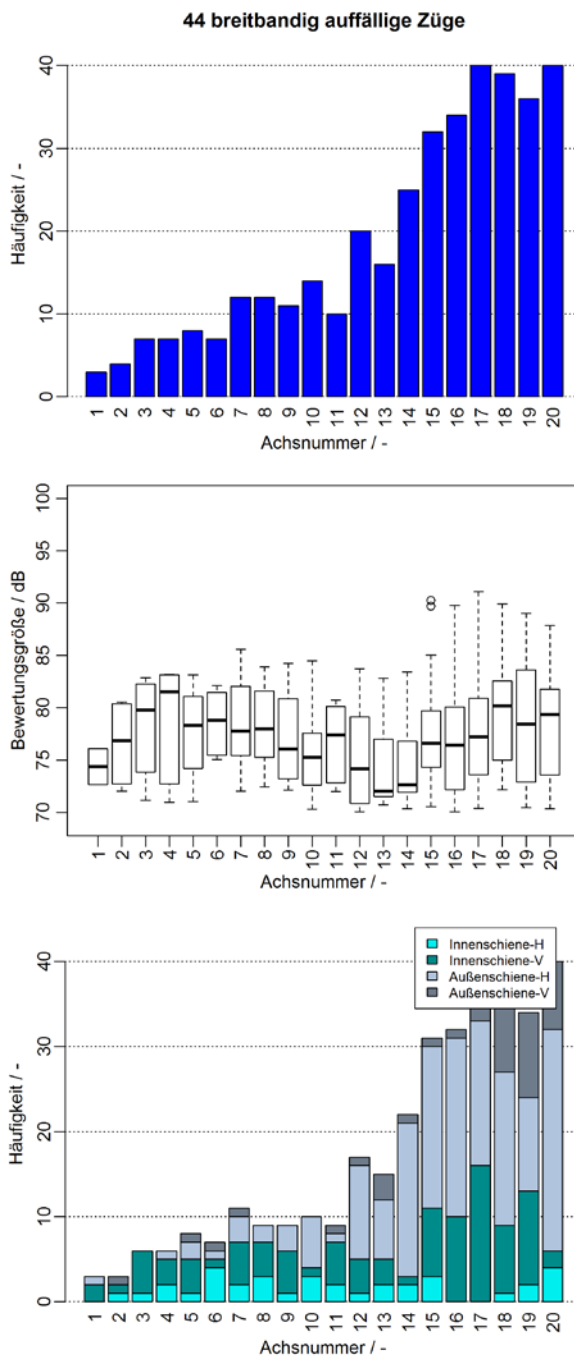


Abb. E-3: achsbezogene Auswertung für 20-achsige Züge der Kategorie 80-33 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 45 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

E.4 Messkampagne 1, Kategorie S4024, 10 und 20 Achsen

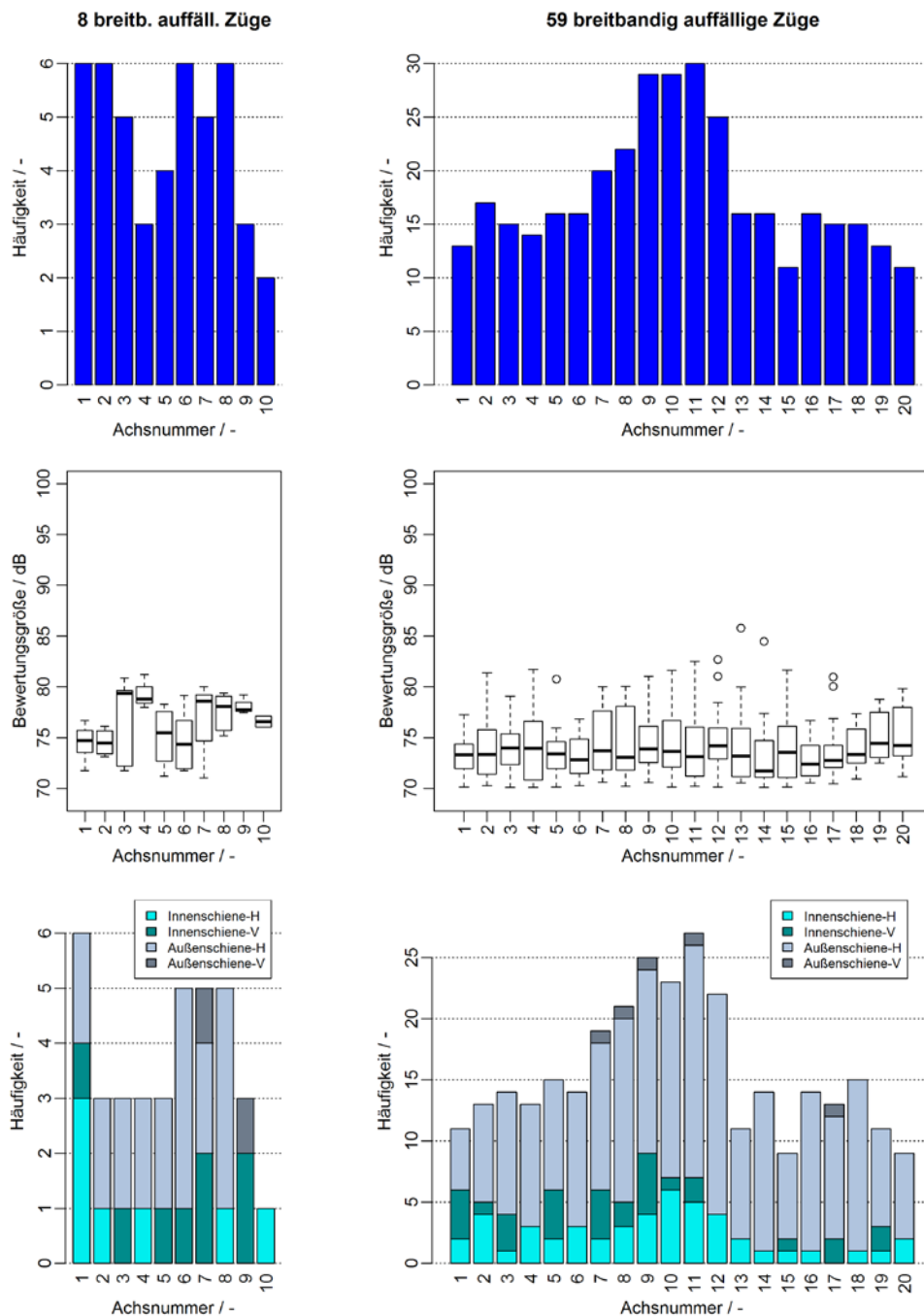


Abb. E-4: achsbezogene Auswertung für 10-achsige (links) und 20-achsige (rechts) Züge der Kategorie S4024 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 45 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

E.5 Messkampagne 2, Kategorie 80-33, 16 und 20 Achsen

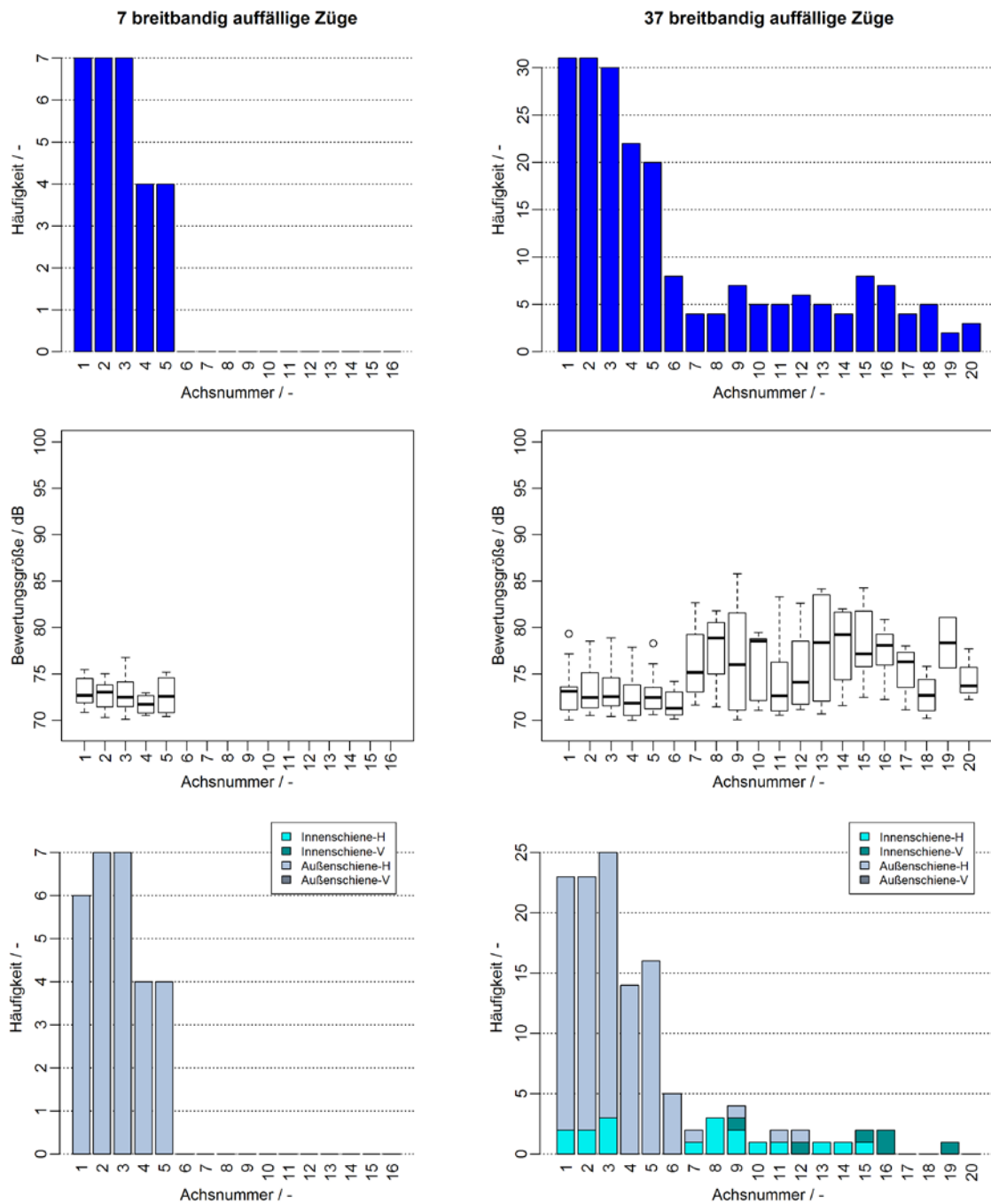


Abb. E-5: achsbezogene Auswertung für 16-achsige (links) und 20-achsige (rechts) Züge der Kategorie 80-33 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 25 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

E.6 Messkampagne 2, Kategorie 80-33, 40 Achsen

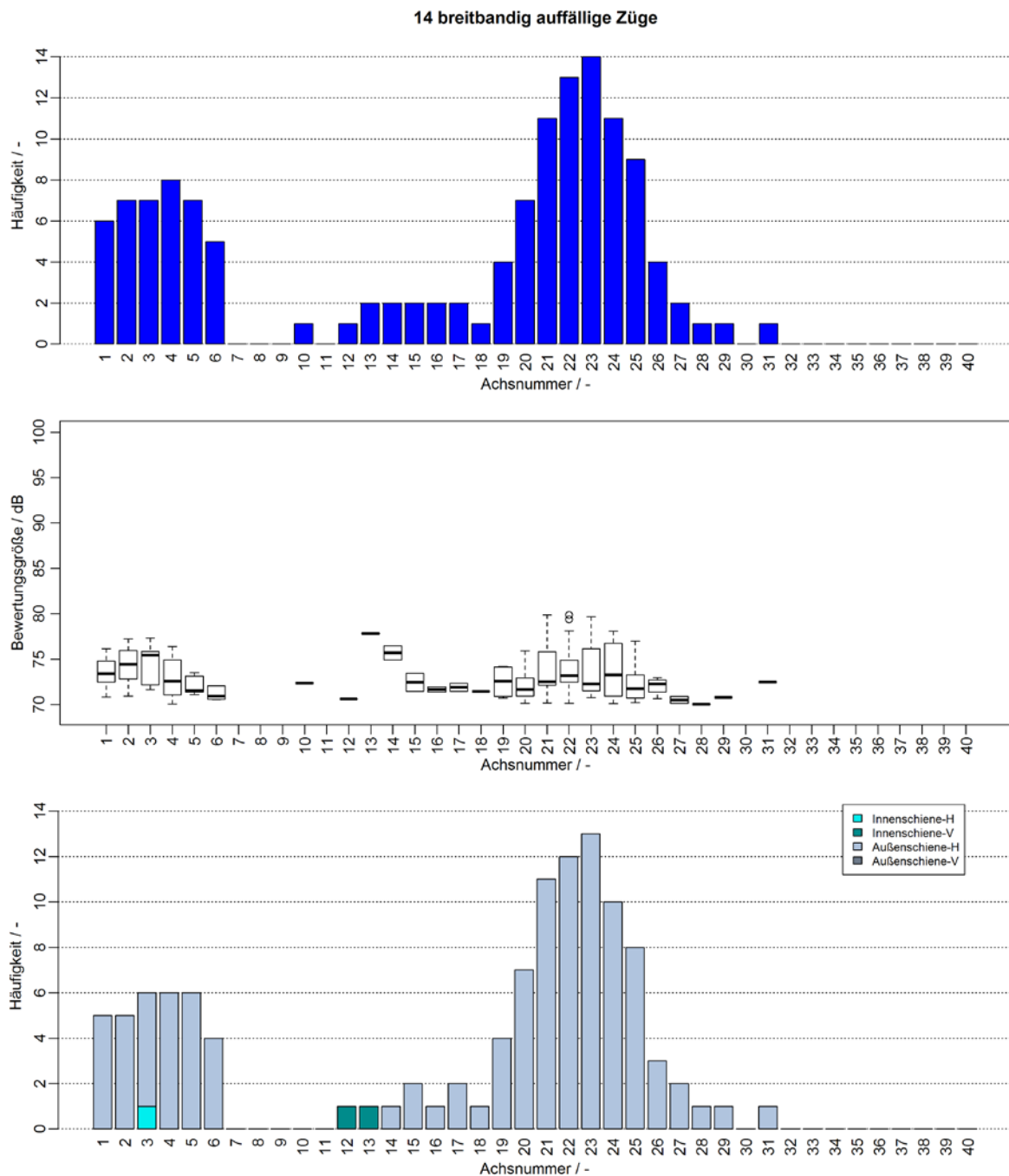


Abb. E-6: achsbezogene Auswertung für 40-achsige Züge der Kategorie 80-33 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 25 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

E.7 Messkampagne 2, Kategorie S4024, 10 Achsen

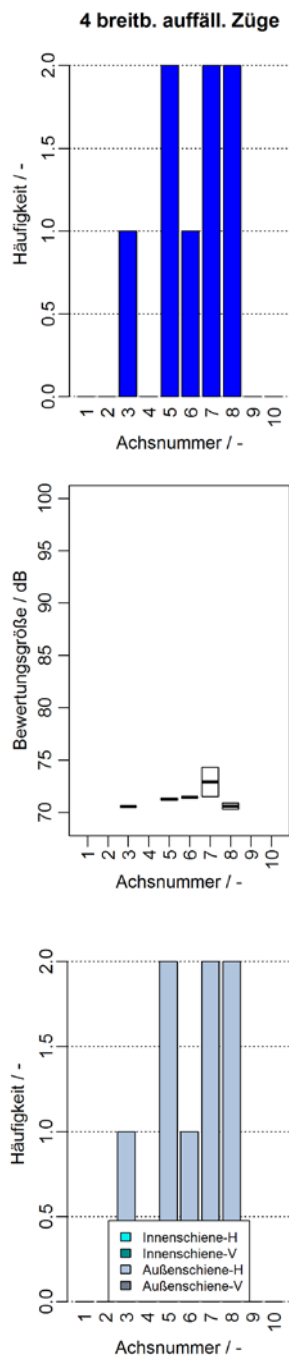


Abb. E-7: achsbezogene Auswertung für 10-achsige Züge der Kategorie S4024 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 25 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

E.8 Messkampagne 3, Kategorie Railjet, 32 Achsen

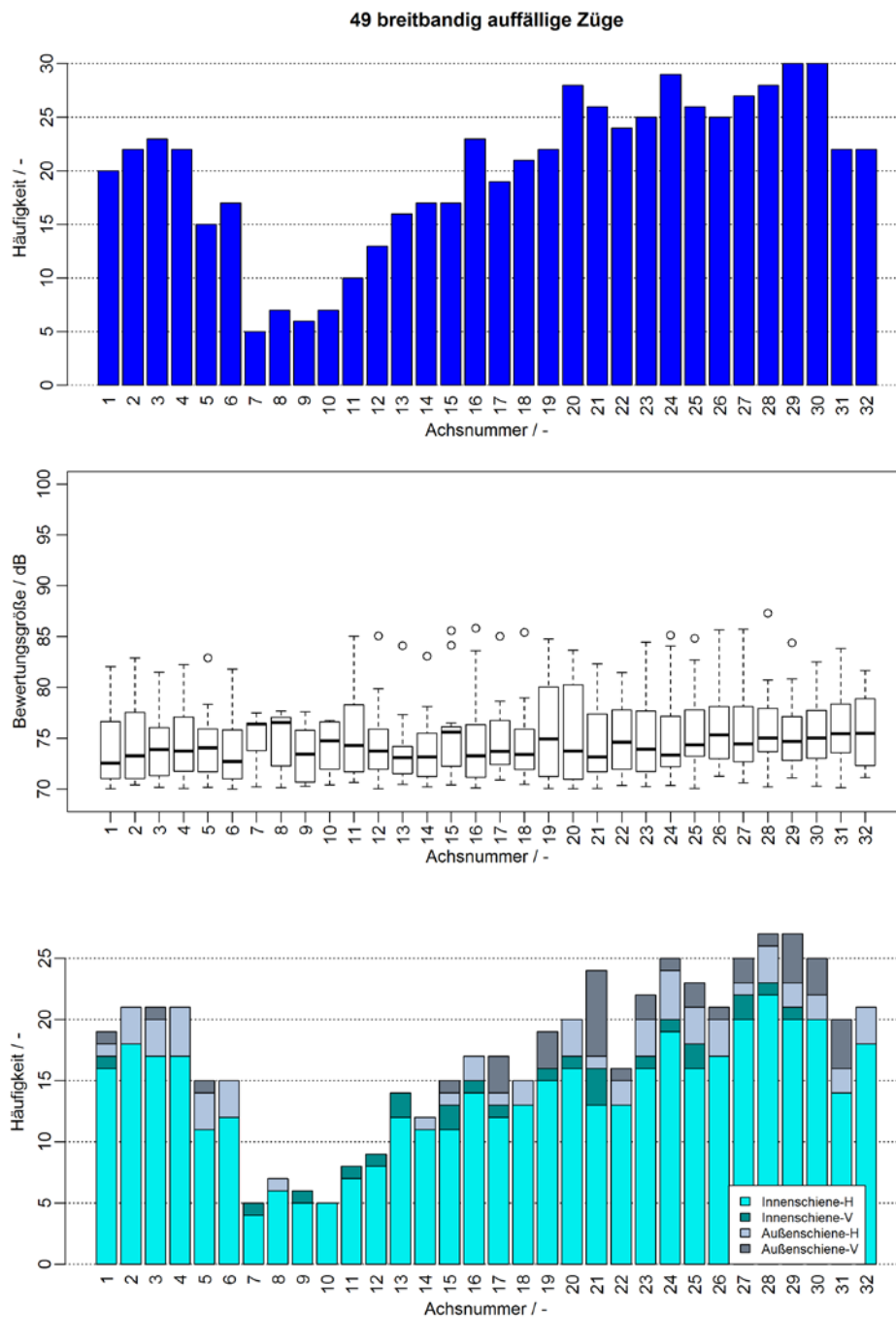


Abb. E-8: achsbezogene Auswertung für 32-achsige Züge der Kategorie Railjet für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten (oben), Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten (vgl. Kap. 3.2.2; Mitte) und für breitbandig auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), deren Bewertungsgrößen die höchsten Werte aufweisen und über dem Grenzwert von 25 dB liegen (vgl. Kap. 4.2; unten)

Anhang F Zugkategoriebezogene Achsauswertung von tonalen Auffälligkeiten

F.1 Messkampagne 1, Kategorie S4020, 12 und 24 Achsen

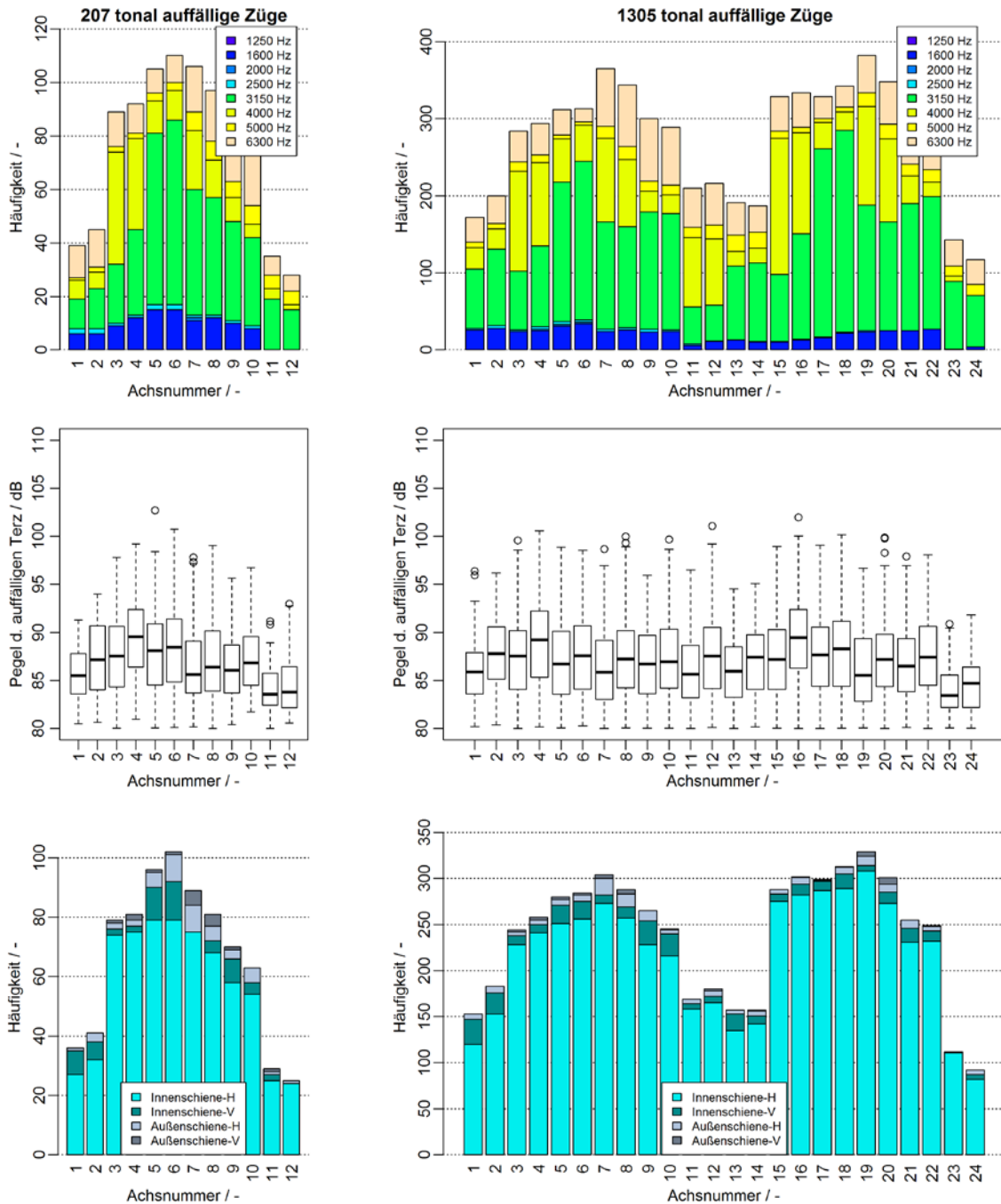


Abb. F-1: achsbezogene Auswertung für 12-achsige (links) und 24-achsige (rechts) Züge der Kategorie S4020 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

F.2 Messkampagne 1, Kategorie 80-33, 12 und 16 Achsen

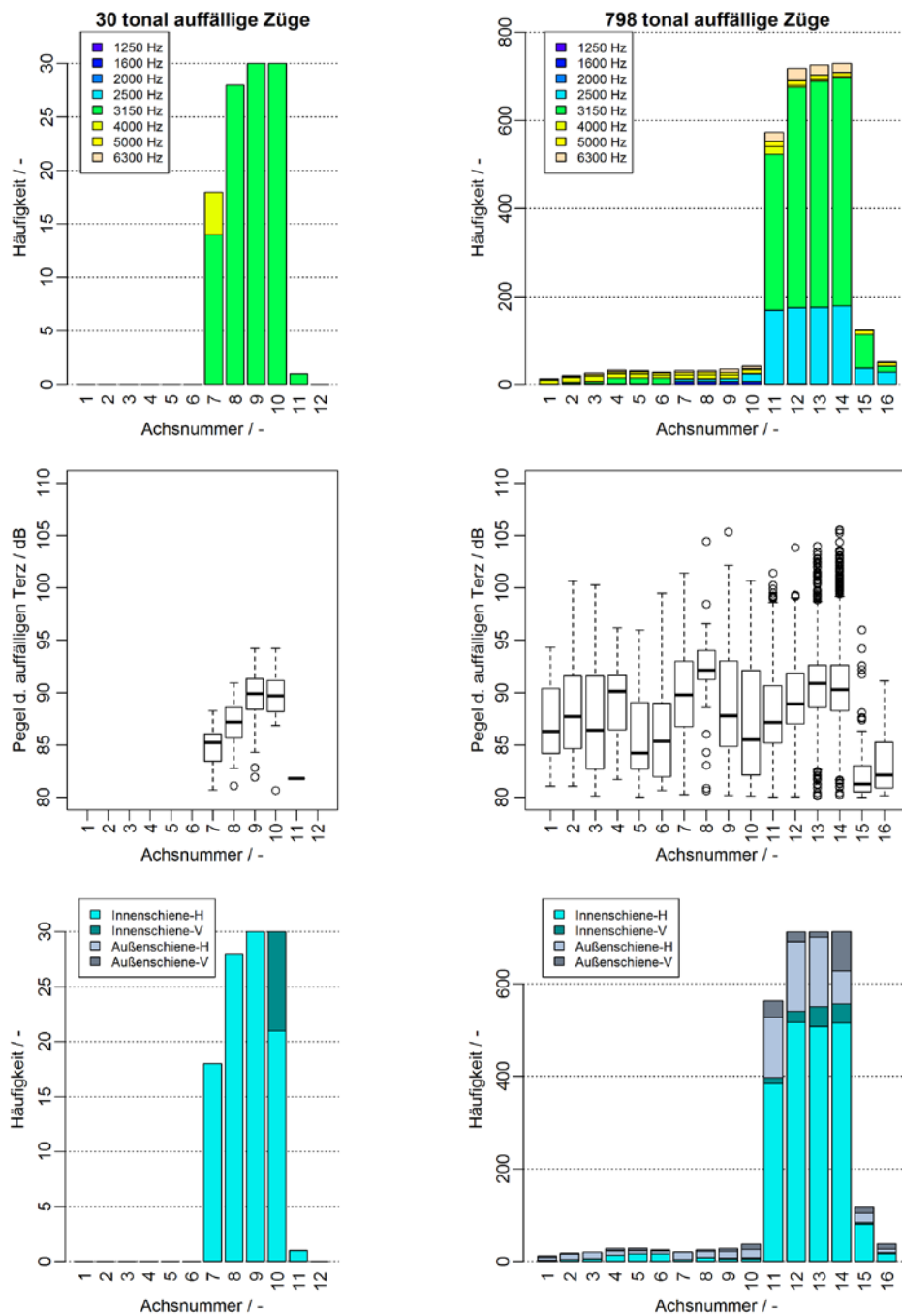


Abb. F-2: achsbezogene Auswertung für 12-achsige (links) und 16achsige (rechts) Züge der Kategorie 80-33 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

F.3 Messkampagne 1, Kategorie 80-33, 20 Achsen

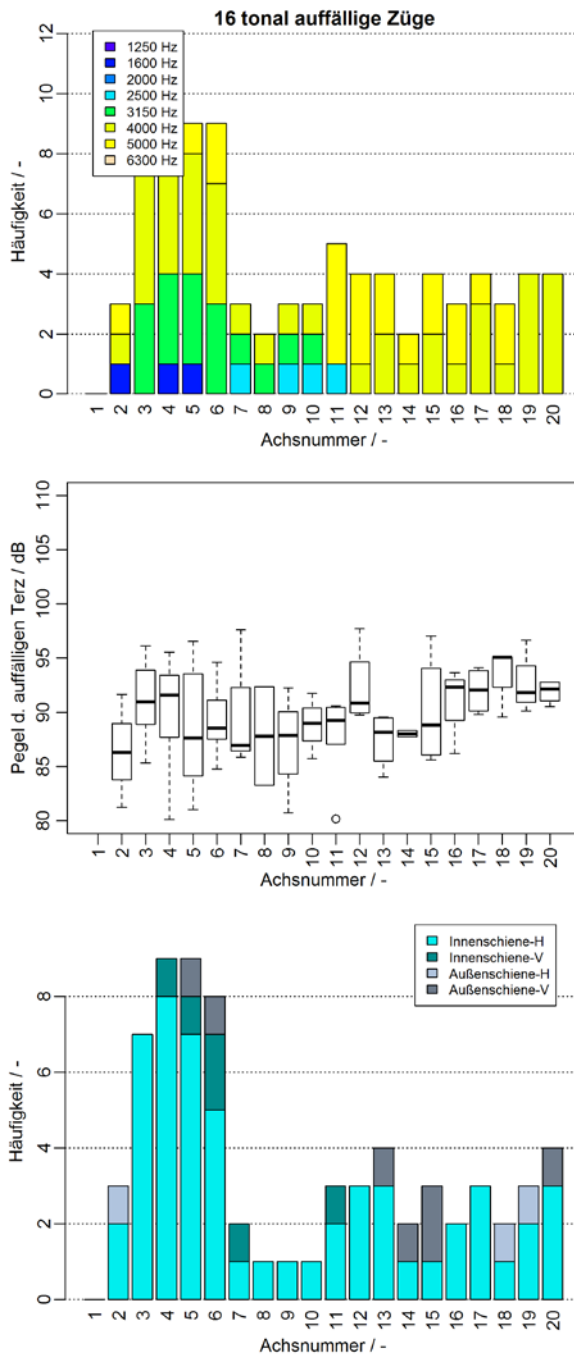


Abb. F-3: achsbezogene Auswertung für 20achsige Züge der Kategorie 80-33 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

F.4 Messkampagne 1, Kategorie S4024, 10 und 20 Achsen

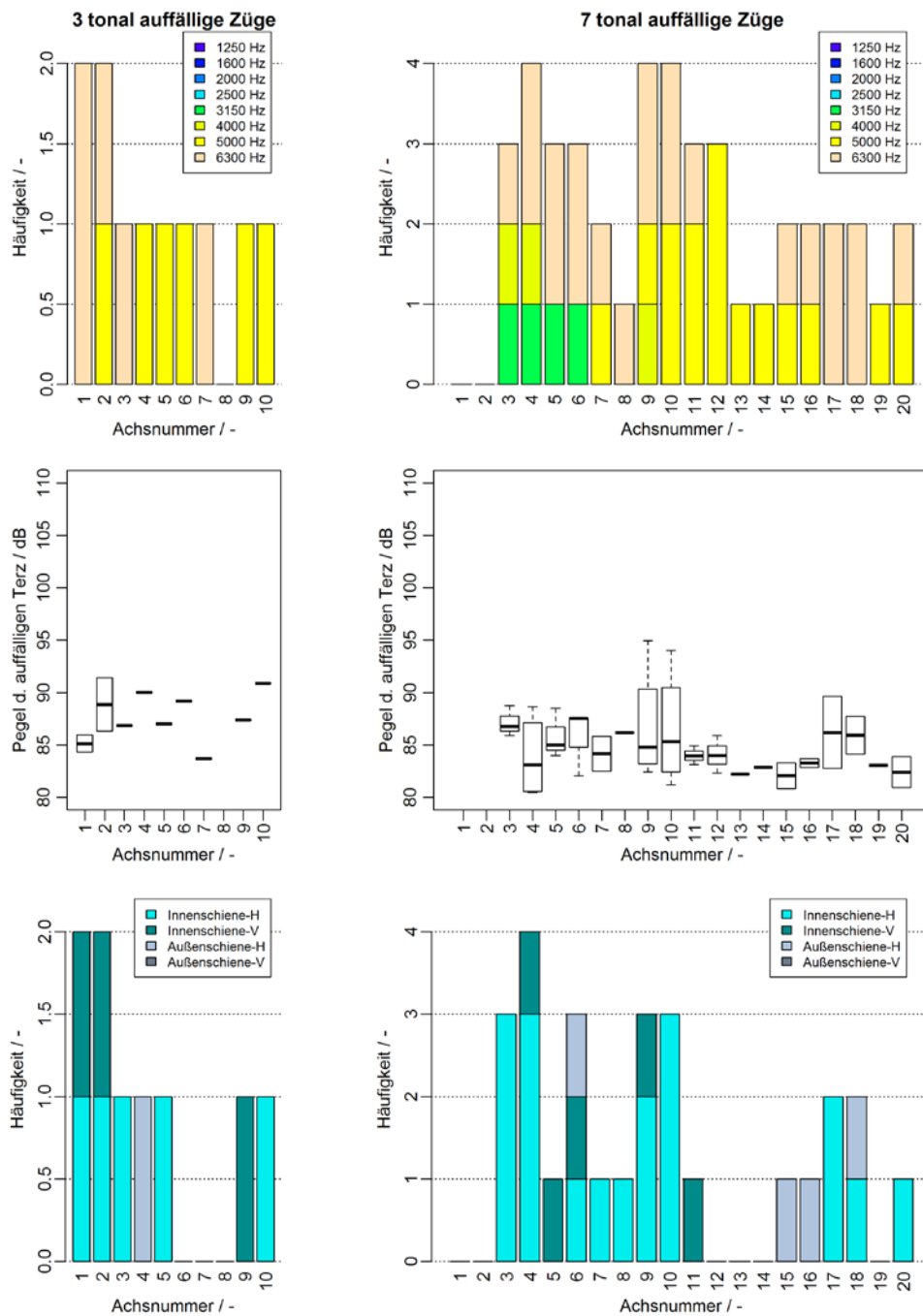


Abb. F-4: achsbezogene Auswertung für 10-achsige (links) und 20-achsige (rechts) Züge der Kategorie S4024 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

F.5 Messkampagne 2, Kategorie 80-33, 16 und 20 Achsen

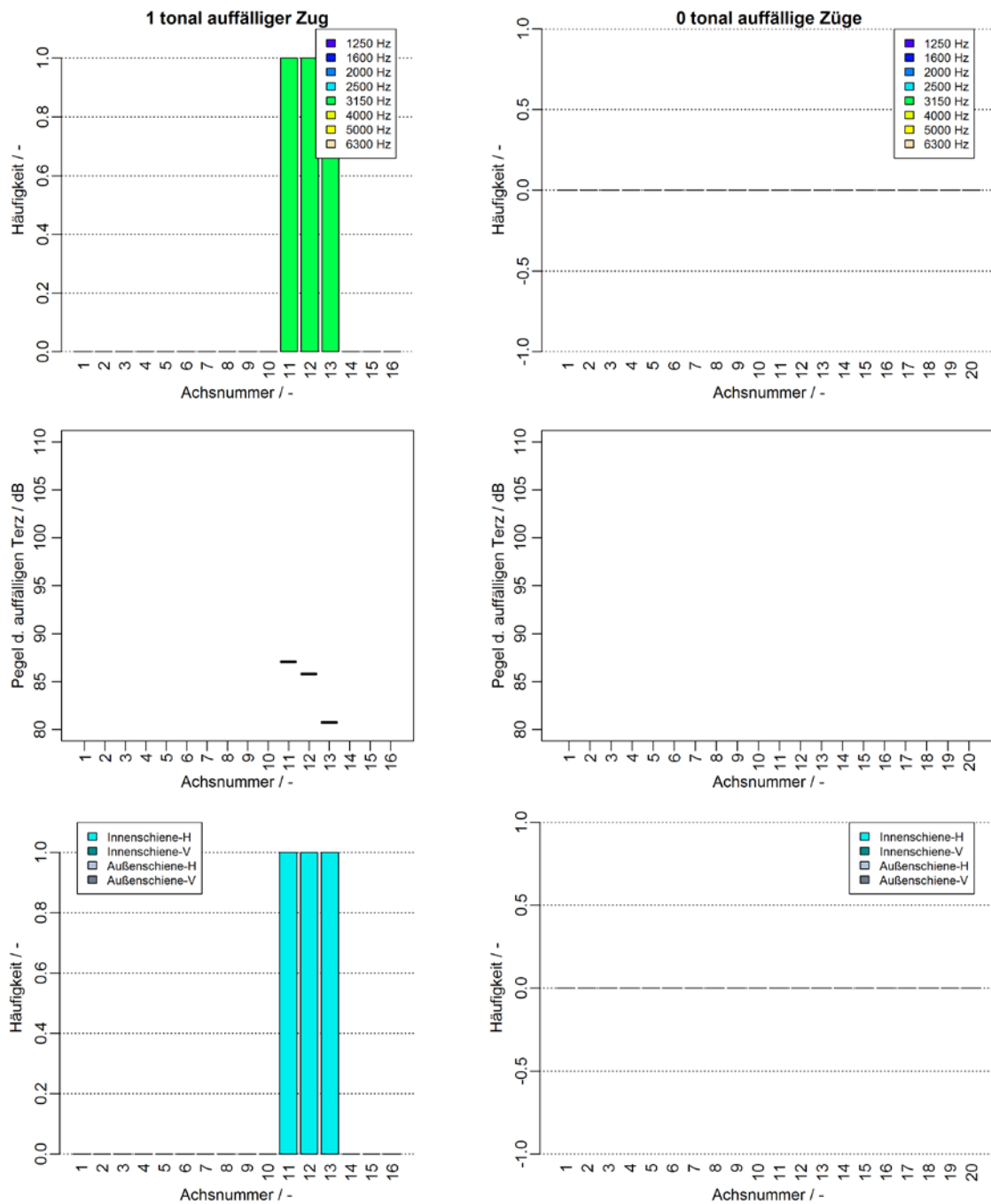


Abb. F-5: achsbezogene Auswertung für 16-achsige (links) und 20-achsige (rechts) Züge der Kategorie 80-33 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

F.6 Messkampagne 2, Kategorie 80-33, 40 Achsen

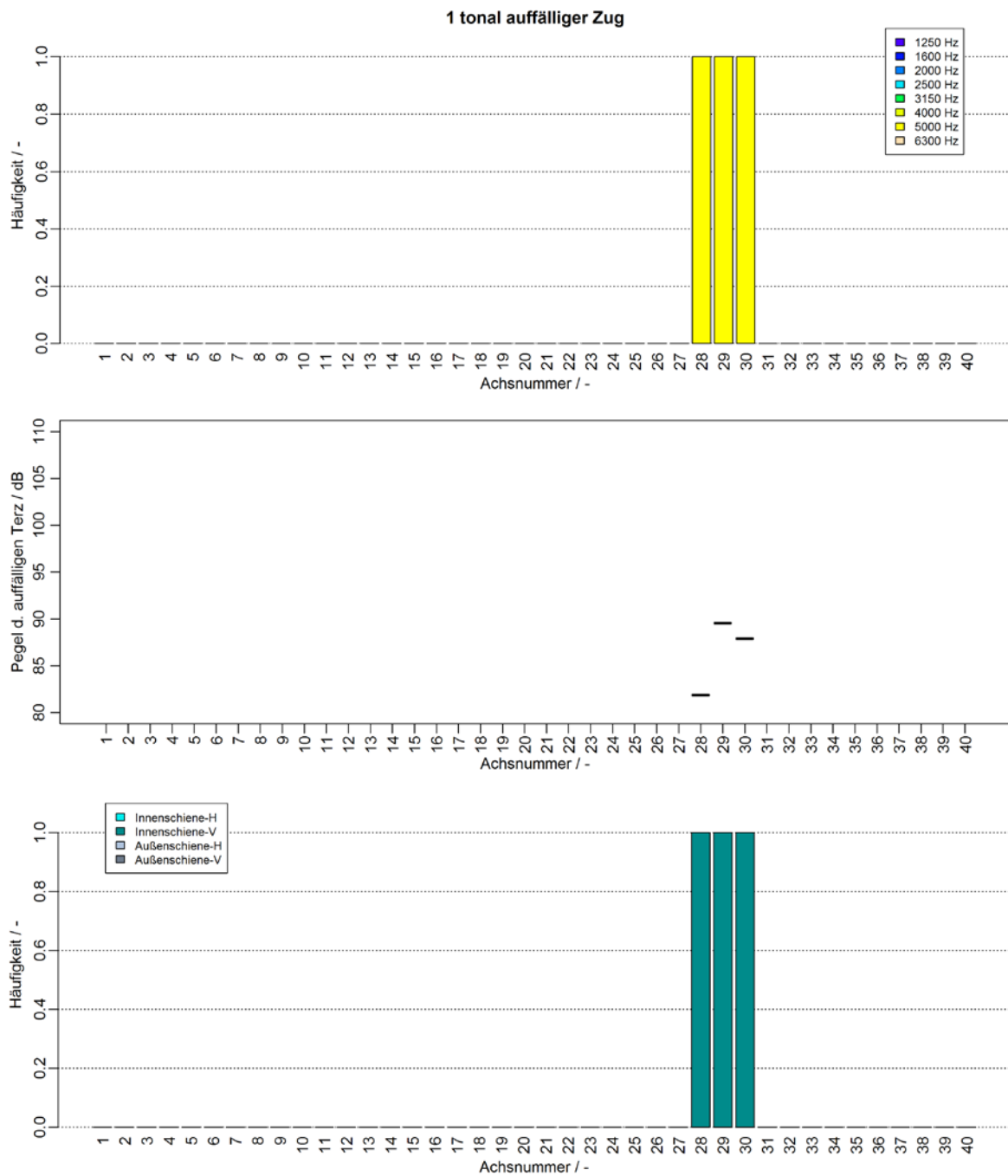


Abb. F-6: achsbezogene Auswertung für 40-achsige Züge der Kategorie 80-33 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

F.7 Messkampagne 2, Kategorie S4024, 10 Achsen

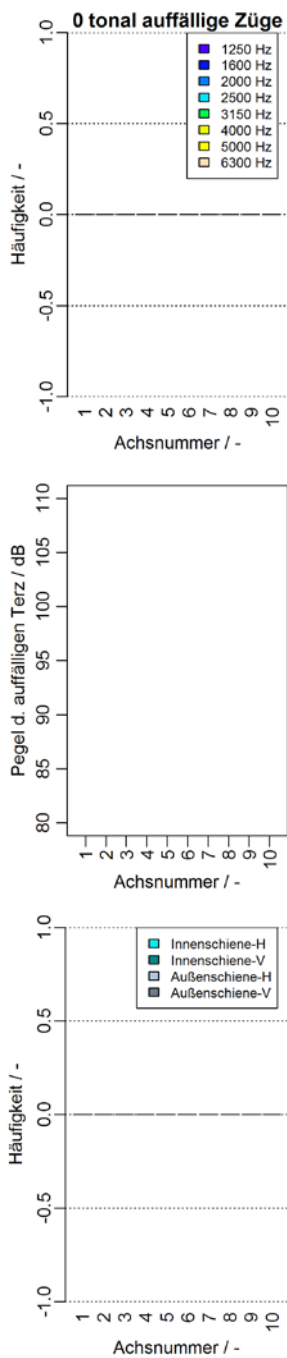


Abb. F-7: achsbezogene Auswertung für 10-achsige Züge der Kategorie S4024 für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

F.8 Messkampagne 3, Kategorie Railjet, 32 Achsen

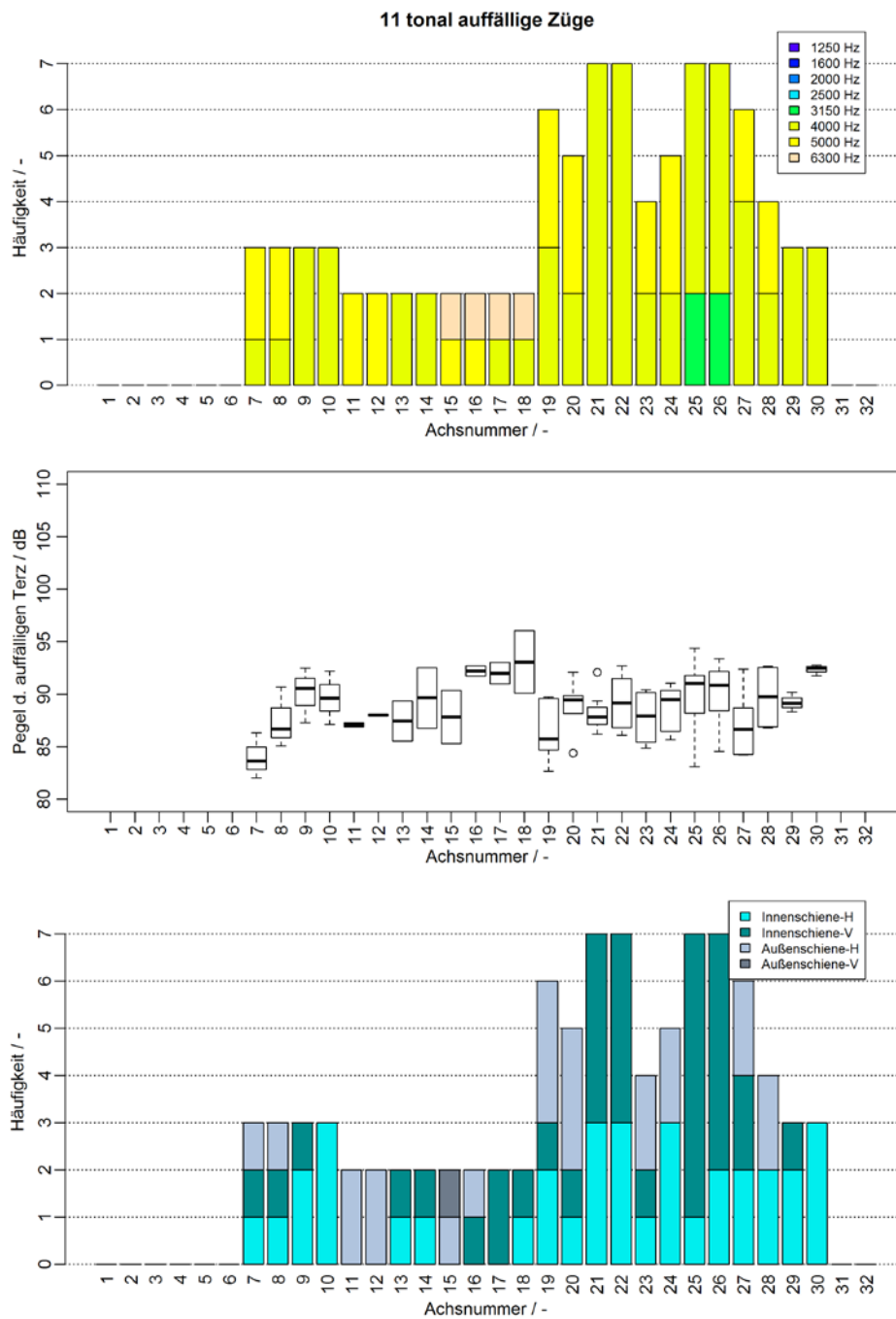


Abb. F-8: achsbezogene Auswertung für 32-achsige Züge der Kategorie Railjet für niederschlagsfreie Abschnitte und Regelfahrtrichtung: Häufigkeiten der tonalen Auffälligkeiten (oben), Boxplots von Pegeln der auffälligen Terz (vgl. Kap. 3.2.3, Mitte) und für tonal auffällige Achsen Häufigkeiten der Schienenbeschleunigungen (Innen- oder Außenschiene, horizontal oder vertikal), welche tonale Komponenten im relevanten Zeit- und Frequenzbereich mit den höchsten Beschleunigungsterzpegel aufweisen (vgl. Kap. 4.3, unten)

Anhang G Achsauswertung der Zugkategorie S4020 mit Variation der Triebwagenposition (Messkampagne 1)

G.1 Breitbandige Auffälligkeiten

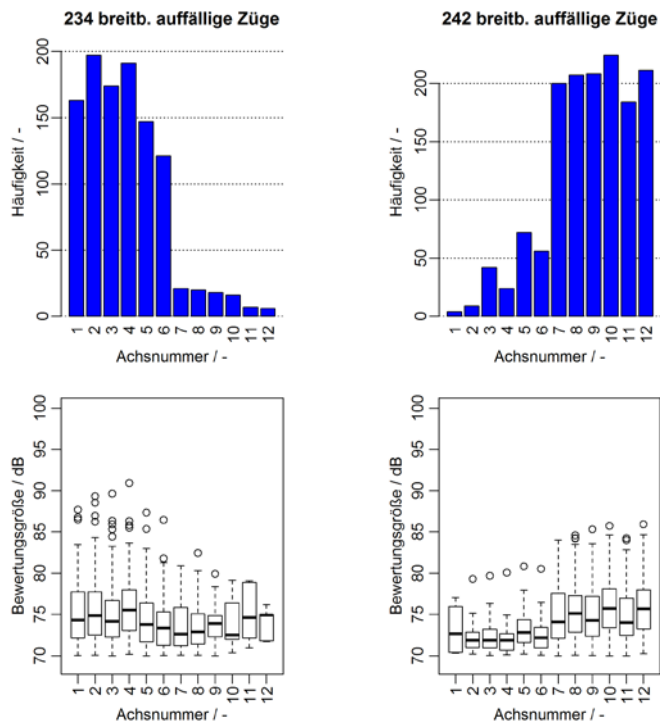


Abb. G-1: Aufteilung der auffälligen Vorbeifahrten der achsbezogenen Auswertungen für 12-achsige Züge der Kategorie S4020 aus Abb. E-1 (Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten und Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten in niederschlagsfreien Abschnitte und für Züge in Regelfahrtrichtung): Triebwagen am Zuganfang (links) und am Zugende (rechts)

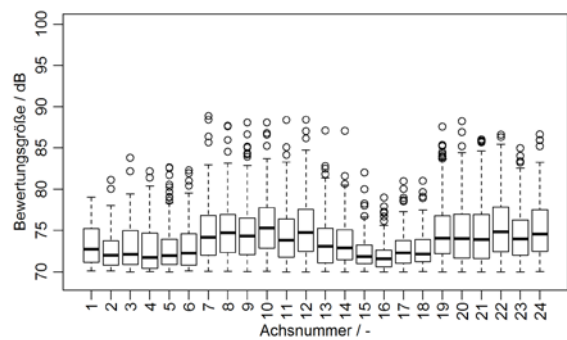
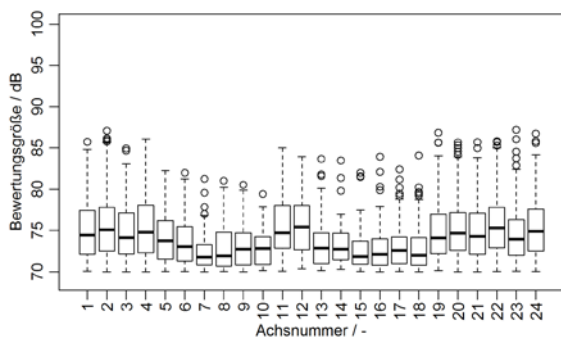
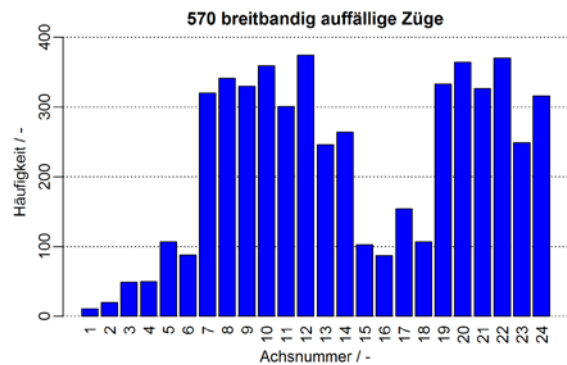
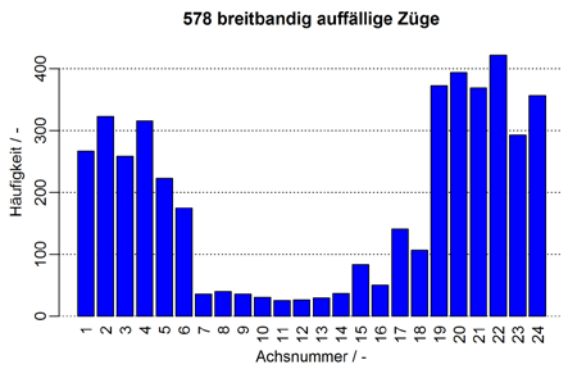
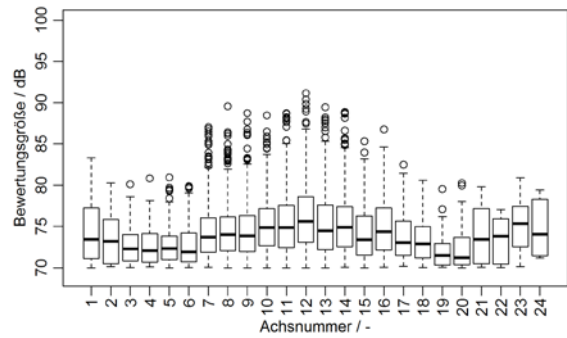
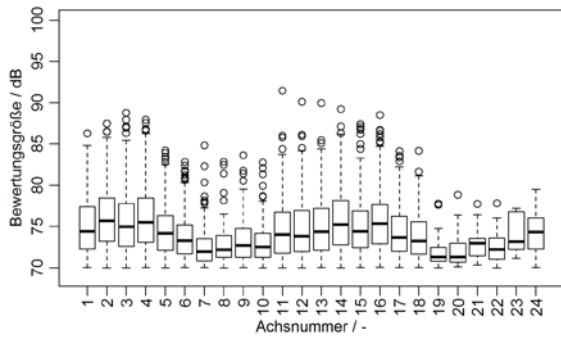
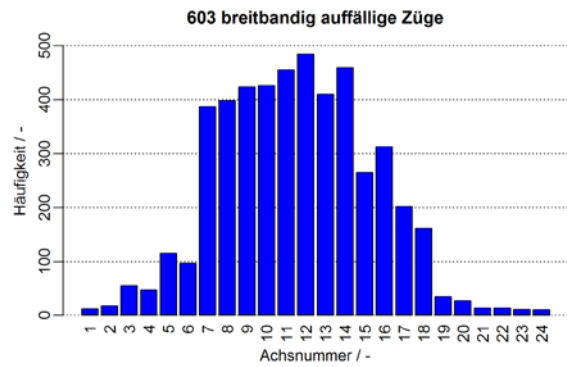
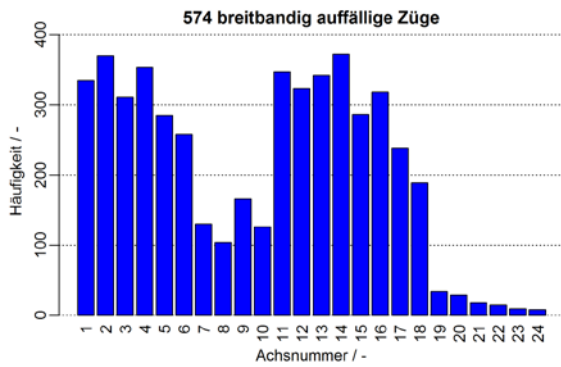


Abb. G-2: Aufteilung der auffälligen Vorbeifahrten der achsbezogenen Auswertungen für 24-achsige Züge der Kategorie S4020 aus Abb. E-1 (Häufigkeiten der breitbandigen akustischen Auffälligkeiten und Boxplots der Bewertungsgröße für breitbandige akustische Auffälligkeiten in niederschlagsfreien Abschnitte und für Züge in Regelfahrtrichtung): beide Triebwagen am Anfang der Garnituren (oben und Mitte oben, links), Triebwagen am Ende der 1. und am Anfang der 2. Garnitur (oben und Mitte oben, rechts), Triebwagen am Anfang der 1. und am Ende der 2. Garnitur (Mitte unten und unten, links) und Triebwagen am Ende der 1. und der 2. Garnitur (Mitte unten und unten, rechts)

G.2 Tonale Auffälligkeiten

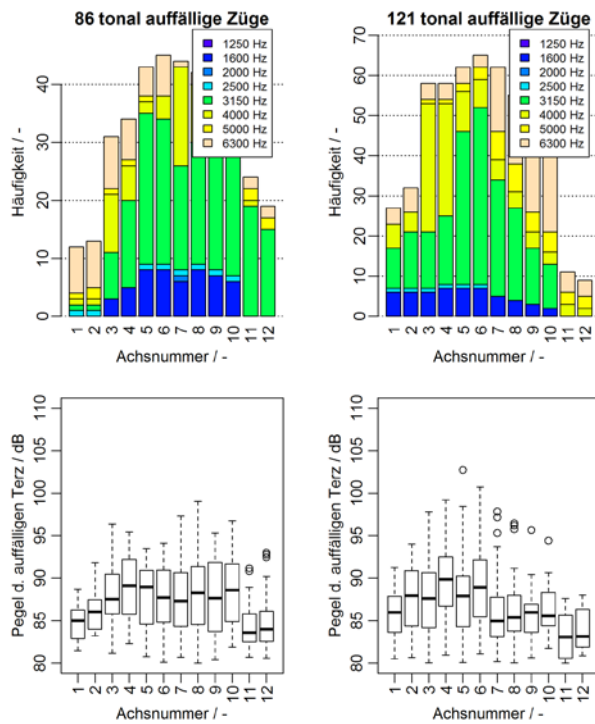


Abb. G-3: Aufteilung der auffälligen Vorbeifahrten der achsbezogenen Auswertungen für 12-achsige Züge der Kategorie S4020 aus Abb. F-1 (Häufigkeiten der tonalen akustischen Auffälligkeiten und Boxplots der Bewertungsgröße für tonale akustische Auffälligkeiten in niederschlagsfreien Abschnitte und für Züge in Regelfahrtrichtung): Triebwagen am Zuganfang (links) und am Zugende (rechts)

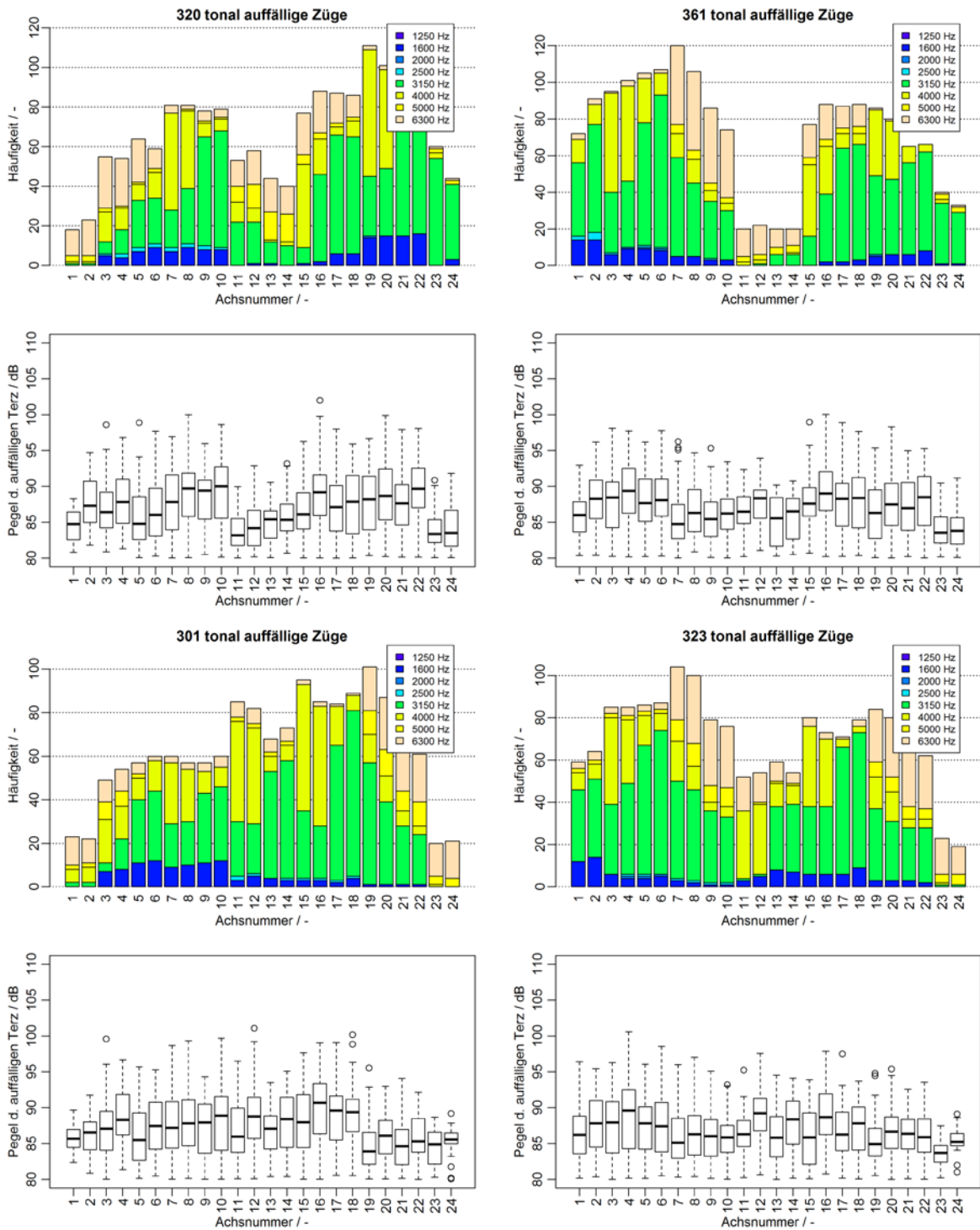


Abb. G-4: Aufteilung der auffälligen Vorbeifahrten der achsbezogenen Auswertungen für 24-achsige Züge der Kategorie S4020 aus Abb. F-1 (Häufigkeiten der tonalen akustischen Auffälligkeiten und Boxplots der Bewertungsgröße für tonale akustische Auffälligkeiten in niederschlagsfreien Abschnitte und für Züge in Regelfahrtrichtung): beide Triebwagen am Anfang der Garnituren (oben und Mitte oben, links), Triebwagen am Ende der 1. und am Anfang der 2. Garnitur (oben und Mitte oben, rechts), Triebwagen am Anfang der 1. und am Ende der 2. Garnitur (Mitte unten und unten, links) und Triebwagen am Ende der 1. und der 2. Garnitur (Mitte unten und unten, rechts)

Anhang H Terzspektren bei anhaltenden Auffälligkeiten

H.1 Messkampagne 1 (Kleinschwechat, S7)

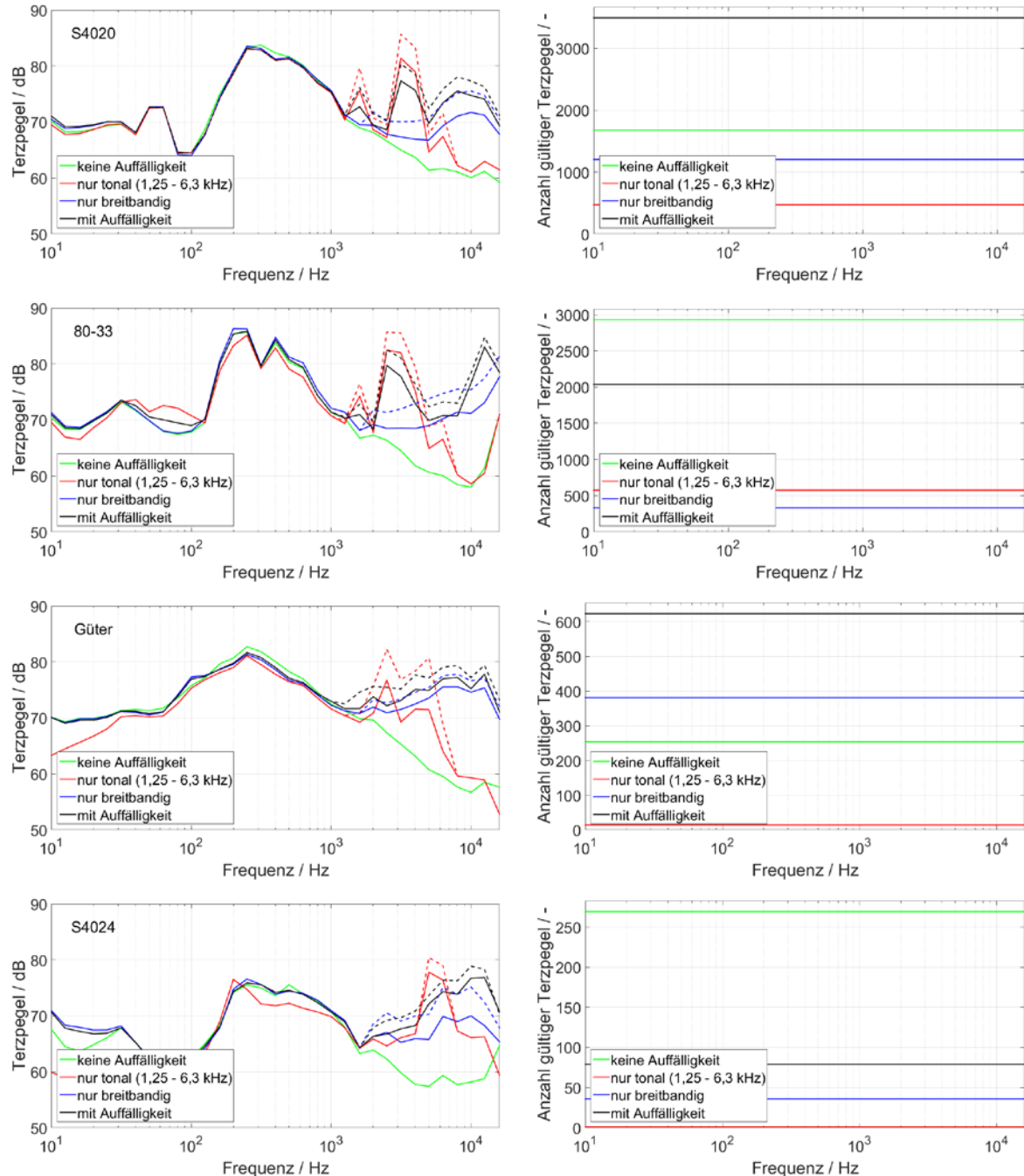


Abb. H-1: Vergleich der energetisch gemittelten Terzspektren (linke Spalte) und Anzahl der für die Mittelung verfügbaren Terzpegel (rechte Spalte) der originalen Schallemissionen (durchgezogene Linien) und der Abschätzung von durchgängig vorhandenen Auffälligkeiten (strichlierte Linien) für Zugkategorien S4020, 80-33, Güterzüge und S4024 (von oben nach unten): eine Unterscheidung erfolgt zwischen unauffälligen (grün) und auffälligen (schwarz) Vorbeifahrten, aus welchen zusätzlich die Untergruppen ausschließlich tonaler (rot) und ausschließlich breitbandiger (blau) Auffälligkeiten gebildet werden

H.2 Messkampagne 2 (Eichgraben, Westbahn)

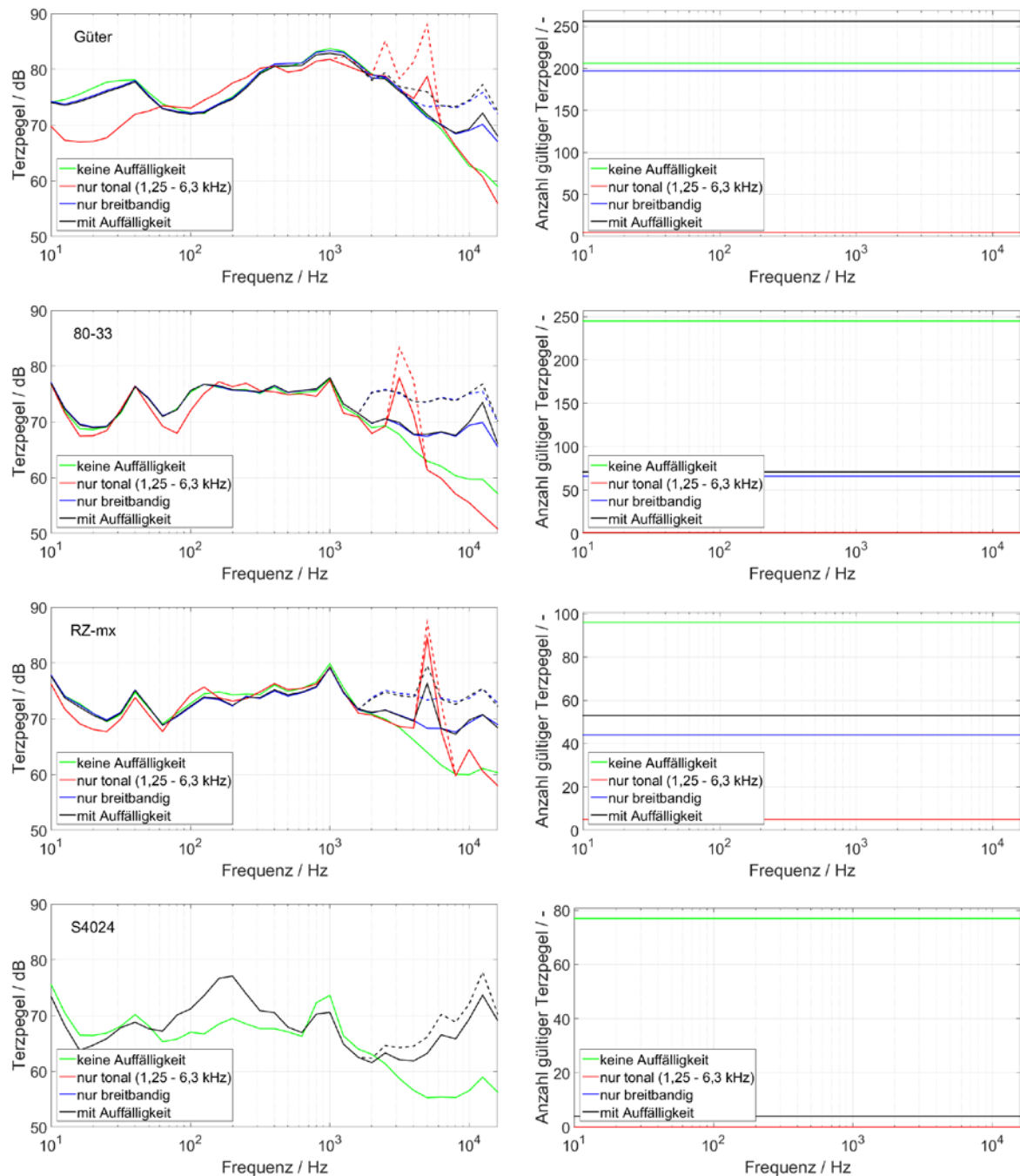


Abb. H-2: Vergleich der energetisch gemittelten Terzspektren (linke Spalte) und Anzahl der für die Mittelung verfügbaren Terzpegel (rechte Spalte) der originalen Schallemissionen (durchgezogene Linien) und der Abschätzung von durchgängig vorhandenen Auffälligkeiten (strichlierte Linien) für Zugkategorien Güterzüge, 80-33, Reisezug-mix, und S4024 (von oben nach unten): eine Unterscheidung erfolgt zwischen unauffälligen (grün) und auffälligen (schwarz) Vorbeifahrten, aus welchen zusätzlich die Untergruppen ausschließlich tonaler (rot) und ausschließlich breitbandiger (blau) Auffälligkeiten gebildet werden

H.3 Messkampagne 3 (Mürzzuschlag, Südbahn)

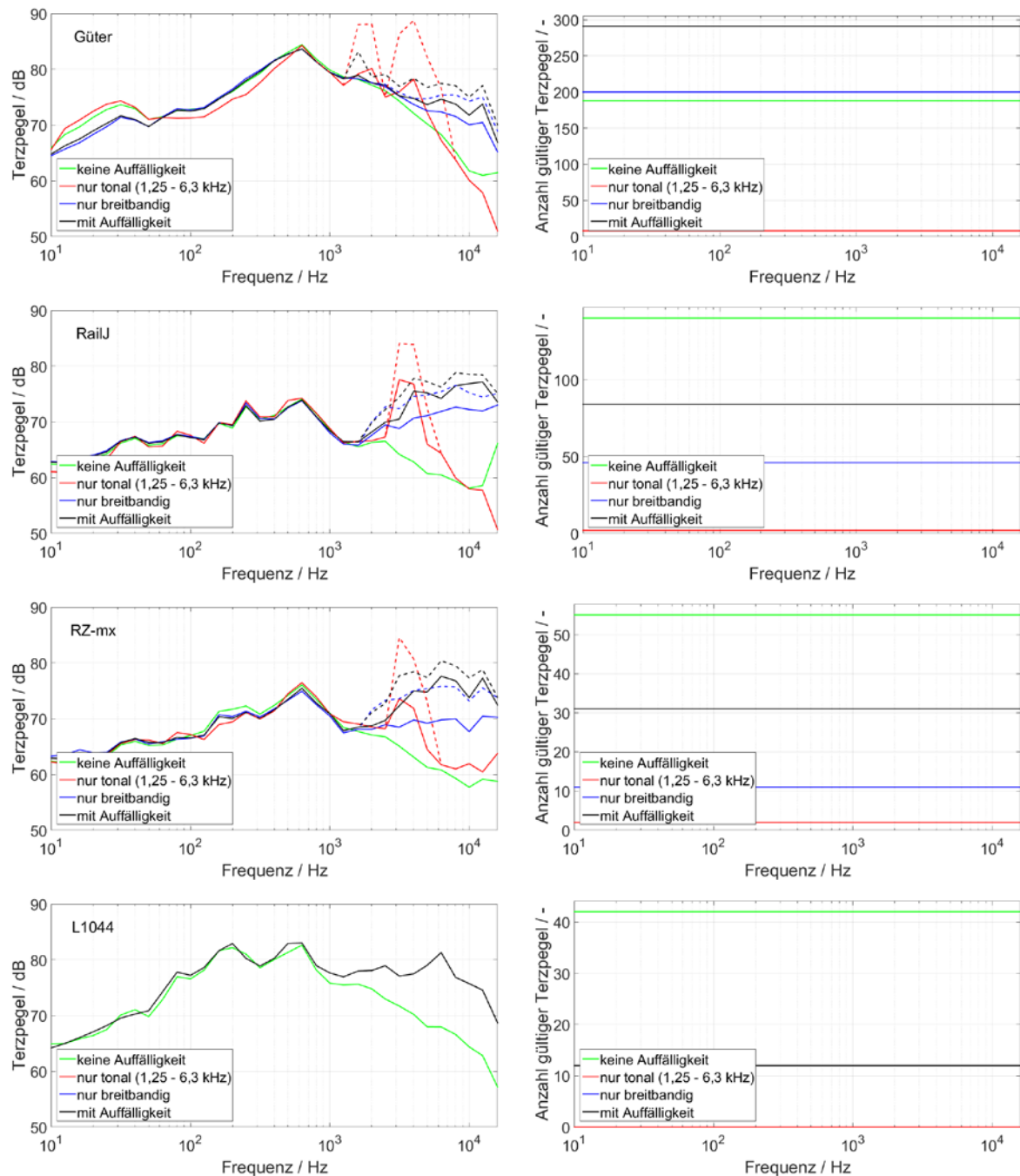


Abb. H-3: Vergleich der energetisch gemittelten Terzspektren (linke Spalte) und Anzahl der für die Mittelung verfügbaren Terzpegel (rechte Spalte) der originalen Schallemissionen (durchgezogene Linien) und der Abschätzung von durchgängig vorhandenen Auffälligkeiten (strichlierte Linien) für Zugkategorien Güterzüge, Railjet, Reisezug-mix, und Lokzug 1044 (von oben nach unten): eine Unterscheidung erfolgt zwischen unauffälligen (grün) und auffälligen (schwarz) Vorbeifahrten, aus welchen zusätzlich die Untergruppen ausschließlich tonaler (rot) und ausschließlich breitbandiger (blau) Auffälligkeiten gebildet werden

Anhang I Vergleichsberechnungen Oktavspektren - Einzahlwerte

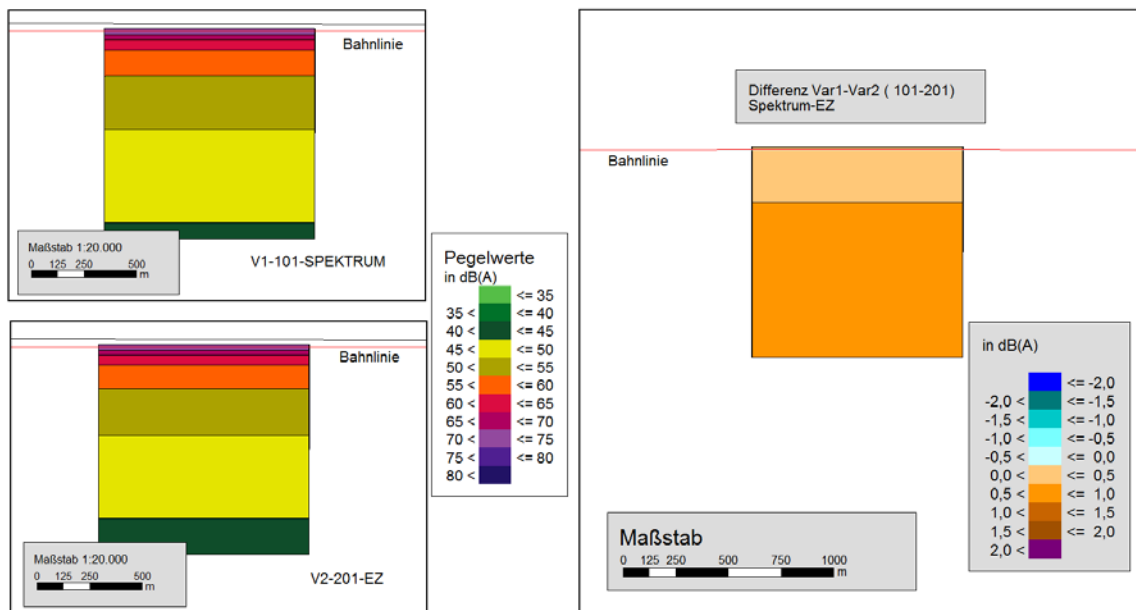


Abb. I-1: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, GZ, v = 40 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

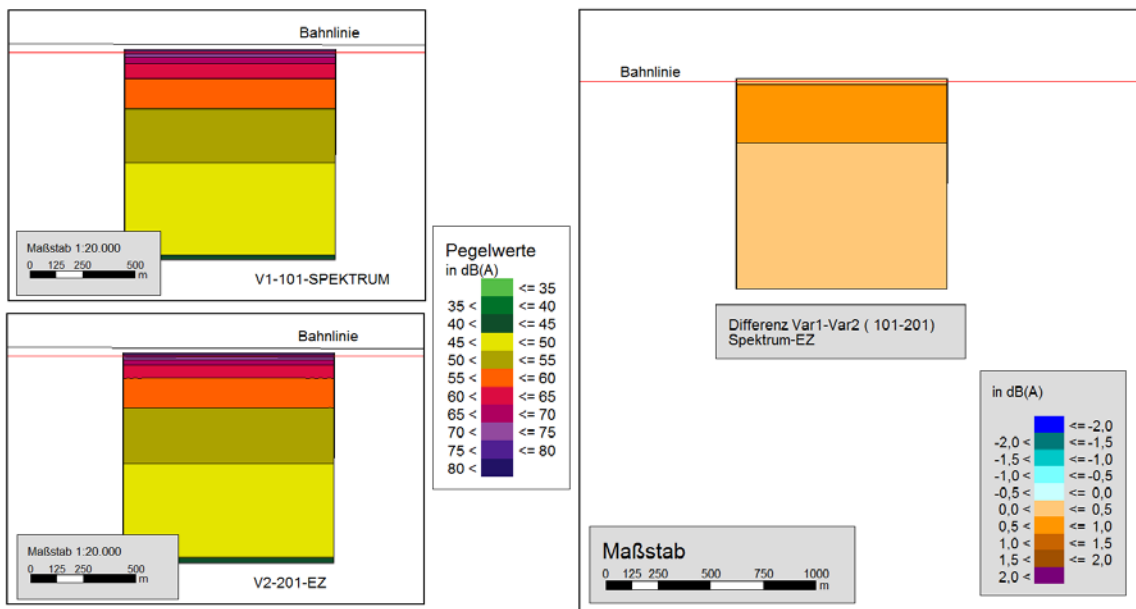


Abb. I-2: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, GZ, v = 40 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

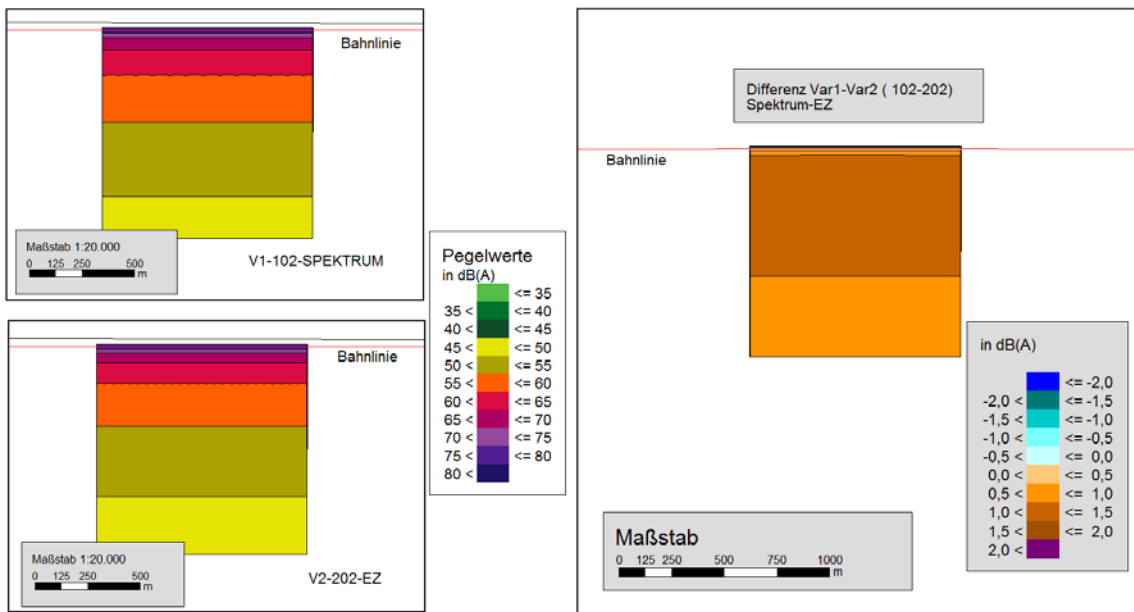


Abb. I-3: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, r = 310 m, GZ, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

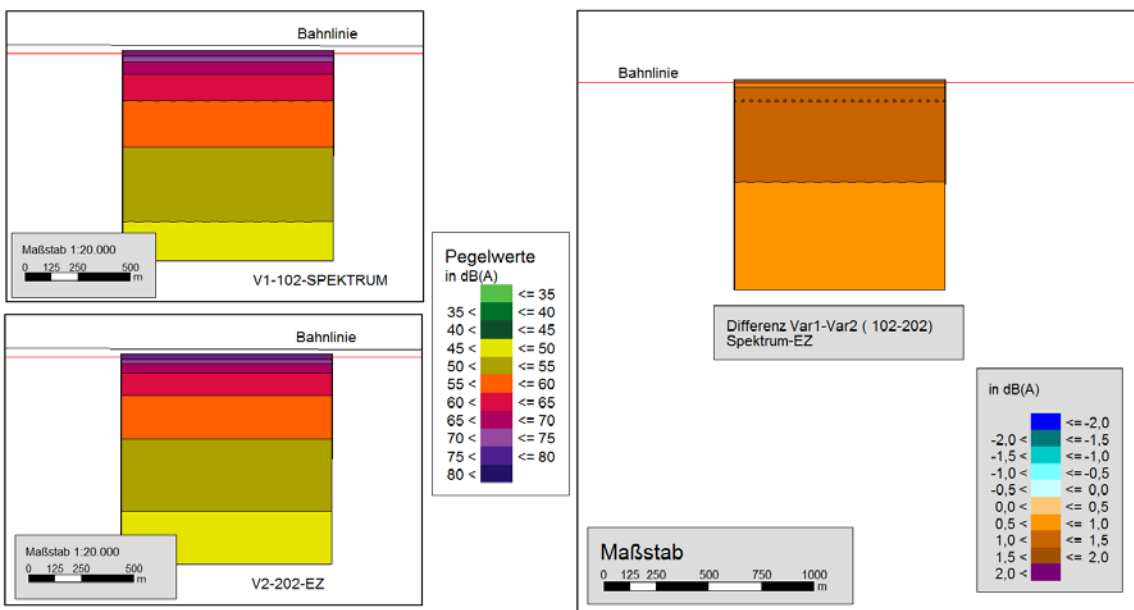


Abb. I-4: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, r = 310 m, GZ, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

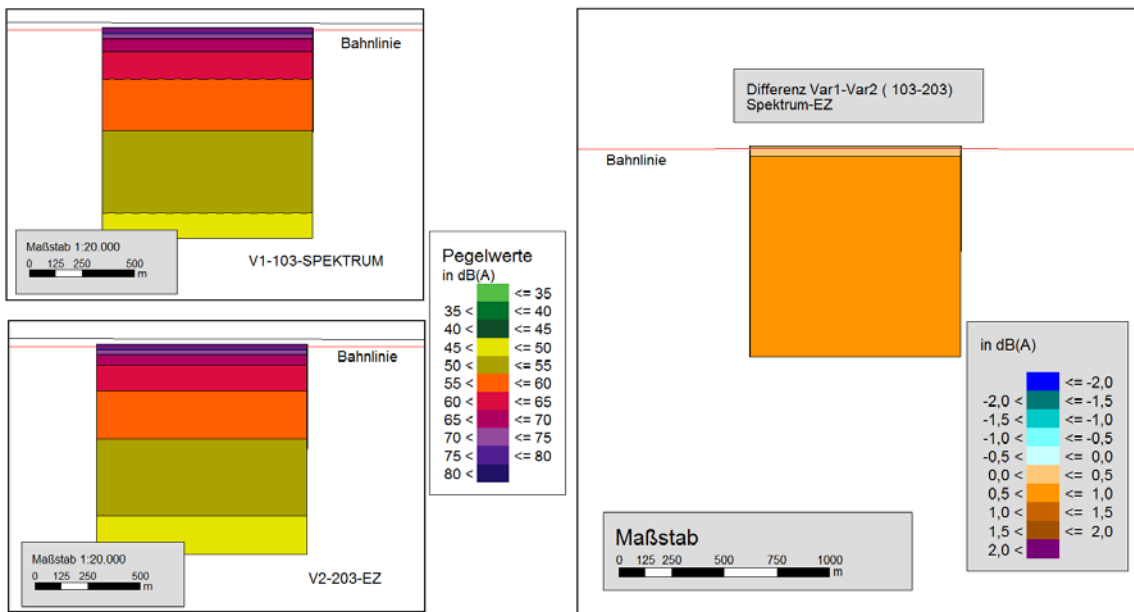


Abb. I-5: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, $r = 310$ m, GZ, $v = 70$ km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

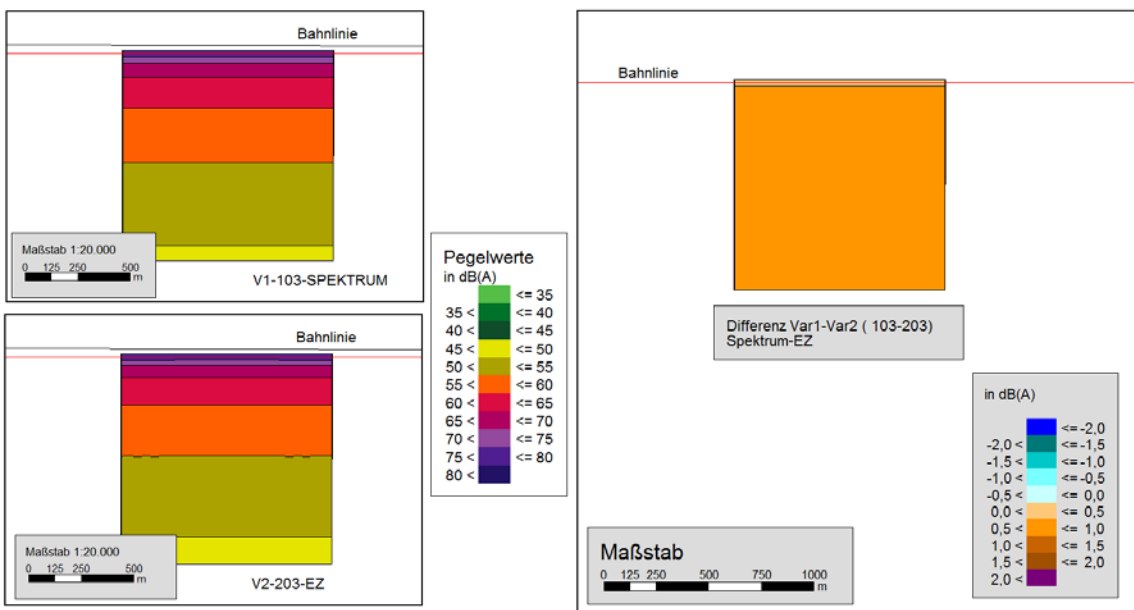


Abb. I-6: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, $r = 310$ m, GZ, $v = 70$ km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

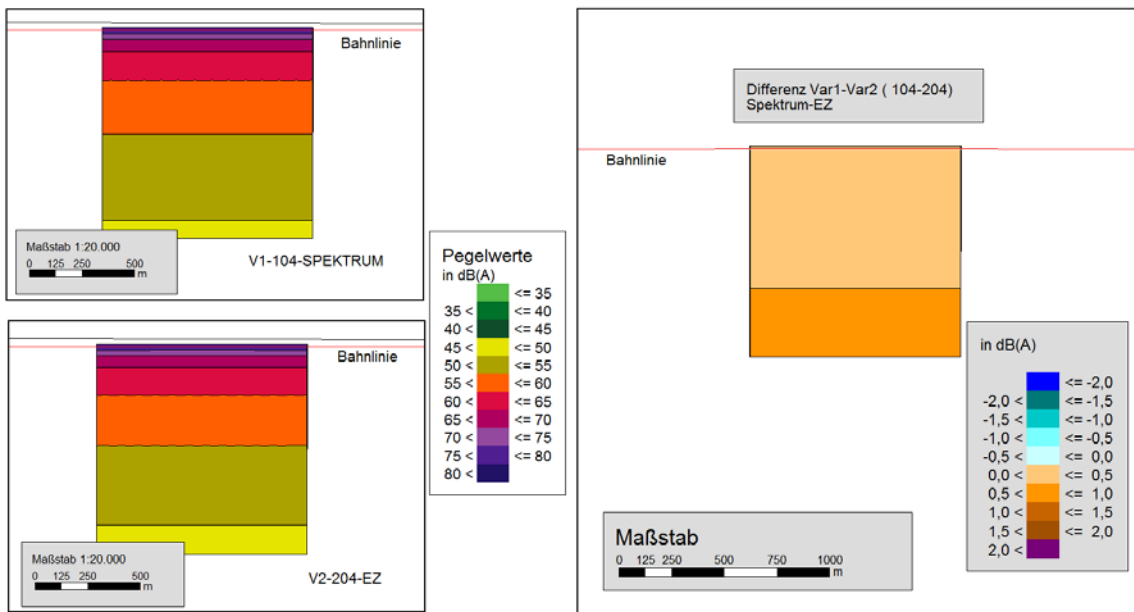


Abb. I-7: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, r = 310 m, GZ, v = 80 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

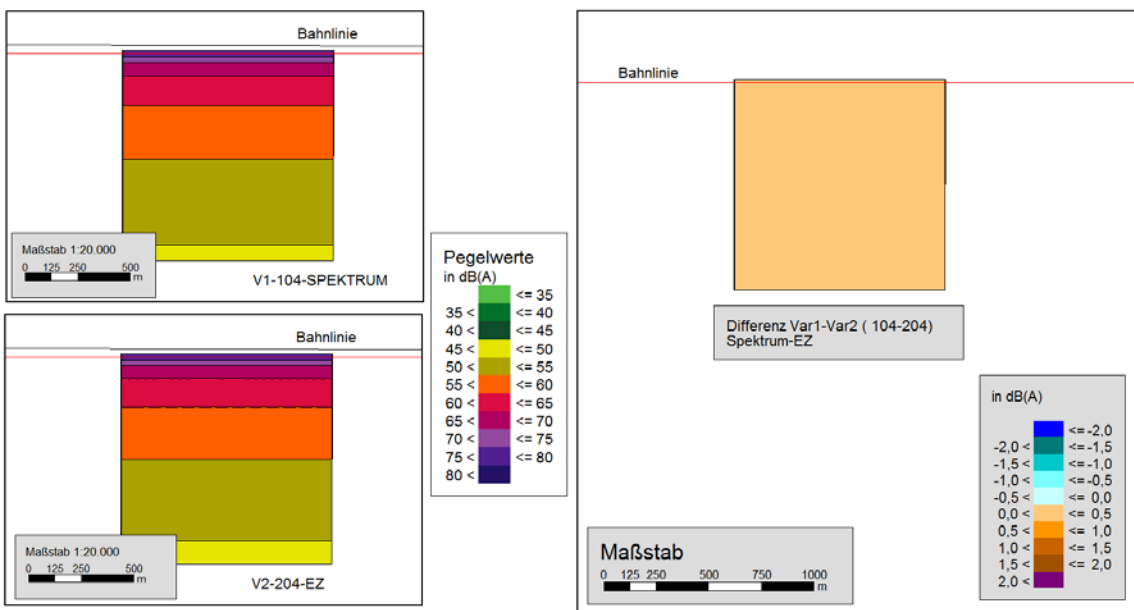


Abb. I-8: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, r = 310 m, GZ, v = 80 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

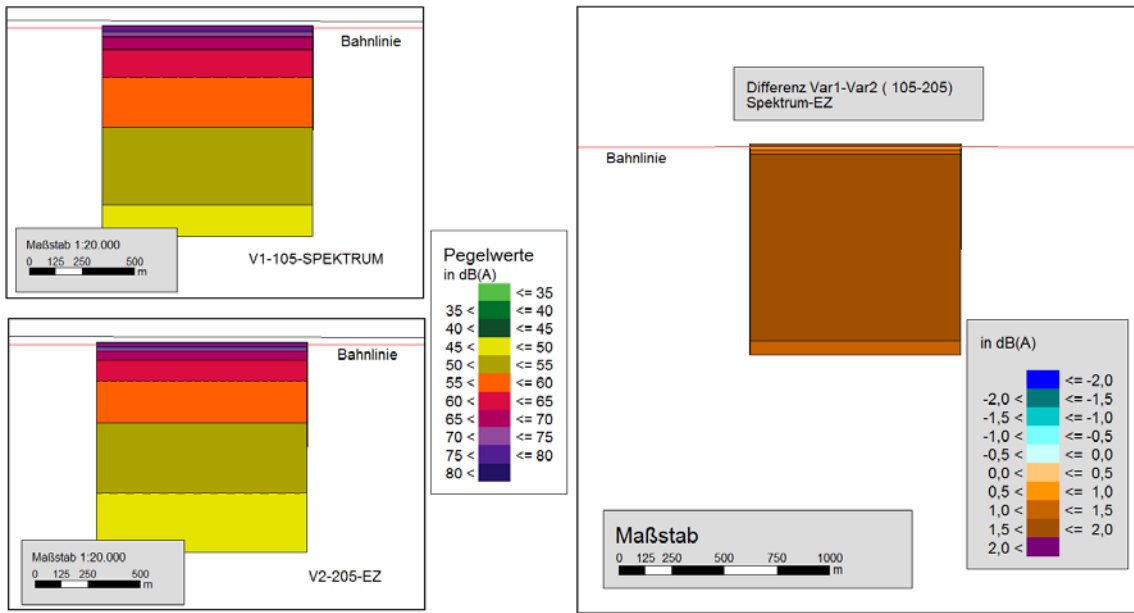


Abb. I-9: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, GZ, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

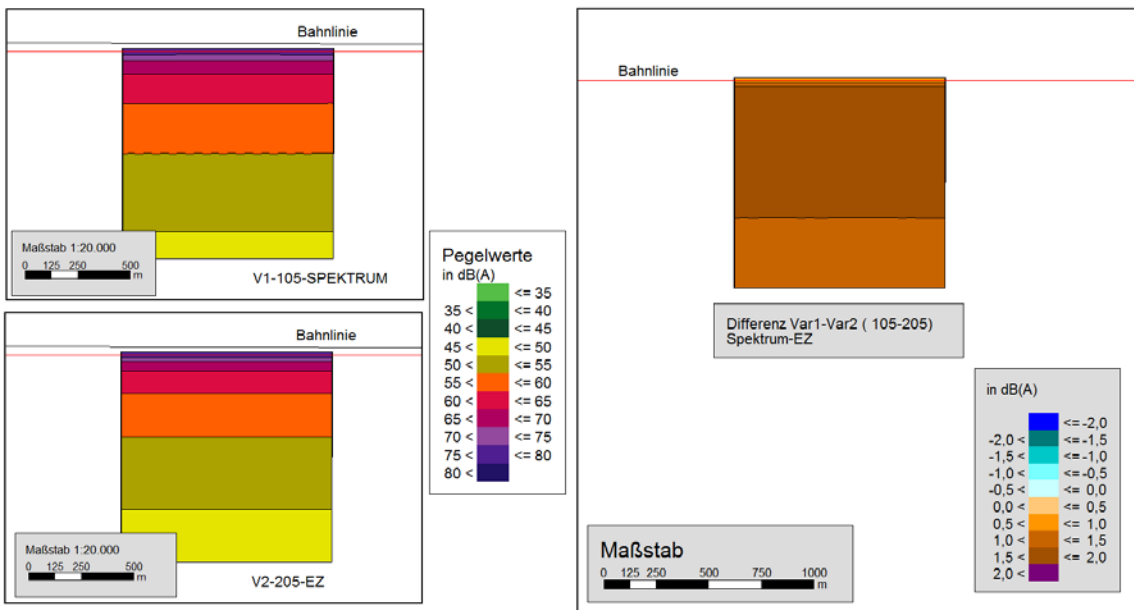


Abb. I-10: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert K2, r = 440 m, GZ, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

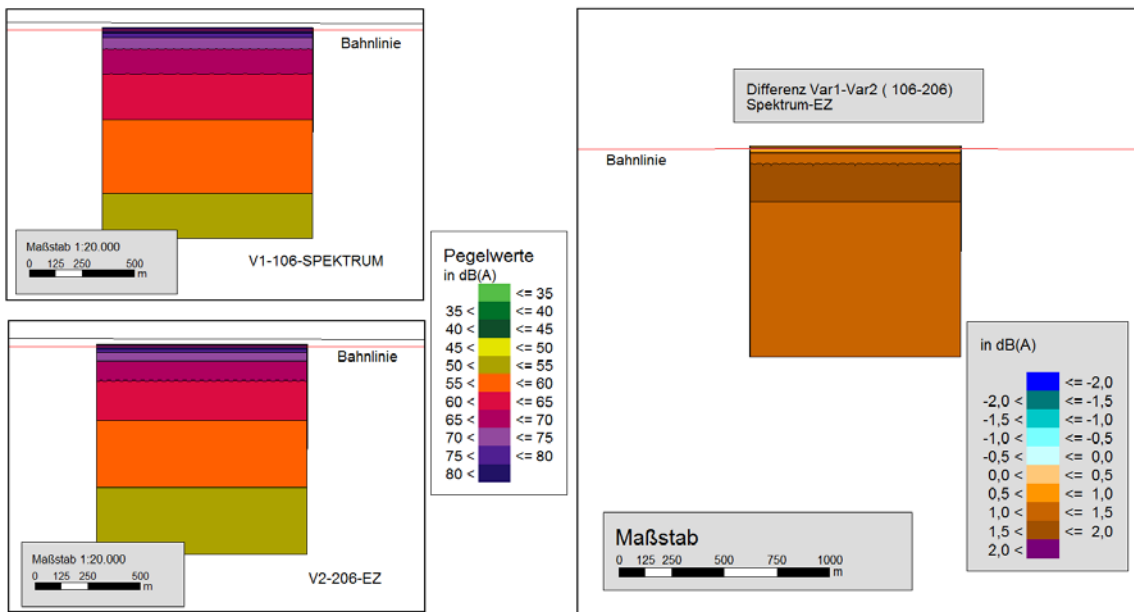


Abb. I-11: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, GZ, v = 70 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

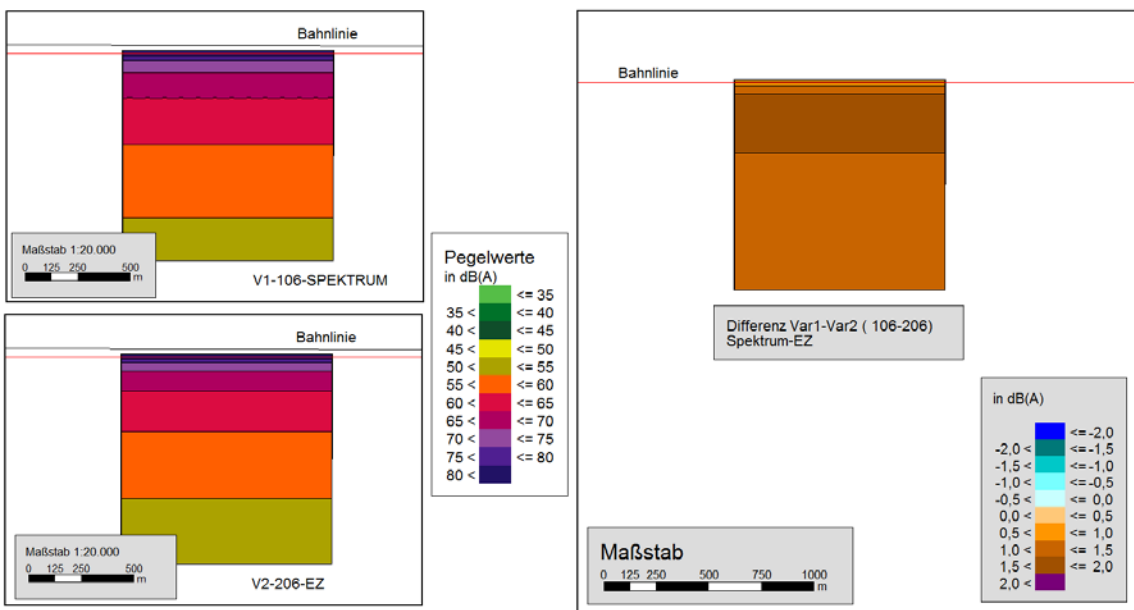


Abb. I-12: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, GZ, v = 70 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

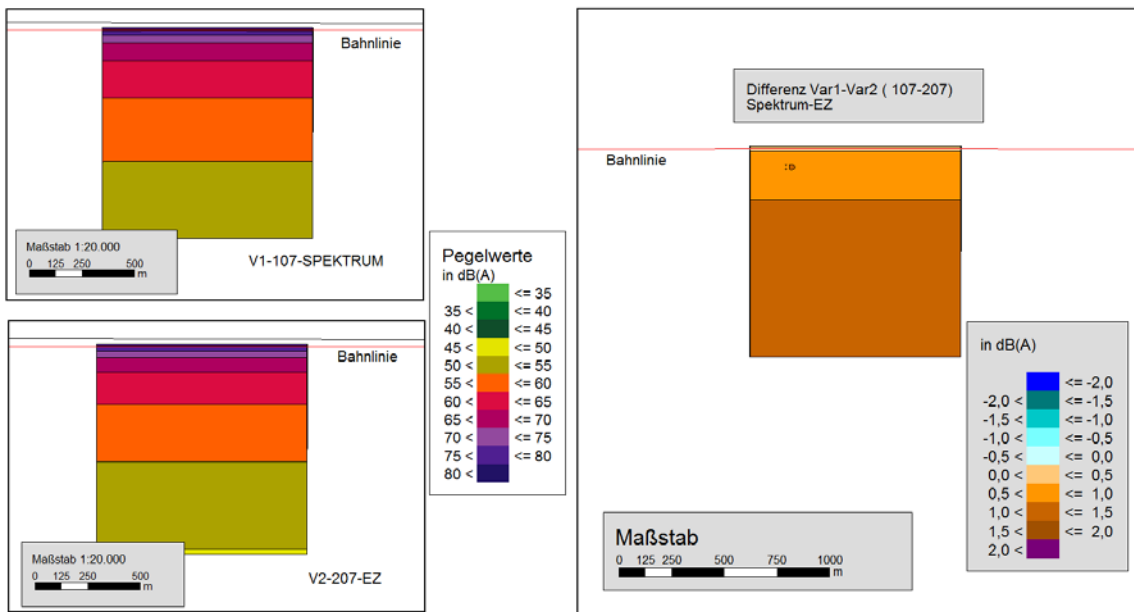


Abb. I-13: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, GZ, v = 80 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

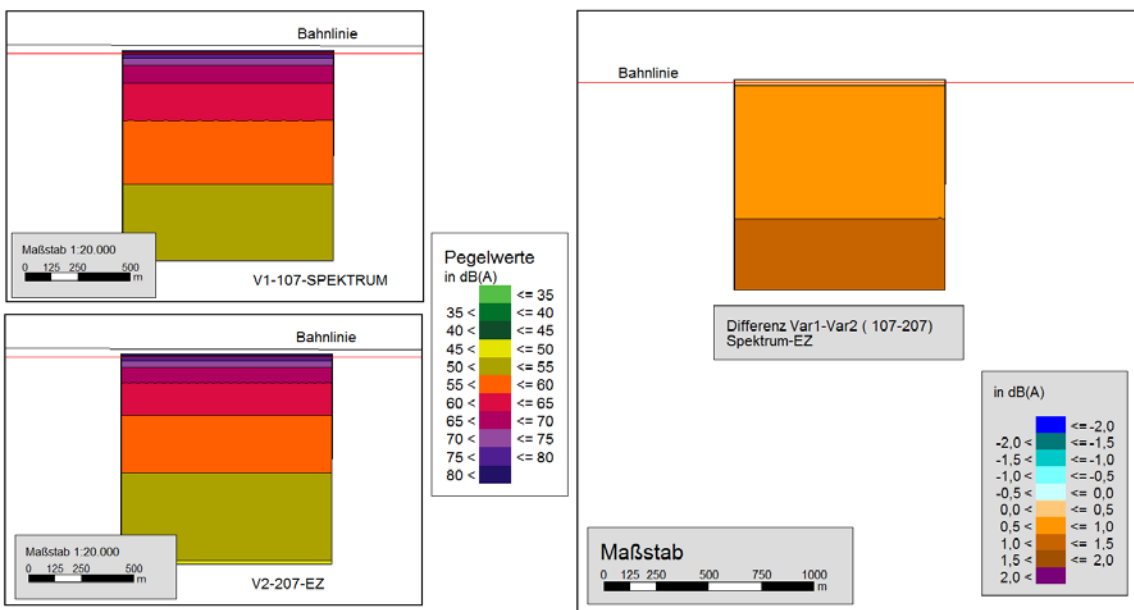


Abb. I-14: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, GZ, v = 80 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

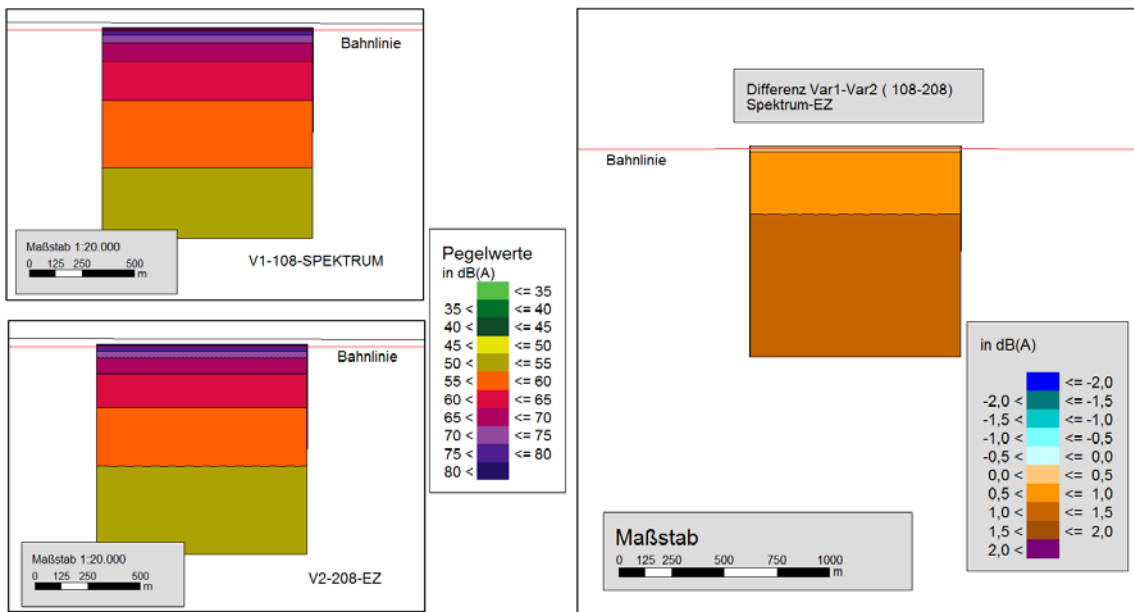


Abb. I-15: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K_2 , $r = 440$ m, GZ, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

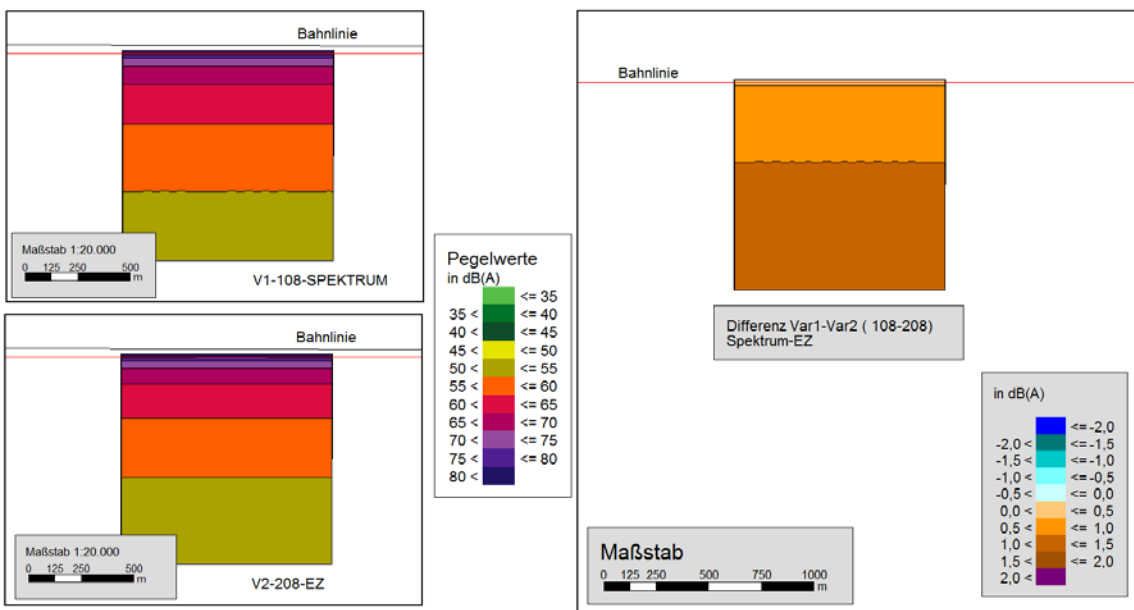


Abb. I-16: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K_2 , $r = 440$ m, GZ, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

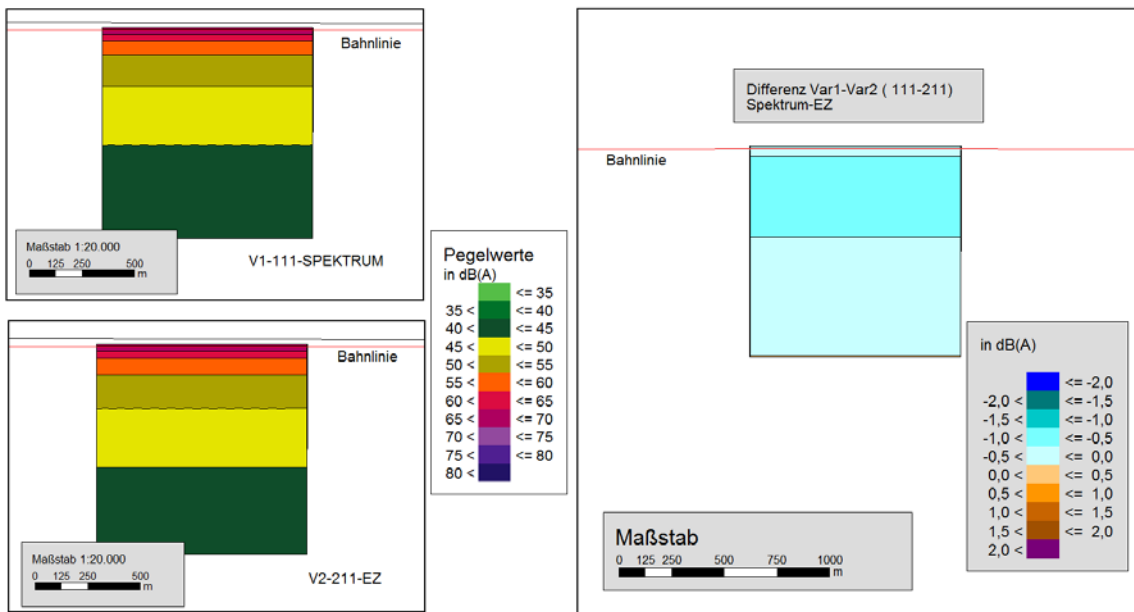


Abb. I-17: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, $r = 310$ m, RZ-mx, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmappen mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmappe

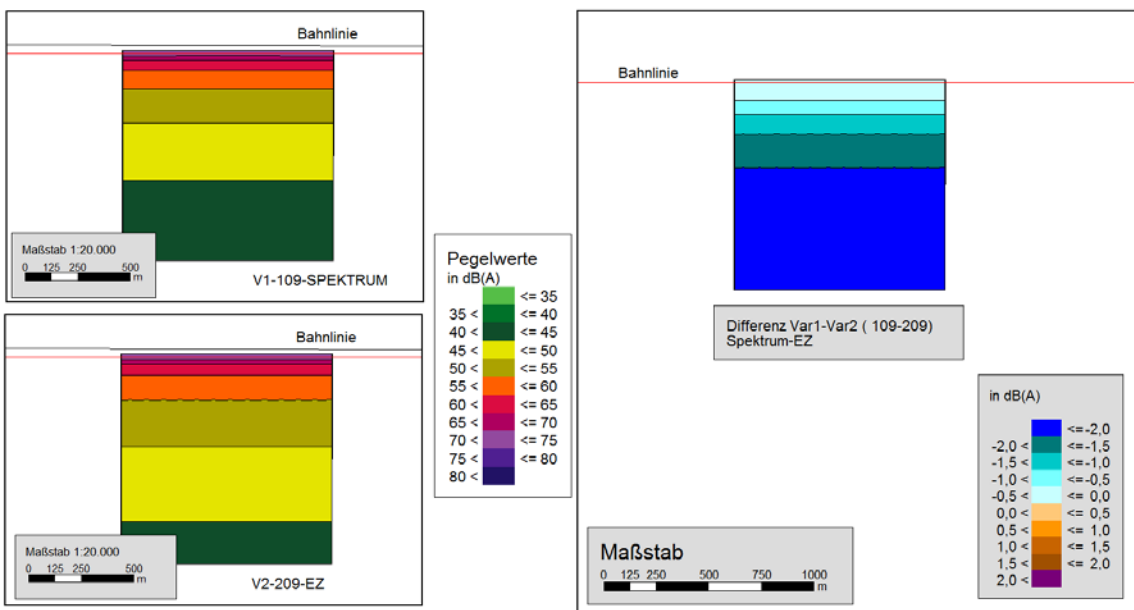


Abb. I-18: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, $r = 310$ m, RZ-mx, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmappen mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmappe

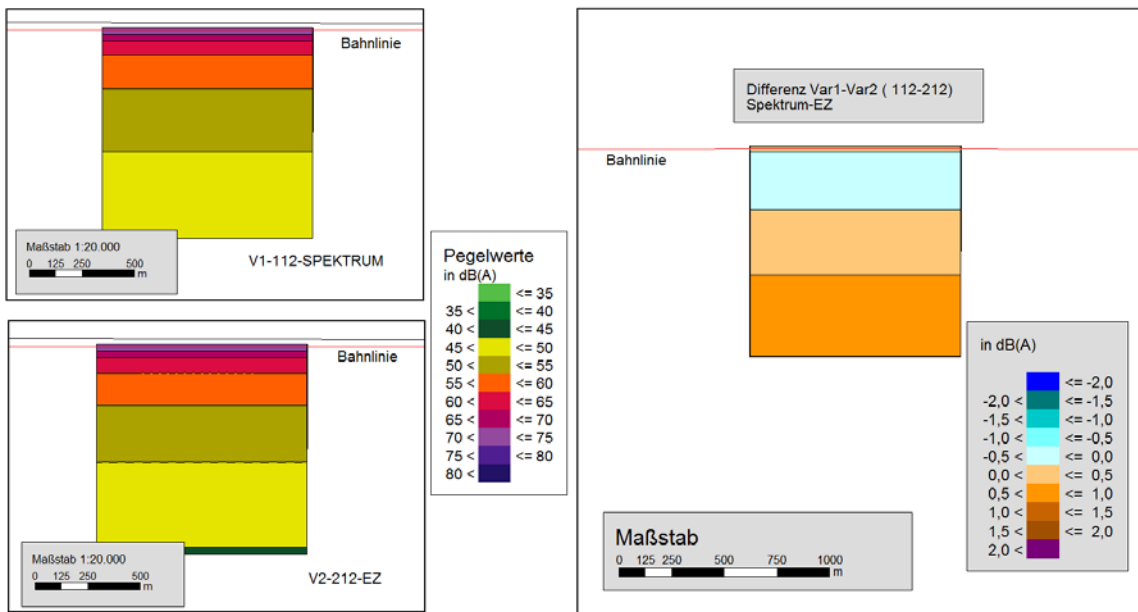


Abb. I-19: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, RZ-mx, v = 90 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

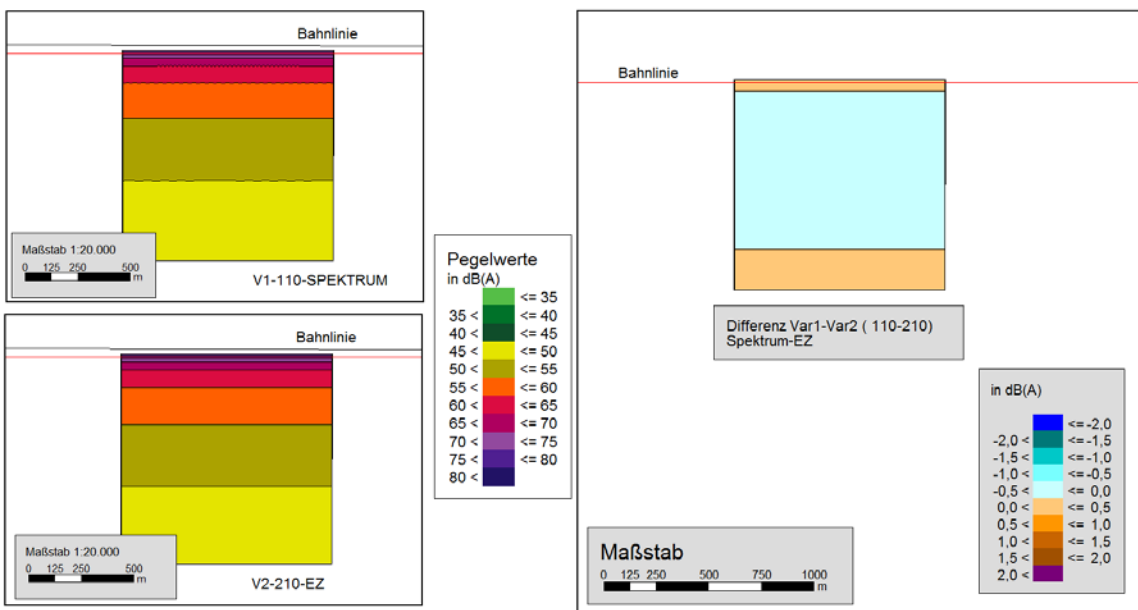


Abb. I-20: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, RZ-mx, v = 90 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

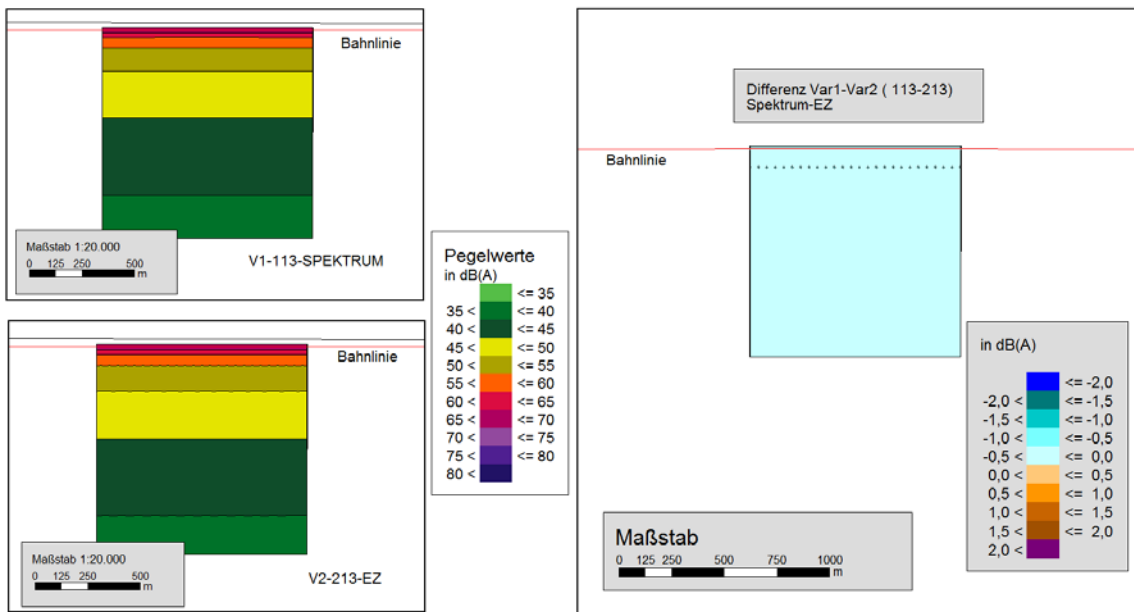


Abb. I-21: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, RailJ, v = 70 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

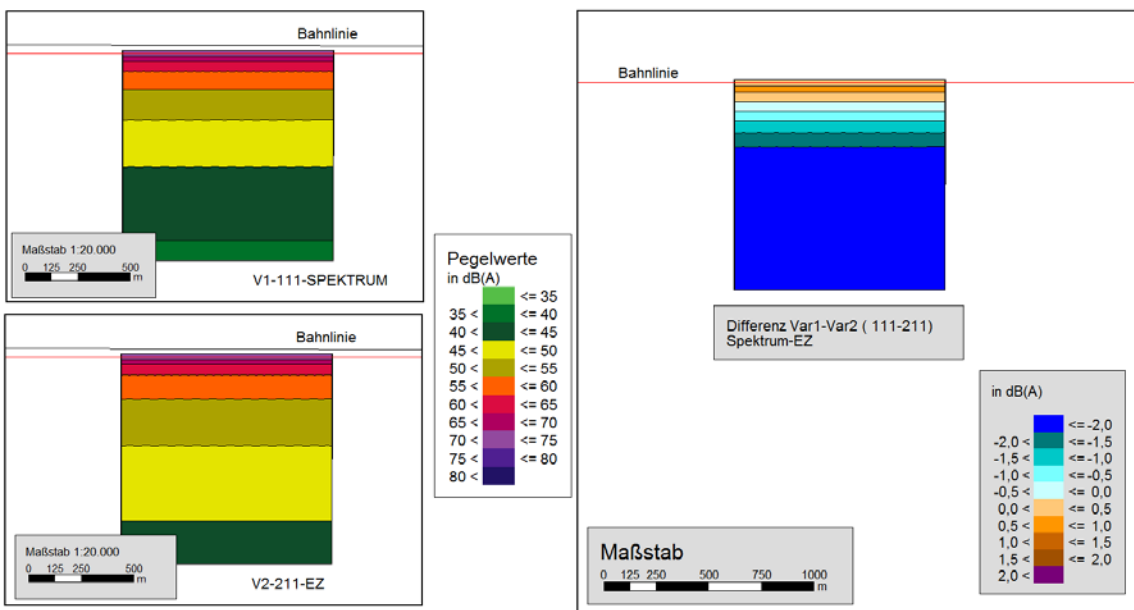


Abb. I-22: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, RailJ, v = 70 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

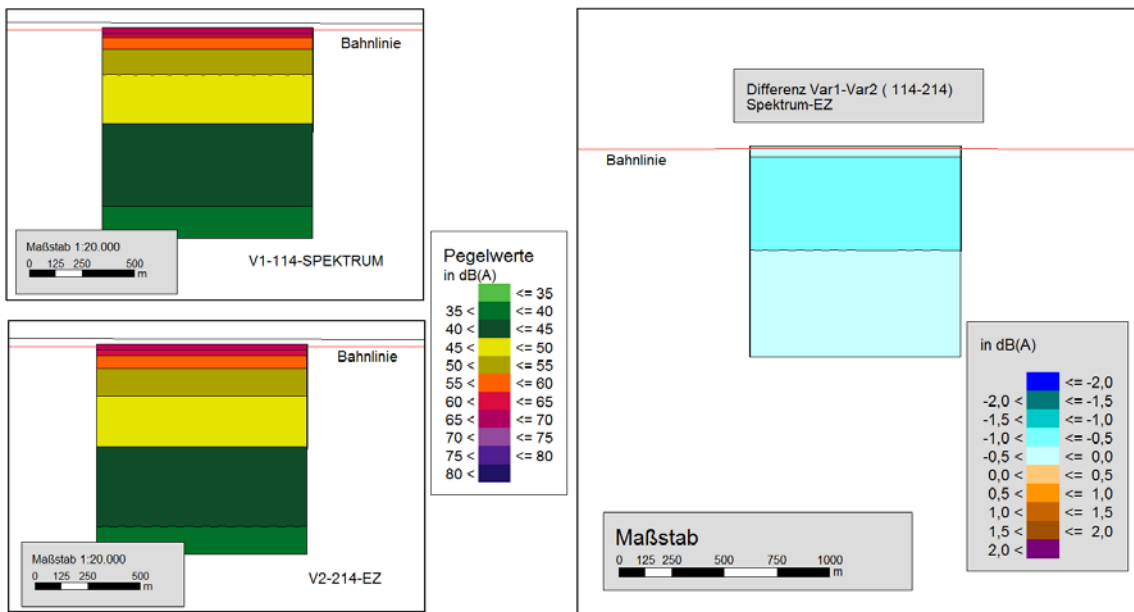


Abb. I-23: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, r = 310 m, RailJ, v = 80 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

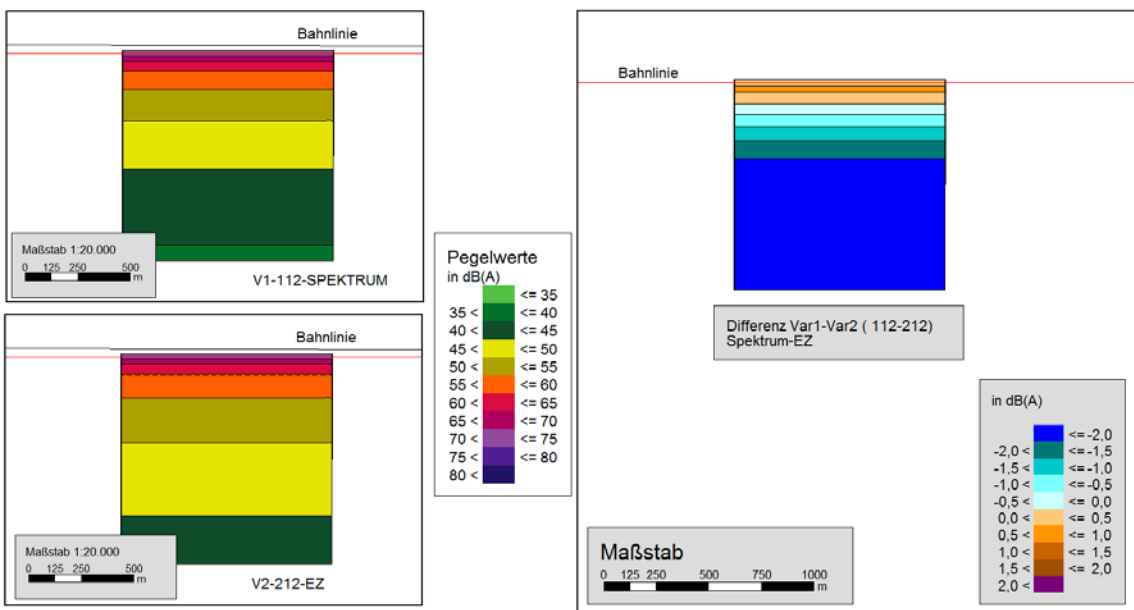


Abb. I-24: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K3, r = 310 m, RailJ, v = 80 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

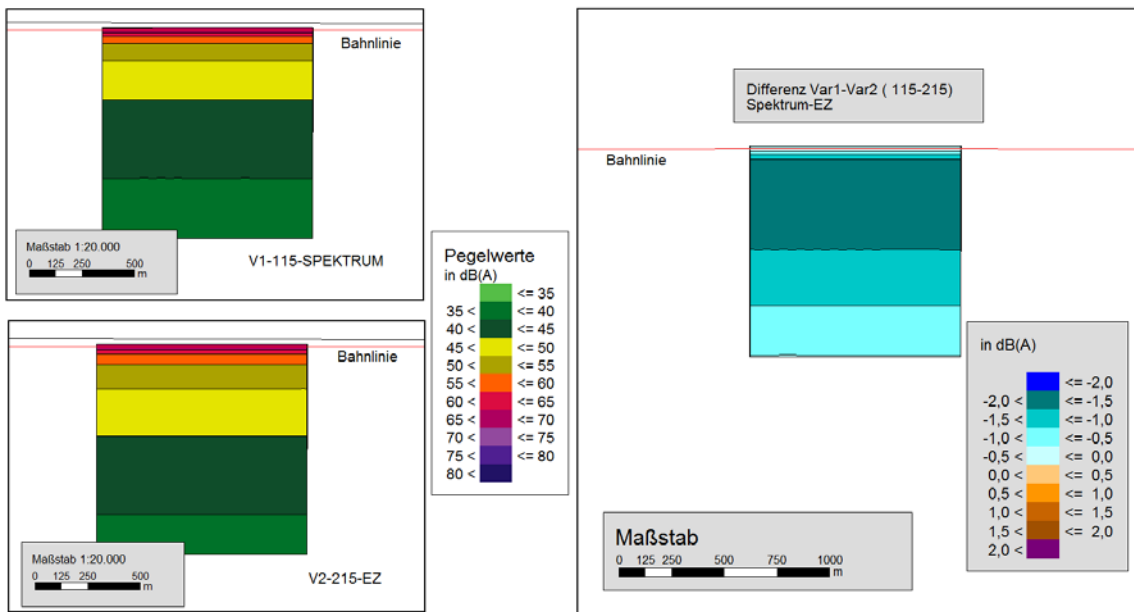


Abb. I-25: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahwert, K1, r = 256 m, 80-33, v = 40 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahwert, rechts Differenzlärmkarte

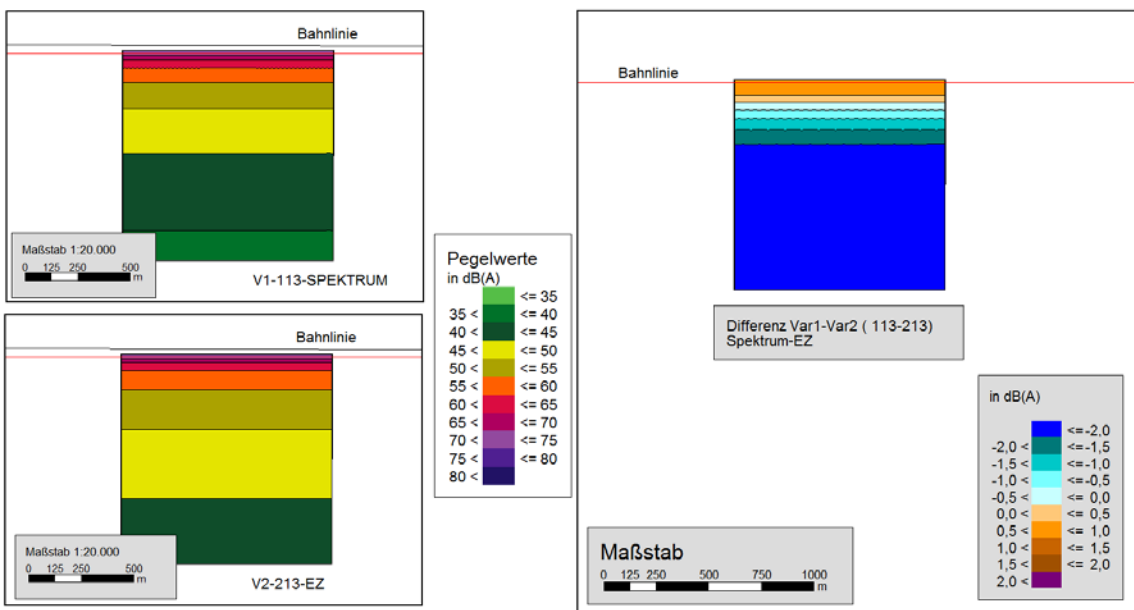


Abb. I-26: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahwert, K1, r = 256 m, 80-33, v = 40 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahwert, rechts Differenzlärmkarte

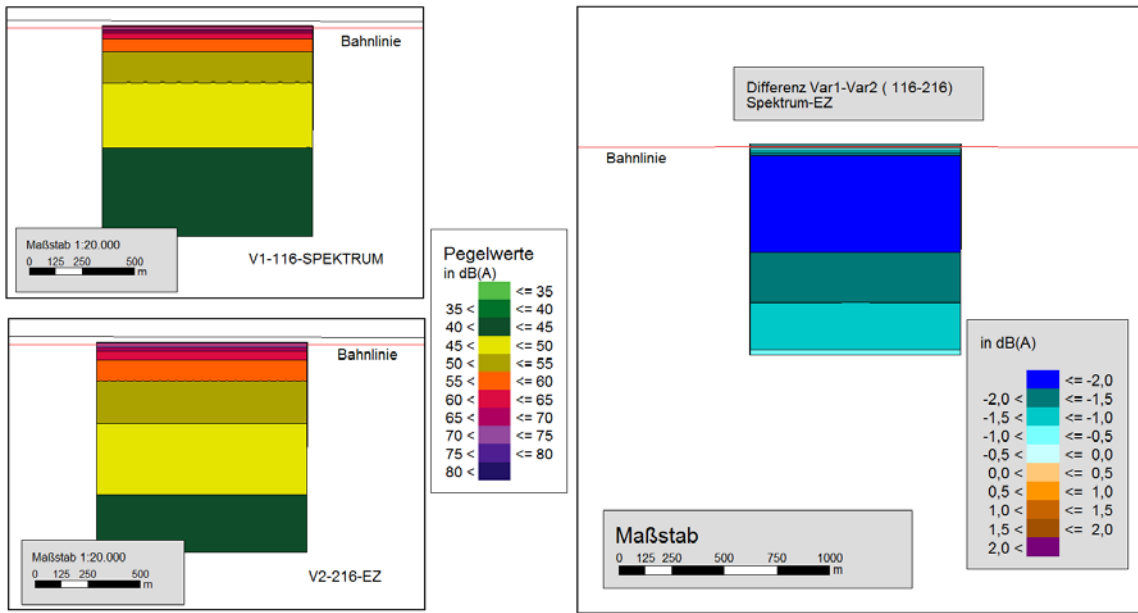


Abb. I-27: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, $r = 256$ m, 80-33, $v = 50$ km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

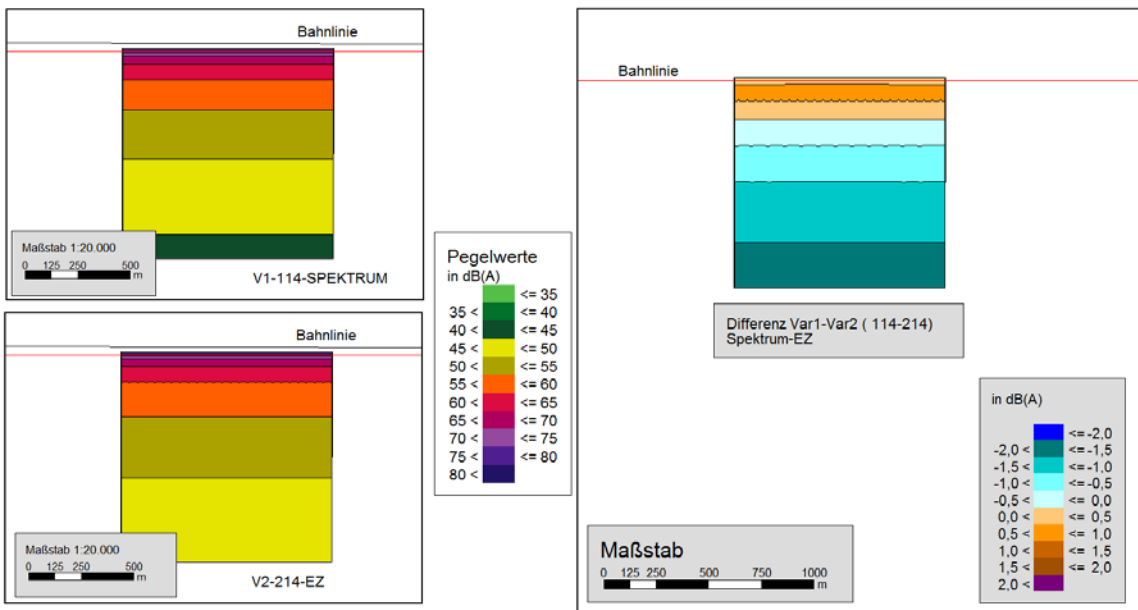


Abb. I-28: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, , K1, $r = 256$ m, 80-33, $v = 50$ km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

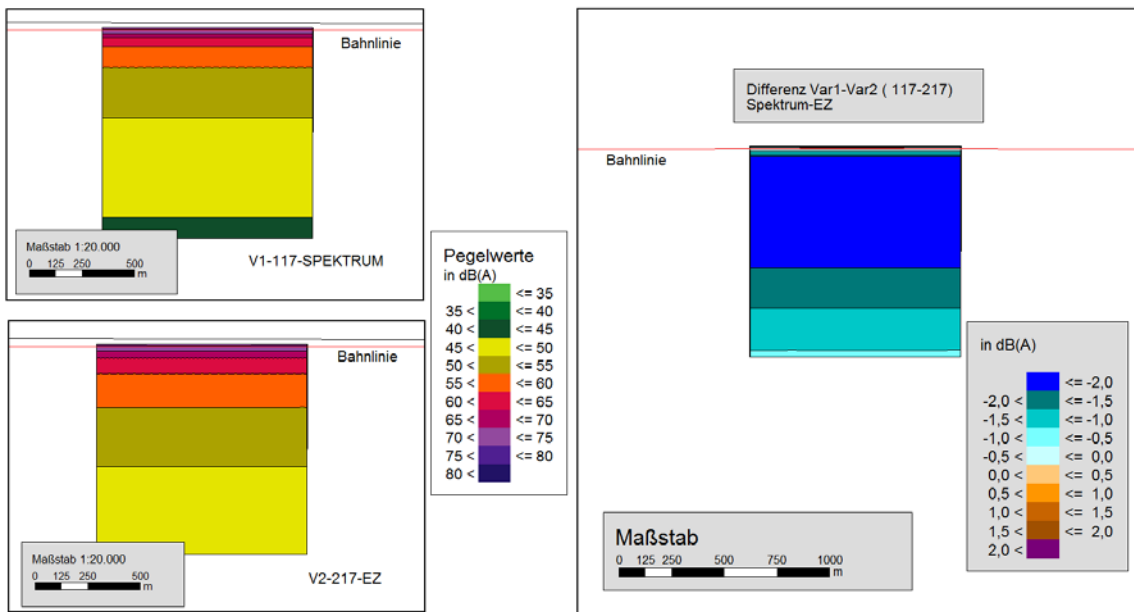


Abb. I-29: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahwert, K1, r = 256 m, 80-33, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahwert, rechts Differenzlärmkarte

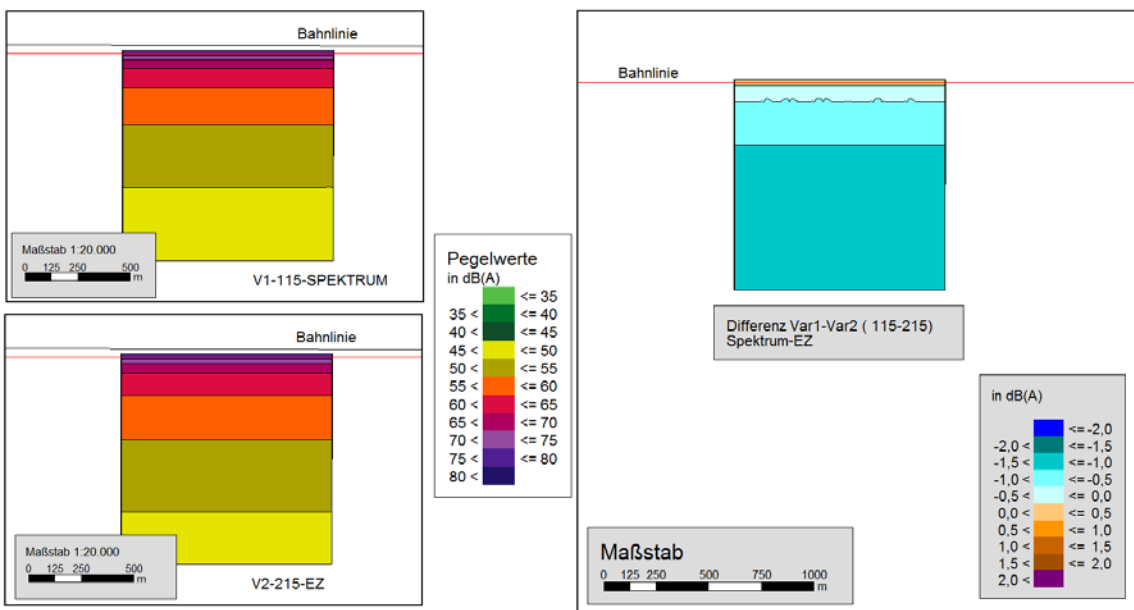


Abb. I-30: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahwert, K1, r = 256 m, 80-33, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahwert, rechts Differenzlärmkarte

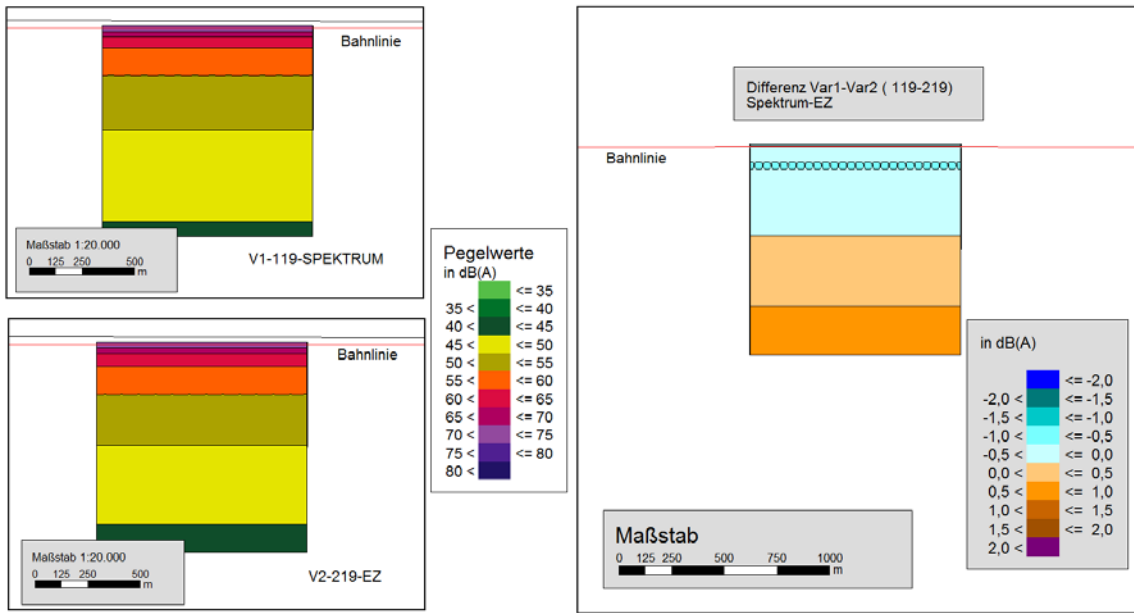


Abb. I-31: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, 80-33, v = 90 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

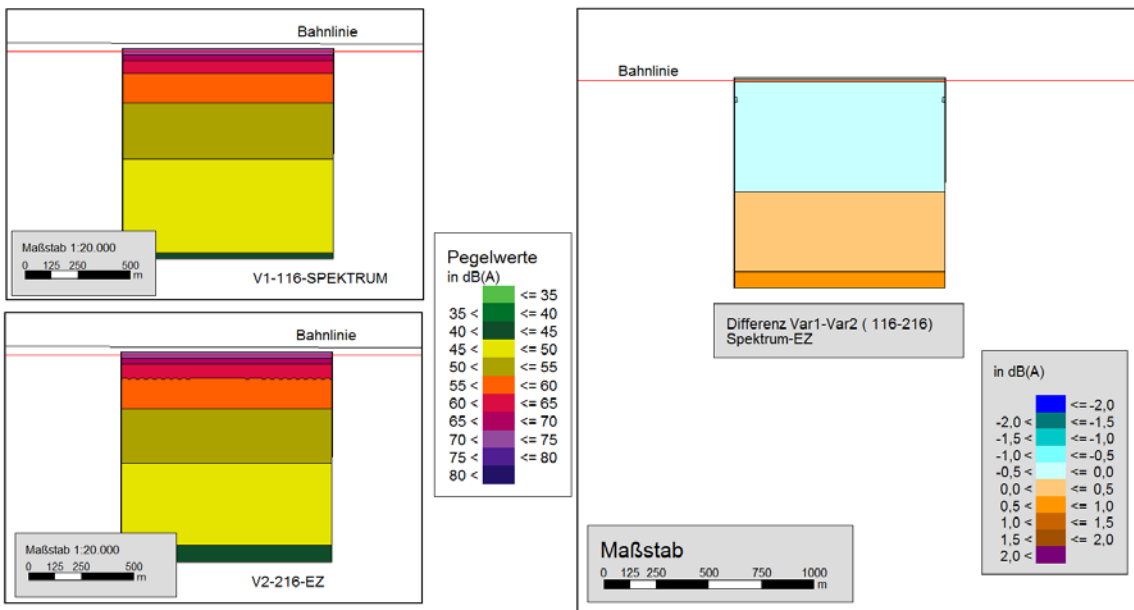


Abb. I-32: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K2, r = 440 m, 80-33, v = 90 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

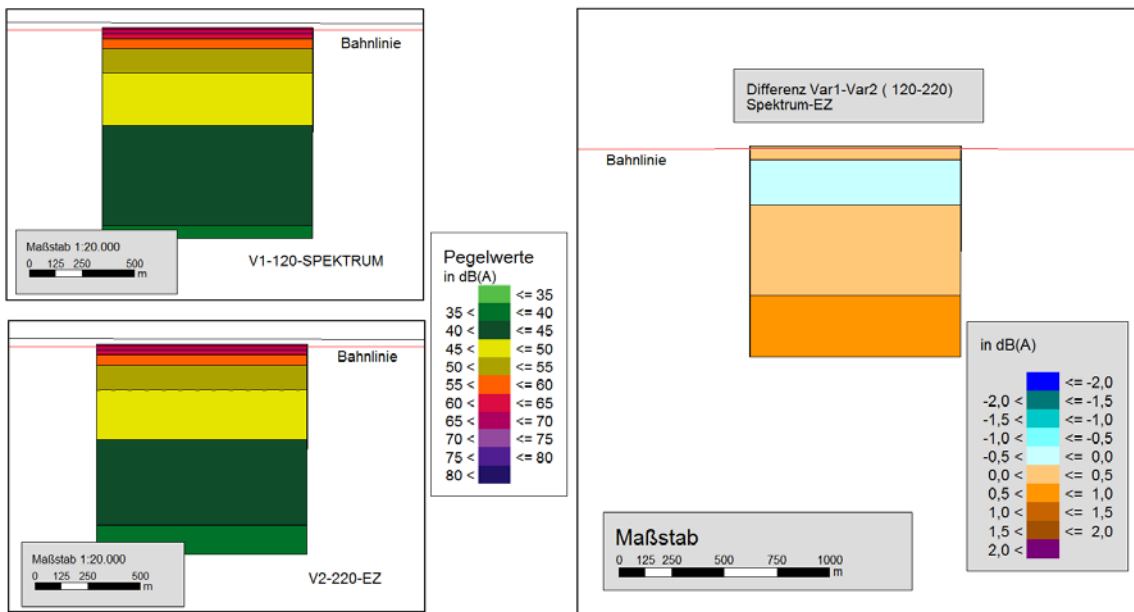


Abb. I-33: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, S4020, v = 40 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

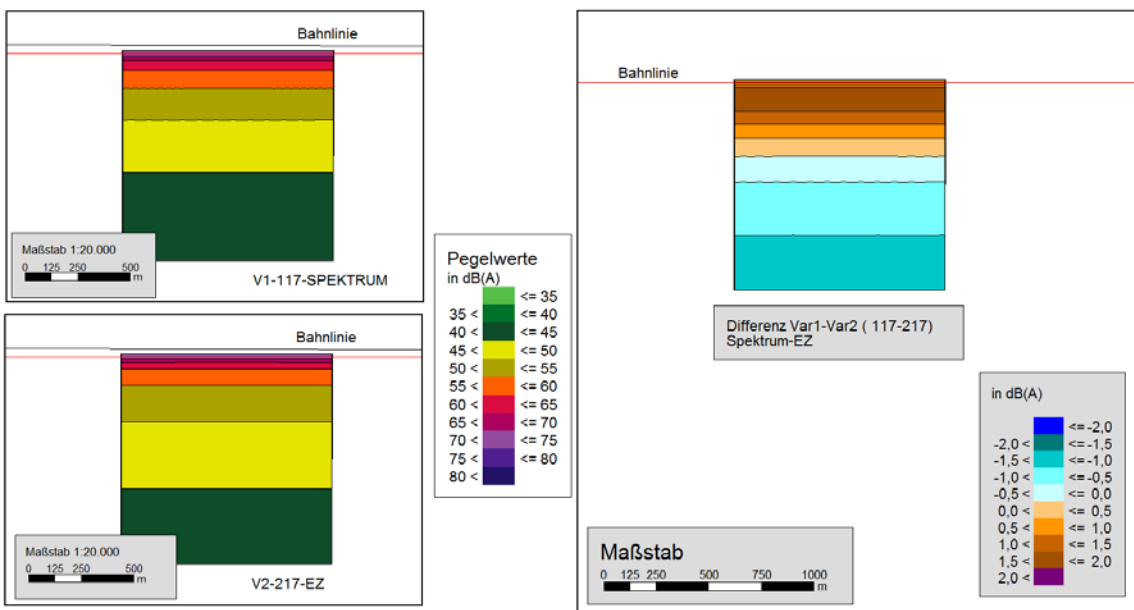


Abb. I-34: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, S4020, v = 40 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

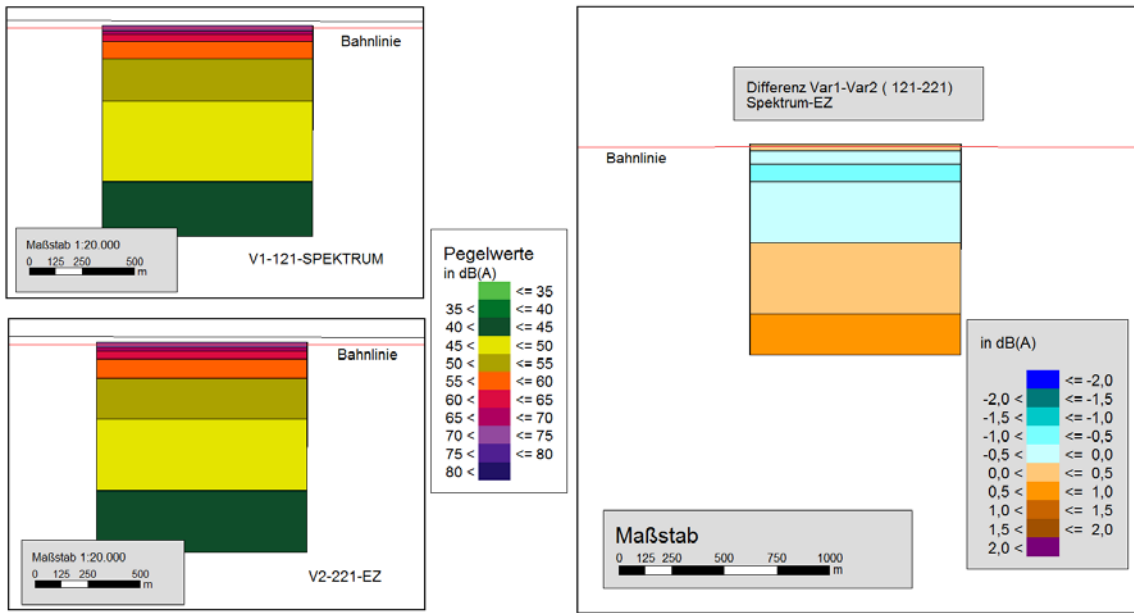


Abb. I-35: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, S4020, v = 50 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

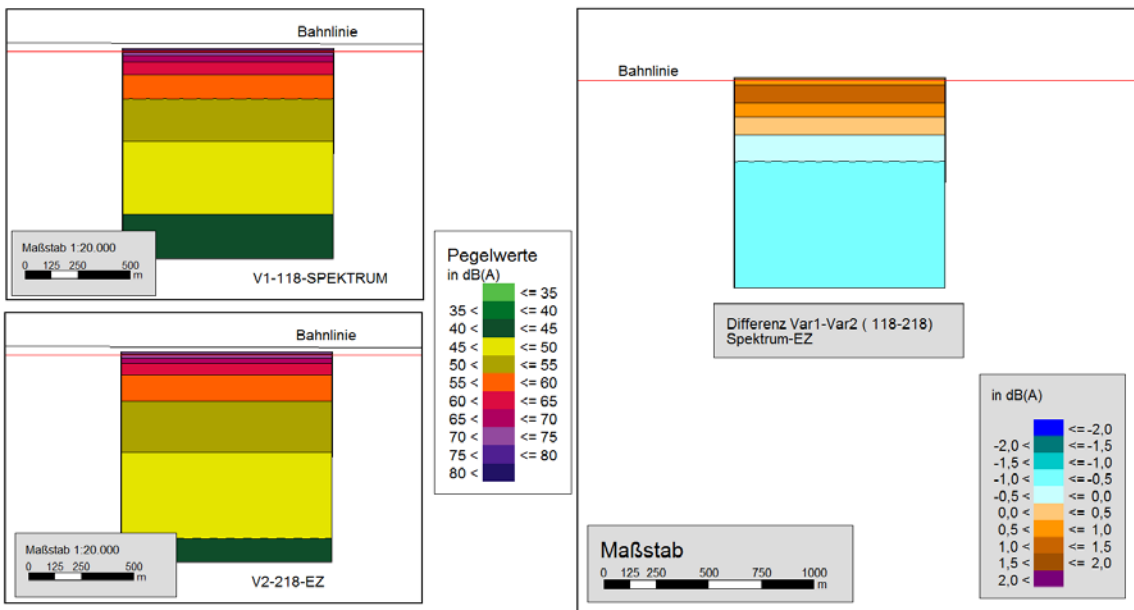


Abb. I-36: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, S4020, v = 50 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

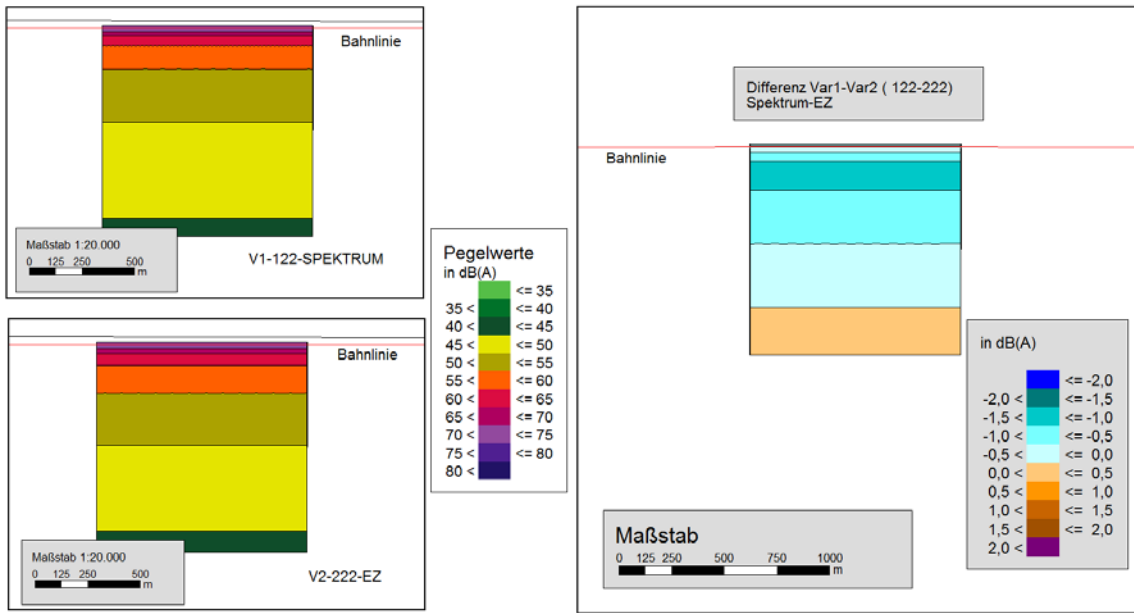


Abb. I-37: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, S4020, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

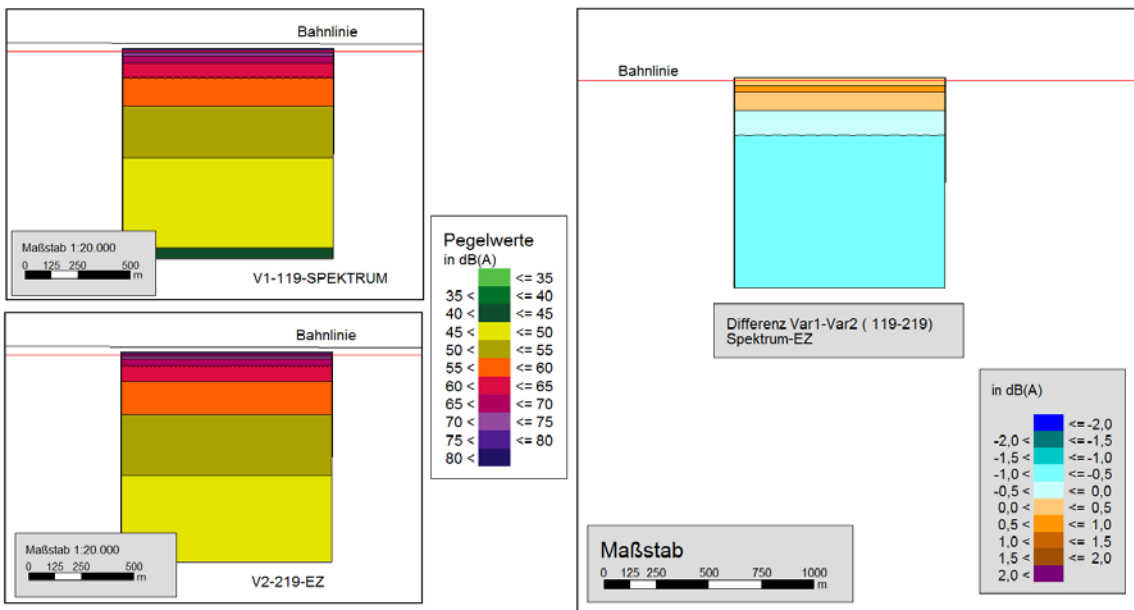


Abb. I-38: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, S4020, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärnkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärnkarte

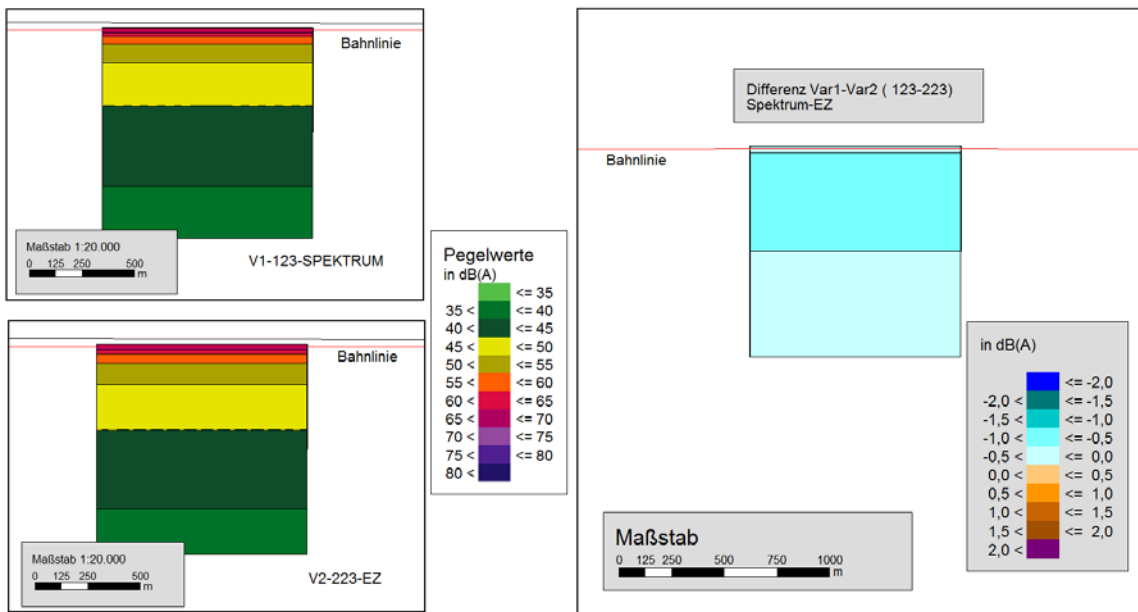


Abb. I-39: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, R = 256 m, S4024, v = 50 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

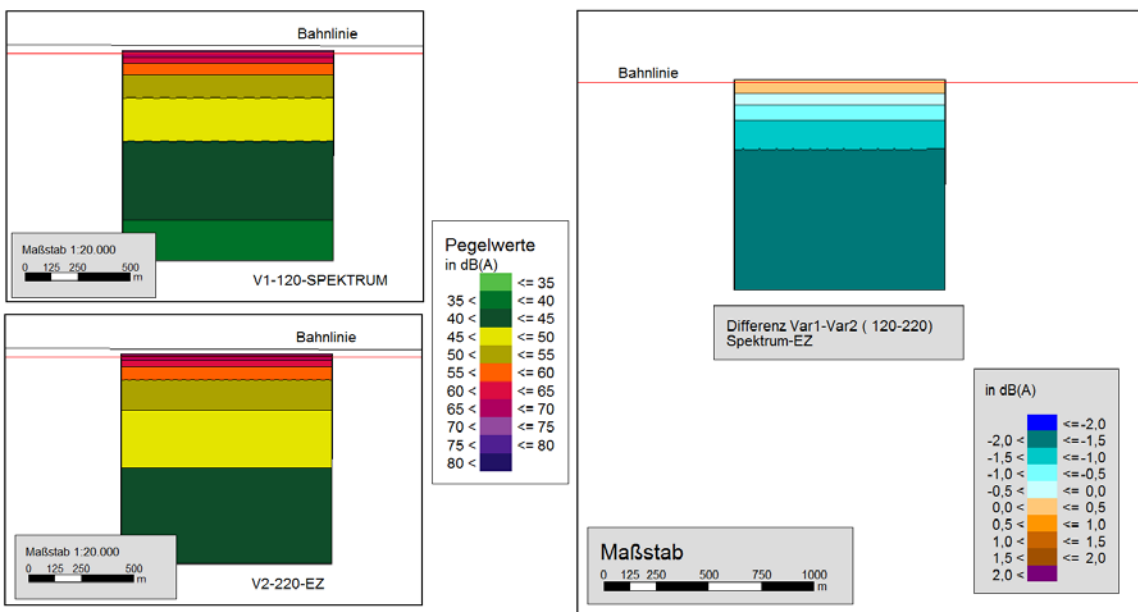


Abb. I-40: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, S4024, v = 50 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

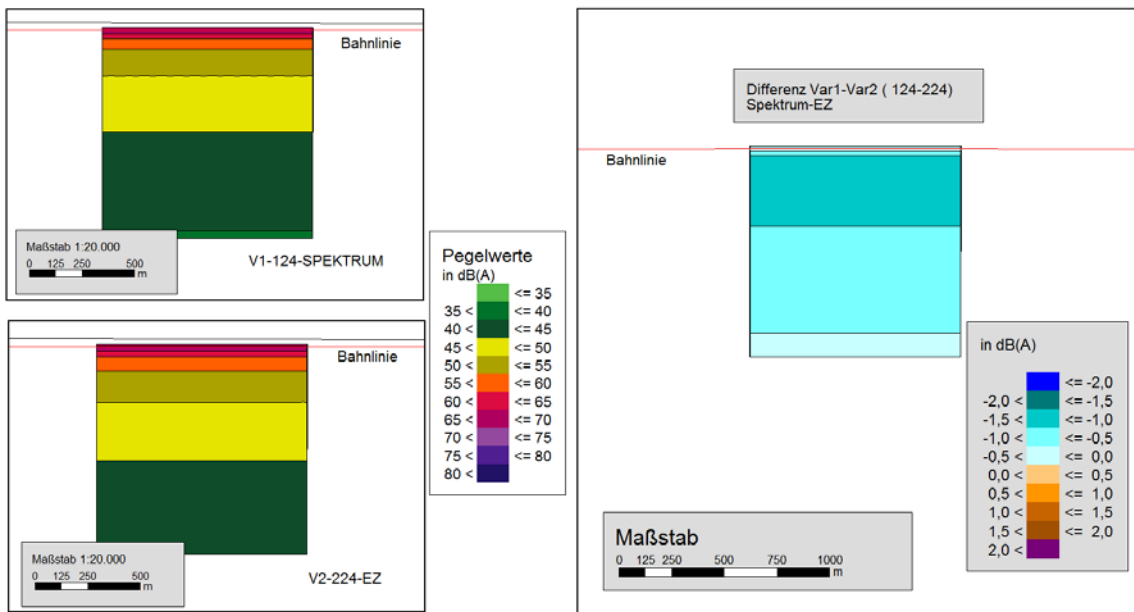


Abb. I-41: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, R = 256 m, S4024, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

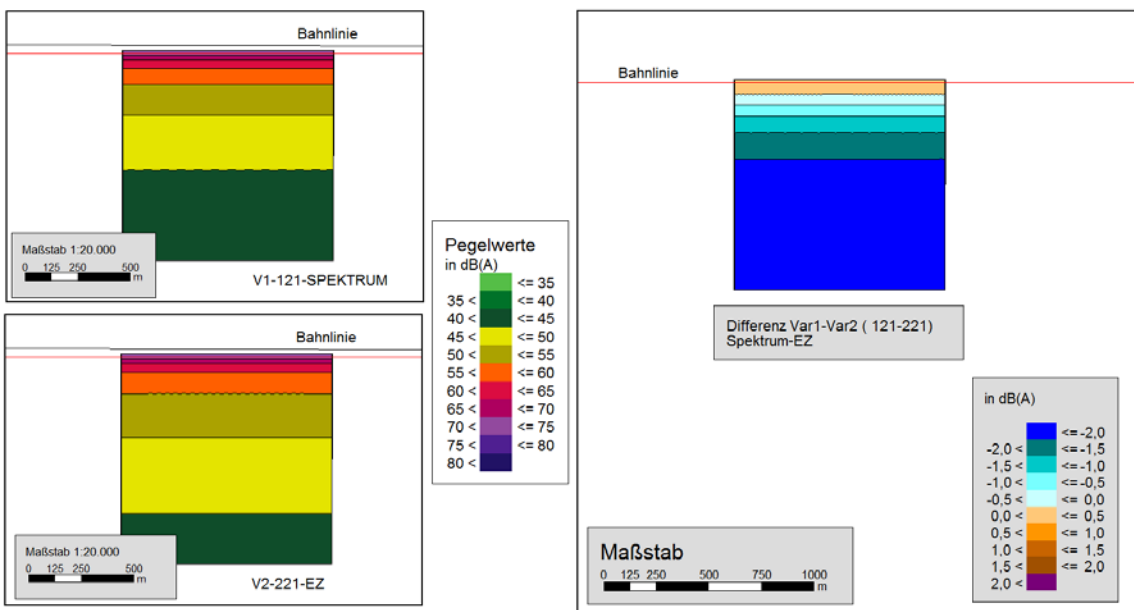


Abb. I-42: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, S4024, v = 60 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

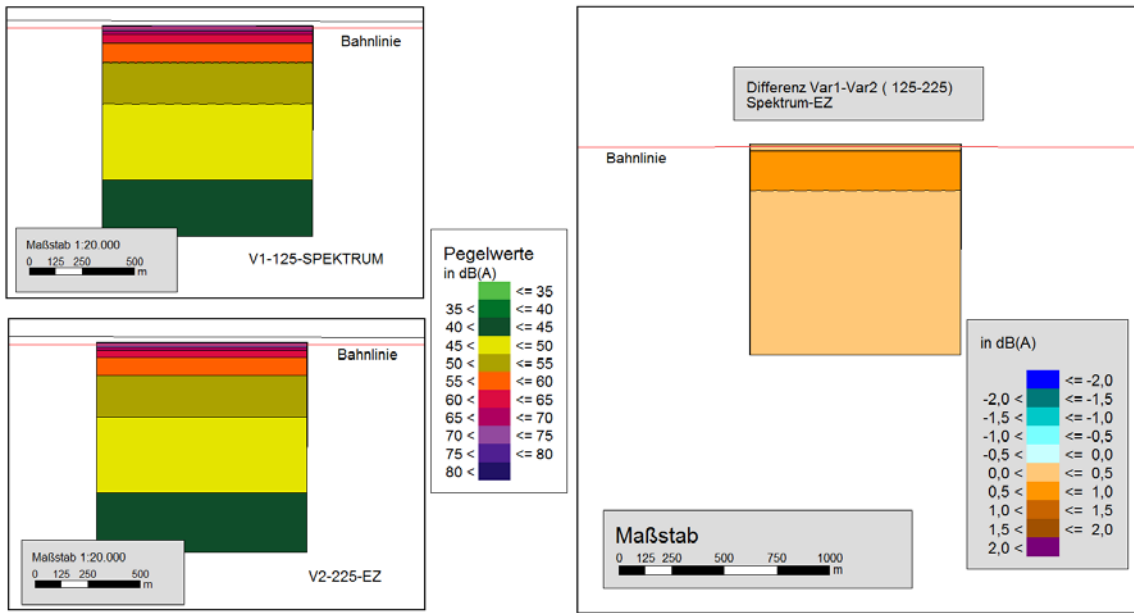


Abb. I-43: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, R = 256 m, L2016, v = 40 km/h; Korrekturfaktoren ohne Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

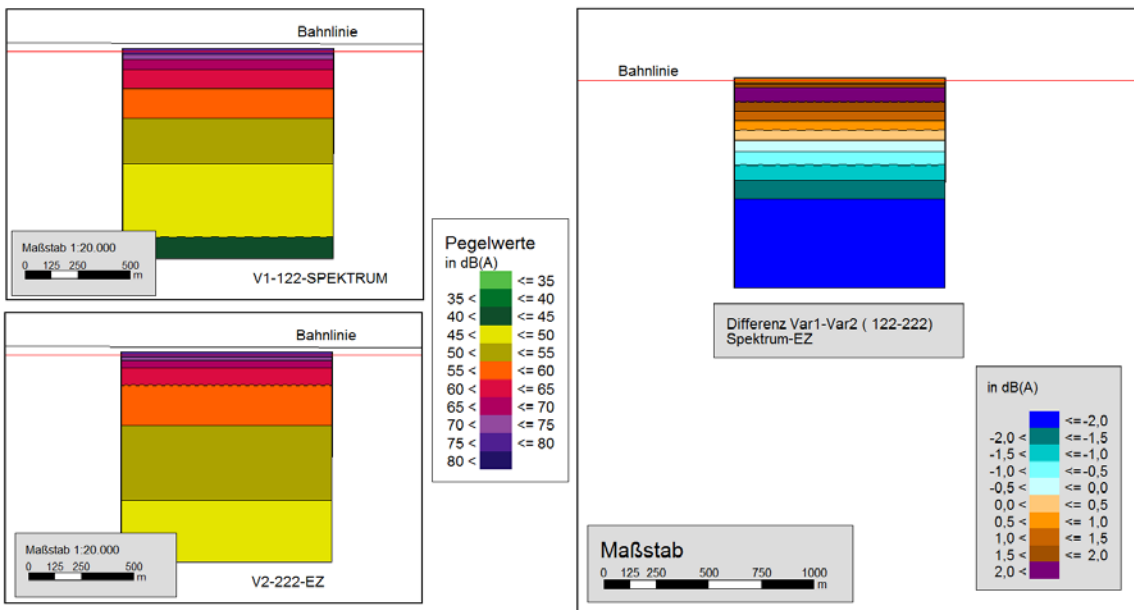


Abb. I-44: Vergleichsberechnung Oktavspektrum - Einzahlwert, K1, r = 256 m, L2016, v = 40 km/h; Korrekturfaktoren mit Auffälligkeiten, links Rasterlärmkarten mit Spektrum bzw. Einzahlwert, rechts Differenzlärmkarte

Anhang J Beispielberechnungen Gleisbögen

J.1 Freie Schallausbreitung

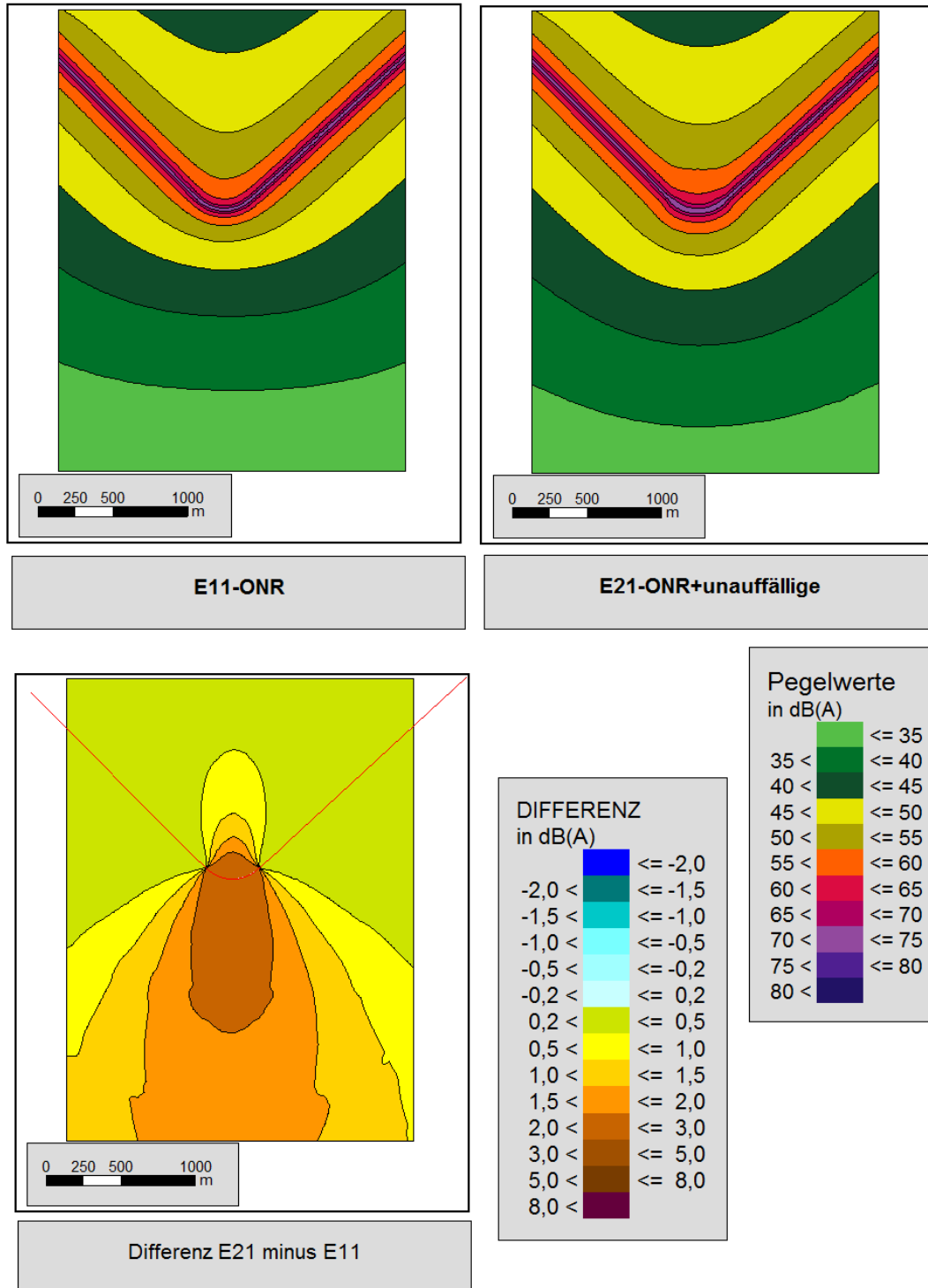


Abb. J-1: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256$ m, GZ, $v = 40$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

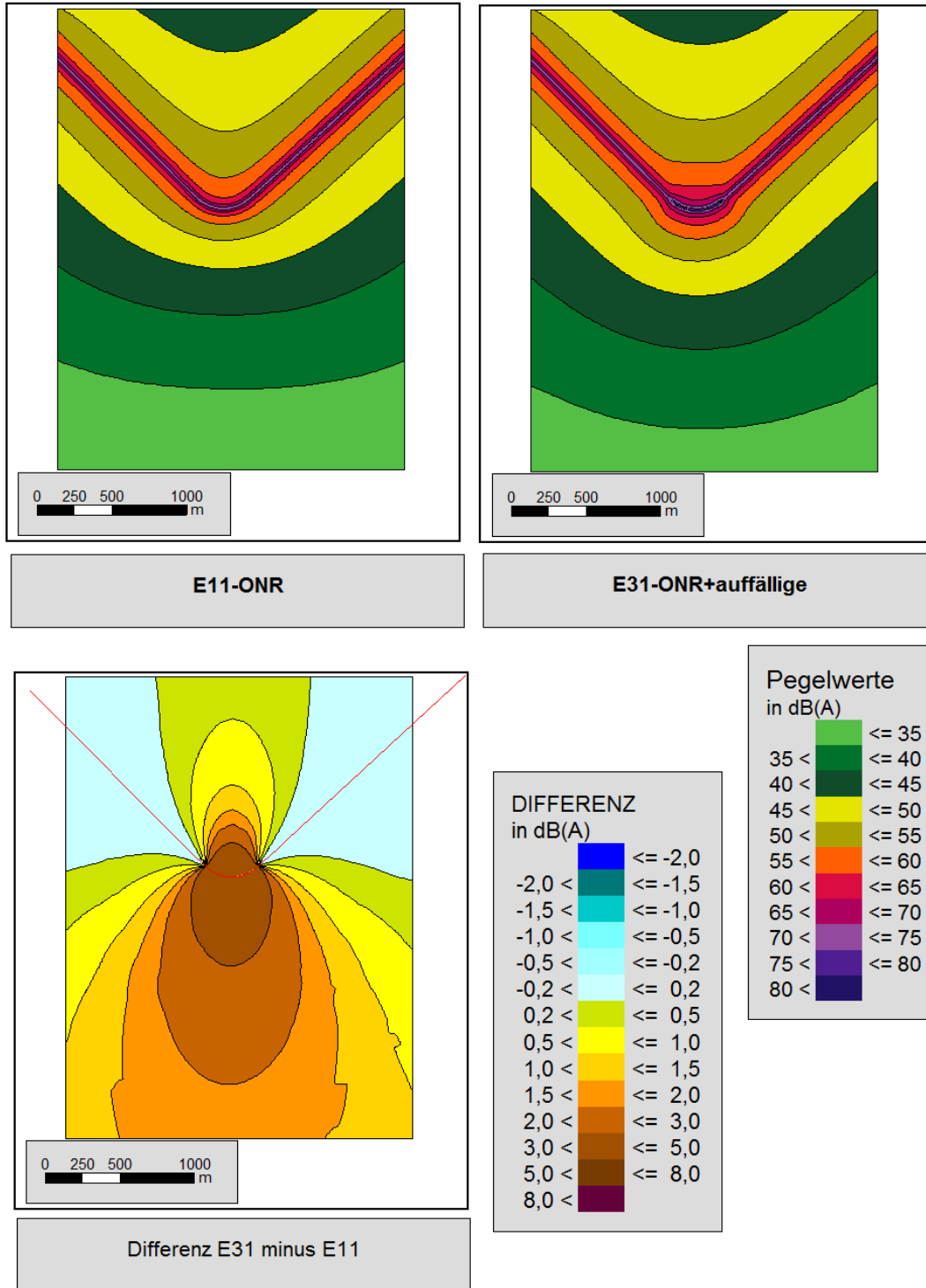


Abb. J-2: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256$ m, GZ, $v = 40$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

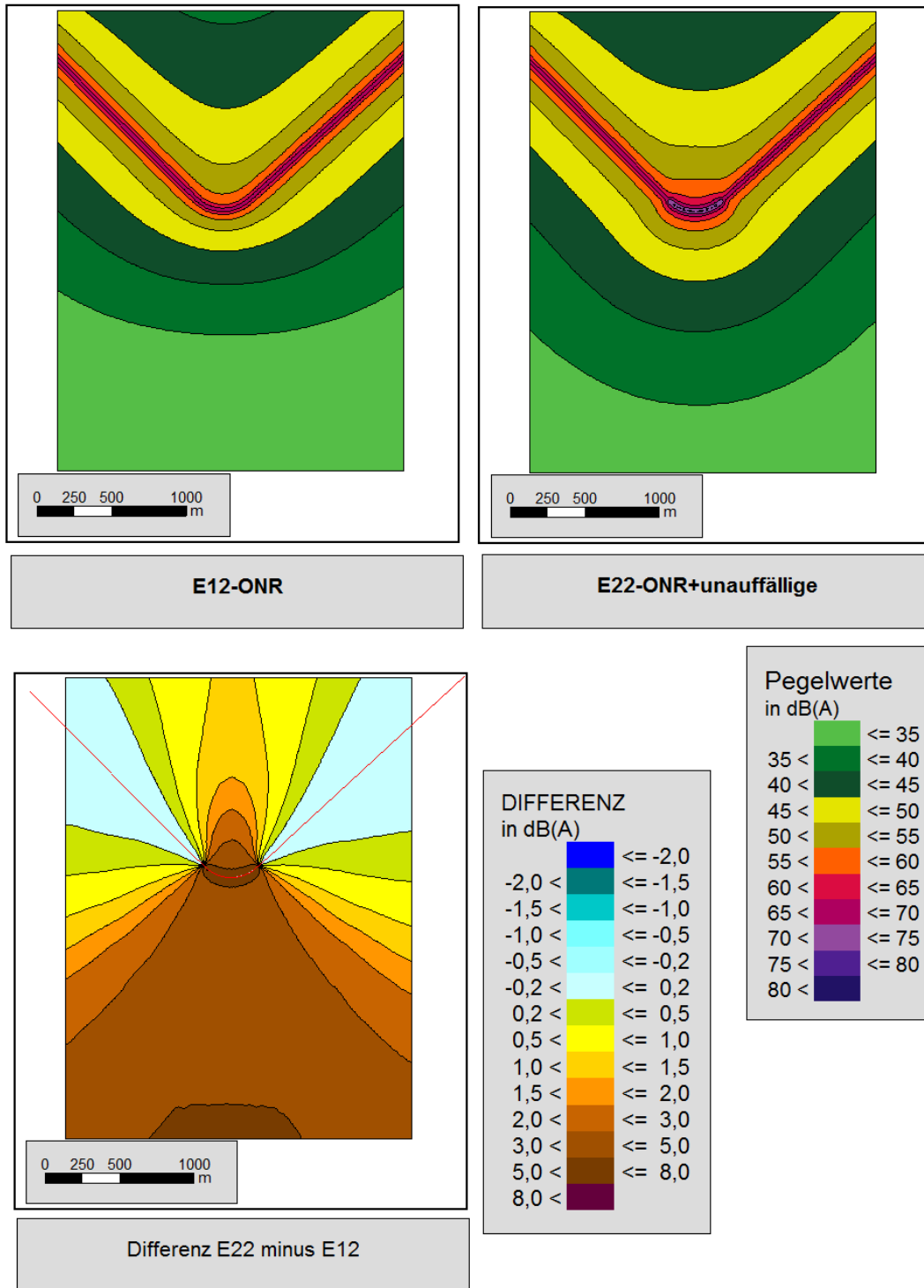


Abb. J-3: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256 \text{ m}$, 80-33, $v = 60 \text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

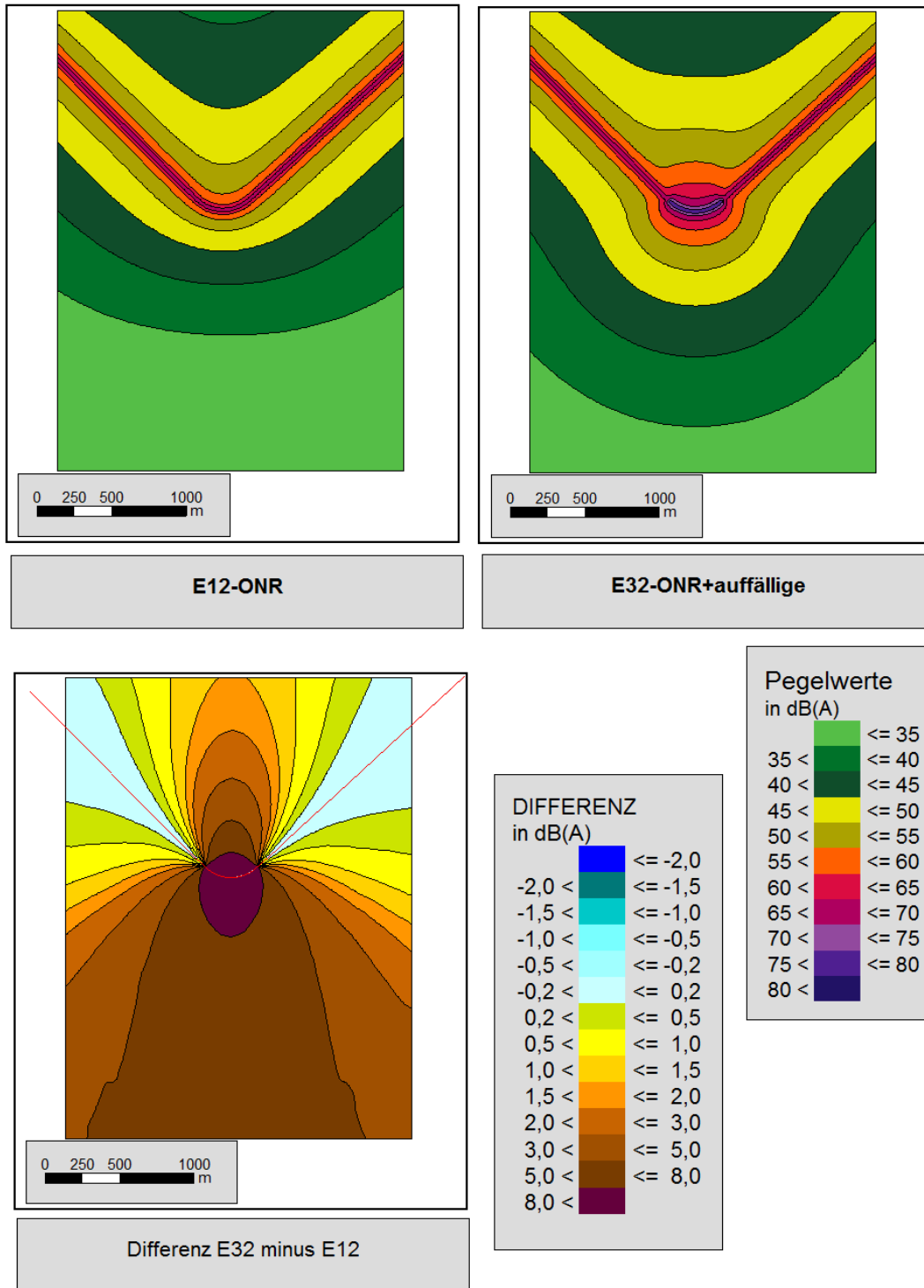


Abb. J-4: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256 \text{ m}$, 80-33, $v = 60 \text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

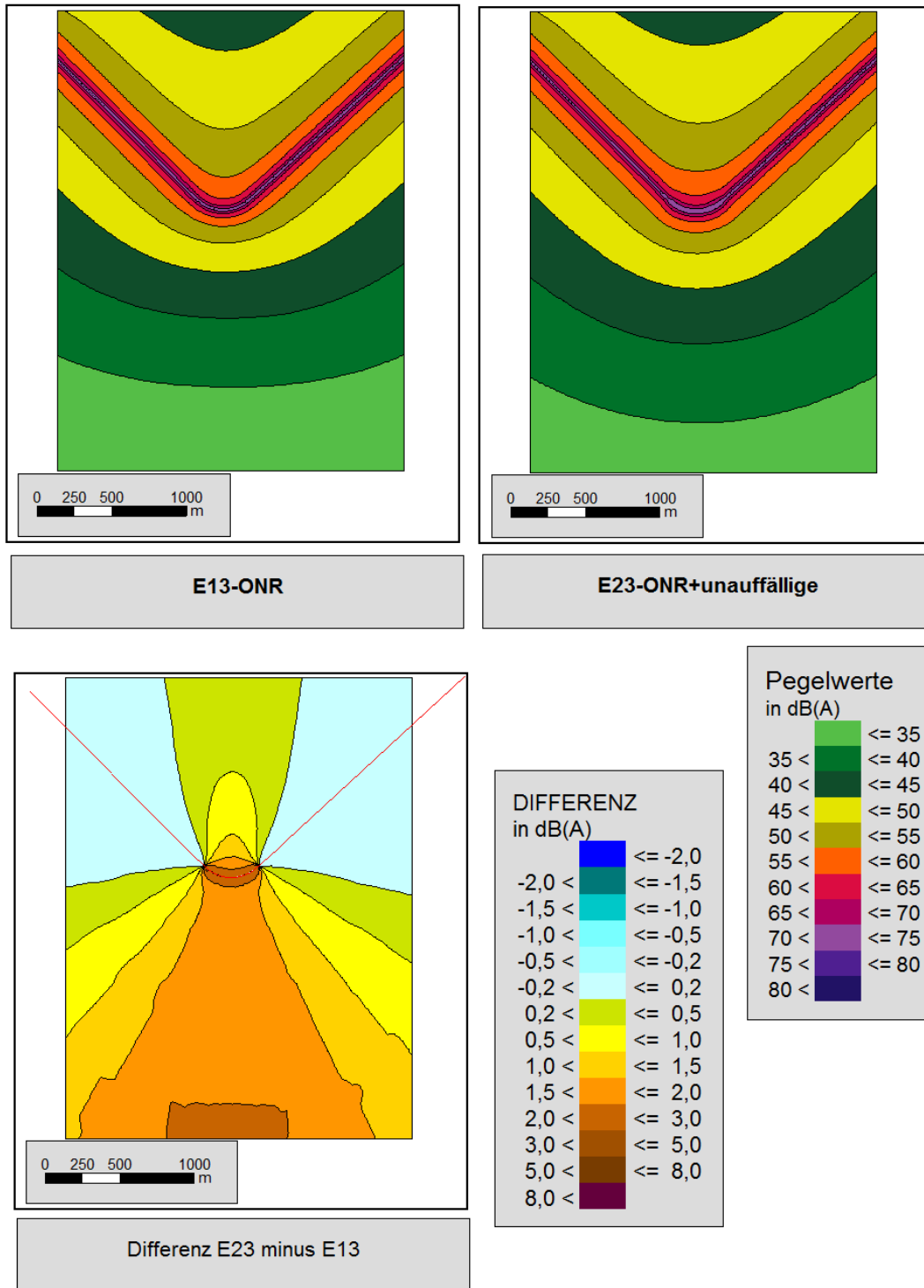


Abb. J-5: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256$ m, S4020, $v = 60$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

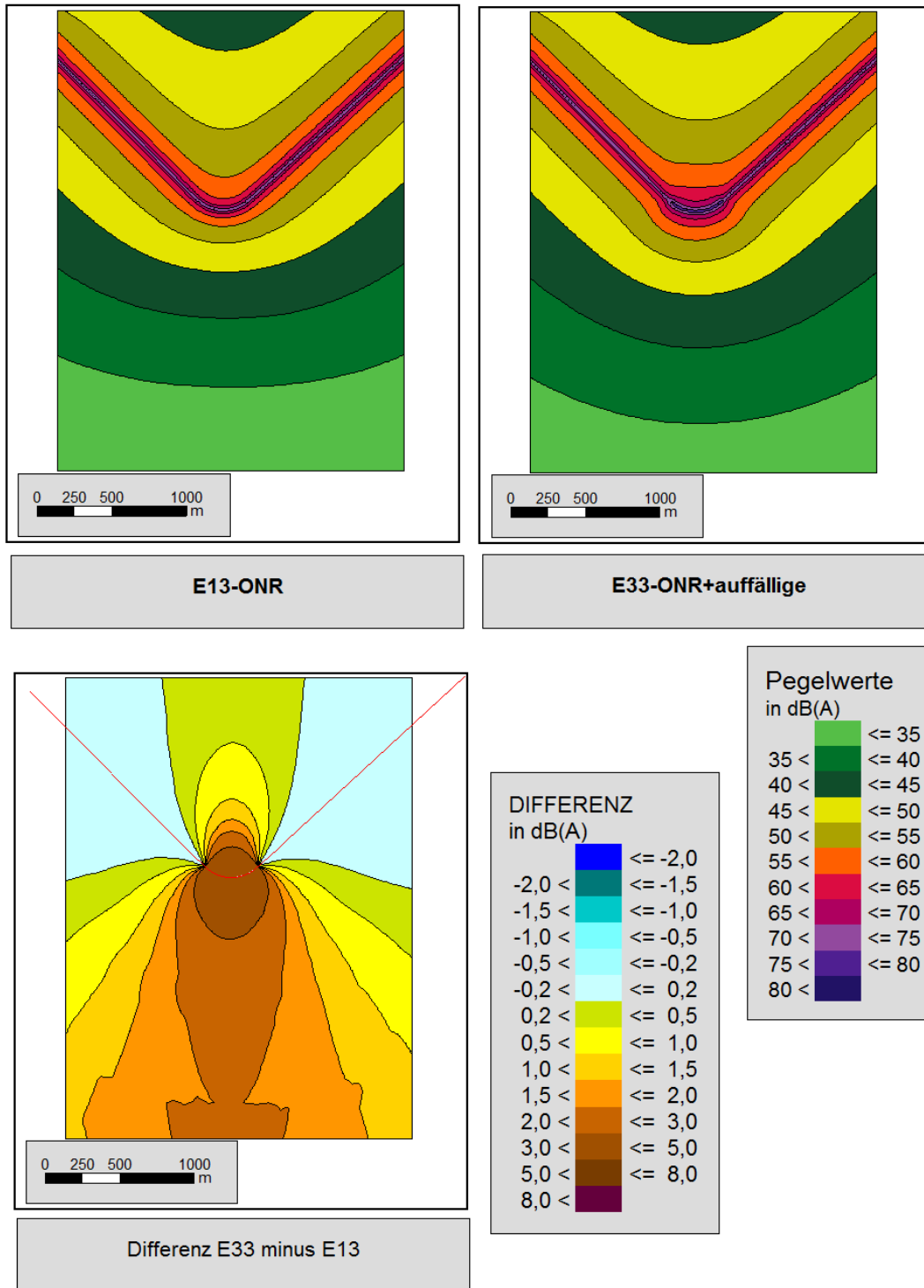
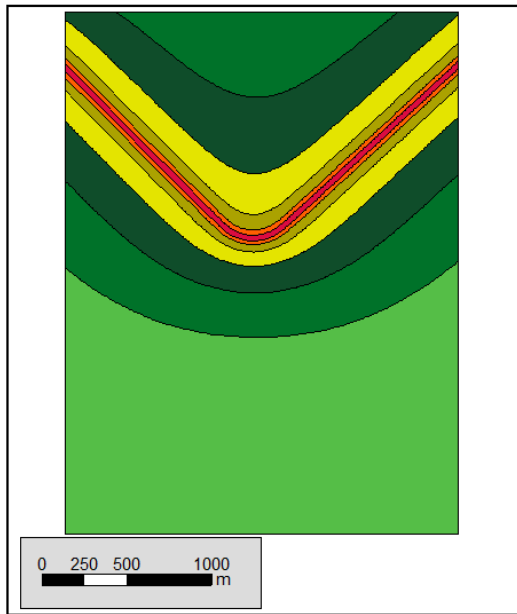
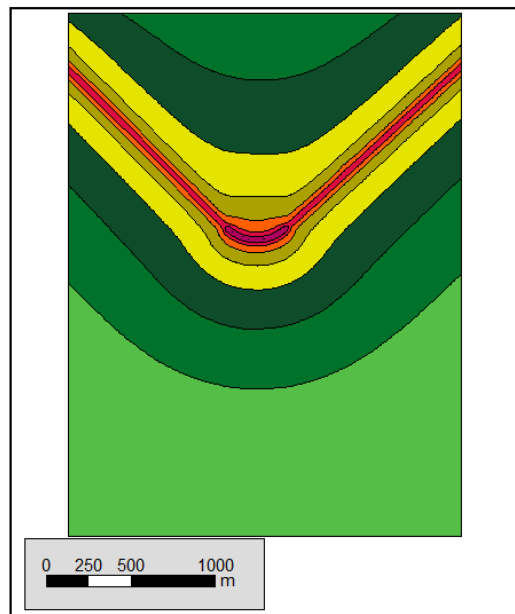


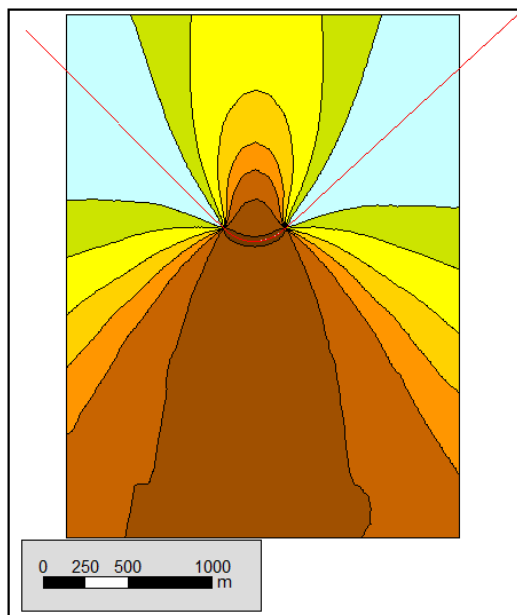
Abb. J-6: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256 \text{ m}$, S4020, $v = 60 \text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte



E14-ONR



E24-ONR+unauffällige



Differenz E24 minus E14

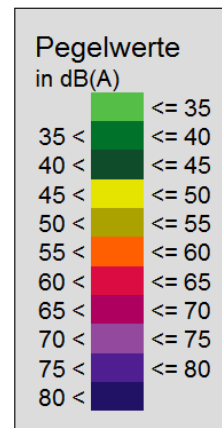
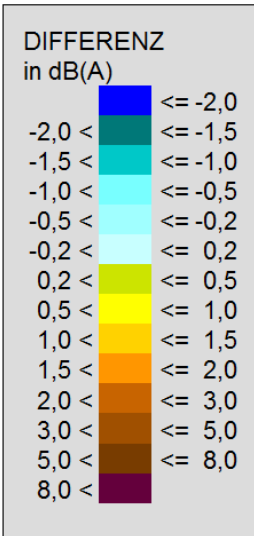


Abb. J-7: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256 \text{ m}$, S4024, $v = 60 \text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

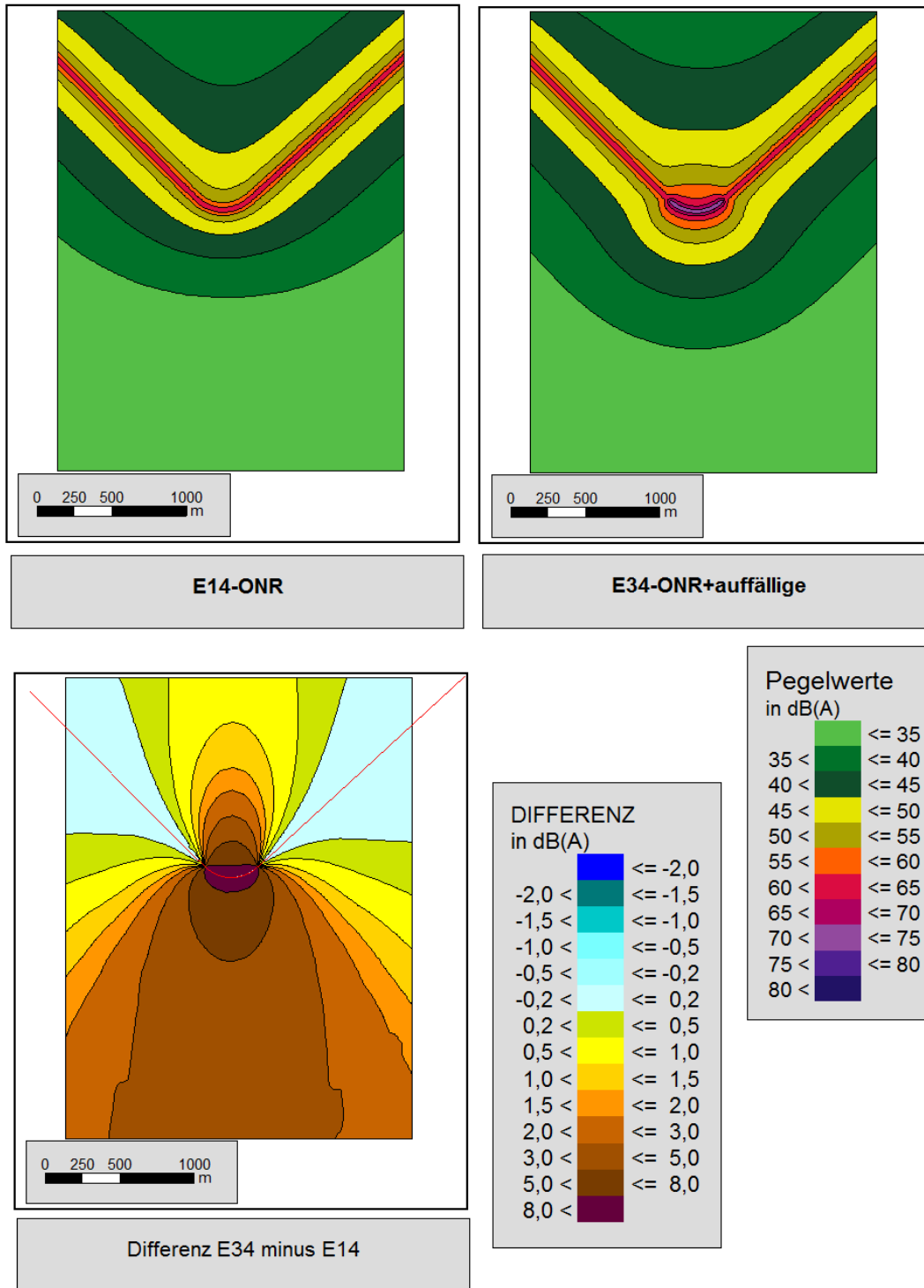


Abb. J-8: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256 \text{ m}$, S4024, $v = 60 \text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

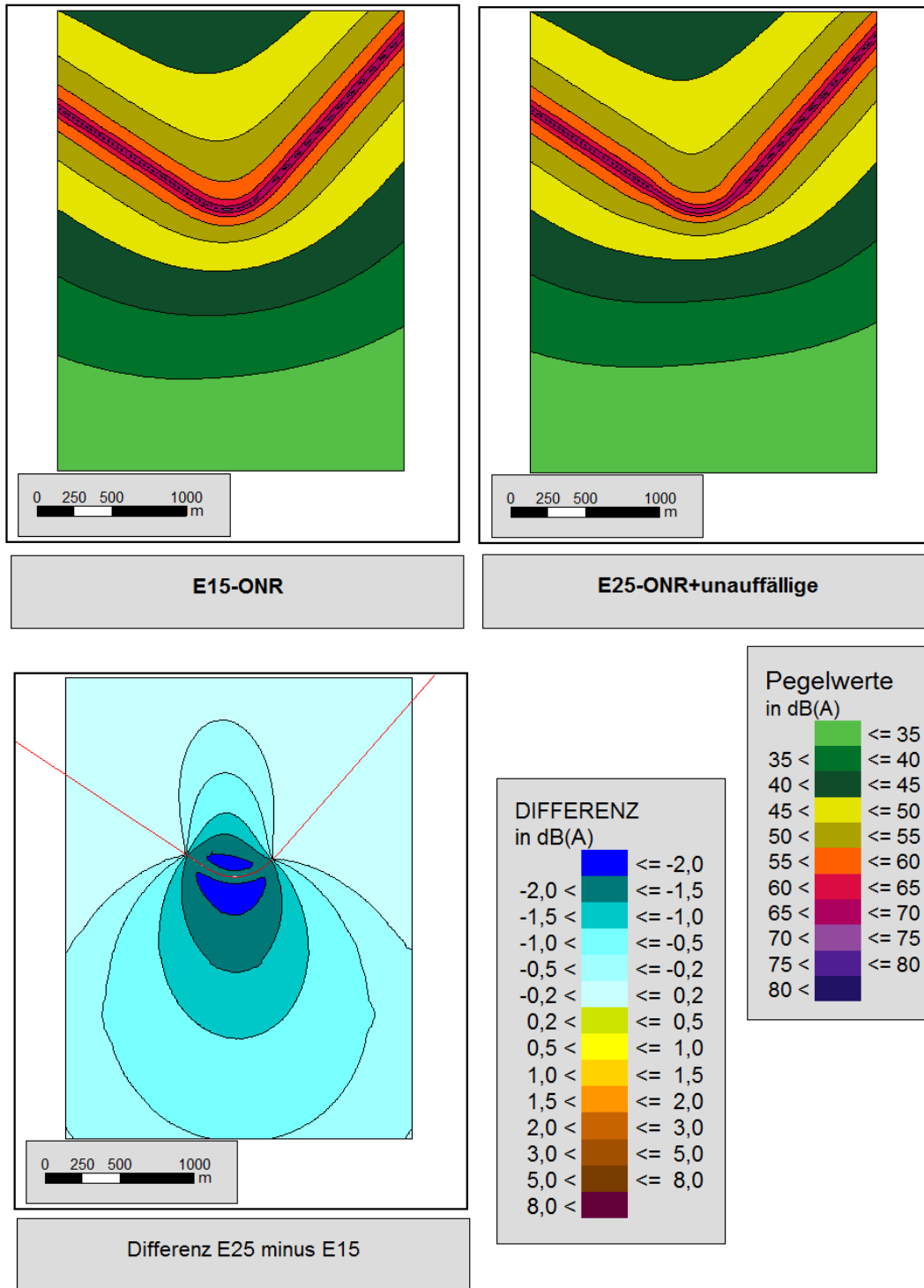


Abb. J-9: Beispielberechnung Gleisbogen K3, $r = 310$ m, RailJ, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

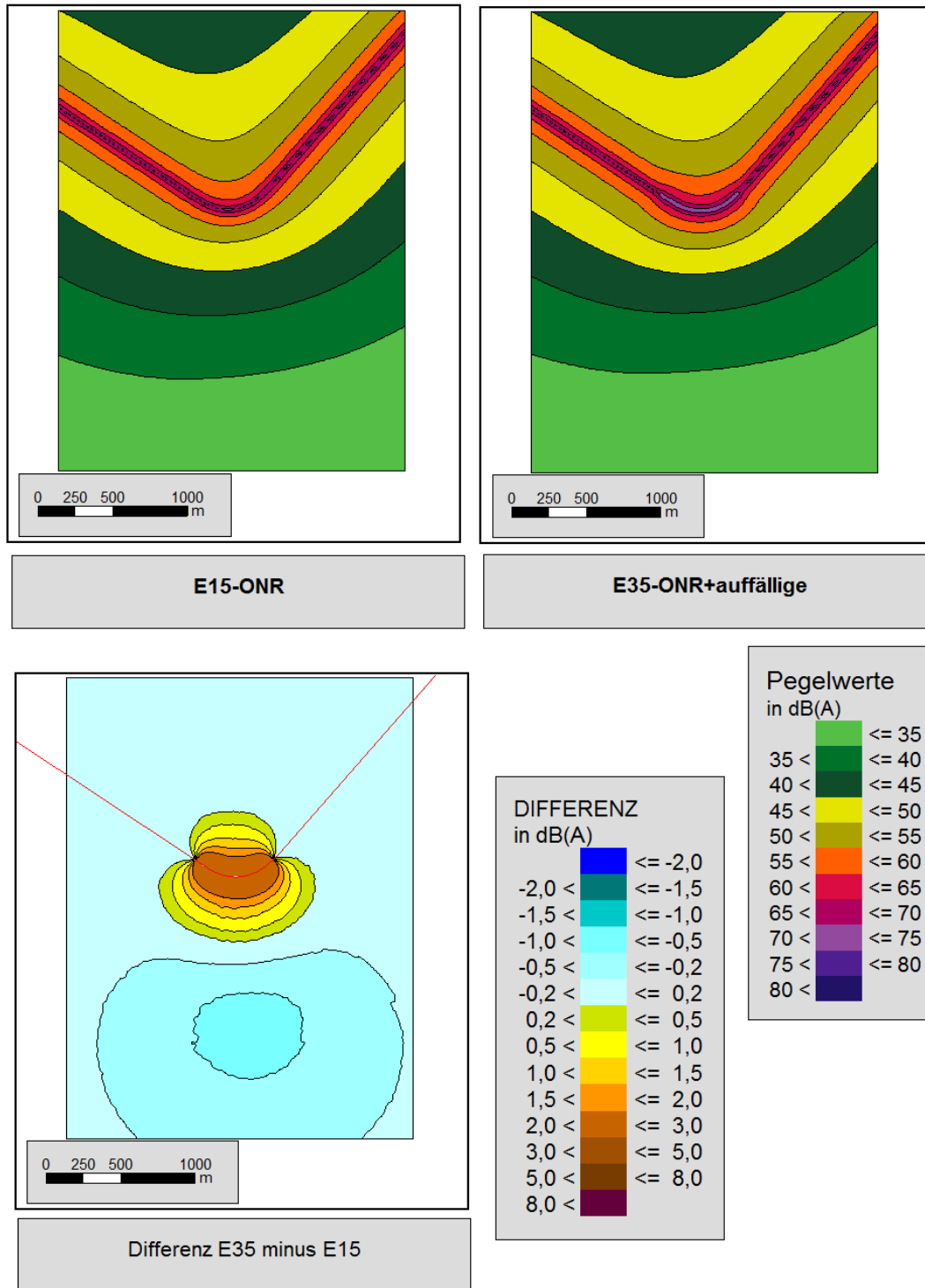


Abb. J-10: Beispielberechnung Gleisbogen K3, $r = 310$ m, RailJ, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

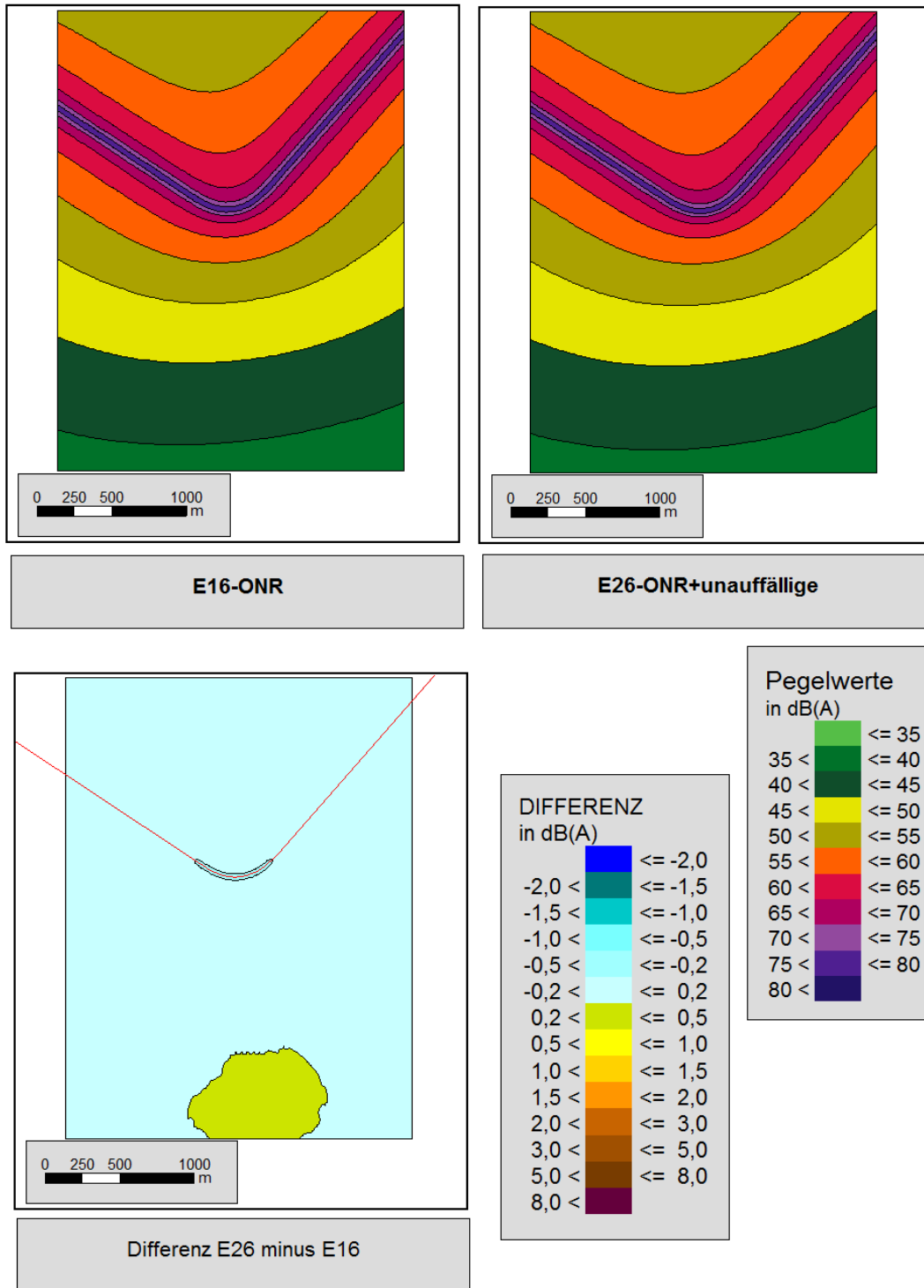


Abb. J-11: Beispielberechnung Gleisbogen K3, $r = 310$ m, GZ, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

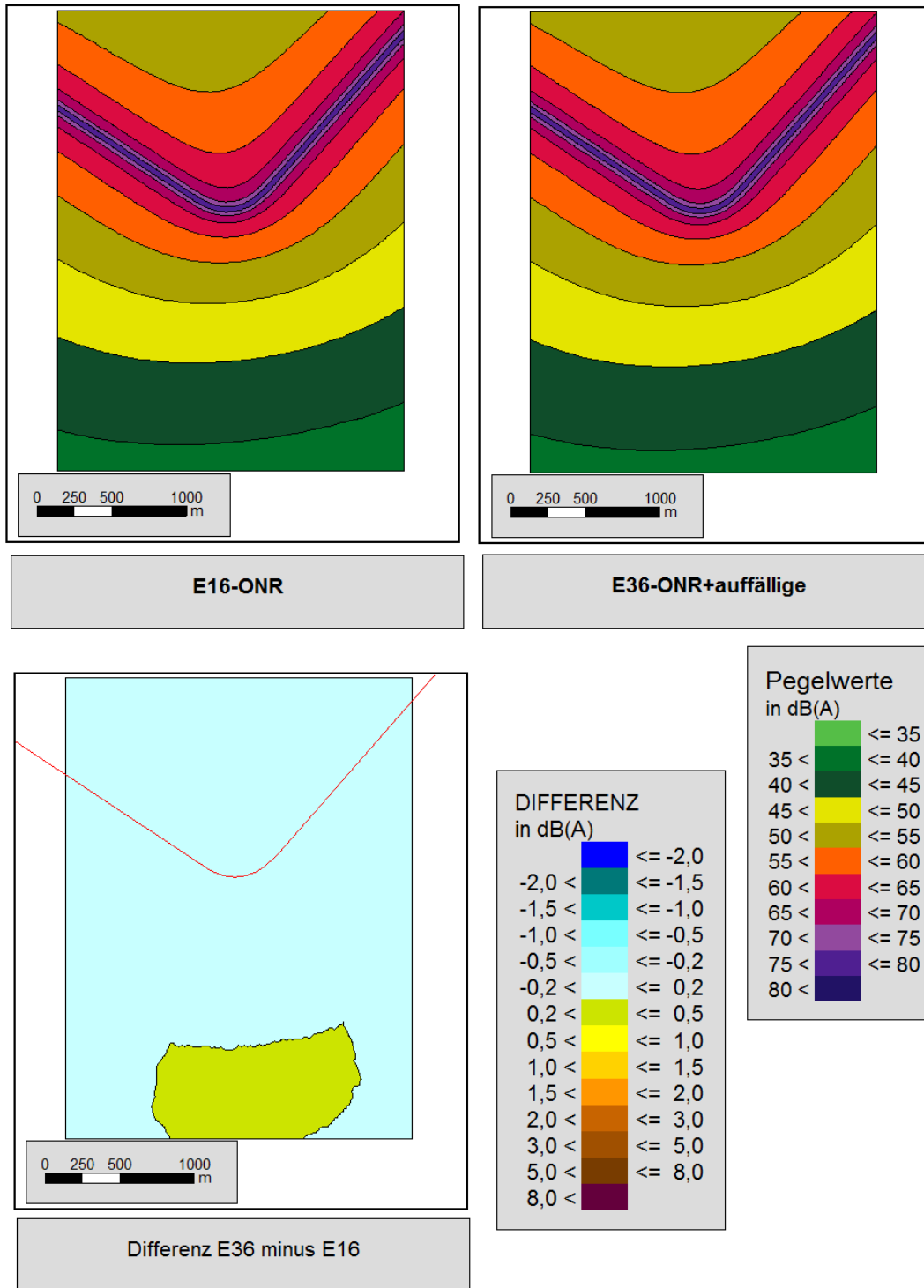


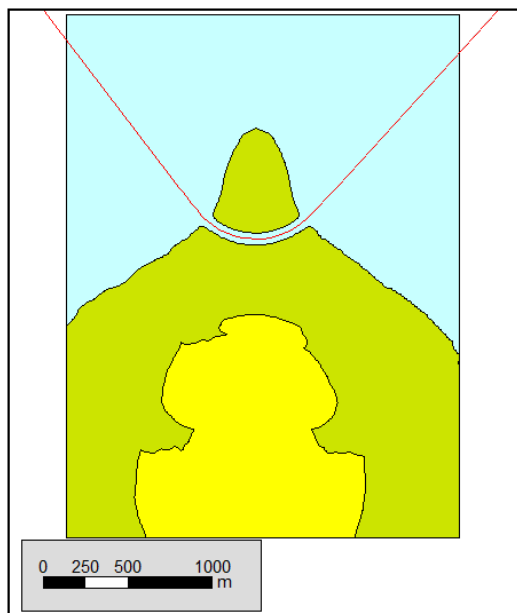
Abb. J-12: Beispielberechnung Gleisbogen K3, $r = 310$ m, GZ, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte



E17-ONR



E27-ONR+unauffällige



Differenz E27 minus E17

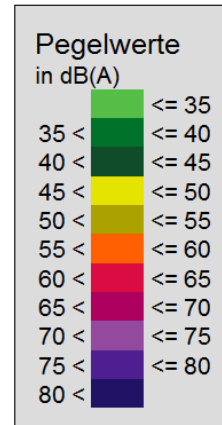
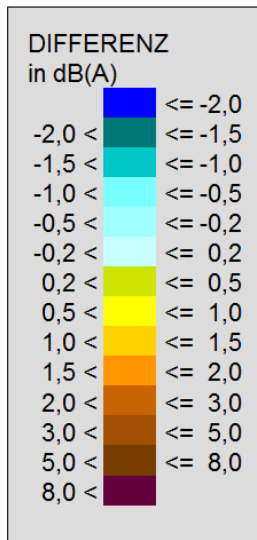


Abb. J-13: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, GZ, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

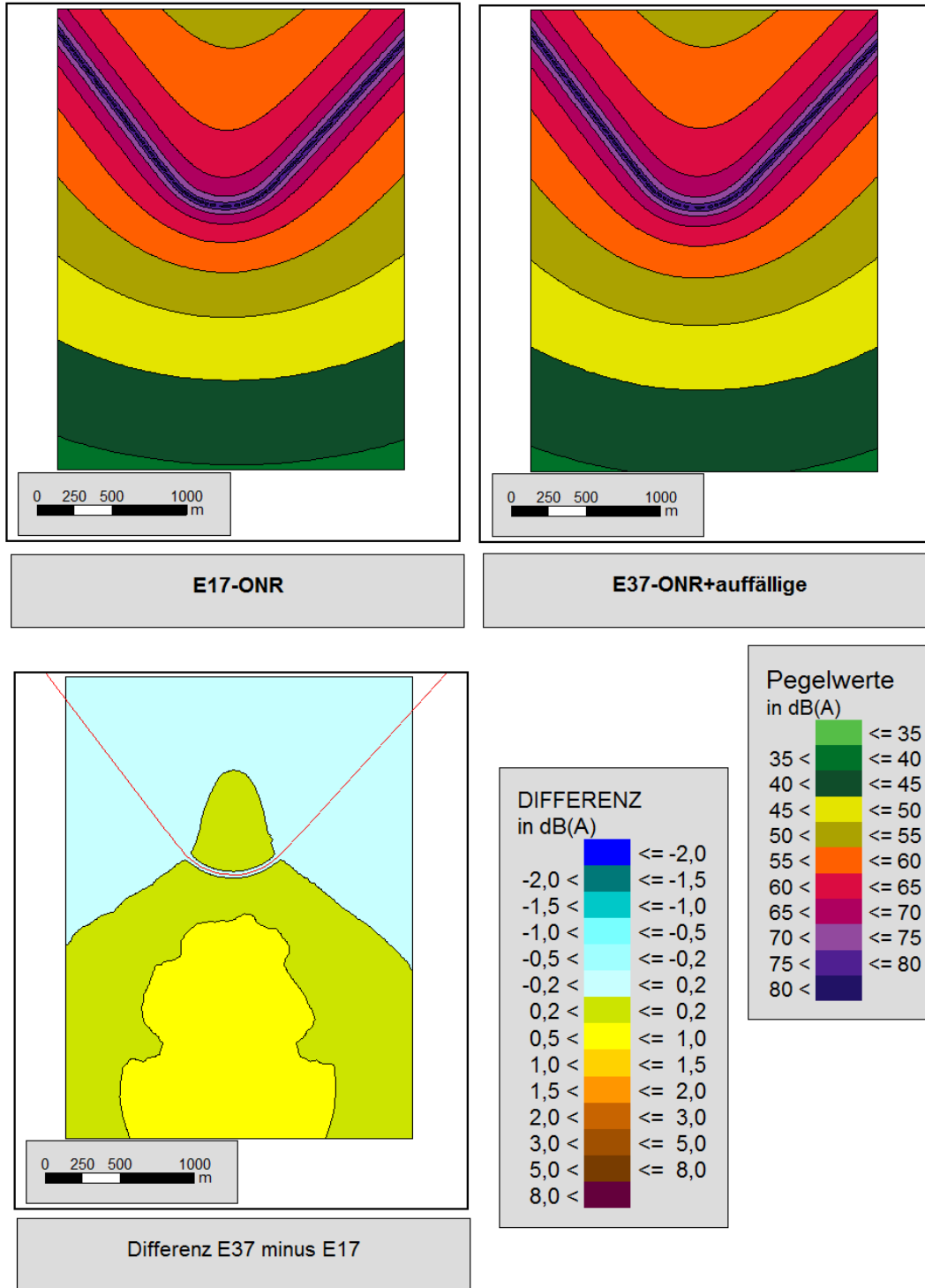


Abb. J-14: Beispielberechnung Gleisbogen K2, r = 440 m, GZ, v = 90 km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

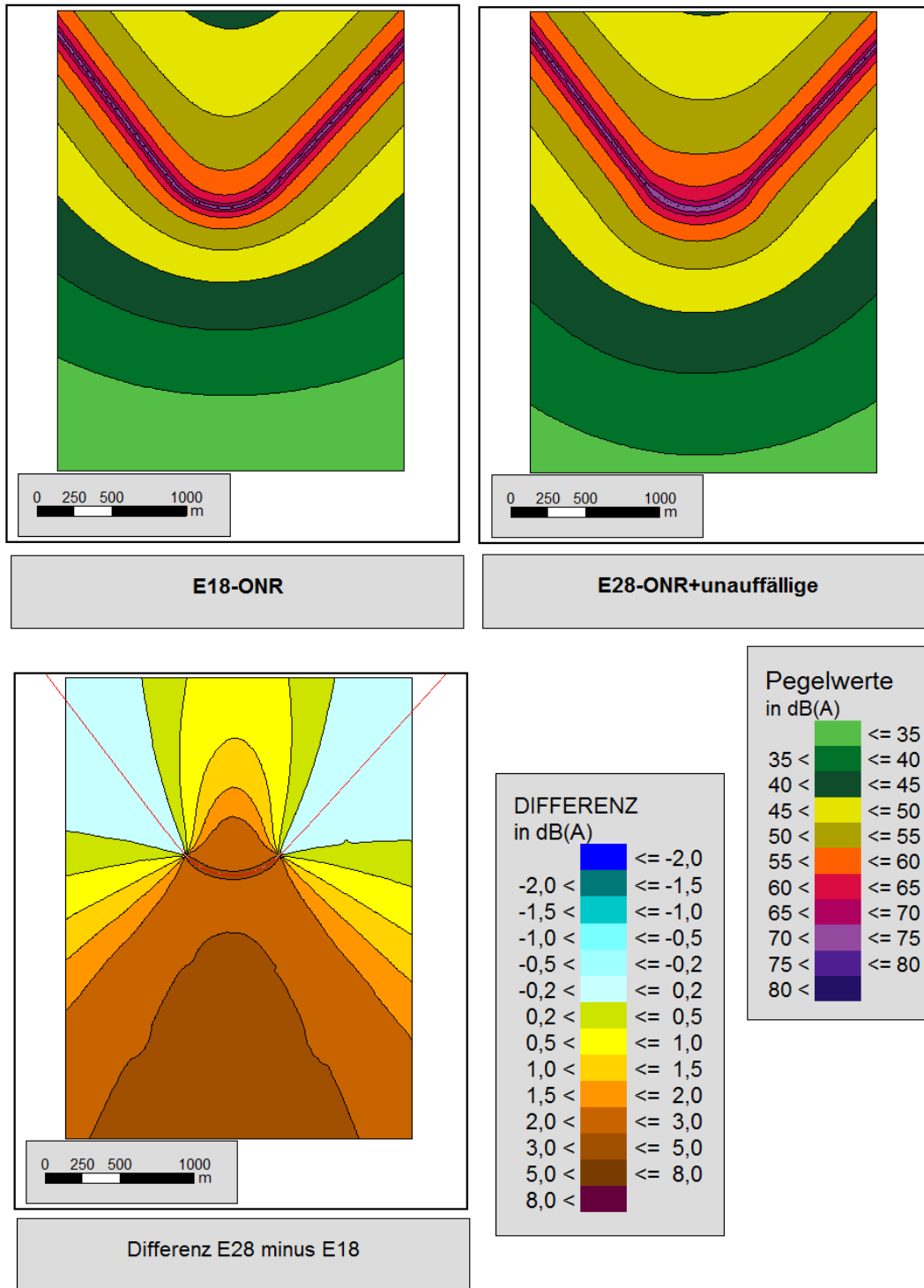


Abb. J-15: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, RZ-mx, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

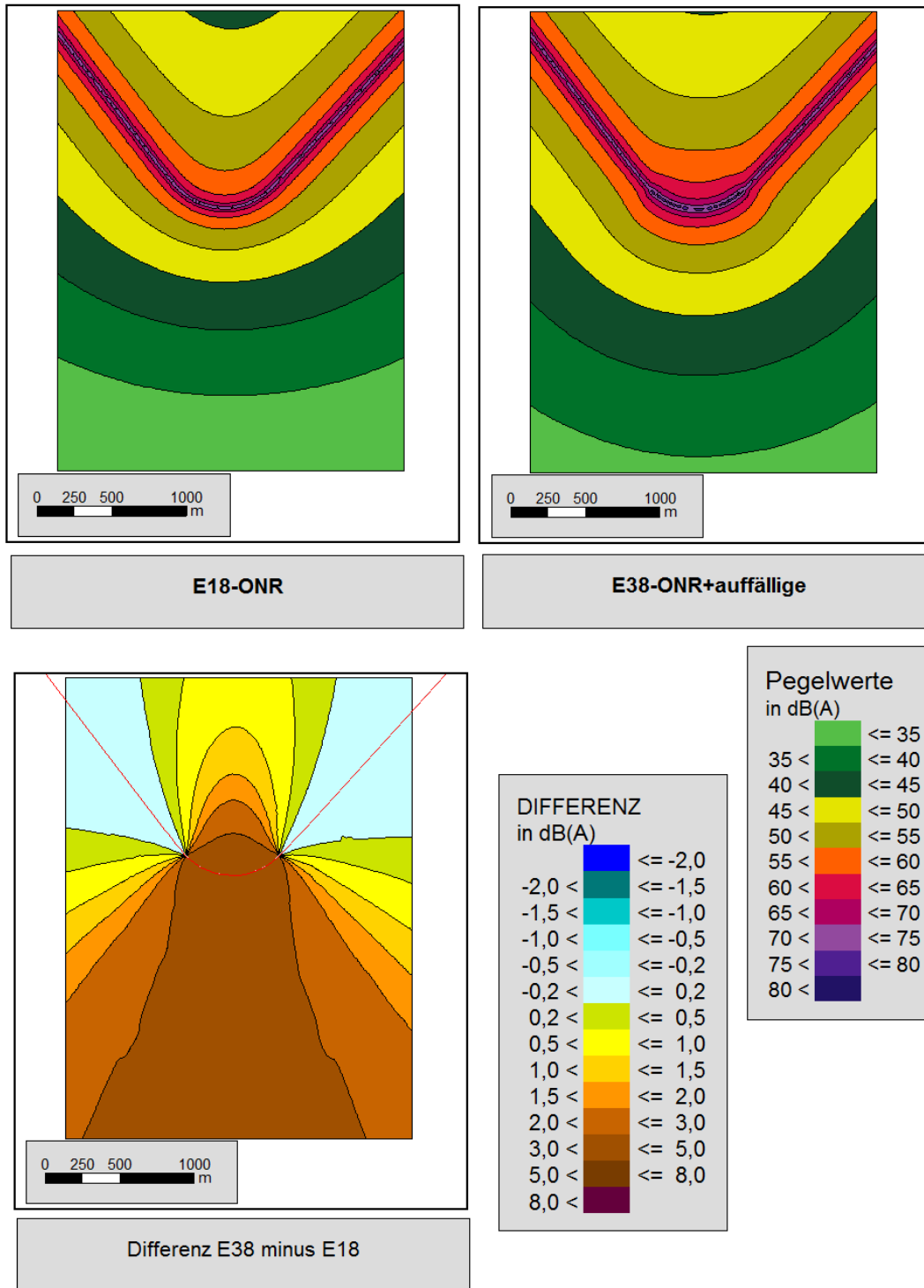


Abb. J-16: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, RZ-mx, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

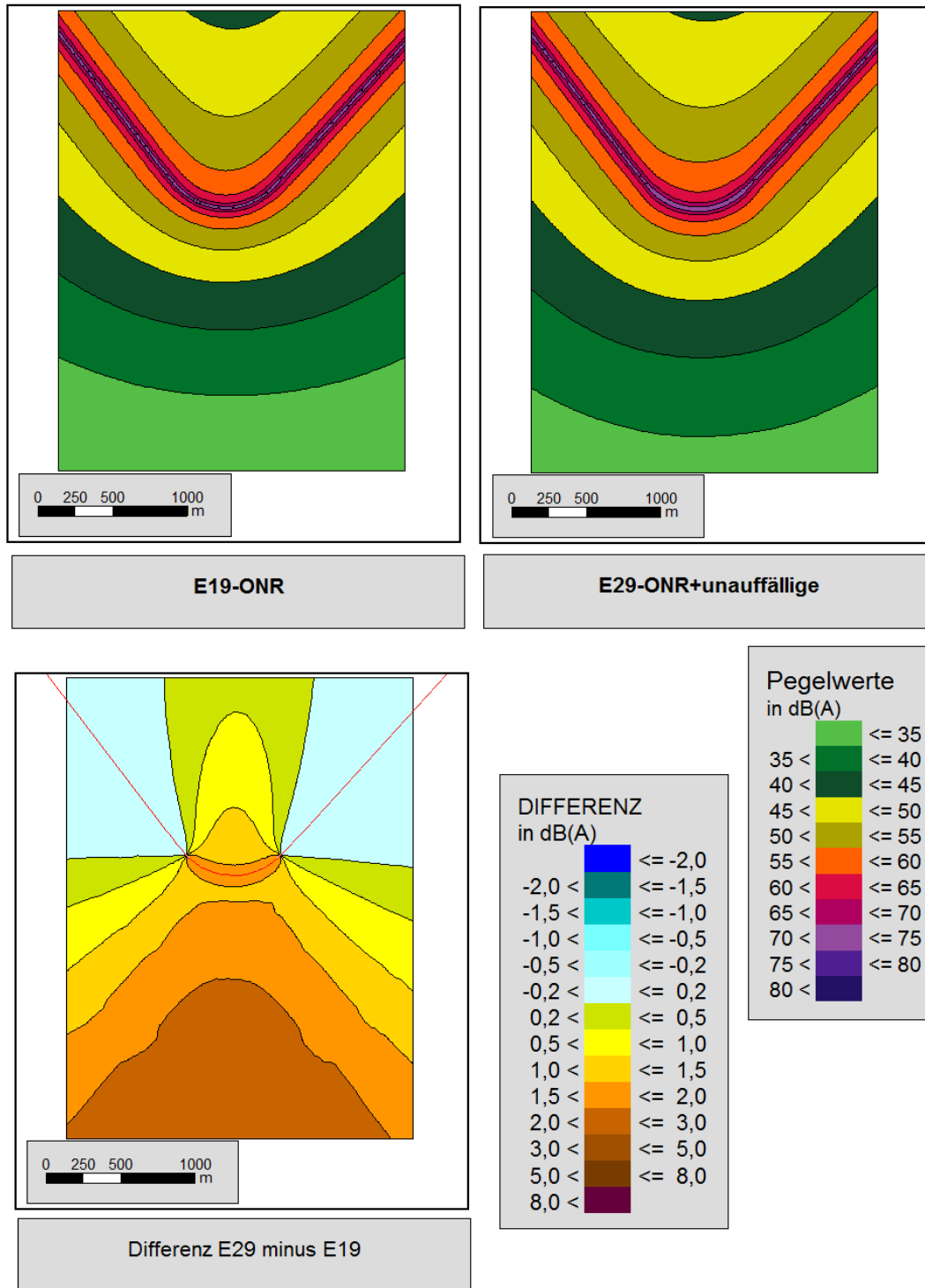
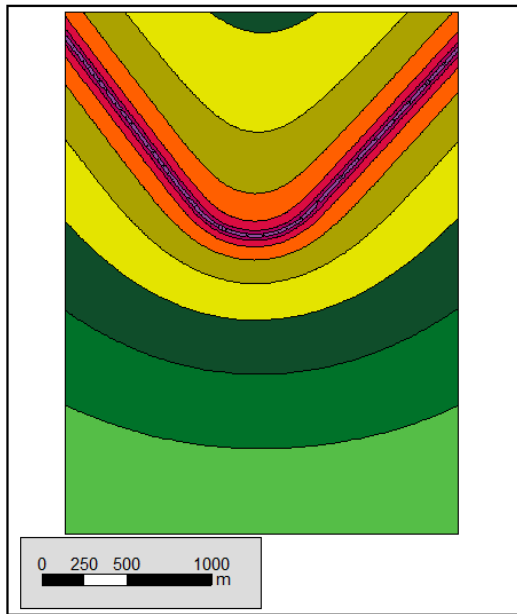
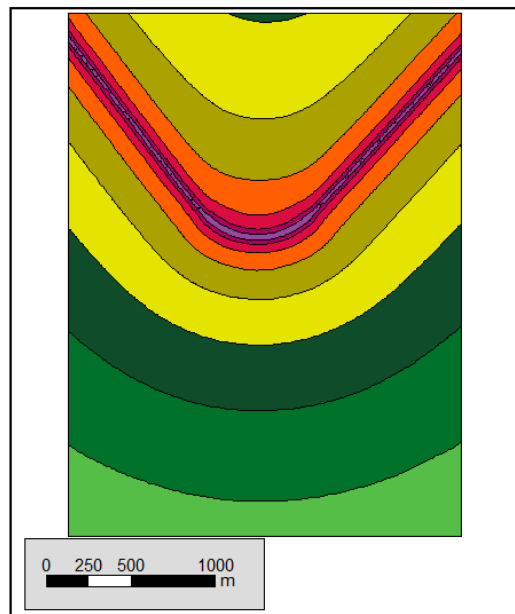


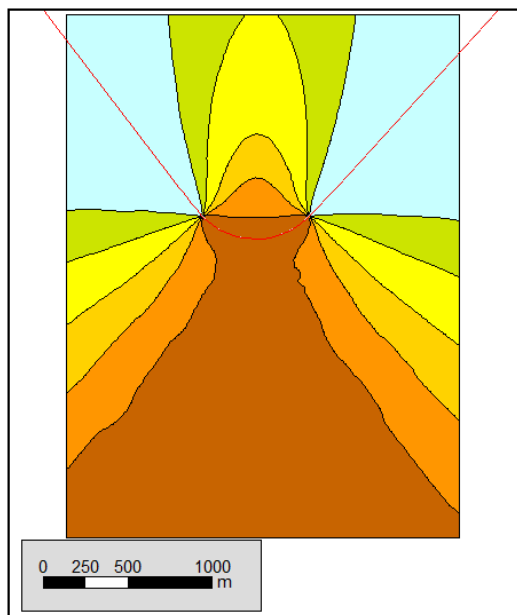
Abb. J-17: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, 80-33, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte



E19-ONR



E39-ONR+auffällige



Differenz E39 minus E19

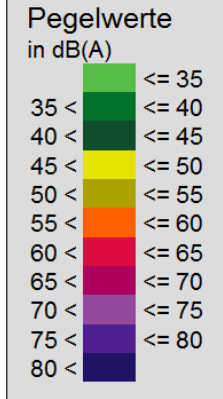
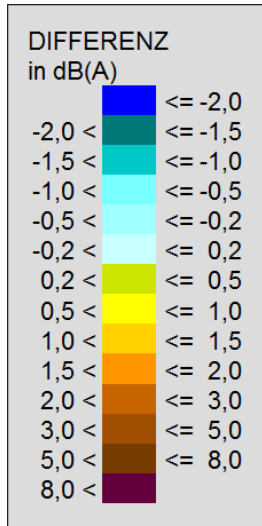


Abb. J-18: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440 \text{ m}$, 80-33, $v = 90 \text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte nach ONR, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

J.2 Schallausbreitung bei 2 m hoher Lärmschutzwand

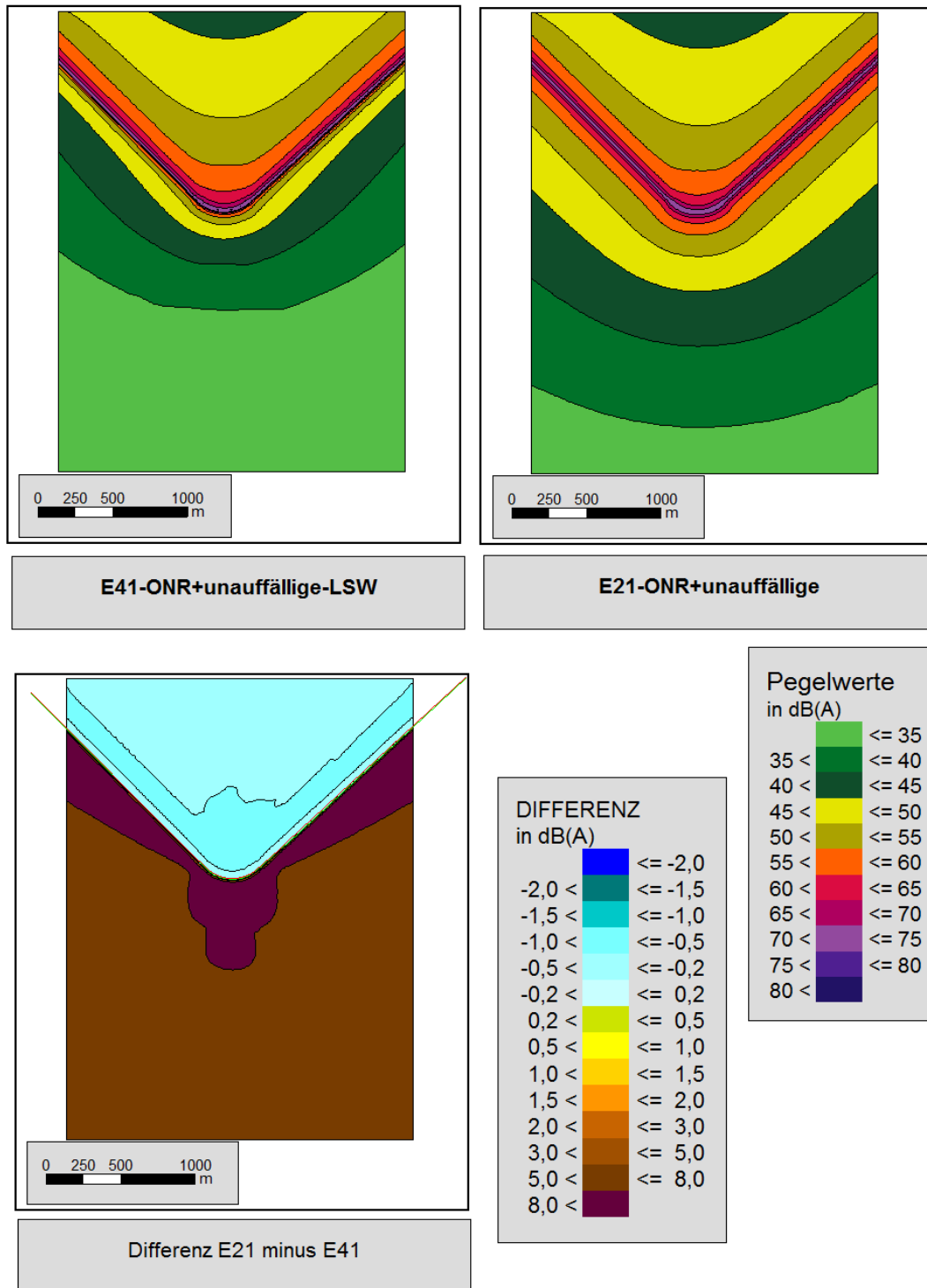


Abb. J- 19: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256$ m, GZ, $v = 40$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

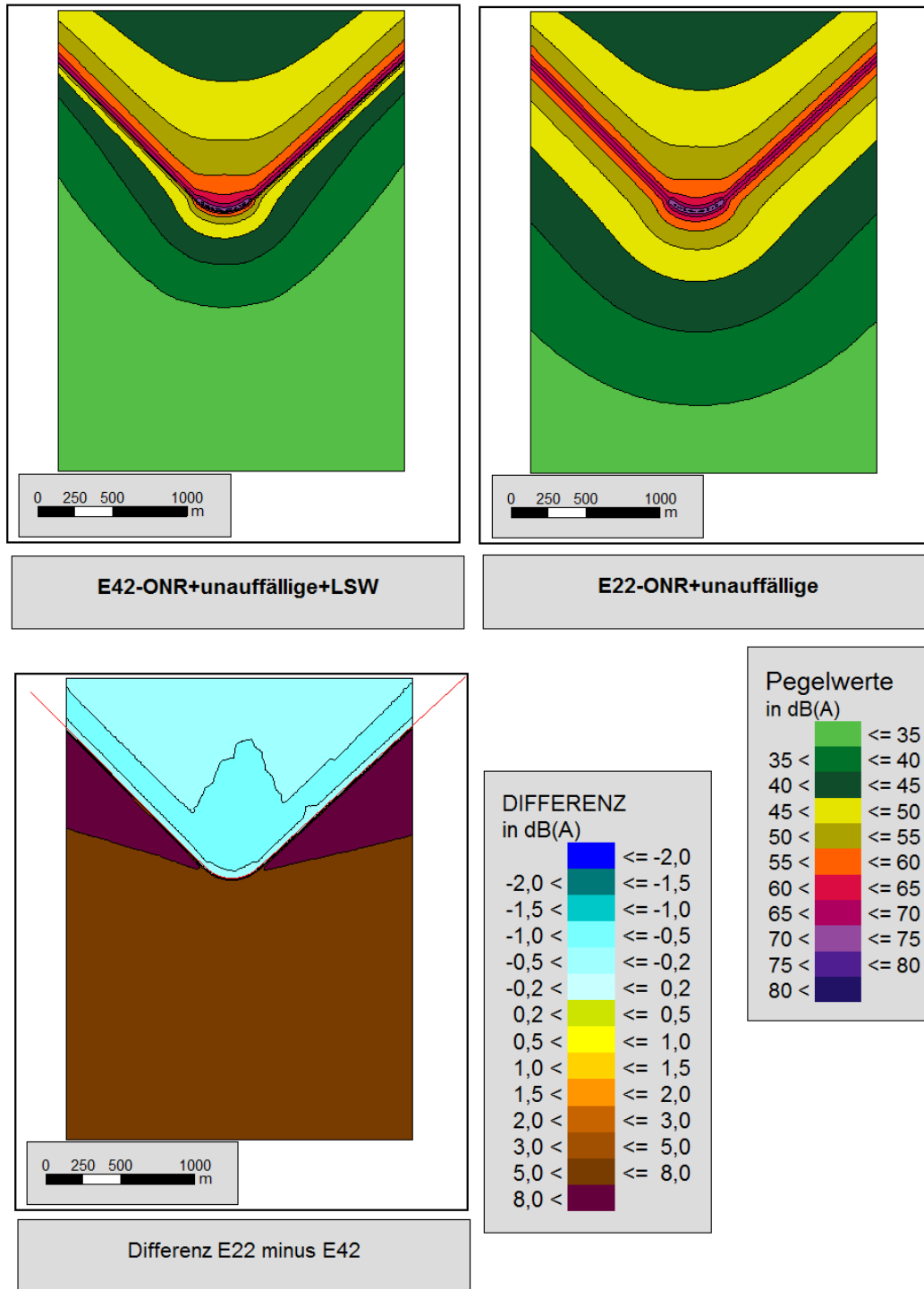


Abb. J-20: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256 \text{ m}$, 80-33, $v = 60 \text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

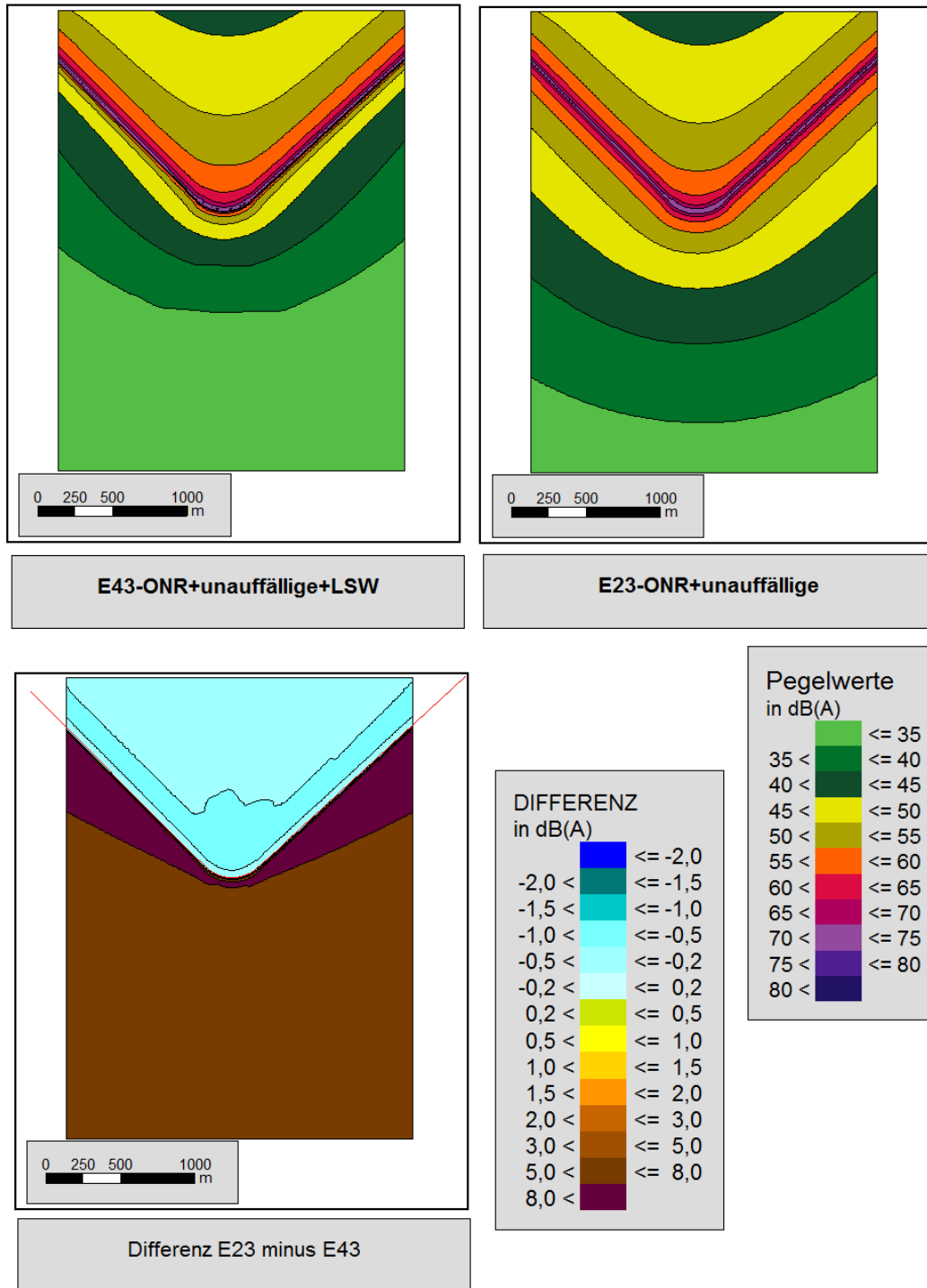


Abb. J-21: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256\text{ m}$, S4020, $v = 60\text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

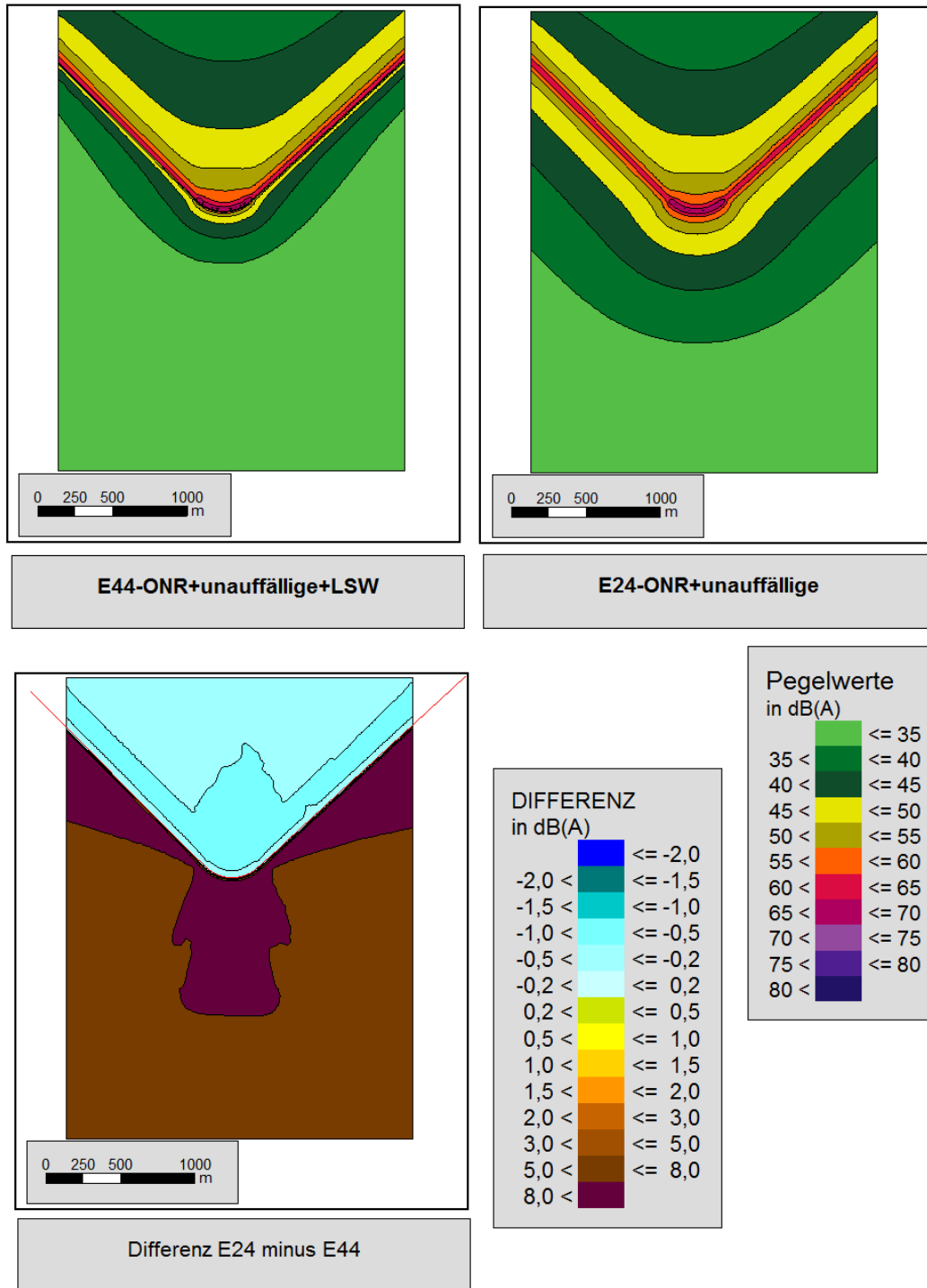


Abb. J-22: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256\text{ m}$, S4024, $v = 60\text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

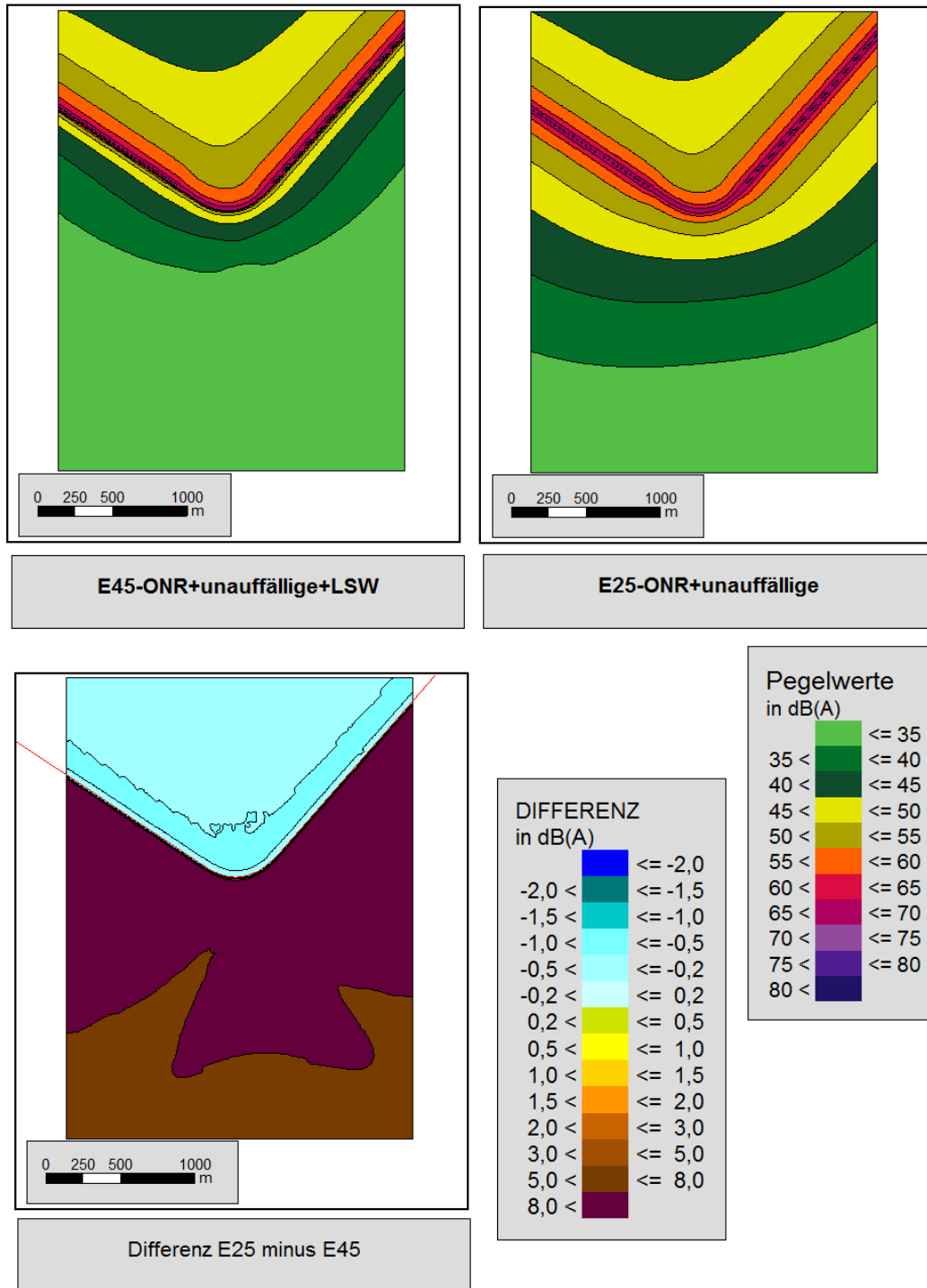


Abb. J-23: Beispielberechnung Gleisbogen K3, $r = 310$ m, RailJ, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

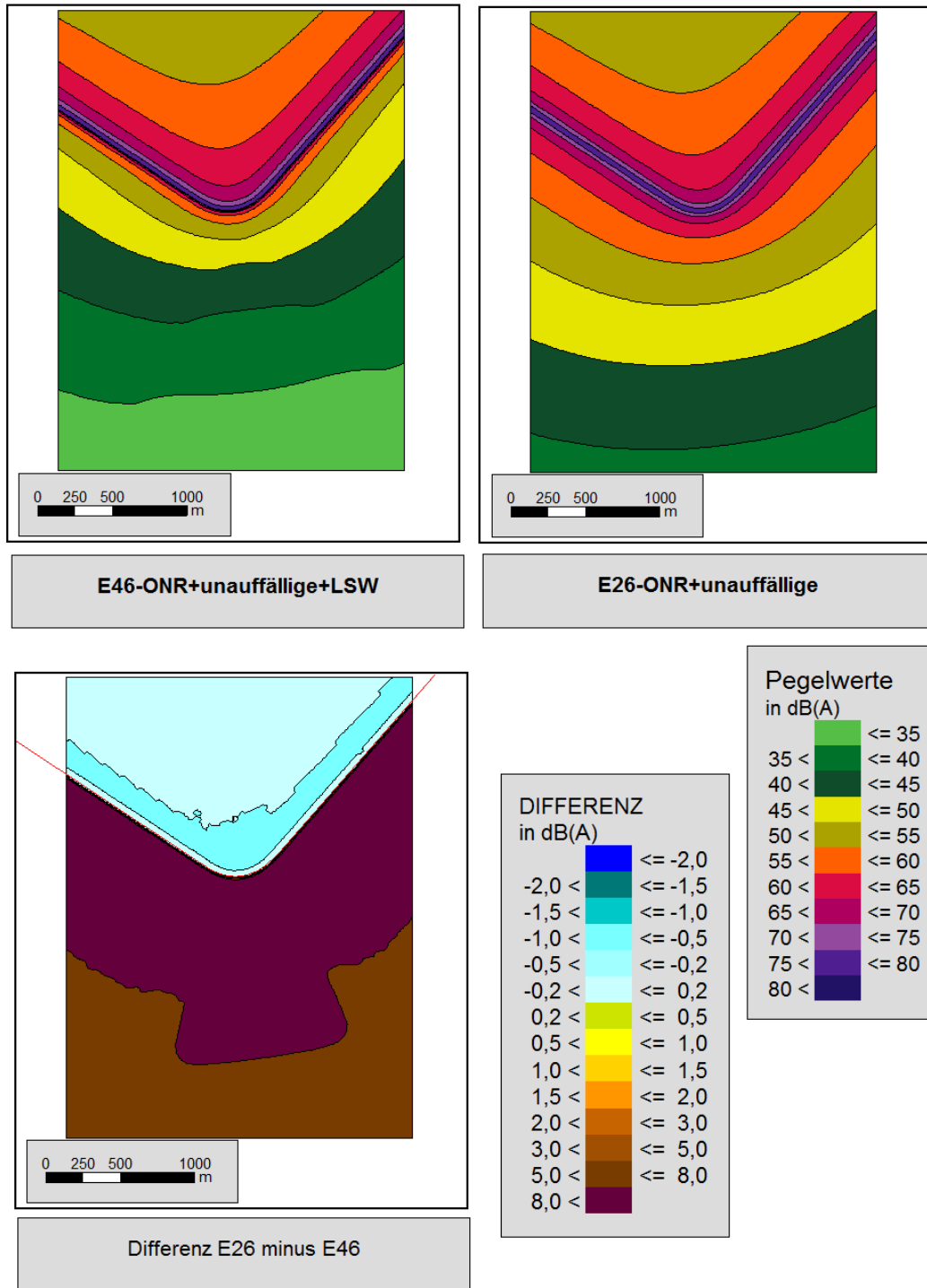


Abb. J-24: Beispielberechnung Gleisbogen K3, $r = 310$ m, GZ, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

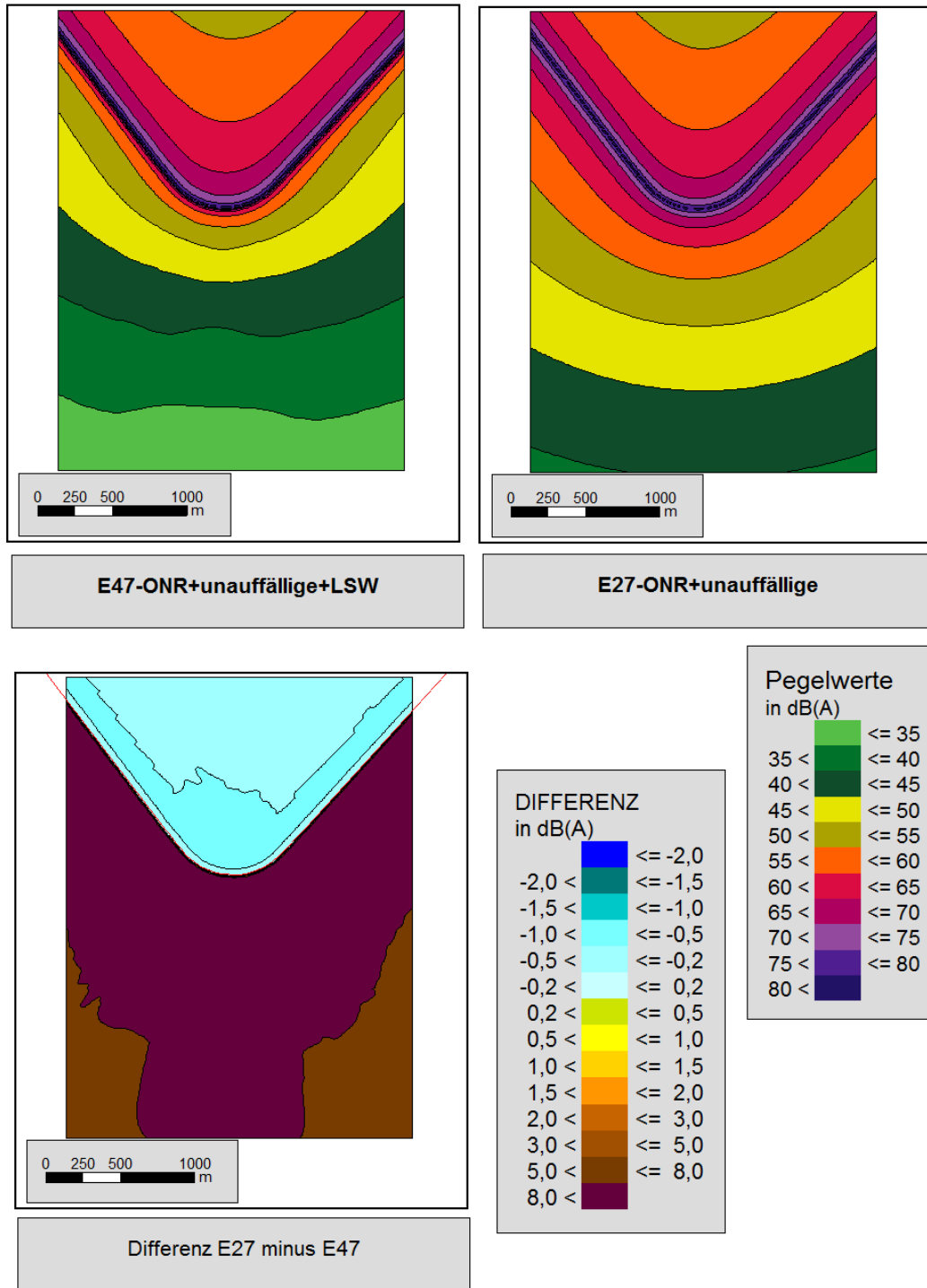


Abb. J-25: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, GZ, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

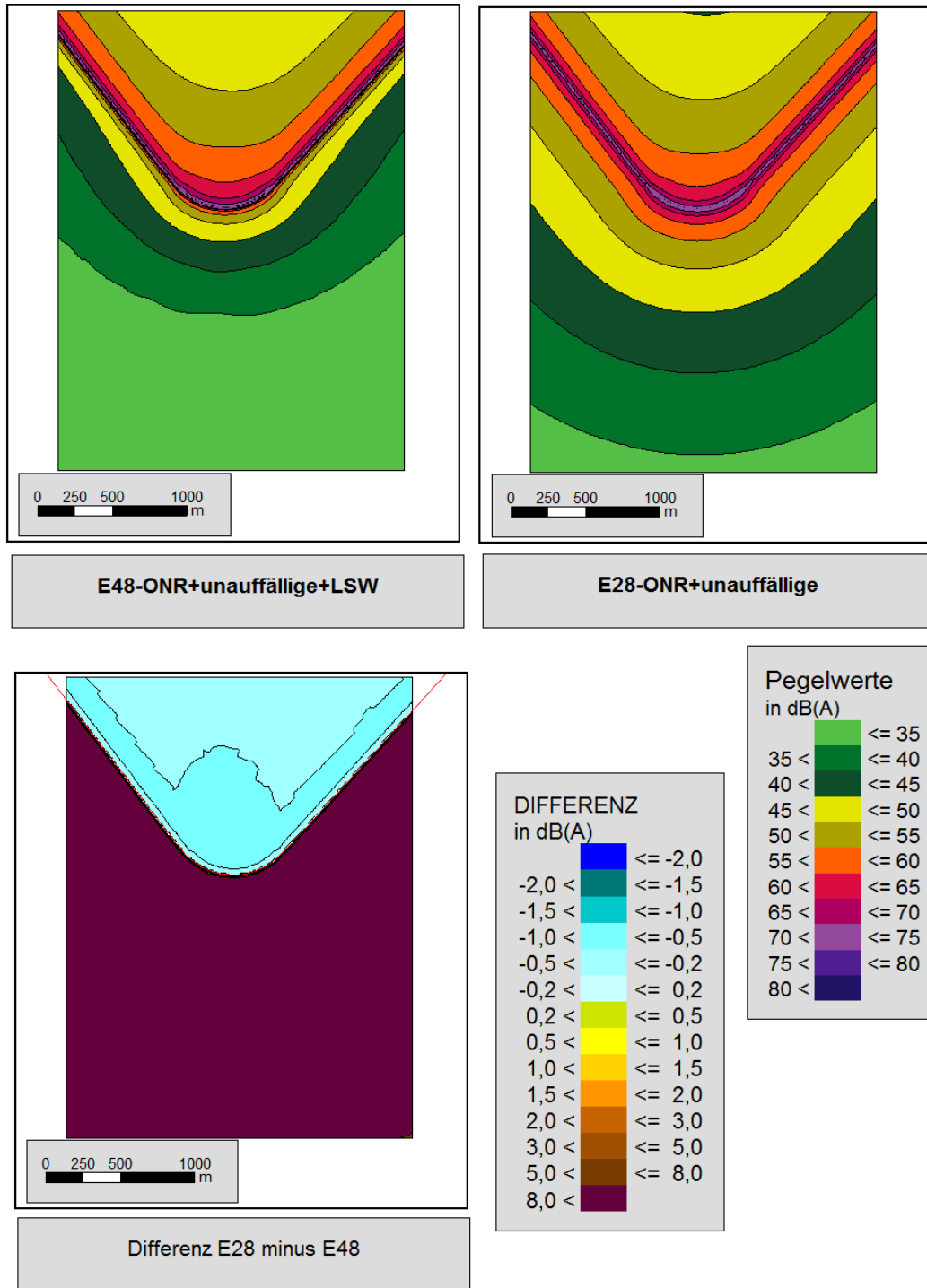


Abb. J-26: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, RZ-mx, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

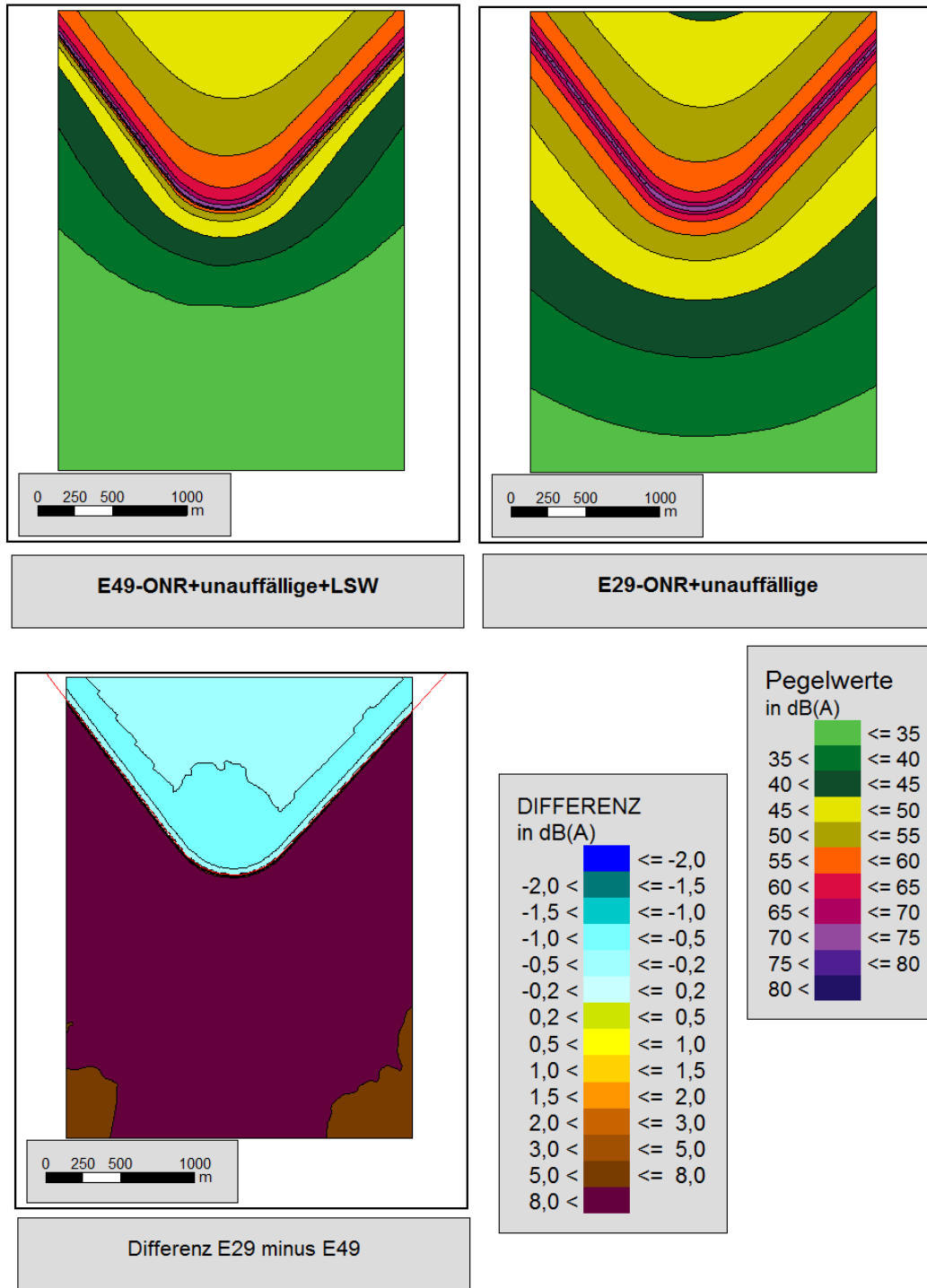


Abb. J-27: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, 80-33, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch unauffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

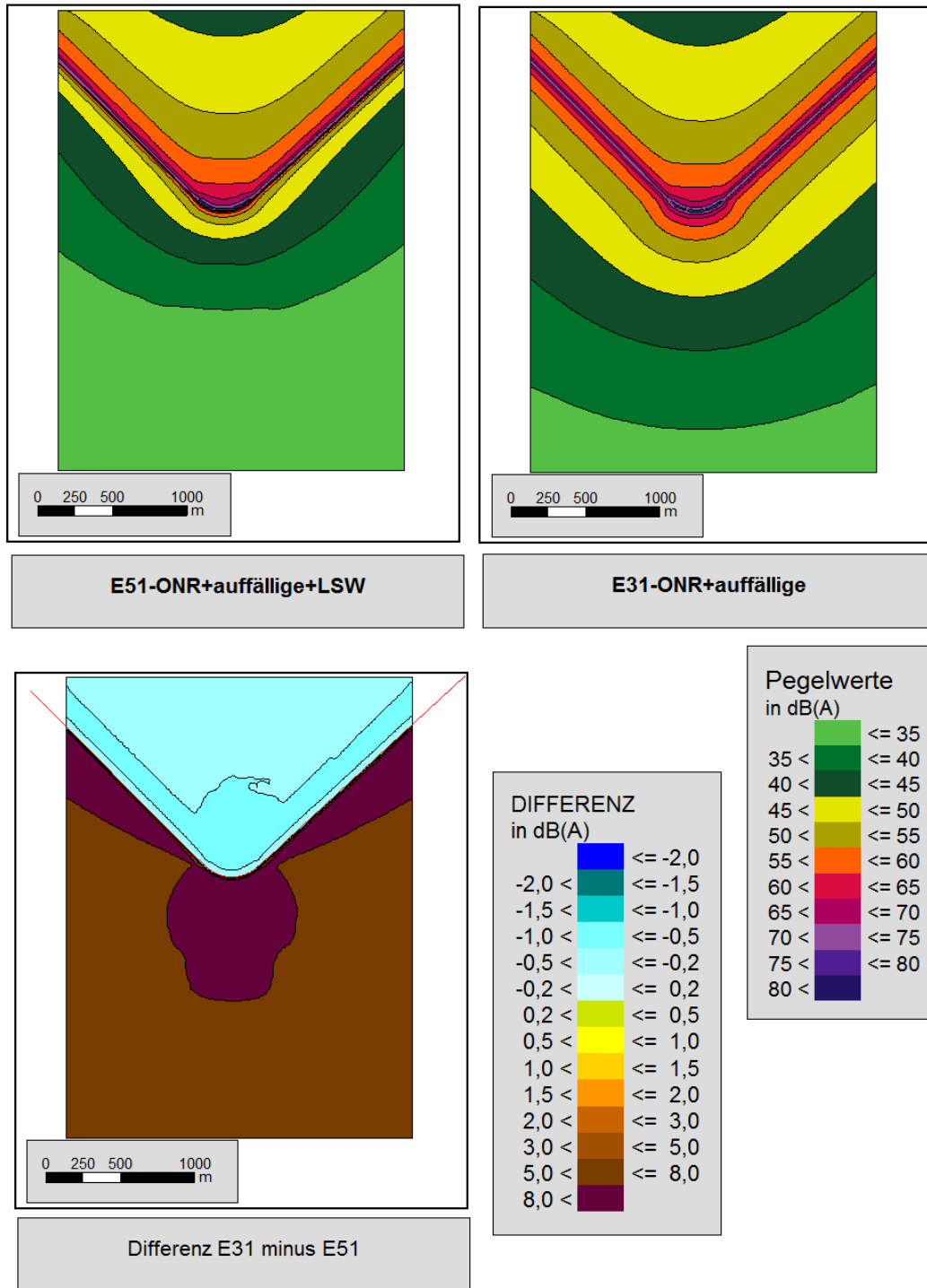


Abb. J-28: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256$ m, GZ, $v = 40$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

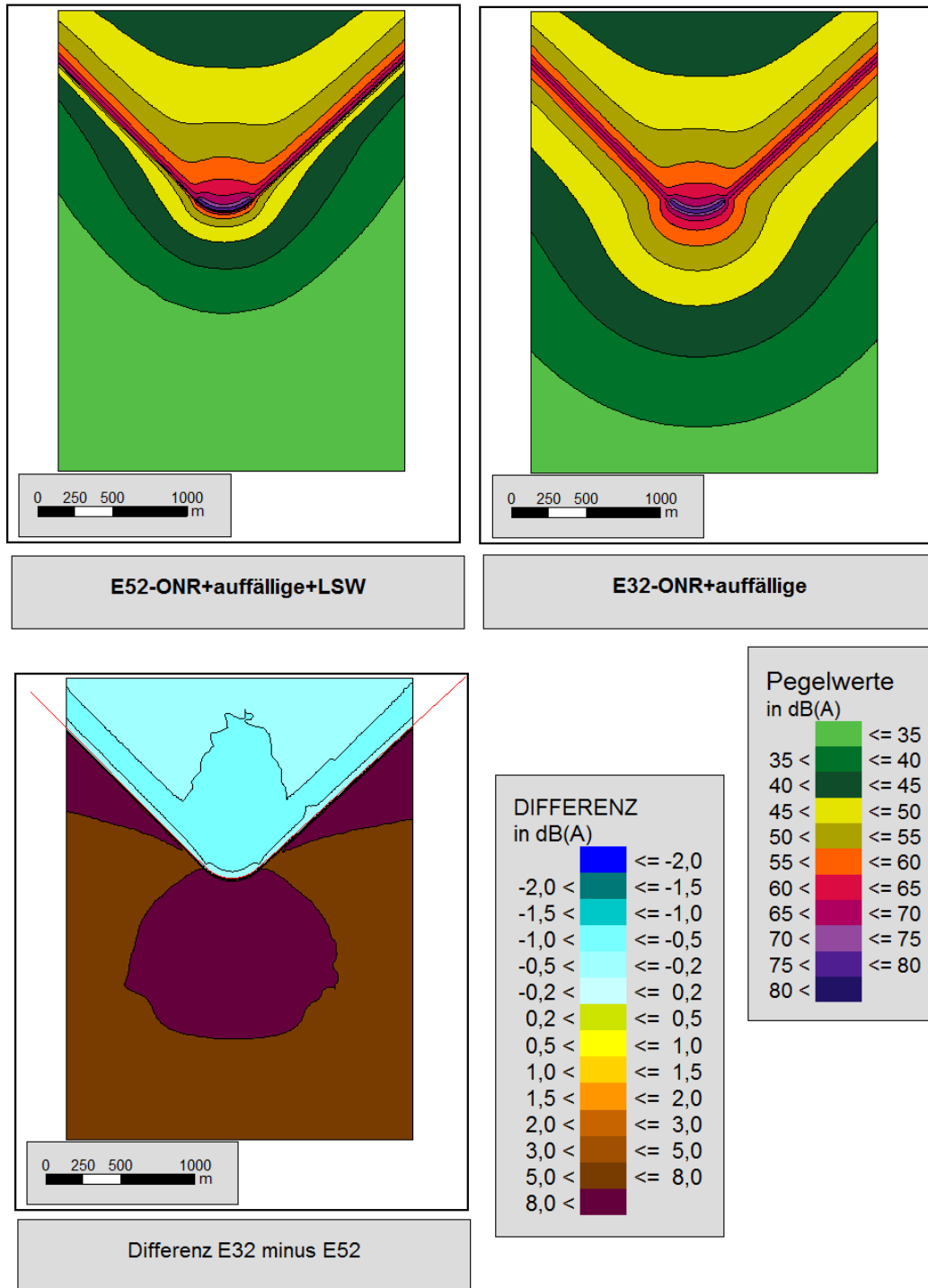


Abb. J-29: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256 \text{ m}$, 80-33, $v = 60 \text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

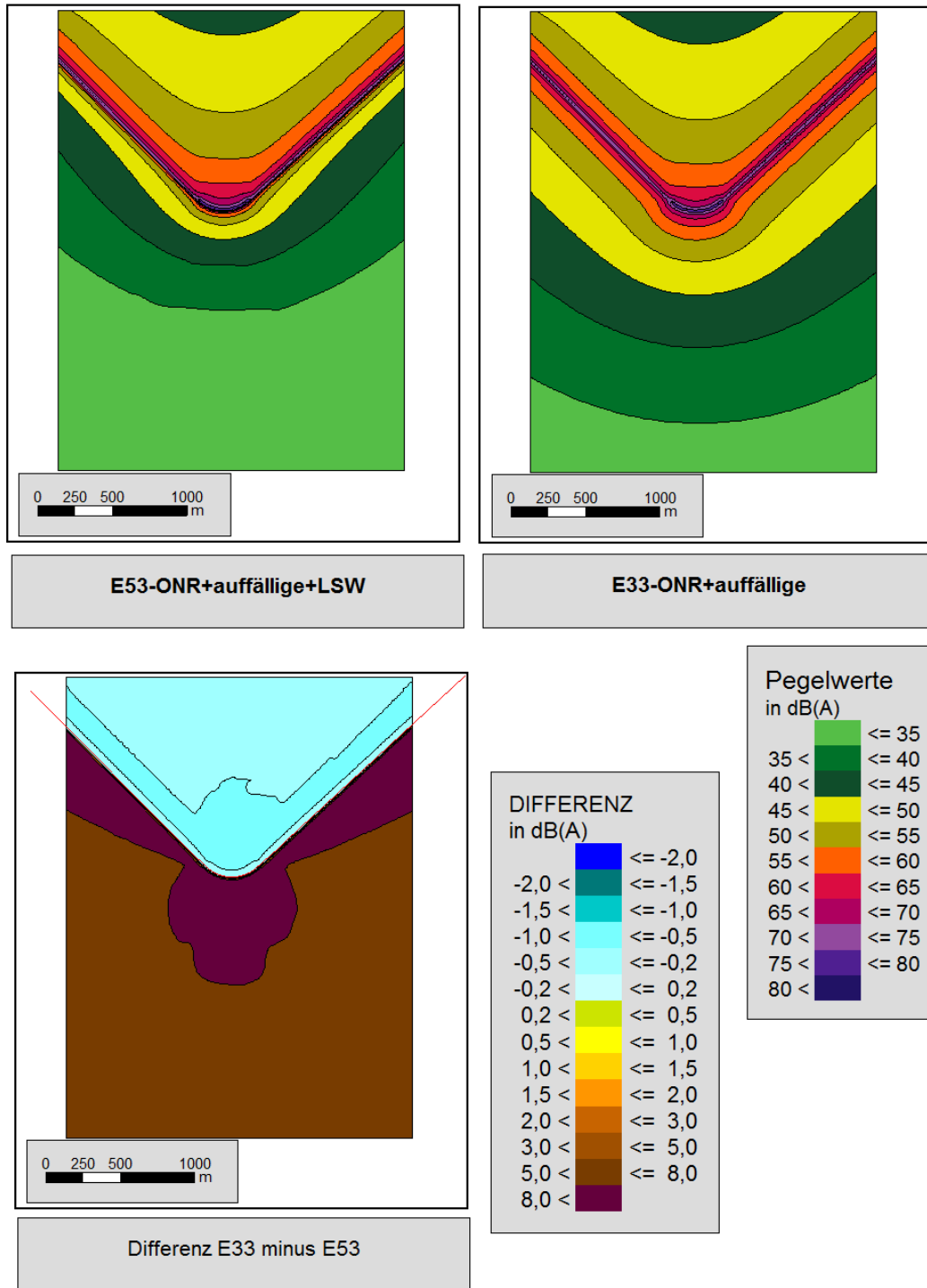


Abb. J-30: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256$ m, S4020, $v = 60$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

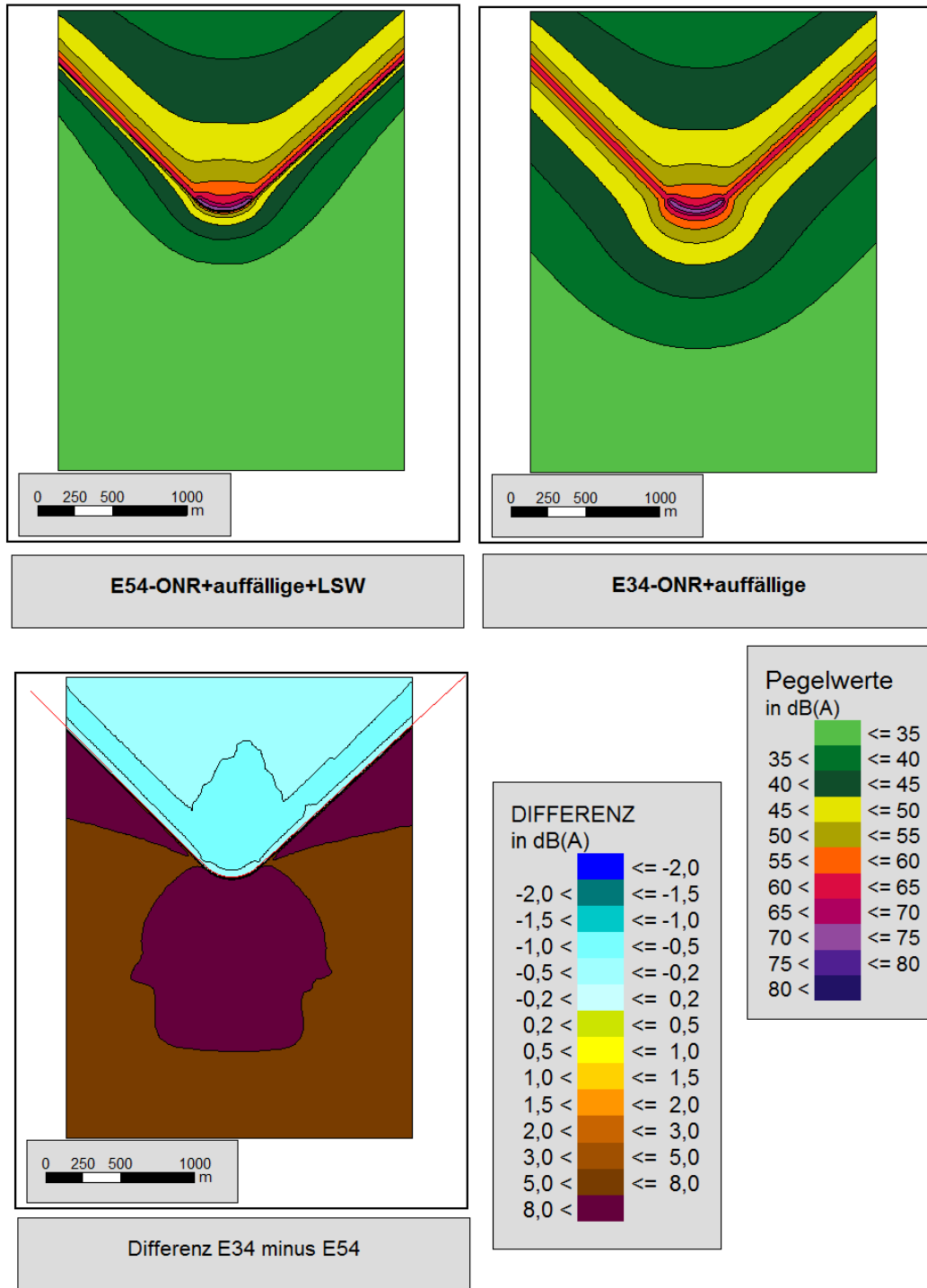


Abb. J-31: Beispielberechnung Gleisbogen K1, $r = 256\text{ m}$, S4024, $v = 60\text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

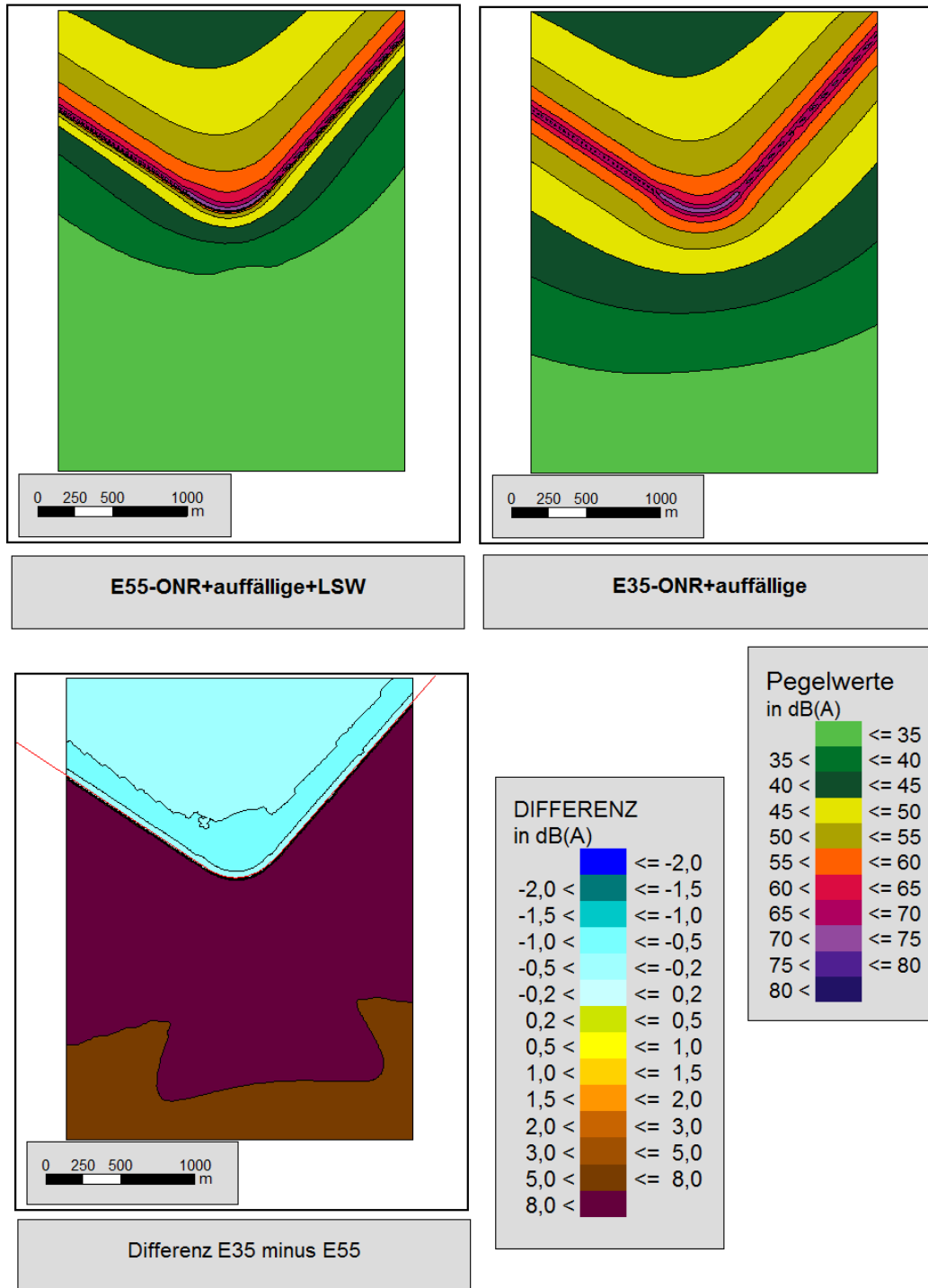


Abb. J-32: Beispielberechnung Gleisbogen K3, $r = 310$ m, RailJ, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

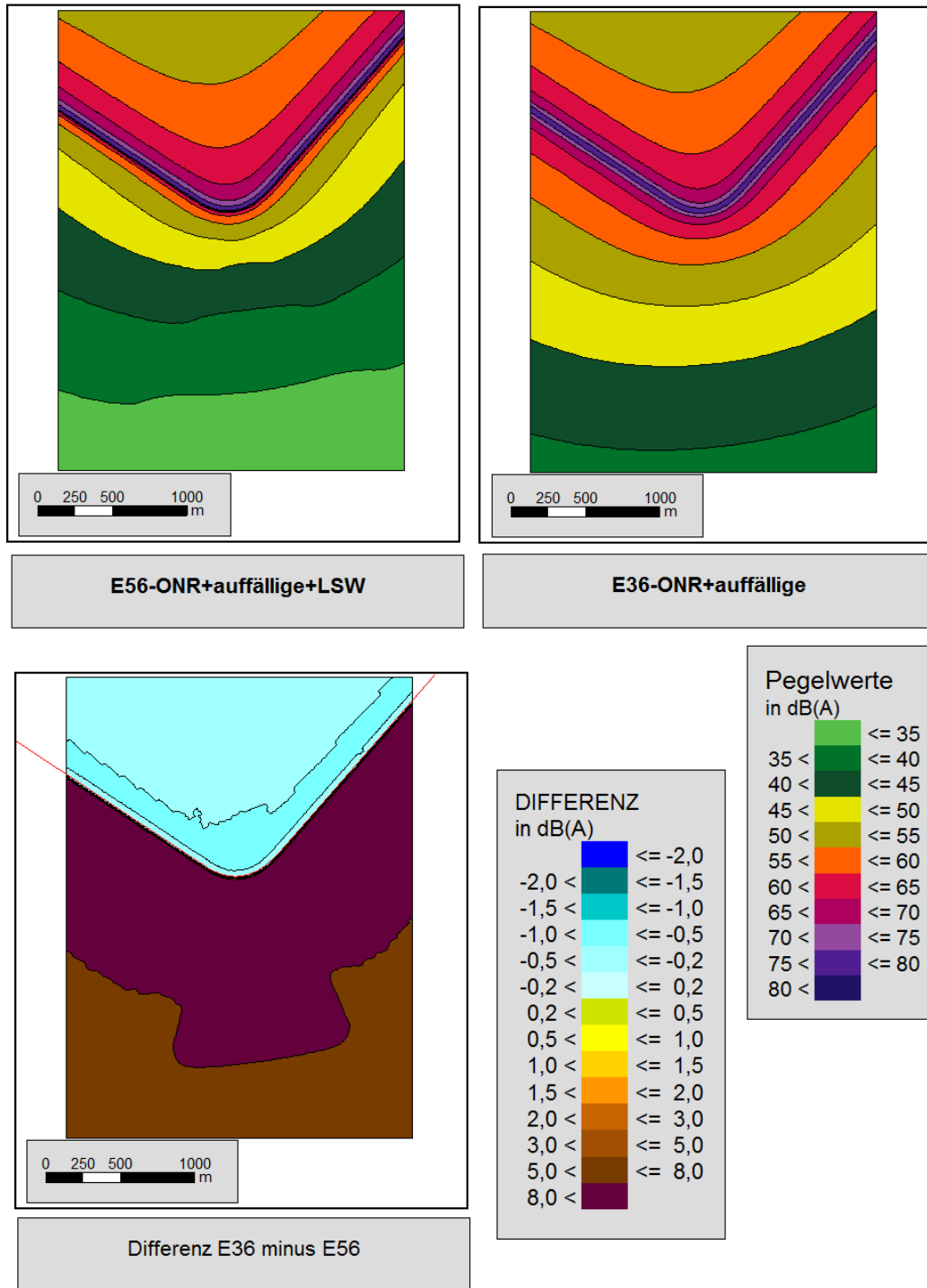


Abb. J-33: Beispielberechnung Gleisbogen K3, $r = 310$ m, GZ, $v = 80$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

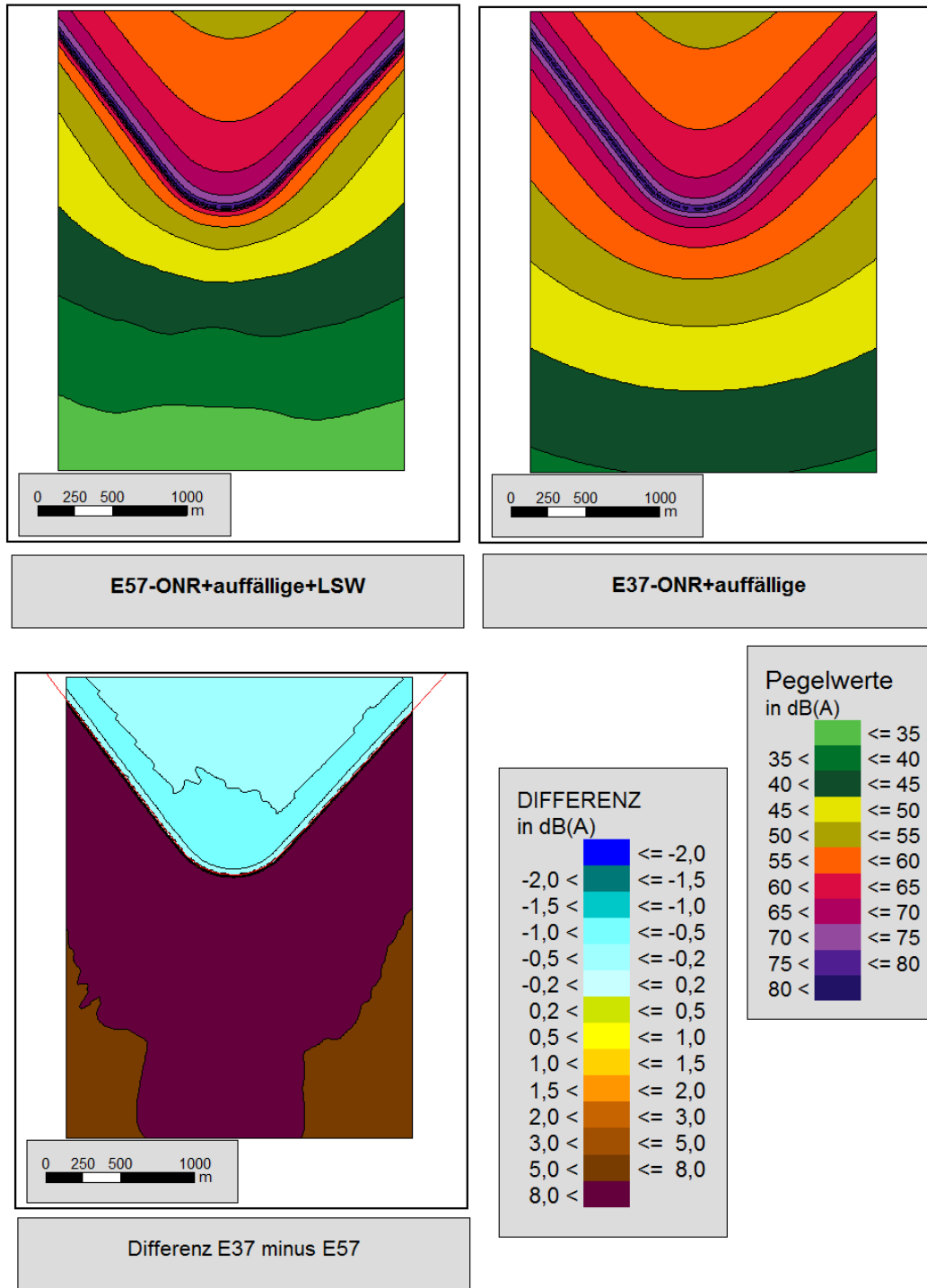


Abb. J-34: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, GZ, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

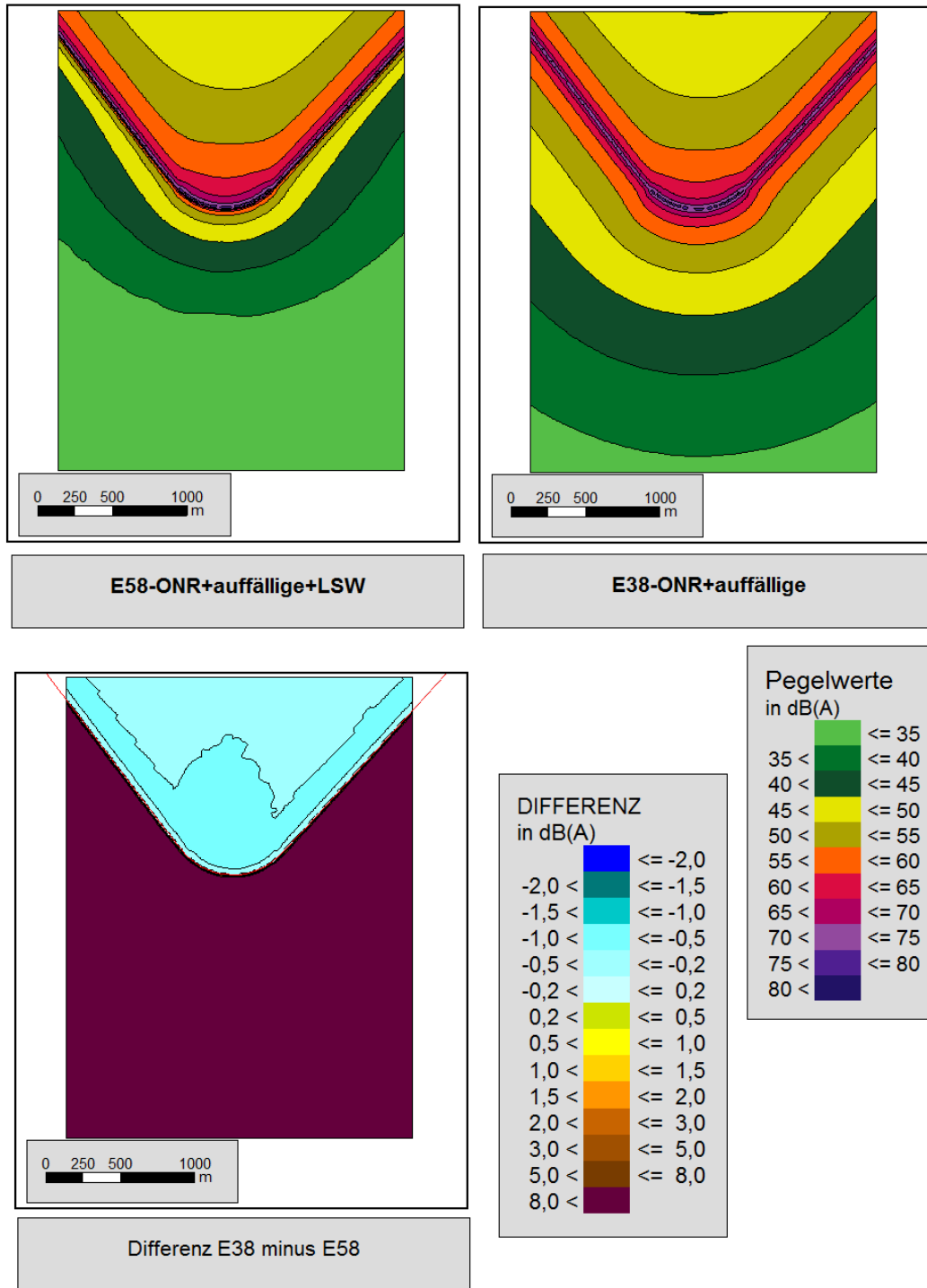


Abb. J-35: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440$ m, RZ-mx, $v = 90$ km/h; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte

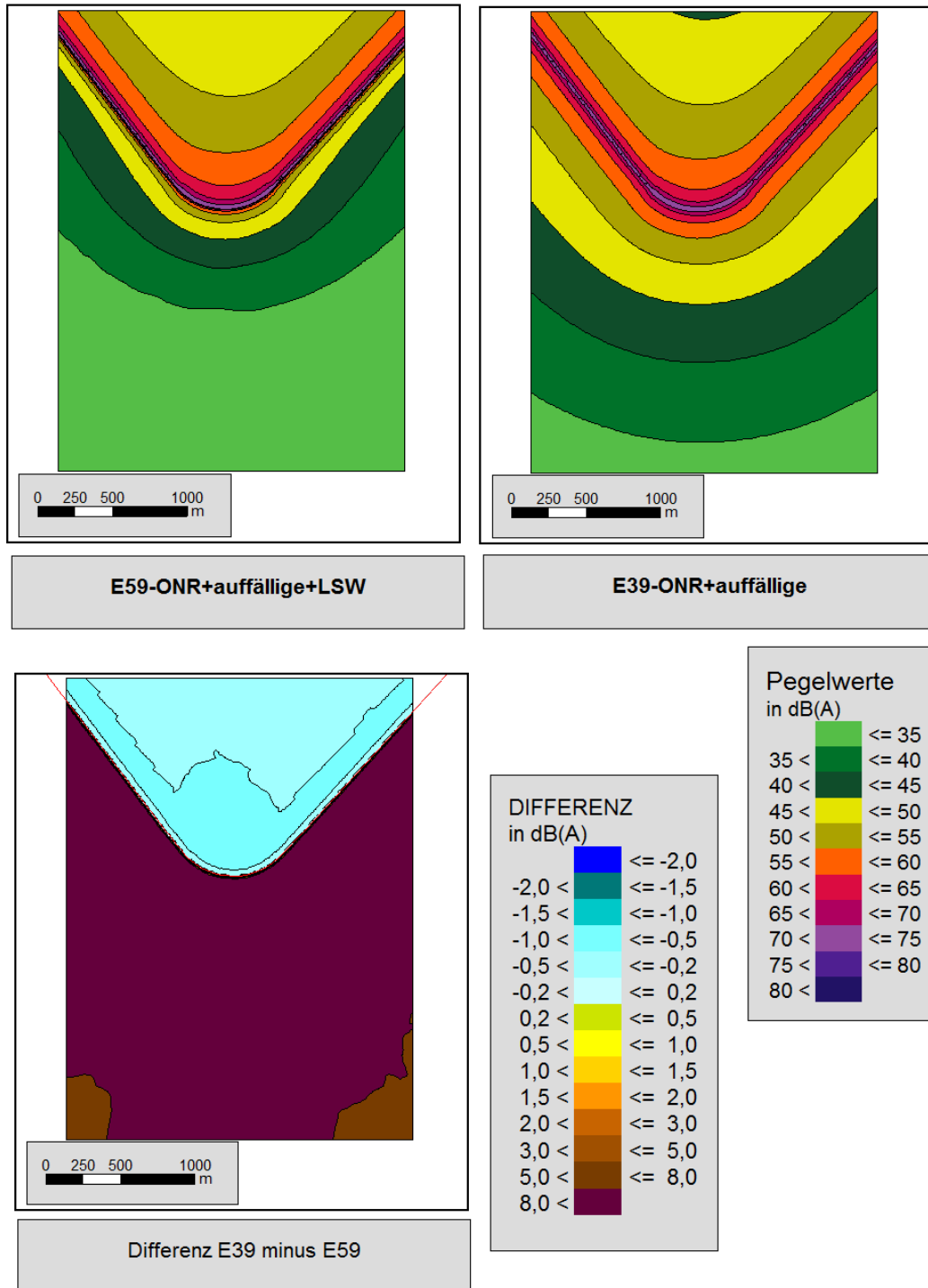


Abb. J-36: Beispielberechnung Gleisbogen K2, $r = 440\text{ m}$, 80-33, $v = 90\text{ km/h}$; Korrekturfaktoren für akustisch auffällige Ereignisse, links oben Lärmkarte mit 2 m hoher LSW, rechts oben Lärmkarte nach ONR inkl. spektralem Korrekturfaktor, links unten Differenzlärmkarte