SBB Cargo AG
Bahnhofstrasse 12
4600 Olten, Schweiz
Webpage: www.sbbcargo.com

PJ Messtechnik GmbH
Waagner-Biro-Straße 125
A - 8020 Graz
Webpage: www.pjm.co.at



Messbericht

Akustisches Verhalten

SBB, Monitoring_TIS-5L

Version: 2_a

Dokumentenbezeichnung:

MB_SBB_Flachwagen_Sgnss_Akustik_2a_2017-11-27_DU

Ausführende Personen

Name	Adresse	E-Mail, Tel.
Wallinger Ludwig, DI	PJ Messtechnik GmbH Waagner-Biro-Straße 125 A - 8020 Graz	wallinger@pjm.co.at Tel.: +43 676 69 80 720
Dumböck Bertram	PJ Messtechnik GmbH Waagner-Biro-Straße 125 A - 8020 Graz	dumboeck@pjm.co.at Tel.: +43 680 30 544 60
Hasler Cordula	PJ Messtechnik GmbH Waagner-Biro-Straße 125 A - 8020 Graz	hasler@pjm.co.at Tel.: +43 676 69 45 205
Lanzer Bernd	PJ Messtechnik GmbH Waagner-Biro-Straße 125 A - 8020 Graz	lanzer@pjm.co.at Tel.: +43 664 52 25 695

Kontaktperson beim Kunden

Name	Adresse	E-Mail, Tel.
Jessica Mueller	SBB Cargo AG Flottentechnik Güterwagen Bahnhofstraße 12 4600 Olten, Schweiz	jessica.mueller@sbbcargo.com Tel.: +41 79 172 34 42

Qualitätsmanagement PJ Messtechnik GmbH

Akkreditierte Prüfstelle für Schienenfahrzeuge	ÖVE/ÖNORM EN ISO/IEC 17025
Zertifiziert nach ISO 9001	Zertif.-Nr.: 20 100 10200 5667
Zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem nach der ATEX-Richtlinie 94/9/EG Anhang VII	Zertif.-Nr.: TÜV-A 14ATEX 3001Q
EBA Anerkennung als projektunabhängige u. weisungsfreie Person/Org. zur Prüfung nationaler Vorschriften	3.130-31gua/002-3106# 021-002

Dokumentenhistorie

Version	Änderungsindex	Datum	Änderung	Bemerkungen
1	a	10.10.2017		Ersterstellung
1	b	09.11.2017	alle	Überarbeitung
2	a	29.11.2017	alle	Überarbeitung

Signierung

	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
Am:	29.11.2017	29.11.2017	siehe elektr. Signatur
Von:	Bertram Dumböck	Bernd Lanzer	

Unterschrift

SIGNATURINFORMATIONEN	Unterzeichner	PJ Messtechnik GmbH:Firma
	Datum/Zeit-UTC	2017-11-29T13:01:59+01:00
	Prüfinformation	Informationen zur Prüfung der elektronischen Signatur finden Sie unter: https://www.signaturpruefung.gv.at
	Hinweis	Dieses mit einer qualifizierten elektronischen Signatur versehene Dokument hat gemäß Art. 25 Abs. 2 der Verordnung (EU) Nr. 910/2014 vom 23. Juli 2014 ("eIDAS-VO") die gleiche Rechtswirkung wie ein handschriftlich unterschriebenes Dokument.

Diese Version ersetzt alle vorhergehenden Versionen.

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes sind nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugesagt.

©PJ Messtechnik GmbH 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung **1**

2. Zusammenfassung **2**
2.1. Vorbeifahrtmessungen auf geradem Gleis . . . 2
2.2. Gleisbogenmessungen bei R=490m . . . 2
2.3. Gleisbogenmessungen bei R=290m . . . 3
2.4. Schienenrauheit . . . 3
2.5. Abklingrate . . . 4
2.6. Radsatzvermessungen . . . 4

3. Messobjekt und Messanordnung **5**
3.1. Wagenzusammenstellung bei R=Inf . . . 6
3.2. Wagenzusammenstellung bei R=290 und R=490 . . . 7
3.3. Datenerfassungssystem . . . 7
3.3.1. Beschreibung der Sensoren . . . 8
3.3.2. Dokumentation Messorte . . . 9
3.3.3. Dokumentation der Messpositionen . . . 10
3.3.3.1. Dokumentation Akustikmessungen . . . 11
3.3.3.2. Dokumentation Schienenrauheitsmessung . . . 12
3.3.3.3. Dokumentation Abklingratenmessung . . . 14

4. Zeitlicher Ablauf der Arbeiten **18**

5. Ergebnisse der Messungen **20**
5.1. Messwert- und Variablendefinitionen . . . 21
5.2. Vorbeifahrtmessungen . . . 22
5.2.1. Kerzers, gerades Gleis . . . 22
5.3. Messungen mit der Akustischen Kamera . . . 24
5.3.1. Kerzers, gerades Gleis . . . 24
5.4. Gleisbogenmessungen Akustik und Vibration . . . 25
5.4.1. Willisau, R=490m . . . 25
5.4.2. Menznau, R=290m . . . 30
5.5. Schienenrauheit . . . 35
5.5.1. Kerzers, gerades Gleis . . . 35
5.5.2. Willisau, R=490m . . . 37
5.5.3. Menznau, R=290m . . . 40
5.6. Abklingrate . . . 43
5.6.1. Kerzers, gerades Gleis . . . 43
5.6.2. Willisau, R=490m . . . 45
5.6.3. Menznau, R=290m . . . 47

5.7. Radsatzmessungen . . . 50
5.7.1. Kerzers, gerades Gleis . . . 50
5.7.1.1. Radinnenabstand . . . 51
5.7.1.2. Spurmaß . . . 52
5.7.1.3. Durchmesserdifferenz . . . 53
5.7.1.4. Laufkreisdurchmesser . . . 54
5.7.1.5. Planlauf bzw. Axialschlag . . . 55
5.7.1.6. Rundlauf bzw. Radialschlag . . . 56
5.7.1.7. Spurkranzhöhe . . . 57
5.7.1.8. Spurkranzdicke . . . 58
5.7.2. Willisau, R=490m und Kerzers, R=290m . . . 59
5.7.2.1. Radinnenabstand . . . 59
5.7.2.2. Spurmaß . . . 60
5.7.2.3. Durchmesserdifferenz . . . 60
5.7.2.4. Laufkreisdurchmesser . . . 61
5.7.2.5. Planlauf bzw. Axialschlag . . . 61
5.7.2.6. Rundlauf bzw. Radialschlag . . . 62
5.7.2.7. Spurkranzhöhe . . . 62
5.7.2.8. Spurkranzdicke . . . 63

Literaturverzeichnis **71**

A. Anhang **72**
A.1. Vorbeifahrtmessungen . . . 72
A.1.1. Kerzers, R=Infm, Schalldruckpegel (7.5m Abstand, 1.2m Höhe) . . . 73
A.1.1.1. Schalldruckpegel, v=080km/h . . . 74
A.1.1.2. Schalldruckpegel, v=100km/h . . . 76
A.1.1.3. Schalldruckpegel, v=120km/h . . . 78
A.2. Messungen mit der Akustischen Kamera . . . 80
A.2.1. Kerzers, R=Infm, v=080km/h . . . 80
A.2.2. Kerzers, R=Infm, v=100km/h . . . 83
A.2.3. Kerzers, R=Infm, v=120km/h . . . 85
A.3. Gleisbogenmessungen Akustik und Vibration . . . 87
A.3.1. Willisau, R=490m, Schalldruckpegel (2.78m Abstand, 2.1m Höhe) . . . 87
A.3.1.1. Schalldruckpegel, v=060km/h . . . 87
A.3.1.2. Schalldruckpegel, v=080km/h . . . 90
A.3.2. Willisau, R=490m, Schalldruckpegel (3.38m Abstand, 1.1m Höhe) . . . 94
A.3.2.1. Schalldruckpegel, v=060km/h . . . 95
A.3.3. Willisau, R=490m, Beschleunigungspegel (am Schienenkopf, lateral) . . . 102
A.3.3.1. Beschleunigungspegel, v=060km/h . . . 103
A.3.3.2. Beschleunigungspegel, v=080km/h . . . 106
A.3.4. Willisau, R=490m, Beschleunigungspegel (am Schienenkopf, transversal) . . . 110
A.3.4.1. Beschleunigungspegel, v=060km/h . . . 111
A.3.4.2. Beschleunigungspegel, v=080km/h . . . 114

A.3.5. Menznau, R=290m, Schalldruckpegel (2.1m Abstand, 2.1m Höhe) 118
A.3.5.1. Schalldruckpegel, v=060km/h 119
A.3.5.2. Schalldruckpegel, v=075km/h 122
A.3.6. Menznau, R=290m, Schalldruckpegel (2.7m Abstand, 1.1m Höhe) 126
A.3.6.1. Schalldruckpegel, v=060km/h 127
A.3.6.2. Schalldruckpegel, v=075km/h 130
A.3.7. Menznau, R=290m, Beschleunigungspegel (am Schienenkopf, lateral) 134
A.3.7.1. Beschleunigungspegel, v=060km/h 135
A.3.7.2. Beschleunigungspegel, v=075km/h 138
A.3.8. Menznau, R=290m, Beschleunigungspegel (am Schienenkopf, transversal) . 142
A.3.8.1. Beschleunigungspegel, v=060km/h 143
A.3.8.2. Beschleunigungspegel, v=075km/h 146
A.4. Schienenrauheit 150
A.4.1. Kerzers, R=Infm 150
A.4.2. Willisau, R=490m 150
A.4.3. Menznau, R=290m 151
A.5. Abklingrate 152
A.5.1. Kerzers, R=Infm 152
A.5.1.1. Laterale Abklingrate 152
A.5.1.2. Transversale Abklingrate 153
A.5.2. Willisau, R=490m 154
A.5.2.1. Laterale Abklingrate 154
A.5.2.2. Transversale Abklingrate 155
A.5.3. Menznau, R=290m 156
A.5.3.1. Laterale Abklingrate 156
A.5.3.2. Transversale Abklingrate 157

1. Aufgabenstellung

Dieses Dokument beschreibt die Akustischen Messungen an 16 Flachwagen des Typs Sgnss.

Es sollen für verschiedene Zusammenstellungen der Flachwägen bestimmte akustische Kenngrößen ermittelt werden. Diese Kenngrößen beziehen sich dann auf ein definiertes Intervall, das sich jeweils von Wagenmitte eines Flachwagens bis zur Wagenmitte des nächsten Flachwagens erstreckt. Diese Intervalle samt zugeordneten Messgrößen repräsentieren die akustischen Eigenschaften der zugehörigen Flachwagenzusammenstellung.

Folgende Messgrößen werden für die Intervalle ermittelt:

- L_{AF}-Schalldruckpegel bei Vorbeifahrt auf geradem Gleis, sowie Gleisen mit den Bogenradien 490 m und 290 m, bei verschiedenen Geschwindigkeiten und verschiedenen Mikrofonpositionen.
- $L_{Aeq,Tp}$-Schalldruckpegel bei Vorbeifahrt auf geradem Gleis, sowie Gleisen mit den Bogenradien 490 m und 290 m, bei verschiedenen Geschwindigkeiten und verschiedenen Mikrofonpositionen.
- L_{AF}-Beschleunigungspegel der Schiene bei Vorbeifahrt auf Gleisen mit den Bogenradien 490 m und 290 m, bei verschiedenen Geschwindigkeiten (vertikal und horizontal).
- $L_{Aeq,Tp}$-Beschleunigungspegel der Schiene bei Vorbeifahrt auf Gleisen mit den Bogenradien 490 m und 290 m, bei verschiedenen Geschwindigkeiten (vertikal und horizontal).
- Vorbeifahrtgeschwindigkeit bei allen Messungen

Zusätzlich wird auf geradem Gleis ortsaufgelöst das akustische Verhalten mit einer akustischen Kamera gemessen und ausgewertet. Diese Messungen sollen Aufschluss über genaue Herkunft der Geräusche bringen.

Es werden auch die akustischen Schieneneigenschaften und die Eigenschaften der Radsätze gemessen:

- Akustische Schienenrauheit auf beiden Schienen an den drei Streckenabschnitten (gerade, 490 m, 290 m)
- Laterale Abklingrate der beiden Schienen an den drei Steckenabschnitten
- Transversale Abklingrate der beiden Schienen an den drei Steckenabschnitten
- Radrückenabstand
- Radrundheit
- Raddurchmesser

Die verschiedenen Flachwagenzusammenstellungen unterscheiden sich in folgenden Parametern:

- Radsätze
- Drehgestell
- Bremse
- Bremsklötze bzw. Bremsbeläge
- Kupplung

Die genauen Zugzusammenstellungen zu den drei Messorten finden Sie in Tabelle 3.1 und 3.2.

2. Zusammenfassung

Im Zuge des Projekts “SBB TIS 5L Monitoring"wurde das akustische verhalten verschiedener Flachwagenzusammenstellungen vergleichbar gemessen.

Die Intervalle, die miteinander verglichen werden sollen, werden durch die Indizes der beteiligten Flachwagen gekennzeichnet (siehe Kapitel 5). Details zu den Wagenkonfigurationen und der Zugzusammenstellung finden Sie in den Tabellen 3.1 und 3.2.

Es ist zu beachten, dass die Vorbeifahrtpegel der Referenzwagen teilweise durch den Geräuschpegel der Lok gestört werden! Aus diesem Grund wird in den betroffenen Tabellen mit Messwerten jeweils auch die Fahrtrichtung *R* des Zuges mit angeführt. In der folgenden Zusammenfassung wurden nur Vergleiche zwischen Intervallen gemacht, die nicht durch den Geräuschpegel der Lok beinflusst worden sind! Details zur Richtungsdefinition bzw. Bedeutung selbiger finden Sie unter Kapitel 5.

2.1. Vorbeifahrtmessungen auf geradem Gleis

Bei den Vorbeifahrtmessungen werden zwischen den Intervallen ID16-ID15 (Referenz ohne Flachstellen, Tabelle 5.2.1, Details siehe Anhang A.5, A.9 und A.13) und den übrigen Intervallen bis zu $6\,dB(A)$ Minderung des Vorbeifahrtpegels erreicht. Hervorzuheben sind die Intervalle ID10-ID08 und ID08-ID04. (Details im Anhang A.4, A.8 und A.12)

Die Messungen mit der Akustischen Kamera finden Sie im Anhang A.14 bis A.37. Die Quelle des lautesten Geräusches ist nach Auswertung der Messdaten jeweils die Radscheibe bzw. der Rad-Schiene-Kontaktpunkt. Zu den Intervallen sind jeweils die ortsaufgelösten akustischen Darstellungen und die zugehörigen Spektren im Anhang zu finden. Die Maximalwerte der Intervalle ID10-ID08, sowie ID08-ID04 liegen ungefähr $3\,dB$ unter den Maximalwerten im Referenzintervall. Am Kleinsten ist dieser Unterschied bei $80\,km/h$ Vorbeifahrtgeschwindigkeit (weniger als $2\,dB$).

2.2. Gleisbogenmessungen bei R=490m

Die Differenz zwischen den Referenzwagen (ID16-ID15) und den Testwagen ist bei Messposition $Mik1$ wesentlich geringer als bei Vorbeifahrt auf freier Strecke. Die Differenzen belaufen sich auf Größenordnungen von knapp über $3\,dB(A)$. Die Intervalle ID12-ID02, ID02-ID06, ID10-ID08 und ID08-ID04 zeigen ähnliches akustisches Verhalten und liegen in Bezug auf den Vorbeifahrtpegel $L_{Aeq,Tp,80}$ an tiefster Stelle. (siehe Tabelle 5.4.1)
Die Differenz zwischen den Referenzwagen (ID16-ID15) und den Testwagen ist bei Messposition $Mik2$ in der Größenordnungen von $4-5\,dB(A)$. Die Intervalle ID02-ID06, ID10-ID08 und ID08-ID04 zeigen ähnliches akustisches Verhalten und liegen in Bezug auf den Vorbeifahrtpegel $L_{Aeq,Tp,80}$ an tiefster Stelle. (siehe Tabelle 5.4.1)

Die Messungen der Vibrationen an der Schiene gestalteten sich aufgrund sehr starker Ultraschalleinflüssen in den Gleisbögen als schwierig. Es sind zwar an allen Messpositionen Messdaten vorhanden, allerdings nicht bei erhöhter Geschwindigkeit von $80\,km/h$. Es ist für den Gleisbogen mit $R = 490\,m$ kaum möglich, solide Aussagen über das akustische Verhalten der einzelnen Intervalle zu treffen. (siehe Tabelle 5.4.1 und 5.4.1)

2.3. Gleisbogenmessungen bei R=290m

Die Differenz zwischen den Referenzwagen (ID16-ID15) und den Testwagen liegt bei Messposition $Mik1$ in der Größenordnunge von $4-5\,dB(A)$. Die Intervalle ID10-ID08 und ID08-ID04 zeigen ähnliches akustisches Verhalten und liegen in Bezug auf den Vorbeifahrtpegel $L_{Aeq,Tp,80}$ an tiefster Stelle. (siehe Tabelle 5.4.2)
Die Differenz zwischen den Referenzwagen (ID16-ID15) und den Testwagen ist bei Messposition $Mik2$ ebenfalls in der Größenordnungen von $4-5\,dB(A)$. Die Intervalle ID12-ID02, ID02-ID06, ID10-ID08 und ID08-ID04 zeigen ähnliches akustisches Verhalten und liegen in Bezug auf den Vorbeifahrtpegel $L_{Aeq,Tp,80}$ an tiefster Stelle. (siehe Tabelle 5.4.2)

Die Ultraschalleinflüsse in der Schiene waren bei $R = 290\,m$ wesentlich geringer als bei $R = 490\,m$, was vermutlich auf die erhöhte Abklingrate dieses Gleisabschnittes (Tabelle 5.6.3 und 5.6.3) zurückzuführen ist. Es kann festgestellt werden, dass das Referenzintervall (ID16-ID15) in Bezug auf senkrechte Beschleunigungen in der Größenordnung $2-3\,dB(A)$ über den Testwagen mit den geringsten enkrechten Beschleunigungen und in Bezug auf seitliche Beschleunigungen in der Größenordnung $5-6\,dB(A)$ über den Testwagen mit den geringsten seitlichen Beschleunigungen liegt. Die Intervalle ID12-ID02 und ID02-ID06 sind dabei direkt mit dem Referenzintervall vergleichbar, die übrigen Intervalle müssen aufgrund der Ultraschalleinflüsse mit gültigen Referenzwerten bei ähnlicher Vorbeifahrtgeschwindigkeit verglichen werden. (siehe Tabelle 5.4.2 und 5.4.2)

Zu den Referenzwagen (ID16 und ID15) muss angemerkt werden, dass das Drehgestell DG2 von Wagen ID16 wesentlich lauter ist als das ebenfalls im Referenzintervall liegende DG2 von Wagen ID15. Die Differenz liegt bei lateraler und transversaler Beschleunigung bei rund $5\,dB(A)$ (Siehe Anhang A.128 und A.143). Dieser Umstand dürfte auf erhöhte Radrauheit zurückzuführen sein.

2.4. Schienenrauheit

Die Schienenrauheit lag an allen Messstellen unter dem TSI-Limit. Besonders glatt war die Schiene bei Kerzers (gerades Gleis, siehe 5.5.1).

2.5. Abklingrate

Es gab zum Teil starke Unterschreitungen des TSI-Limits für Abklingraten auf den Messstrecken mit Betonschwellen (Willisau und Kerzers, siehe 5.6.1, 5.6.1 und 5.6.2, 5.6.2). Die Abklingrate in Menznau (Holzschwellen) blieb bis auf eine kleine Ausnahme (transversale Abklingrate bei 400Hz auf S02) in allen Terzbändern über dem TSI-Limit für Abklingraten. Auf die Vergleichsmessungen haben die Unterschreitungen der lateralen, sowie transversalen Abklingrate keinen Einfluss.

2.6. Radsatzvermessungen

Die Radsatzvermessungen wurden an allen Wagen durchgeführt. Während der Messungen auf gerader Strecke (Kerzers) traten aufgrund einer Notbremsung Flachstellen auf, deswegen wurden fünf Wagen erneut abgedreht. (siehe Kapitel 4) Es traten keine Außergewöhnlichkeiten auf.

3. Messobjekt und Messanordnung

Die Akustischen Messungen wurden an Flachwagen des Typs Sgnss durchgeführt, welche im Zuge des Monitoring Projektes „SBB TIS 5L“ mit Drehgestellen und Bremssystemen unterschiedlicher Hersteller ausgestattet sind. Die Flachwagen verfügen über Wellenscheibenbremsen und Klotzbremsen.



Abbildung 3.1.: Flachwagen des Typs Sgnss bei Versuchsfahrten im Gleisbogen

In den folgenden Tabellen finden Sie die Details zur Konfiguration der einzelnen Wagen. Es sind jeweils die letzten vier Stellen der Wagennummer angegeben. Die Die vollständige Seriennummer lautet jeweils **81 85 4552 XXX – X**.

3.1. Wagenzusammenstellung bei R=Inf

Tabelle 3.1.: RInf, Wagenkonfigurationen im Zugverband

ID	Wagen#	Drehgest.	Radsatz	Bremse	Beläge/Klötze	Kupplung
13	013-7	Y25 DG	SBB Db10SA	KS KlotzBr.	JU 816M	Voith
14	014-5	Y25 DG	SBB Db10SA	KS KlotzBr.	JU 816M	Voith
3	003-8	ELH	Bochumer Verein	Dako-CZ	BE_SP 140FF	Voith
12	012-9	Greenbrier	BonaTrans	Dako-CZ	BE_SP 140FF	Voith
2	002-0	ELH	BonaTrans	Faiveley	SWG36	Voith
6	006-1	Tatr. poprad	BonaTrans	Dako-CZ	BE_SP 140FF	Voith
11	011-1	Greenbrier	Lucchini RS	Faiveley	SWG36	Voith
9	009-5	WBN	Lucchini RS	Dako-CZ	BE_SP 140FF	Faiveley
10	010-3	Greenbrier	Bochumer Verein	Knorr Br.	JU707-11	Faiveley
8	008-7	WBN	Bochumer Verein	Faiveley	SWG36	Faiveley
4	004-6	Tatr. poprad	Bochumer Verein	Knorr Br.	JU707-11	Faiveley
7	007-9	WBN	BonaTrans	Knorr Br.	JU707-11	Faiveley
1	001-2	ELH	Lucchini RS	Knorr Br.	JU707-11	Faiveley
5	005-3	Tatr. poprad	Lucchini RS	Faiveley	SWG36	Voith
16	016-0	Y25 DG	SBB Db10SA	KS KlotzBr.	JU 816M	Faiveley
15	015-2	Y25 DG	SBB Db10SA	KS KlotzBr.	JU 816M	Faiveley

3.2. Wagenzusammenstellung bei R=290 und R=490

Tabelle 3.2.: R290, Wagenkonfigurationen im Zugverband

ID	Wagen#	Drehgest.	Radsatz	Bremse	Beläge/Klötze	Kupplung
16	016-0	Y25 DG	SBB Db10SA	KS KlotzBr.	JU 816M	Faiveley
15	015-2	Y25 DG	SBB Db10SA	KS KlotzBr.	JU 816M	Faiveley
3	003-8	ELH	Bochumer Verein	Dako-CZ	BE_SP 140FF	Voith
12	012-9	Greenbrier	BonaTrans	Dako-CZ	BE_SP 140FF	Voith
2	002-0	ELH	BonaTrans	Faiveley	SWG36	Voith
6	006-1	Tatr. poprad	BonaTrans	Dako-CZ	BE_SP 140FF	Voith
11	011-1	Greenbrier	Lucchini RS	Faiveley	SWG36	Voith
9	009-5	WBN	Lucchini RS	Dako-CZ	BE_SP 140FF	Faiveley
10	010-3	Greenbrier	Bochumer Verein	Knorr Br.	JU707-11	Faiveley
8	008-7	WBN	Bochumer Verein	Faiveley	SWG36	Faiveley
4	004-6	Tatr. poprad	Bochumer Verein	Knorr Br.	JU707-11	Faiveley
7	007-9	WBN	BonaTrans	Knorr Br.	JU707-11	Faiveley
1	001-2	ELH	Lucchini RS	Knorr Br.	JU707-11	Faiveley
5	005-3	Tatr. poprad	Lucchini RS	Faiveley	SWG36	Voith

3.3. Datenerfassungssystem

Für die durchgeführten Messungen wurden folgende Messsysteme verwendet:

- Messverstärker Sinus Soundbook Quadro MK2, 8-Kanal
  - Schalldruckpegelmessungen mit 1/2” Mikrofone Gras 40AE; Kalibrator Larson Davis CAL 200
  - Vibrationsmessungen mit ICP-Sensoren
  - Abklingratenmessung mit Impulshammer Brüel und Kjäer Typ 8207 und ICP-Sensor Typ Isotron 751-100
- Messverstärker HBM MGC+
  - Schienenrauheit mit dem PJM-Rauheitsprüfstand und induktiven HBM-Wegsensoren Typ WI2mm; HBM Einschubkarten Typ ML455/AP455, ML801/AP801
- Messverstärker gfai tech mcdRec
  - Akustische Bilder mit 48 Stk 1/4” Mikrofonen und einer optischen Kamera (für überlappende Bildinformation)

3.3.1. Beschreibung der Sensoren

In der folgenden Tabelle 3.3 sind die verwendeten Sensoren samt zugehörigen Messverstärkern dokumentiert:

Tabelle 3.3.: Verwendete Sensoren

Messung	Messgröße	Sensor	Seriennummer	Messverstärker
Vorbeifahrtgeräusch	Schalldruckpegel	G.R.A.S 26AK/40AE Mikrofon	137838/162594	Sinus Soundbook quadro
Vorbeifahrtgeräusch	Schalldruckpegel	G.R.A.S 26AK/40AE Mikrofon	137839/162595	Sinus Soundbook quadro
Vorbeifahrtgeräusch	Schalldruckkalibrator	Larson Davis CAL2000	9148	Sinus Soundbook quadro
Vibration Schiene	Beschleunigung	MME KS943L IEPE	17014	Sinus Soundbook quadro
Schienenrauheit	Weg vertikal	HBM WI/2mm	183110143	HBM MGC+ mit ML455/AP455
Schienenrauheit	Weg vertikal	HBM WI/2mm	183110150	HBM MGC+ mit ML455/AP455
Schienenrauheit	Weg vertikal	HBM WI/2mm	183110131	HBM MGC+ mit ML455/AP455
Schienenrauheit	Weg horizontal	ASM WS12-1500-R1K-L10	200232100451	HBM MGC+ mit ML801/AP836
Abklingrate	Beschleunigung	Endevco 751-100 Isotron	15317	Sinus Soundbook quadro
Akustisches Wärmebild	Schalldruckpegel	gfai tech Akustikkamera --> 48 Mikrophone 75cm Applikationsradius --> Optische Kamera	--- --- ---	gfai tech mc dRec Datenrecorder

3.3.2. Dokumentation Messorte

In der folgenden Tabelle finden Sie Informationen zu den drei Messorten:

Tabelle 3.4.: Messorte am Gleis

Ort	*Radius R*	*Kurzform*	*Streckenkilometer*	*Richtungen*
	m		*km*	
Kerzers	*Inf*	RInf	24.5	R1: Kerzers → Müntschemier
Willisau	490	R490	13.4	R1: Gettnau → Willisau
Menznau	290	R290	19.9	R1: Willisau → Menznau

Folgend finden Sie Bilder der drei Messorte, an denen Akustikmessungen durchgeführt wurden:

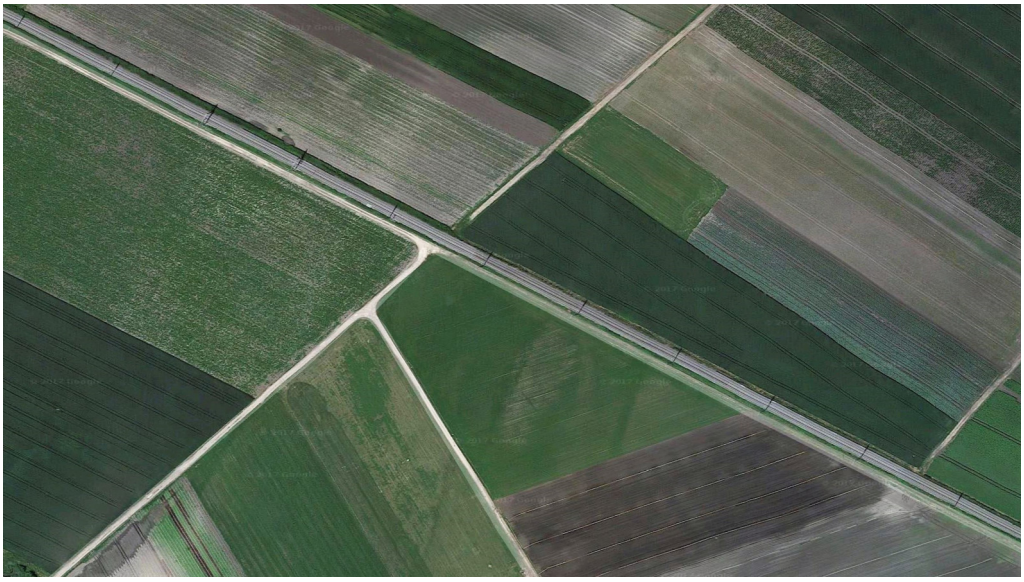


Abbildung 3.2.: Messort Kerzers, gerade Strecke bei Kilometer 24.5



Abbildung 3.3.: Blickrichtung absteigender bzw. aufsteigender Kilometer (Kerzers, gerade Strecke)



Abbildung 3.4.: Messort Willisau, $R = 490\,m$ bei Kilometer 13.4



Abbildung 3.5.: Messort Menznau, $R = 290\,m$ bei Kilometer 19.9

3.3.3. Dokumentation der Messpositionen

Folgend finden Sie eine fotografische Dokumentation aller Messpositionen für Akustische Messungen, sowie Messungen der Abklingrate und Schienenrauheit an den drei Messorten (siehe 3.3.2)

Die Schiene **S01** befindet sich jeweils links in Richtung aufsteigender Streckenkilometer, die Schiene **S02** befindet sich jeweils rechts in Richtung aufsteigender Streckenkilometer.

3.3.3.1. Dokumentation Akustikmessungen

Die Mikrofonposition, sowie die Position der akustischen Kamera bei Kerzers befand sich 7.5 m von der Gleismitte entfernt in 1.2 m Höhe über Schienenoberkante.



Abbildung 3.6.: Akustische Kamera und Mikrofonpositionen; Lichtschranke (Kerzers, gerade Strecke)

Die Position von Mikrofon $Mik1$ bei Willisau und Menznau befand sich 2.82 m von der Gleismitte entfernt in 2.1 m Höhe über Schienenoberkante, die Position von Mikrofon $Mik2$ befand sich 3.42 m von der Gleismitte entfernt in 1.1 m Höhe über Schienenoberkante.



Abbildung 3.7.: Mikrofonpositionen, Lichtschranke und Beschleunigungssensoren (Willisau, $R = 490\,m$)

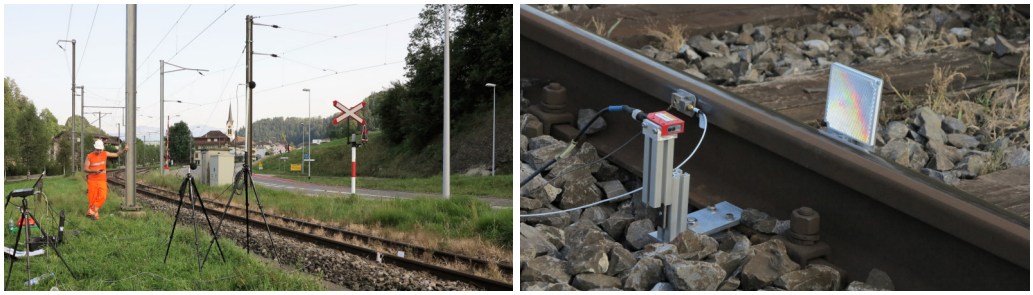


Abbildung 3.8.: Mikrofonpositionen, Lichtschranke und Beschleunigungssensoren (Menznau, $R = 290\,m$)

3.3.3.2. Dokumentation Schienenrauheitsmessung

Die Messpositionen für die Schienenrauheitsmessung wurden zu je 15 *Stk* pro Schiene in äquidistantem Abstand von je 120 *cm* gewählt. Dabei werden jeweils 100 *cm* der Schienenoberfläche auf drei Spuren abgetastet. Die achte Messposition befindet sich jeweils an der Stelle der Mikrofonposition der Akustikmessungen. Dadurch sind die Messpositionen für die Erfassung der akustischen Schienenrauheit symmetrisch um die Mikrofonposition verteilt.



Abbildung 3.9.: Gleise mit frischen Teststreifen zur Feststellung der Schienenfahrfläche (Kerzers, gerade Strecke)



Abbildung 3.10.: Schienenfahrfläche auf S01/S02 (Kerzers, gerade Strecke)

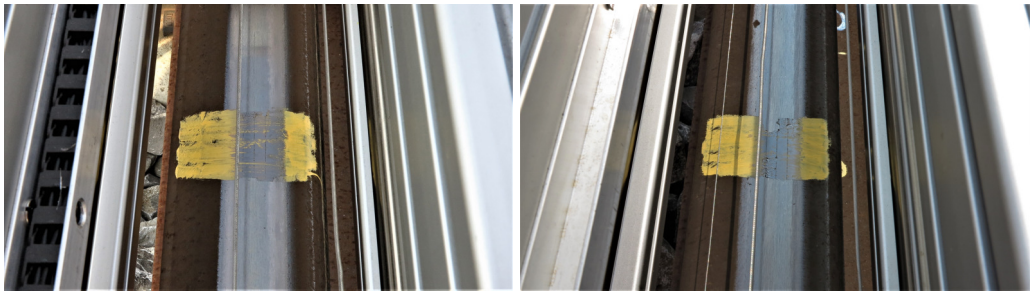


Abbildung 3.11.: Drei Spuren auf S01/S02 (Kerzers, gerade Strecke)

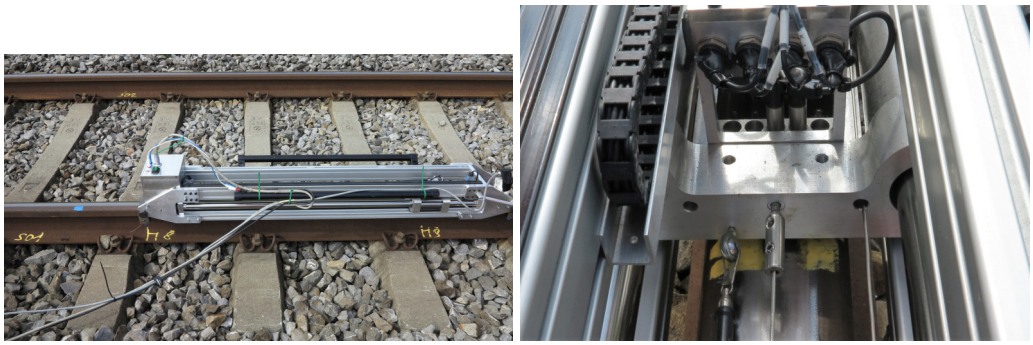


Abbildung 3.12.: PJM-Rauheitsmessgerät im Einsatz; Schlitten zur Spurabtastung (Willisau, $R = 490\,m$)

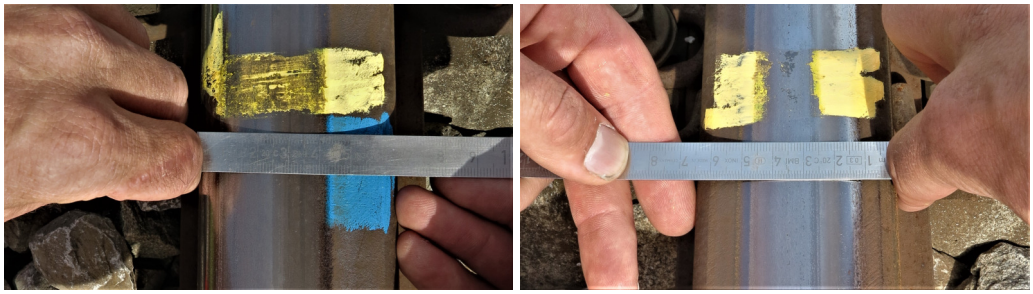


Abbildung 3.13.: Schienenfahrläche auf S01 bzw S02 (Willisau, $R = 490\,m$)



Abbildung 3.14.: Erfassung der Schienenfahrfläche auf S01 (vorher-nachher) (Willisau, $R = 490\,m$)

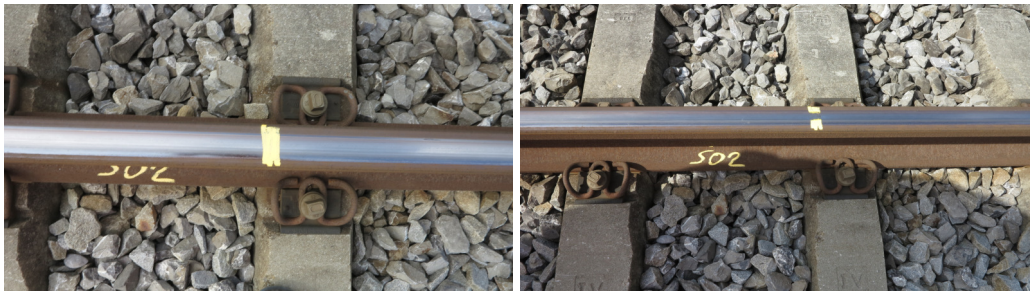


Abbildung 3.15.: Erfassung der Schienenfahrfläche auf S02 (vorher-nachher) (Willisau, $R = 490\,m$)



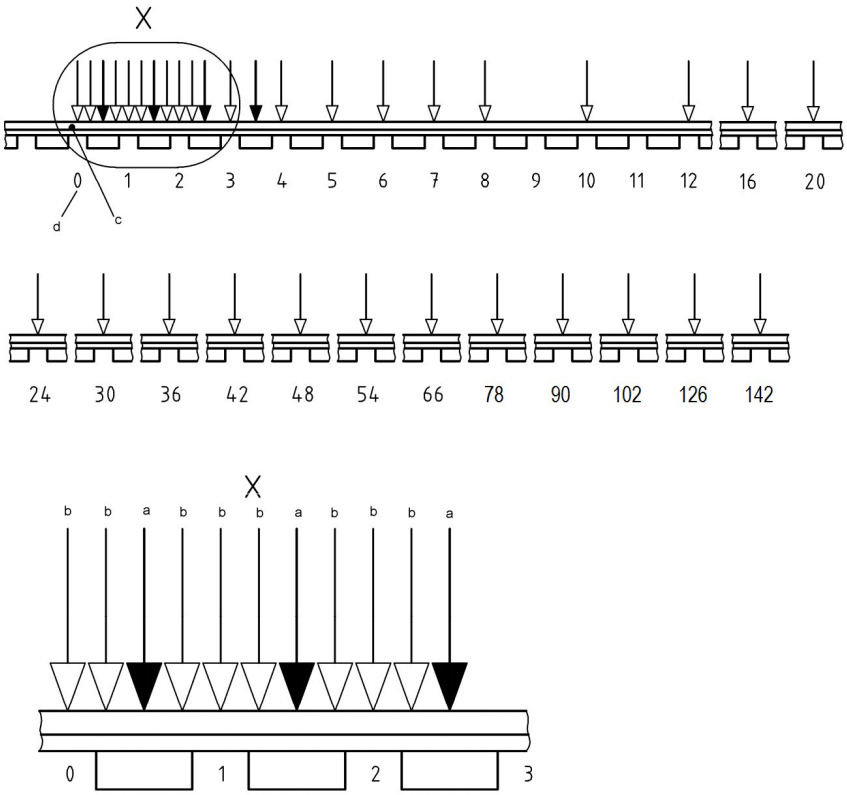
Abbildung 3.16.: PJM-Rauheitsmessgerät im Einsatz (Menznau, $R = 290\,m$)



Abbildung 3.17.: Schienefahrläche auf S01/S02 (Menznau, $R = 290\,m$)

3.3.3.3. Dokumentation Abklingratenmessung

Die Hammerschlagpositionen für die Abklingratemessungen wurden nach der folgenden Grafik gewählt. Die Position 0 (Schwellenfach 0, Position der Beschleunigungsaufnehmer) befindet sich jeweils an der Mikrofonposition für die akustischen Messungen, alle weiteren Positionen für die Einleitung von Hammerschlägen liegen relativ zur Position 0 in Richtung absteigender Kilometer (Richtung 2).



Legende

a ▼ Hammerschlagimpuls auf der Schiene oberhalb der Schwelle

b ▽ Hammerschlagimpuls auf der Schiene zwischen den Schwellen
c Position des Beschleunigungsaufnehmers
d Index des Schwellenfaches

Abbildung 3.18.: Abklingrate, Hammerschlagpositionen relativ zum Beschleunigungsaufnehmer



Abbildung 3.19.: Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S01 (Kerzers, gerade Strecke)



Abbildung 3.20.: Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S02 (Kerzers, gerade Strecke)



Abbildung 3.21.: Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S01 (Willisau, $R = 490\,m$)



Abbildung 3.22.: Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S02 (Willisau, $R = 490\,m$)



Abbildung 3.23.: Hammerschlagpositionen (Menznau, $R = 290\,m$)



Abbildung 3.24.: Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S01 (Menznau, $R = 290\,m$)



Abbildung 3.25.: Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S02 (Menznau, $R = 290\,m$)

4. Zeitlicher Ablauf der Arbeiten

Die Messungen erstreckten sich über einen Zeitraum von eineinhalb Monaten. Eine detaillierte Zusammenfassung finden Sie im Folgenden.

- 20.07.2017 bis 24.07.2017
  - Anreise des Messteams
  - Radsatzvermessungen
- 24.07.2017 bis 26.07.2017
  - Schallpegelmessungen in Kerzers
    - die Referenzwagen (ID13, ID14) hatten bereits zu Beginn der Messungen große Flachstellen. Ursache: vergessene Handbremse.
    - M01 bis M02 am 24.07.2017
    - M03 bis M05 am 25.07.2017
    - Bei den Messfahrten entstanden durch eine Notbremsung Flachstellen.
      - Wagen 81 85 4552 007-9 RS1, RS2, RS3 und RS4
    - M06 bis M13 am 26.07.2017
  - Messungen mit der akustischen Kamera
- 27.07.2017 bis 29.07.2017
  - Schallpegelmessungen in Menznau; Schlechtwetter; Abbruch
  - Vibrationsmessungen in Menznau; Schlechtwetter; Abbruch
  - Während der Versuche entstanden zusätzliche Flachstellen (Notbremsung); Messungen daher nicht brauchbar
    - Wagen 81 85 4552 001-2 RS3 und RS4
    - Wagen 81 85 4552 002-0 RS4
    - Wagen 81 85 4552 005-3 RS2 und RS4
    - Wagen 81 85 4552 009-5 RS2 und RS4
    - Wagen 81 85 4552 011-1 RS2
    - Wagen 81 85 4552 015-2 RS2 und RS4
  - Abreise des Messteams
  - Bis zur nächsten Anreise werden die Radsätze mit Flachstellen neu abgedreht, erneute Radsatzvermessungen sind aus zeitlichen Gründen nicht mehr möglich. Es kann aber auf die Messdaten der Drehbank zurückgegriffen werden, mit der die Radsätze erneut abgedreht wurden. Die Referenzwagen (ID13, ID14) werden nicht für weitere Messungen verwendet. Es sind allerdings noch die Referenzwagen (ID15, ID16) im Zugverband.
- 28.08.2017
  - Anreise des Messteams
  - Schallpegelmessungen in Menznau ($R = 290\,m$, M01 bis M08)
  - Vibrationsmessungen in Menznau ($R = 290\,m$, M01 bis M08)
- 29.08.2017

  - Schallpegelmessungen in Willisau ($R = 490\,m$, M01 bis M09)
  - Vibrationsmessungen in Willisau ($R = 490\,m$, M01 bis M09)
- 30.08.2017
  - Messung der Abklingrate in Menznau
  - Messung der Schienenrauheit in Menznau
- 31.08.2017
  - Messung der Abklingrate in Willisau; Schlechtwetter; Abbruch
  - Messung der Schienenrauheit in Willisau; Schlechtwetter; Abbruch
  - Abreise des Messteams
- 06.09.2017 bis 07.09.2017
  - Anreise des Messteams
  - Messung der Abklingrate in Willisau
  - Messung der Schienenrauheit in Willisau
- 08.09.2017
  - Messung der Abklingrate in Kerzers
  - Messung der Schienenrauheit in Kerzers
  - Abreise des Messteams

5. Ergebnisse der Messungen

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der einzelnen Messungen zusammengefasst, eine detaillierte grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.

Im Zuge der akustischen Vergleichsmessungen werden jeweils Intervalle betrachtet (Mitte Flachwagen bis Mitte nächster Flachwagen). Den einzelnen Flachwagen im Zugverband wurden Indizes zugordnet (**ID**). Ein Intervall wird dann folgendermaßen gekennzeichnet: $\mathbf{A-B}$, wobei A der Index des ersten Flachwagen ist und B der Index des zweiten Flachwagens.

Die Intervalle $\mathbf{13-14}$ und $\mathbf{16-15}$ sind die Intervalle der Referenzwagen. Bei den Gleisbogenmessungen wurde auf die Wagen mit der ID 13 und 14 verzichtet, folglich fehlt bei diesen Messungen eines der beiden Referenzintervalle. Details zur Wagenkonfiguration finden Sie in Tabelle 3.1 und 3.2.

Die einzelnen Vorbeifahrtmessungen (M#) werden in den Tabellen nach der ermittelten Vorbeifahrtgeschwindigkeit aufsteigend sortiert.

Es wurden Messungen in beide Fahrtrichtungen (**R**) durchgeführt. Die Lok wurde dabei jeweils an die Zugspitze gehängt. Für die Fahrtrichtungen gilt folgendes:

- **Fahrtrichtung 1**; $(R = 1)$
  - Richtung aufsteigender Streckenkilometer
  - Bei Messungen auf gerader Strecke ist die Lok an den Wagen mit der *ID* 15 gekoppelt und beeinflusst das Intervall $16-15$.
  - Bei $R = 290\,m$ und $R = 490\,m$ ist die Lok an den Wagen mit der *ID* 5 gekoppelt und beeinflusst das Intervall $1-5$.
  - In den Wertetabellen für die Intervalle beeinflusst die Lok jeweils die rechte Spalte.
  - In der grafischen Übersichtsdarstellung im Anhang befindet sich die Lok jeweils auf der rechten Seite
- **Fahrtrichtung 2**; $(R = 2)$
  - Richtung absteigender Streckenkilometer
  - Bei Messungen auf gerader Strecke ist die Lok an den Wagen mit der *ID* 13 gekoppelt und beeinflusst das Intervall $13-14$.
  - Bei $R = 290\,m$ und $R = 490\,m$ ist die Lok an den Wagen mit der *ID* 16 gekoppelt und beeinflusst das Intervall $16-15$.
  - In den Wertetabellen für die Intervalle beeinflusst die Lok jeweils die linke Spalte.
  - In der grafischen Übersichtsdarstellung im Anhang befindet sich die Lok jeweils auf der linken Seite

5.1. Messwert- und Variablendefinitionen

- **v** Zuggeschwindigkeit $[km/h]$, berechnet und gemessen durch eine auf der Schiene angebrachte Lichtschranke und den geometrischen Daten des Zuges. (Achsabstand im Drehgestell - Drehgestellabstand - Länge über Puffer)
- **TEL** "Transit Exposure Level"$[dB(A)]$. Die Messgröße TEL war in früheren Versionen der Norm ISO 3095 festgelegt und wurde zur Vergleichbarkeit mit dem Jahresbericht 2015 der SBB über Monitoring Eisenbahnlärm zusätzlich berechnet. Dieser Pegel wird in $7.5\,m$ Abstand zur Gleismitte und in $1.2\,m$ Höhe über Schienenoberkante gemessen. Für die Messpositionen in Willisau und Menznau wurden die TEL 80-Werte auf diesen Messabstand zurückgerechnet:

$$TEL\,80 \;=\; TEL\,80_{d\neq 7.5\,m} + 10 * log_{10}(d/7.5)$$

- **TEL 80** Auf $80\,km/h$ normierter A-bewerteter "Transit Exposure Level"nach der Formel:

$$TEL\,80 = TEL - 30 * log_{10}(v_{pass}/80)$$

- $\mathbf{L}_{Aeq,Tp}$ A-bewerteter energieäquivalenter Vorbeifahrtpegel im zeitlichen Intervall Lp $[dB(A)]$. Je nach Örtlichkeit wurde dieser Pegel in folgendem geometrischen Bezug zum Zug gemessen:
  - Kerzers, gerades Gleis: $7.5\,m$ Abstand zur Gleismitte in $1.2\,m$ Höhe über SOK mit Mikrofon Mik1.
  - Willisau, $R = 490\,m$ und Gettnau, $R = 290\,m$: $2.82\,m$ Abstand zur Gleismitte in $2.1\,m$ Höhe über SOK mit Mikrofon Mik1, sowie in $3.42\,m$ Abstand zur Gleismitte in $1.1\,m$ Höhe über SOK mit Mikrofon Mik2.
- $\mathbf{L}_{Aeq,Tp,80}$ Auf $80\,km/h$ normierter A-bewerteter energieäquivalenter Vorbeifahrtpegel nach der Formel:

$$L_{Aeq,Tp,80} = L_{Aeq,Tp} - 30 * log_{10}(v_{pass}/80)$$

5.2. Vorbeifahrtmessungen

Die Messungen auf gerader Strecke wurden in Anlehnung an ISO 3095:2013 durchgeführt. Es wurden die Vorbeifahrtpegel für spezielle Intervalle berechnet und auf $80\,km/h$ normiert. Zusätzlich dazu wurden die TEL 80-Werte für den gesamten Zug ermittelt.

5.2.1. Kerzers, gerades Gleis

Zu den TEL 80-Werten ist anzumerken, dass diese hauptsächlich durch den Vorbeifahrtpegel der Lok bestimmt werden, da dieser im Vergleich zu den Vorbeifahrtpegeln der übrigen Wagen sehr groß ist. Im Vergleich zur Bafu 2015[1], Kapitel 4.2.4, Abb. 13 liegen wir mit unserem Testzug mit einem durchschnittlichen TEL 80-Wert von $81.3\,dB(A)$ im unteren $20\,\%$-Bereich der Häufigkeitsverteilung für Vorbeifahrtgeräusche von Güterwagen.

Tabelle 5.1.: RInf, Werte für den gesamten Zug $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$

M#	R	v	TEL 80
		km/h	dB(A)
$M05$	2	76.4	80.9
$M07$	2	76.9	80.8
$M09$	2	77.3	81.1
$M04$	2	96.3	81.2
$M11$	2	98.0	80.6
$M08$	1	98.1	80.7
$M13$	2	98.6	80.8
$M02$	2	99.9	81.2
$M01$	2	102.5	81.5
$M06$	1	118.0	81.7
$M12$	1	118.7	82.2
$M10$	1	120.3	82.4
$M03$	1	120.9	81.9

In den folgenden Tabellen finden Sie Messwerte für die einzelnen Intervalle. Eine Beschreibung selbiger finden Sie in Kapitel 5. Details zu den Wagenkonfigurationen und der Zugzusammenstellung finden Sie in den Tabellen 3.1 und 3.2. Für die Messungen auf gerader Strecke werden nur ausgewählte Intervalle miteinander verglichen. Diese sollen einen Vergleich der verschiedenen Wagenkonfigurationen ermöglichen.

[1] Monitoring Eisenbahnlärm, Jahresbericht 2015 des Bundesamtes für Verkehr (1.Januar - 31.Dezember 2015)

Tabelle 5.2.: RInf, *Mik*1: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$

			ID							
M#	R	v	13 – 14	12 – 2	2 – 6	11 – 9	10 – 8	8 – 4	1 – 5	16 – 15
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*05	2	76.4	87.7	76.6	78.6	77.1	74.5	73.9	75.5	79.2
*M*07	2	76.9	87.4	76.3	77.7	77.0	74.5	74.7	75.4	77.6
*M*09	2	77.3	87.5	76.7	78.2	77.2	74.6	74.8	75.8	77.6
*M*04	2	96.3	86.9	76.0	77.4	76.6	74.1	73.3	75.3	79.3
*M*11	2	98.0	86.4	76.0	77.5	76.6	74.0	74.2	75.4	77.0
*M*08	1	98.1	86.0	76.2	77.3	76.5	74.2	74.4	76.1	80.5
*M*13	2	98.6	86.1	76.0	77.4	77.2	74.0	74.1	75.9	77.9
*M*02	2	99.9	86.6	76.3	78.1	77.7	74.4	73.5	75.7	80.3
*M*01	2	102.5	86.5	76.3	77.8	76.9	74.0	73.0	75.1	80.8
*M*06	1	118.0	86.5	77.0	82.4	76.3	74.1	74.4	78.2	81.0
*M*12	1	118.7	87.9	77.3	81.8	77.2	74.2	74.6	78.3	82.2
*M*10	1	120.3	88.2	77.4	83.3	76.2	74.1	74.9	79.8	82.0
*M*03	1	120.9	86.9	76.6	80.3	76.3	74.1	73.7	76.1	81.9

Im Intervall ID13-ID14 traten von Beginn der Messungen an große Flachstellen auf. Der energieäquivalente Vorbeifahrtpegel ist für dieses Intervall dementsprechend höher. Die Flachstelle ist deutlich in der Übersichtsdarstellung im Anhang A.1 zu sehen.

Bei den Vorbeifahrtmessungen auf gerader Strecke traten ab der Messung M06 durch eine Notbremsung Flachstellen im Intervall ID04-ID07 auf. Dadurch werden die Intervalle ID08-ID04 zum Teil gestört. (siehe Details im Anhang A.12, A.4 und A.8, bzw. der zeitl. Ablauf in Kapitel 4)

In den Intervallen ID02-ID06 (siehe Anhang A.11) und ID01-ID05 (siehe Anhang A.13) traten bei $v = 120\,km/h$ pfeifende, unregelmäßige Geräusche auf. Signifikant sind auch die zugehörigen Schwankungen in den Terzbändern $2000\,Hz$ bis $8000\,Hz$. bei $v = 80\,km/h$ und $v = 100\,km/h$ traten diese pfeifenden Geräusche nicht auf.

5.3. Messungen mit der Akustischen Kamera

Die Akustische Kamera ist in der Lage, ortsaufgelöste Messungen von Geräuschquellen zu machen.

5.3.1. Kerzers, gerades Gleis

Die Messungen mit der akustischen Kamera wurden nur am geraden Gleis durchgeführt. Eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.14 bis A.37. Zu jedem Intervall wurde ein akustisches Bild, sowie das zugehörige Spektrum berechnet.

Die Flachstelle im Intervall ID13-ID14 kann dadurch eindeutig dem Drehgestell 2 von Wagen 14 zugeordnet werden. (siehe Abbildungen A.14, A.22 und A.30)

5.4. Gleisbogenmessungen Akustik und Vibration

Die Gleisbogenmessungen wurden in Anlehnung an EN 13979-1, E.3.3 und nach Absprache mit dem Kunden durchgeführt.

Durch Kurvenquietschen entstand teilweise eine größere Schankungsbreite der Messdaten als auf geradem Gleis. In den Details sind zu den Intervallen jeweils auch die Terzspektren abgebildet. Kurvenquietschen ist in den Terzspektren im Bereich über 3150 Hz sichtbar. (große Spanne zwischen maximalem Terzpegel und minimalem Terzpegel bei hohen Frequenzen, zum Beispiel in den Abbildungen A.4, A.5)

Es werden im Folgenden alle Intervalle betrachtet.

5.4.1. Willisau, R=490m

TEL-Werte wurden jeweils auf einen Messabstand von 7.5 m zurückgerechnet.

Tabelle 5.3.: R490, Werte für den gesamten Zug $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$

M#	R	v	TEL 80
		km/h	dB(A)
$M04$	2	59.4	80.2
$M08$	2	59.6	81.0
$M09$	1	59.8	81.9
$M02$	2	60.0	79.9
$M03$	1	60.2	80.1
$M05$	1	60.2	82.9
$M01$	1	61.9	79.8
$M07$	1	79.1	83.3
$M06$	2	83.1	80.5

Tabelle 5.4.: R490, $Mik1$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$

			ID						
M#	R	v	$16-15$	$15-3$	$3-12$	$12-2$	$2-6$	$6-11$	$11-9$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
$M04$	2	59.4		83.1	80.0	79.1	78.1	79.2	80.9
$M08$	2	59.6	85.2	83.4	79.4	78.9	78.8	79.8	81.5
$M09$	1	59.8	83.2	83.9	79.5	79.1	78.8	79.6	82.7
$M02$	2	60.0				78.2	77.9	79.5	82.1
$M03$	1	60.2	83.2	83.3	79.7	80.0	79.5	79.5	82.3
$M05$	1	60.2	83.8	83.8	79.6	79.3	78.9	79.6	83.5
$M01$	1	61.9	83.9	83.9	81.5	80.9	79.3	79.5	82.2
$M07$	1	79.1	90.4	89.3	78.8	79.1	78.8	79.4	82.4
$M06$	2	83.1	83.9	83.1	79.6	79.2	78.5	79.9	81.8

Tabelle 5.5.: R490, $Mik1$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ Teil 2

			ID					
M#	R	v	$9-10$	$10-8$	$8-4$	$4-7$	$7-1$	$1-5$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
$M04$	2	59.4	81.4	77.6	77.3	85.1	84.9	79.6
$M08$	2	59.6	82.4	77.9	77.9	85.8	84.8	80.1
$M09$	1	59.8	82.0	78.9	79.8	87.1	85.3	83.8
$M02$	2	60.0	81.8	80.0	77.9	85.1	84.5	79.7
$M03$	1	60.2	82.0	79.1	80.1	85.9	84.4	83.7
$M05$	1	60.2	82.1	79.8	80.4	86.3	85.2	85.5
$M01$	1	61.9	81.7	78.7	78.9	85.8	83.8	82.1
$M07$	1	79.1	81.6	78.4	80.0	87.4	84.1	84.4
$M06$	2	83.1	81.5	77.5	77.9	85.0	83.6	79.8

Bei $M07$ treten im Intervall ID16-ID15 erhöhte $L_{Aeq,Tp,80}$-Werte auf. Aus dem zugehörigen Terzspektrum lässt sich dieser Pegelanstieg auf Kurvenquietschen zurückführen. Bei den Messungen $M02$ und $M04$ ist der Einfluss des Kurvenquietschens in manchen Intervallen zu hoch, weswegen diese Messwerte aus der Bewertung genommen wurden. Die Vergleichbarkeit mit den übrigen Vorbeifahrtpegeln für dieses Intervall ist nicht mehr gegeben.

Tabelle 5.6.: R490, *Mik*2: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$

			ID						
M#	R	v	16 – 15	15 – 3	3 – 12	12 – 2	2 – 6	6 – 11	11 – 9
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*04	2	59.4		84.3	81.3	80.1	78.5	80.4	81.3
*M*08	2	59.6	86.7	85.0	80.2	80.0	79.1	80.7	82.4
*M*09	1	59.8	84.0	84.5	79.5	79.2	79.0	79.9	82.9
*M*02	2	60.0				78.8	78.0	80.4	82.5
*M*03	1	60.2	84.4	84.2	80.6	80.5	80.0	80.3	82.8
*M*05	1	60.2	85.0	84.1	80.2	79.9	78.8	80.0	83.7
*M*01	1	61.9	85.0	84.5	81.7	81.4	79.1	79.8	82.4
*M*07	1	79.1	92.4	90.8	80.2	80.1	78.5	80.0	83.1
*M*06	2	83.1	86.5	85.7	81.0	80.4	79.1	80.9	83.0

Tabelle 5.7.: R490, *Mik*2: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ Teil 2

			ID					
M#	R	v	9 – 10	10 – 8	8 – 4	4 – 7	7 – 1	1 – 5
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*04	2	59.4	82.1	77.6	77.6	84.6	84.4	79.8
*M*08	2	59.6	83.0	77.8	78.0	85.3	84.6	80.1
*M*09	1	59.8	83.2	78.9	79.9	86.6	85.3	84.1
*M*02	2	60.0	82.5	80.9	78.5	85.3	84.2	79.8
*M*03	1	60.2	83.2	80.1	80.5	85.7	85.1	85.1
*M*05	1	60.2	83.4	80.7	80.7	86.5	85.6	87.4
*M*01	1	61.9	82.3	78.8	79.3	85.8	84.2	82.7
*M*07	1	79.1	82.5	78.9	80.4	87.4	85.3	85.8
*M*06	2	83.1	82.7	78.1	78.2	85.8	84.6	80.2

Die Beschleunigungspegel werden der Vergleichbarkeit halber ähnlich wie die akustischen Pegel abgebildet. Es sind dieselben Gestzmäßigkeiten wie bei Schalldruckpegeln anzuwenden, allerdings beziehen sich diese Pegel auf eine Referenzbeschleunigung $a0$ und nicht auf einen Referenzschalldruck $p0$. Aufgrund der Kurvenfahrt gab es extreme Ultraschalleinflüsse im Gleis, weswegen ein großer Teil der Messdaten nicht brauchbar ist (250g-ICP-Sensoren übersteuern wegen der Ultraschalleinflüsse). Besonders stark sind die Einflüsse während des Passierens des ersten Zugteils. Es wurden die Messungen mit starken Ultraschalleinflüssen aus der Auswertung genommen. Die Tabellen enthalten in diesem Fall keine Einträge.

Tabelle 5.8.: R490, a_y: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$

			ID						
M#	R	v	16 – 15	15 – 3	3 – 12	12 – 2	2 – 6	6 – 11	11 – 9
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*04	2	59.4							77.7
*M*08	2	59.6							
*M*09	1	59.8		82.2	81.8	80.6	79.7		
*M*02	2	60.0							78.5
*M*03	1	60.2	83.7	79.7	80.5	80.1	79.4	78.9	
*M*05	1	60.2		94.6	79.7	78.9	77.3		
*M*01	1	61.9	83.4	80.4	81.5	80.9	77.9	79.7	
*M*07	1	79.1			101.3	84.4	82.8		
*M*06	2	83.1							

Tabelle 5.9.: R490, a_y: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ Teil 2

			ID					
M#	R	v	9 – 10	10 – 8	8 – 4	4 – 7	7 – 1	1 – 5
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*04	2	59.4	77.8	76.9	76.1	79.5	78.3	76.6
*M*08	2	59.6	82.3	81.0	80.5	83.3	80.7	80.1
*M*09	1	59.8						
*M*02	2	60.0	79.2	80.2	77.4	80.0	79.0	76.9
*M*03	1	60.2						
*M*05	1	60.2						
*M*01	1	61.9						
*M*07	1	79.1						
*M*06	2	83.1	83.0	78.9	78.3	84.2	81.9	78.2

Tabelle 5.10.: R490, a_z: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$

			ID						
M#	R	v	16 – 15	15 – 3	3 – 12	12 – 2	2 – 6	6 – 11	11 – 9
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*04	2	59.4							88.9
*M*08	2	59.6							
*M*09	1	59.8		86.6	84.6	84.5	84.4		
*M*02	2	60.0							91.5
*M*03	1	60.2	90.1	91.2	89.3	90.9	89.3	90.0	
*M*05	1	60.2			89.0	89.1	88.4		
*M*01	1	61.9	91.1	91.8	90.3	90.9	88.7	91.1	
*M*07	1	79.1			108.1	86.3	85.7		
*M*06	2	83.1							

Tabelle 5.11.: R490, a_z: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ Teil 2

			ID					
M#	R	v	9 – 10	10 – 8	8 – 4	4 – 7	7 – 1	1 – 5
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*04	2	59.4	89.1	87.6	87.1	90.2	86.9	85.4
*M*08	2	59.6	85.4	84.3	84.2	86.9	83.6	83.4
*M*09	1	59.8						
*M*02	2	60.0	90.0	89.4	88.3	90.0	87.8	85.9
*M*03	1	60.2						
*M*05	1	60.2						
*M*01	1	61.9						
*M*07	1	79.1						
*M*06	2	83.1	98.4	93.8	95.3	106.2	96.6	93.6

5.4.2. Menznau, R=290m

Tabelle 5.12.: R290, Werte für den gesamten Zug $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$

M#	R	v	TEL 80
		km/h	dB(A)
$M02$	1	57.0	84.4
$M08$	1	58.9	84.3
$M03$	2	59.9	84.3
$M01$	2	61.1	84.2
$M06$	1	62.1	85.2
$M04$	1	72.7	84.5
$M05$	2	74.5	84.1
$M07$	2	76.6	84.2

Tabelle 5.13.: R290, $Mik1$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$

			ID						
M#	R	v	$16-15$	$15-3$	$3-12$	$12-2$	$2-6$	$6-11$	$11-9$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
$M02$	1	57.0	86.2	87.8	82.9	83.5	82.9	84.2	88.9
$M08$	1	58.9	87.0	88.0	83.5	84.4	83.4	84.0	88.9
$M03$	2	59.9	87.6	87.9	83.8	83.8	83.8	83.7	86.0
$M01$	2	61.1	87.6	88.7	83.8	84.1	84.1	85.5	87.2
$M06$	1	62.1	89.8	88.4	83.3	84.4	83.7	85.7	90.0
$M04$	1	72.7	87.7	87.9	83.8	84.6	83.5	84.2	89.0
$M05$	2	74.5	88.3	88.8	85.4	84.7	83.3	83.7	86.9
$M07$	2	76.6	87.5	87.2					

Tabelle 5.14.: R290, *Mik*1: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ Teil 2

			ID					
M#	R	v	$9-10$	$10-8$	$8-4$	$4-7$	$7-1$	$1-5$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*02	1	57.0	87.4	82.9	83.9	92.6		
*M*08	1	58.9	87.6	83.8	84.7	93.4	89.2	86.1
*M*03	2	59.9	86.9	83.0	82.5	91.4	89.5	86.0
*M*01	2	61.1	86.3	82.9	82.3	91.2	88.8	84.5
*M*06	1	62.1	89.9	83.3	84.5	92.9	89.3	86.8
*M*04	1	72.7	87.8	83.7	84.2	92.2	89.1	86.7
*M*05	2	74.5	86.3	82.6	82.3	90.2	90.0	85.4
*M*07	2	76.6		82.9	82.2	90.7	90.0	85.2

Bei Messung *M*02 und *M*07 trat in manchen Intervallen erhöhtes Kurvenquietschen auf. Diese Messwerte wurden deswegen aus der Bewertung genommen.

Tabelle 5.15.: R290, *Mik*2: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$

			ID						
M#	R	v	$16-15$	$15-3$	$3-12$	$12-2$	$2-6$	$6-11$	$11-9$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*02	1	57.0	86.2	87.7	82.6	83.2	82.7	84.6	87.2
*M*08	1	58.9	86.8	87.7	83.7	84.2	83.4	83.6	88.3
*M*03	2	59.9	87.9	87.7	83.8	83.3	83.8	83.5	86.0
*M*01	2	61.1	87.9	88.1	83.7	83.8	83.8	85.1	87.3
*M*06	1	62.1	91.1	88.3	83.0	84.1	83.7	86.9	89.7
*M*04	1	72.7	88.7	88.4	83.4	83.9	83.7	83.8	89.0
*M*05	2	74.5	88.5	89.1	85.1	84.7	83.4	84.1	87.9
*M*07	2	76.6	88.2	88.4					

Tabelle 5.16.: R290, *Mik*2: Werte $L_{Aeq,Tp,80}\ [dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ Teil 2

			ID					
M#	R	v	$9-10$	$10-8$	$8-4$	$4-7$	$7-1$	$1-5$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*02	1	57.0	87.0	82.9	83.6	92.0		
*M*08	1	58.9	86.9	83.6	84.4	92.4	88.5	86.3
*M*03	2	59.9	85.8	82.6	82.0	90.8	89.0	85.2
*M*01	2	61.1	85.9	82.3	82.1	90.9	88.5	84.2
*M*06	1	62.1	88.9	83.2	84.1	92.1	88.8	86.8
*M*04	1	72.7	88.4	82.9	83.9	91.4	88.8	86.4
*M*05	2	74.5	86.8	83.0	82.4	90.6	89.3	85.4
*M*07	2	76.6		82.5	82.4	90.9	89.5	84.9

Die Ultraschalleinflüsse waren im Bogen mit kleinerem Radius ($290\,m$ anstatt $490\,m$) wesentlich geringer, was auch auf die größere Abklingrate zurückzuführen sein dürfte, dennoch mussten viele Messwerte aufgrund von Ultraschalleinflüssen im Gleis aus der Bewertung genommen werden.

Tabelle 5.17.: R290, a_y: Werte $L_{Aeq,Tp,80}\ [dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$

			ID						
M#	R	v	$16-15$	$15-3$	$3-12$	$12-2$	$2-6$	$6-11$	$11-9$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
*M*02	1	57.0	82.7	80.1	78.2	77.3	78.1	79.8	
*M*08	1	58.9	84.8	81.5	80.1	78.8	78.3		
*M*03	2	59.9							80.4
*M*01	2	61.1							80.5
*M*06	1	62.1	86.8	80.9	79.3	78.6	78.3		
*M*04	1	72.7	87.9	84.7	80.3	79.1	78.7		
*M*05	2	74.5							84.3
*M*07	2	76.6							

Tabelle 5.18.: R290, a_y: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ Teil 2

			ID					
M#	R	v	$9-10$	$10-8$	$8-4$	$4-7$	$7-1$	$1-5$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
$M02$	1	57.0						
$M08$	1	58.9						
$M03$	2	59.9	79.6	79.3	77.5	84.5	82.5	78.8
$M01$	2	61.1	78.9	78.6	77.9	84.9	82.1	78.6
$M06$	1	62.1						
$M04$	1	72.7						
$M05$	2	74.5	79.1	78.9	79.3	90.0	84.6	79.7
$M07$	2	76.6		80.1	88.6	92.4	85.9	79.2

Tabelle 5.19.: R290, a_z: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$

			ID						
M#	R	v	$16-15$	$15-3$	$3-12$	$12-2$	$2-6$	$6-11$	$11-9$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
$M02$	1	57.0	87.1	92.3	86.1	86.4	87.2	88.4	
$M08$	1	58.9	91.1	95.3	89.3	87.7	87.8		
$M03$	2	59.9							89.0
$M01$	2	61.1							89.9
$M06$	1	62.1	95.6	93.9	87.0	86.9	88.0		
$M04$	1	72.7	93.4	100.9	88.9	89.3	91.0		
$M05$	2	74.5							94.3
$M07$	2	76.6							

Tabelle 5.20.: R290, a_z: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ Teil 2

			ID					
M#	R	v	$9-10$	$10-8$	$8-4$	$4-7$	$7-1$	$1-5$
		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
$M02$	1	57.0						
$M08$	1	58.9						
$M03$	2	59.9	87.7	87.3	86.5	91.3	88.5	86.6
$M01$	2	61.1	86.8	87.2	87.6	92.9	88.3	87.5
$M06$	1	62.1						
$M04$	1	72.7						
$M05$	2	74.5	91.8	89.9	90.1	102.6	92.4	90.5
$M07$	2	76.6		91.5		105.3	95.4	90.3

5.5. Schienenrauheit

Die Schienenrauheit wurde nach EN 15610 ermittelt. Die Schienenrauheit wurde mit dem PJM-Schienenrauheitsmessgerät ermittelt. Es wurden für jede Schiene 15 Sequenzen zu je $1\,m$ Länge gewählt, um den Rauheitspegel der Schiene statistisch sauber zu ermitteln.

Mit $S01$ ist jeweils die linke Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer benannt, mit $S02$ ist jeweils die rechte Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer benannt.

Der Spurabstand wird (entgegen den Bildern in der Dokumentation) immer von der Schienenaußenseite aus angegeben. In den zu den jeweiligen Messörtlichkeiten gehörenden Tabellen finden Sie die geschätzte Schienenfahrfläche ($Breite$, $Beginn$, $Ende$) und die darauf gewählten Spuren ($Spur1$, $Spur2$, $Spur3$).

5.5.1. Kerzers, gerades Gleis

Die Schienenrauheit auf der Messstrecke bei Kerzers lag einige dB unter dem TSI-Limit für Messstrecken.

In der folgenden Tabelle finden Sie allgemeine Informationen zu den Schienen:

Tabelle 5.21.: Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Kerzers

Beschreibung	*Einheit*	*Wert*
$S01$		linke Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
$S02$		rechte Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
Spurweite	*mm*	1435
Schienentyp		UIC60
Schienenradius	*m*	Inf
Schellenabstand	*mm*	600

In der folgenden Tabelle finden Sie Informationen zu den gewählten Spuren:

Tabelle 5.22.: Rauheitsmessung: Schienenfahrfläche und Spuren in Kerzers

Schiene	*SFFBreite*	*SFFBeginn*	*SFFEnde*	*Spur*1	*Spur*2	*Spur*3
	mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
*S*01	20	33	53	37	42	47
*S*02	17	34	51	37	42	47

In den folgenden beiden Tabellen finden Sie die Messergebnisse der Rauheitsmessung auf *S*01 und *S*02, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.157:

Tabelle 5.23.: Schienenrauheit S01 $[dB_{s0=1\mu m}]$

λ	TSI-Limit	Spur 1	Spur 2	Spur 3	Mittelw.
cm	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*
25.00	13.00	-3.78	-4.06	-3.70	-3.85
20.00	11.00	-8.74	-7.95	-6.94	-7.87
16.00	9.00	-8.90	-8.34	-7.31	-8.18
12.50	7.00	-11.53	-10.82	-9.79	-10.71
10.00	4.90	-12.91	-13.84	-12.80	-13.18
8.00	2.90	-13.19	-13.28	-12.16	-12.87
6.30	0.90	-12.66	-13.79	-12.26	-12.90
5.00	-1.10	-13.15	-14.17	-11.35	-12.89
4.00	-3.20	-12.94	-14.31	-12.95	-13.40
3.15	-5.00	-15.57	-15.75	-13.17	-14.83
2.50	-5.60	-13.49	-15.47	-14.50	-14.49
2.00	-6.20	-17.02	-16.58	-16.79	-16.80
1.60	-6.80	-14.76	-16.25	-16.68	-15.90
1.25	-7.40	-15.99	-16.93	-17.30	-16.74
1.00	-8.00	-16.76	-17.03	-17.56	-17.12
0.80	-8.60	-17.63	-18.55	-18.68	-18.29
0.63	-9.20	-18.60	-18.22	-18.74	-18.52
0.50	-9.80	-20.09	-19.51	-20.05	-19.88
0.40	-11.40	-20.70	-20.93	-19.73	-20.45
0.32	-11.00	-25.81	-24.72	-24.92	-25.15

Tabelle 5.24.: Schienenrauheit S02 $[dB_{s0=1\mu m}]$

λ	TSI-Limit	Spur 1	Spur 2	Spur 3	Mittelw.
cm	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*
25.00	13.00	-4.65	-4.93	-4.46	-4.68
20.00	11.00	-7.08	-7.64	-7.90	-7.54
16.00	9.00	-8.69	-9.41	-9.73	-9.28
12.50	7.00	-12.56	-11.97	-11.42	-11.98
10.00	4.90	-13.82	-12.16	-11.97	-12.65
8.00	2.90	-12.65	-12.73	-11.69	-12.35
6.30	0.90	-12.90	-12.39	-12.83	-12.71
5.00	-1.10	-13.74	-12.46	-13.04	-13.08
4.00	-3.20	-15.73	-13.72	-14.66	-14.70
3.15	-5.00	-17.58	-15.80	-16.31	-16.56
2.50	-5.60	-16.73	-15.09	-17.42	-16.42
2.00	-6.20	-18.73	-16.60	-18.76	-18.03
1.60	-6.80	-17.28	-15.82	-16.72	-16.61
1.25	-7.40	-18.75	-17.50	-19.48	-18.58
1.00	-8.00	-18.65	-18.58	-19.32	-18.85
0.80	-8.60	-18.71	-20.09	-19.85	-19.55
0.63	-9.20	-19.83	-19.36	-20.24	-19.81
0.50	-9.80	-21.20	-20.43	-21.38	-21.00
0.40	-11.40	-20.66	-21.18	-20.26	-20.70
0.32	-11.00	-26.71	-25.73	-25.63	-26.02

5.5.2. Willisau, R=490m

Auch auf den beiden Bogenstücken lag die gemessene Schienenrauheit unter dem TSI-Limit. es gab keine Überschreitungen.

In der folgenden Tabelle finden Sie allgemeine Informationen zu den Schienen:

Tabelle 5.25.: Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Willisau

Beschreibung	*Einheit*	*Wert*
*S*01		linke Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
*S*02		rechte Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
Spurweite	*mm*	1435
Schienentyp		UIC60
Schienenradius	*m*	490
Schellenabstand	*mm*	600

In der folgenden Tabelle finden Sie Informationen zu den gewählten Spuren:

Tabelle 5.26.: Rauheitsmessung: Schienenfahrfläche und Spuren in Willisau

Schiene	*SFFBreite*	*SFFBeginn*	*SFFEnde*	*Spur*1	*Spur*2	*Spur*3
	mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
*S*01	29	35	64	45	50	55
*S*02	17	31	48	35	40	45

In den folgenden beiden Tabellen finden Sie die Messergebnisse der Rauheitsmessung auf *S*01 und *S*02, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.158:

Tabelle 5.27.: Schienenrauheit S01 $[dB_{s0=1\mu m}]$

λ	TSI-Limit	Spur 1	Spur 2	Spur 3	Mittelw.
cm	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*
25.00	13.00	8.65	8.64	8.24	8.51
20.00	11.00	3.28	2.82	3.09	3.07
16.00	9.00	-1.73	-1.72	-2.07	-1.84
12.50	7.00	-3.99	-4.14	-4.48	-4.20
10.00	4.90	-7.54	-7.68	-5.86	-7.03
8.00	2.90	-11.00	-10.57	-7.45	-9.68
6.30	0.90	-14.33	-12.58	-11.37	-12.76
5.00	-1.10	-13.82	-12.02	-9.89	-11.91
4.00	-3.20	-15.33	-12.09	-10.71	-12.71
3.15	-5.00	-17.49	-14.36	-12.24	-14.70
2.50	-5.60	-18.17	-15.06	-14.67	-15.96
2.00	-6.20	-18.82	-15.11	-15.86	-16.60
1.60	-6.80	-21.53	-17.46	-16.76	-18.58
1.25	-7.40	-22.30	-18.41	-18.90	-19.87
1.00	-8.00	-22.14	-18.60	-18.87	-19.87
0.80	-8.60	-20.45	-20.45	-19.01	-19.97
0.63	-9.20	-24.81	-21.06	-21.44	-22.44
0.50	-9.80	-25.95	-23.61	-22.38	-23.98
0.40	-11.40	-22.41	-22.55	-20.80	-21.92
0.32	-11.00	-29.49	-27.87	-26.92	-28.09

Tabelle 5.28.: Schienenrauheit S02 $[dB_{s0=1\mu m}]$

λ	TSI-Limit	Spur 1	Spur 2	Spur 3	Mittelw.
cm	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*
25.00	13.00	6.04	6.13	5.78	5.98
20.00	11.00	6.53	6.18	6.03	6.24
16.00	9.00	7.06	7.34	6.41	6.94
12.50	7.00	4.10	4.26	3.27	3.88
10.00	4.90	0.45	0.59	-0.74	0.10
8.00	2.90	-2.81	-4.36	-5.55	-4.24
6.30	0.90	-3.63	-4.71	-6.77	-5.04
5.00	-1.10	-7.53	-9.00	-10.49	-9.01
4.00	-3.20	-8.23	-9.04	-12.30	-9.86
3.15	-5.00	-10.92	-12.17	-14.55	-12.55
2.50	-5.60	-14.63	-14.67	-16.09	-15.13
2.00	-6.20	-17.10	-14.47	-17.47	-16.35
1.60	-6.80	-19.67	-15.40	-18.58	-17.88
1.25	-7.40	-21.02	-17.18	-19.30	-19.16
1.00	-8.00	-21.07	-18.82	-20.24	-20.04
0.80	-8.60	-19.85	-20.59	-19.95	-20.13
0.63	-9.20	-22.37	-20.96	-21.95	-21.76
0.50	-9.80	-22.97	-22.77	-23.45	-23.06
0.40	-11.40	-21.42	-22.35	-21.57	-21.78
0.32	-11.00	-27.28	-27.88	-27.87	-27.68

5.5.3. Menznau, R=290m

In der folgenden Tabelle finden Sie allgemeine Informationen zu den Schienen:

Tabelle 5.29.: Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Menznau

Beschreibung	*Einheit*	*Wert*
*S*01		linke Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
*S*02		rechte Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
Spurweite	*mm*	1435
Schienentyp		UIC60
Schienenradius	*m*	290
Schellenabstand	*mm*	600

In der folgenden Tabelle finden Sie Informationen zu den gewählten Spuren:

Tabelle 5.30.: Rauheitsmessung: Schienenfahrfläche und Spuren in Menznau

Schiene	*SFFBreite*	*SFFBeginn*	*SFFEnde*	*Spur*1	*Spur*2	*Spur*3
	mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
*S*01	29	35	64	45	50	55
*S*02	30	26	56	40	45	50

In den folgenden beiden Tabellen finden Sie die Messergebnisse der Rauheitsmessung auf *S*01 und *S*02, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.159:

Tabelle 5.31.: Schienenrauheit S01 $[dB_{s0=1\mu m}]$

λ	TSI-Limit	Spur 1	Spur 2	Spur 3	Mittelw.
cm	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*
25.00	13.00	1.23	0.66	1.44	1.11
20.00	11.00	-3.15	-2.38	-0.50	-2.01
16.00	9.00	-4.88	-3.61	-1.24	-3.25
12.50	7.00	-6.62	-6.41	-4.19	-5.74
10.00	4.90	-5.87	-6.35	-4.05	-5.42
8.00	2.90	-7.35	-7.72	-6.08	-7.05
6.30	0.90	-8.57	-8.18	-6.42	-7.72
5.00	-1.10	-11.38	-10.40	-7.81	-9.86
4.00	-3.20	-8.13	-10.60	-9.49	-9.41
3.15	-5.00	-10.89	-11.82	-10.23	-10.98
2.50	-5.60	-13.77	-14.11	-14.15	-14.01
2.00	-6.20	-14.87	-15.51	-15.45	-15.28
1.60	-6.80	-17.02	-18.36	-18.54	-17.98
1.25	-7.40	-17.26	-18.86	-18.71	-18.28
1.00	-8.00	-18.75	-19.41	-19.91	-19.36
0.80	-8.60	-19.21	-19.34	-21.22	-19.92
0.63	-9.20	-19.32	-22.12	-20.77	-20.74
0.50	-9.80	-20.60	-22.46	-22.12	-21.72
0.40	-11.40	-21.22	-21.39	-22.84	-21.82
0.32	-11.00	-25.62	-27.29	-27.98	-26.97

Tabelle 5.32.: Schienenrauheit S02 $[dB_{s0=1\mu m}]$

λ	TSI-Limit	Spur 1	Spur 2	Spur 3	Mittelw.
cm	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*	*dB*
25.00	13.00	1.50	1.29	1.54	1.44
20.00	11.00	-2.59	-2.80	-2.59	-2.66
16.00	9.00	-3.17	-4.47	-3.82	-3.82
12.50	7.00	-1.96	-3.60	-3.53	-3.03
10.00	4.90	-1.19	-2.68	-2.72	-2.20
8.00	2.90	-4.11	-4.61	-5.36	-4.69
6.30	0.90	-5.57	-7.04	-9.05	-7.22
5.00	-1.10	-5.74	-8.62	-10.26	-8.21
4.00	-3.20	-7.39	-10.29	-12.19	-9.96
3.15	-5.00	-8.54	-10.16	-14.11	-10.94
2.50	-5.60	-13.43	-13.62	-16.08	-14.38
2.00	-6.20	-14.69	-16.25	-16.90	-15.95
1.60	-6.80	-15.07	-16.60	-19.17	-16.95
1.25	-7.40	-16.46	-17.01	-19.65	-17.71
1.00	-8.00	-16.88	-18.43	-20.03	-18.45
0.80	-8.60	-17.27	-19.82	-19.77	-18.95
0.63	-9.20	-17.38	-19.18	-21.23	-19.27
0.50	-9.80	-18.63	-20.29	-21.67	-20.20
0.40	-11.40	-19.11	-20.75	-21.06	-20.31
0.32	-11.00	-23.31	-24.64	-26.25	-24.73

5.6. Abklingrate

Die laterale und transversale Abklingrate wurde nach EN 15461 ermittelt.

5.6.1. Kerzers, gerades Gleis

In der folgenden Tabelle finden Sie allgemeine Informationen zu den Schienen:

Tabelle 5.33.: Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Kerzers

Beschreibung	*Einheit*	*Wert*
*S*01		linke Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
*S*02		rechte Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
Spurweite	*mm*	1435
Typ		UIC60
Schienenradius	*m*	Inf
Schienendämpfer		Vossloh Wfp14K
Schellenabstand	*mm*	600
Schwellentyp		S6
Schwellenmaterial		Beton
Schienentemperatur	^oC	16-45 (Sonneneinstrahlung)

Es traten Unterschreitungen der TSI-Grenzwerte durch die laterale Abklingrate im gesamten Terzspektrum unterhalb der Terzmittenfrequenz von 1600 Hz auf. Die Gültigkeit der Akustischen Vergleichsmessungen wird durch die Grenzwertunterschreitungen nicht beeinträchtigt. In der folgenden Tabelle finden Sie die Messergebnisse der lateralen Abklingratemessungen auf *S*01 und *S*02, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.160:

Tabelle 5.34.: Abklingrate lateral $[dB/m]$

Terzmittenfrequenz	TSI-Limit	S01	S02
Hz	dB/m	dB/m	dB/m
100		2.64	3.86
125		2.82	2.57
160		4.10	1.50
200		3.72	0.82
250	2.0	1.31	0.56
315	1.4	0.39	0.56
400	0.9	0.31	0.43
500	0.6	0.26	0.34
630	0.4	0.29	0.38
800	0.3	0.23	0.31
1000	0.2	0.15	0.17
1250	0.2	0.18	0.18
1600	0.3	0.37	0.33
2000	0.5	0.66	0.51
2500	0.5	1.39	1.17
3150	0.5	1.80	1.82
4000	0.5	0.87	1.17
5000	0.5	0.30	0.46

Auch die transversale Abklingrate unterschritt die TSI-Grenzwerte in mehreren Termittenfrequenzen. In der folgenden Tabelle finden Sie die Messergebnisse der transversalen Abklingratemessungen auf $S01$ und $S02$, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.161:

Tabelle 5.35.: Abklingrate transversal $[dB/m]$

Terzmittenfrequenz	TSI-Limit	S01	S02
Hz	dB/m	dB/m	dB/m
100		4.23	3.75
125		4.90	4.23
160		6.75	5.96
200		12.38	10.27
250	2.0	15.30	11.30
315	2.0	13.08	8.43
400	6.0	8.40	5.14
500	6.0	4.39	3.03
630	6.0	2.28	1.90
800	2.2	1.28	1.08
1000	0.8	0.89	0.74
1250	0.8	0.98	0.85
1600	0.8	0.78	0.67
2000	0.8	0.69	0.55
2500	0.8	0.87	0.68
3150	0.8	1.32	1.05
4000	0.8	3.33	2.12
5000	0.8	6.64	3.36

5.6.2. Willisau, R=490m

In der folgenden Tabelle finden Sie allgemeine Informationen zu den Schienen:

Tabelle 5.36.: Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Willisau

Beschreibung	*Einheit*	*Wert*
*S*01		linke Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
*S*02		rechte Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
Spurweite	*mm*	1435
Typ		UIC60
Schienenradius	*m*	490
Schienendämpfer		Vossloh Wfp14K
Schellenabstand	*mm*	600
Schwellentyp		S6
Schwellenmaterial		Beton
Schienentemperatur	^oC	15-38 (Sonneneinstrahlung)

Es traten Unterschreitungen der TSI-Limits im Bereich $1250\,Hz$ bis $3150\,Hz$ auf. Die Gültigkeit der Akustischen Vergleichsmessungen wird durch die Grenzwertunterschreitungen nicht beeinträchtigt. In der folgenden Tabelle finden Sie die Messergebnisse der lateralen Abklingratemessungen auf $S01$ und $S02$, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.162:

Tabelle 5.37.: Abklingrate lateral $[dB/m]$

Terzmittenfrequenz	TSI-Limit	S01	S02
Hz	dB/m	dB/m	dB/m
100		7.24	6.80
125		12.03	10.36
160		15.12	11.62
200		12.29	7.39
250	2.0	6.13	3.23
315	1.4	3.45	1.68
400	0.9	4.34	1.03
500	0.6	4.35	0.91
630	0.4	3.07	1.46
800	0.3	2.01	1.42
1000	0.2	0.84	0.62
1250	0.2	0.34	0.18
1600	0.3	0.27	0.19
2000	0.5	0.29	0.33
2500	0.5	0.28	0.31
3150	0.5	0.43	0.50
4000	0.5	1.08	1.46
5000	0.5	2.18	2.90

Es traten keine Unterschreitungen der TSI-Limits für die Transversale Abklingrate auf. In der folgenden Tabelle finden Sie die Messergebnisse der transversalen Abklingratemessungen auf $S01$ und $S02$, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.163:

Tabelle 5.38.: Abklingrate transversal $[dB/m]$

Terzmittenfrequenz	TSI-Limit	S01	S02
Hz	dB/m	dB/m	dB/m
100		2.31	2.75
125		2.38	2.47
160		2.78	2.54
200		3.02	2.62
250	2.0	3.89	5.25
315	2.0	6.76	12.60
400	6.0	11.98	19.78
500	6.0	18.17	22.17
630	6.0	15.69	16.71
800	2.2	14.15	15.11
1000	0.8	15.05	12.27
1250	0.8	21.83	12.45
1600	0.8	21.84	6.72
2000	0.8	8.94	2.07
2500	0.8	2.63	1.17
3150	0.8	1.65	1.05
4000	0.8	1.49	1.12
5000	0.8	2.43	1.50

5.6.3. Menznau, R=290m

In der folgenden Tabelle finden Sie allgemeine Informationen zu den Schienen:

Tabelle 5.39.: Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Menznau

Beschreibung	*Einheit*	*Wert*
*S*01		linke Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
*S*02		rechte Schiene in Richtung aufsteigender Kilometer
Spurweite	*mm*	1435
Typ		UIC60
Schienenradius	*m*	290
Schienendämpfer		keine
Schellenabstand	*mm*	600
Schwellentyp		S6
Schwellenmaterial		Holz
Schienentemperatur	^oC	18-49 (Sonneneinstrahlung)

Es traten keine Überschreitungen der TSI-Limits für die Laterale Abklingrate auf. In der folgenden Tabelle finden Sie die Messergebnisse der lateralen Abklingratemessungen auf $S01$ und $S02$, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.164:

Tabelle 5.40.: Abklingrate lateral $[dB/m]$

Terzmittenfrequenz	TSI-Limit	S01	S02
Hz	dB/m	dB/m	dB/m
100		12.53	5.43
125		10.09	5.71
160		7.71	6.68
200		5.67	5.58
250	2.0	4.51	4.00
315	1.4	3.54	3.04
400	0.9	2.66	2.33
500	0.6	2.63	2.28
630	0.4	7.51	2.67
800	0.3	15.12	3.42
1000	0.2	8.20	3.51
1250	0.2	1.89	2.74
1600	0.3	2.10	0.99
2000	0.5	4.27	1.61
2500	0.5	4.15	3.86
3150	0.5	3.98	2.88
4000	0.5	14.92	3.01
5000	0.5	39.24	5.52

Es traten bis auf eine Terzmittenfrequenz (40 Hz auf S02) keine Überschreitungen des TSI-Limits für die transversale Abklingrate auf. In der folgenden Tabelle finden Sie die Messergebnisse der transversalen Abklingratemessungen auf $S01$ und $S02$, eine grafische Darstellung der Messergebnisse finden Sie im Anhang A.165:

Tabelle 5.41.: Abklingrate transversal $[dB/m]$

Terzmittenfrequenz	TSI-Limit	S01	S02
Hz	dB/m	dB/m	dB/m
100		1.48	1.90
125		1.73	2.07
160		2.01	2.86
200		2.62	4.57
250	2.0	4.09	5.40
315	2.0	6.24	4.97
400	6.0	11.12	5.43
500	6.0	15.02	8.58
630	6.0	9.06	9.97
800	2.2	3.40	7.04
1000	0.8	3.61	4.60
1250	0.8	4.44	4.58
1600	0.8	3.57	4.65
2000	0.8	4.61	8.28
2500	0.8	5.77	11.89
3150	0.8	7.54	10.00
4000	0.8	10.13	13.11
5000	0.8	6.92	8.02

5.7. Radsatzmessungen

Die Radsatzmessungen wurden zuerst mit einem Calipri-Messsystem durchgeführt. Während der Messungen traten allerdings Flachstellen auf manchen Wägen auf, weswegen deren Radsätze neu abgedreht werden mussten. (Siehe hierzu den zeitlichen Ablauf der Messungen in Kapitel 4). Nach den Abdreharbeiten konnten die Calipri-Messungen aus zeitlichen und logistischen Gründen nicht wiederholt werden. Es wurde vereinbart, stattdessen auf die Messdaten der verwendeten Drehbank zurückzugreifen.

5.7.1. Kerzers, gerades Gleis

Es wurden folgende Messwerte erfasst:

- Radinnenabstand
- Spurmaß
- Durchmesserdifferenz
- Laufkreisdurchmesser
- Planlauf bzw. Axialschlag
- Rundlauf bzw. Radialschlag
- Spurkranzhöhe
- Spurkranzdicke

Die Messwerte wurden nach Messgrößen in verschiedenen Tabellen zusammengefasst, die im Folgenden aufgelistet sind:

5.7.1.1. Radinnenabstand

Tabelle 5.42.: Radsatzvermessung: Radinnenabstand

ID	Wagen#	RS1	RS2	RS3	RS4
		mm	*mm*	*mm*	*mm*
13	013-7	1360.3	1360.9	1360.7	1360.5
14	014-5	1361.5	1362.1	1360.3	1360.5
3	003-8	1360.6	1360.4	1360.0	1359.7
12	012-9	1360.2	1360.1	1360.4	1360.2
2	002-0	1359.9	1360.0	1360.2	1360.4
6	006-1	1360.2	1360.3	1360.5	1360.0
11	011-1	1360.0	1359.9	1359.5	1359.8
9	009-5	1359.9	1360.1	1359.8	1359.7
10	010-3	1360.0	1359.6	1360.3	1360.0
8	008-7	1360.0	1360.2	1360.3	1360.5
4	004-6	1360.2	1359.8	1360.2	1360.1
7	007-9	1360.1	1358.6	1360.1	1360.1
1	001-2	1360.0	1360.2	1359.9	1360.2
5	005-3	1360.3	1359.7	1360.3	1359.8
16	016-0	1361.1	1361.0	1361.2	1360.8
15	015-2	1360.1	1360.3	1360.9	1360.9

5.7.1.2. Spurmaß

Tabelle 5.43.: Radsatzvermessung: Spurmaß

ID	Wagen#	RS1	RS2	RS3	RS4
		mm	*mm*	*mm*	*mm*
13	013-7	1420.3	1420.8	1420.8	1421.0
14	014-5	1421.7	1422.0	1420.3	1420.3
3	003-8	1421.8	1421.6	1421.2	1420.7
12	012-9	1425.6	1425.6	1425.8	1425.7
2	002-0	1425.4	1425.5	1425.3	1425.6
6	006-1	1425.3	1425.4	1425.6	1425.2
11	011-1	1425.1	1424.8	1424.4	1424.7
9	009-5	1424.8	1425.1	1424.8	1424.6
10	010-3	1421.1	1420.4	1421.3	1421.1
8	008-7	1421.2	1421.4	1421.5	1421.8
4	004-6	1421.3	1420.9	1421.3	1421.2
7	007-9	1425.3	1423.8	1425.7	1425.6
1	001-2	1425.1	1425.2	1424.9	1425.3
5	005-3	1425.3	1424.4	1425.3	1424.5
16	016-0	1421.0	1420.9	1421.2	1420.7
15	015-2	1419.8	1420.1	1420.0	1420.2

5.7.1.3. Durchmesserdifferenz

Tabelle 5.44.: Radsatzvermessung: Durchmesserdifferenz

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
13	013-7	0.07	0.14	0.13	0.13	0.16	0.17	0.19	0.09
14	014-5	0.09	0.18	0.13	0.15	0.17	0.11	0.29	0.13
3	003-8	0.18	0.07	0.09	0.10	0.15	0.47	0.21	0.23
12	012-9	0.19	0.14	0.21	0.38	0.54	0.84	0.49	0.33
2	002-0	0.24	0.15	0.18	0.25	0.14	0.18	0.11	0.13
6	006-1	0.25	0.15	0.23	0.17	0.10	0.17	0.09	0.20
11	011-1	0.12	0.13	0.18	0.22	0.12	0.08	0.17	0.27
9	009-5	0.07	0.09	0.07	0.07	0.07	0.13	0.07	0.08
10	010-3	0.08	0.10	0.13	0.09	0.10	0.15	0.14	0.15
8	008-7	0.11	0.08	0.07	0.10	0.09	0.10	0.10	0.12
4	004-6	0.13	0.07	0.08	0.12	0.09	0.13	0.09	0.07
7	007-9	0.05	0.12	0.08	0.07	0.11	0.05	0.08	0.07
1	001-2	0.15	0.23	0.10	0.14	0.11	0.09	0.13	0.13
5	005-3	0.09	0.18	0.09	0.13	0.07	0.11	0.11	0.07
16	016-0	0.07	1.04	0.59	0.07	0.12	0.60	0.25	0.20
15	015-2	0.27	0.39	0.88	0.16	0.10	0.96	0.27	0.15

5.7.1.4. Laufkreisdurchmesser

Tabelle 5.45.: Radsatzvermessung: Laufkreisdurchmesser

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
13	013-7	910.07	909.78	903.58	904.01	926.53	905.38	909.07	906.22
14	014-5	896.69	894.93	889.03	889.04	903.84	901.83	903.20	901.76
3	003-8	918.90	919.64	919.72	918.87	919.21	919.47	919.42	919.39
12	012-9	923.43	923.14	923.30	922.92	923.15	923.66	923.04	922.86
2	002-0	923.08	922.46	923.10	935.49	928.78	923.00	922.75	934.59
6	006-1	923.77	922.87	923.41	923.75	943.00	925.01	924.77	926.02
11	011-1	924.29	923.70	924.66	926.69	924.71	923.75	923.44	924.42
9	009-5	925.30	924.72	924.75	925.11	924.27	924.72	924.27	924.93
10	010-3	919.30	921.32	919.97	918.79	919.11	920.12	919.47	919.45
8	008-7	919.09	919.29	920.45	919.18	919.61	920.29	919.53	919.01
4	004-6	919.26	919.30	919.40	920.06	919.78	919.56	918.73	921.40
7	007-9	923.45	922.58	923.27	922.78	923.94	922.43	922.69	923.24
1	001-2	923.92	923.37	927.25	924.06	924.10	924.31	923.47	924.36
5	005-3	923.32	924.35	917.53	917.67	924.30	923.73	914.80	915.51
16	016-0	887.73	887.48	874.44	875.62	896.20	895.85	898.13	898.43
15	015-2	895.10	933.80	917.96	890.99	891.88	893.49	901.12	902.67

5.7.1.5. Planlauf bzw. Axialschlag

Tabelle 5.46.: Radsatzvermessung: Planlauf; Axialschlag

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
13	013-7	0.18	0.21	0.23	0.25	0.13	0.20	0.08	0.27
14	014-5	0.24	0.27	0.16	0.08	0.35	0.26	0.32	0.23
3	003-8	0.13	0.22	0.12	0.13	0.10	0.30	0.26	0.26
12	012-9	0.15	0.10	0.16	0.20	0.24	0.21	0.20	0.18
2	002-0	0.32	0.21	0.11	0.24	0.27	0.15	0.16	0.15
6	006-1	0.18	0.10	0.22	0.17	0.16	0.16	0.14	0.18
11	011-1	0.28	0.25	0.25	0.20	0.16	0.29	0.27	0.19
9	009-5	0.21	0.25	0.25	0.25	0.20	0.23	0.21	0.26
10	010-3	0.24	0.29	0.14	0.17	0.20	0.20	0.25	0.26
8	008-7	0.11	0.14	0.13	0.14	0.13	0.12	0.13	0.12
4	004-6	0.17	0.13	0.16	0.21	0.18	0.18	0.16	0.22
7	007-9	0.09	0.17	0.21	0.16	0.09	0.08	0.12	0.12
1	001-2	0.28	0.26	0.27	0.27	0.21	0.23	0.19	0.27
5	005-3	0.27	0.26	0.26	0.18	0.33	0.20	0.25	0.24
16	016-0	0.24	0.54	0.26	0.22	0.14	0.12	0.52	0.22
15	015-2	0.16	0.15	0.21	0.32	1.10	0.66	0.59	0.78

5.7.1.6. Rundlauf bzw. Radialschlag

Tabelle 5.47.: Radsatzvermessung: Rundlauf; Radialschlag

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
13	013-7	0.10	0.19	0.11	0.10	0.16	0.18	0.24	0.12
14	014-5	0.08	0.10	0.10	0.11	0.15	0.10	0.25	0.12
3	003-8	0.15	0.08	0.08	0.09	0.16	0.46	0.16	0.24
12	012-9	0.14	0.15	0.19	0.26	0.42	0.48	0.49	0.36
2	002-0	0.20	0.13	0.21	0.21	0.17	0.16	0.14	0.16
6	006-1	0.24	0.12	0.20	0.20	0.12	0.18	0.11	0.16
11	011-1	0.29	0.12	0.18	0.19	0.16	0.11	0.19	0.20
9	009-5	0.13	0.13	0.11	0.13	0.14	0.19	0.15	0.15
10	010-3	0.09	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.13
8	008-7	0.14	0.07	0.07	0.10	0.09	0.11	0.09	0.12
4	004-6	0.14	0.08	0.05	0.14	0.11	0.13	0.10	0.05
7	007-9	0.09	0.14	0.08	0.10	0.09	0.06	0.09	0.06
1	001-2	0.16	0.17	0.15	0.19	0.16	0.16	0.14	0.22
5	005-3	0.16	0.11	0.06	0.08	0.10	0.21	0.10	0.05
16	016-0	0.07	0.91	0.34	0.07	0.12	0.56	0.35	0.16
15	015-2	0.19	0.28	0.68	0.11	0.25	0.75	0.31	0.19

5.7.1.7. Spurkranzhöhe

Tabelle 5.48.: Radsatzvermessung: Spurkranzhöhe

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
13	013-7	27.69	28.26	28.05	27.86	28.03	27.66	28.47	28.23
14	014-5	28.06	28.16	28.17	28.18	27.88	28.22	28.17	28.26
3	003-8	28.21	28.10	28.07	28.14	28.10	28.10	28.12	28.19
12	012-9	28.16	28.35	28.28	28.32	28.21	28.33	28.32	28.30
2	002-0	27.95	28.53	28.51	28.17	28.10	28.35	28.34	28.16
6	006-1	27.78	28.48	28.48	27.99	27.98	28.47	28.54	28.11
11	011-1	27.96	28.45	28.29	27.89	27.75	28.30	28.38	27.94
9	009-5	27.76	28.15	28.26	27.83	28.08	28.17	28.18	27.74
10	010-3	28.32	28.12	28.04	28.40	28.11	28.05	28.16	28.10
8	008-7	28.20	28.09	27.98	28.09	28.23	27.98	27.97	28.25
4	004-6	28.07	28.20	28.35	27.86	27.80	28.26	28.34	27.85
7	007-9	28.13	28.43	28.32	28.26	28.08	28.53	28.48	28.25
1	001-2	28.12	28.40	28.34	28.22	28.06	28.42	28.42	27.98
5	005-3	28.34	28.38	28.37	28.03	28.04	28.45	28.58	27.92
16	016-0	28.06	28.22	28.23	27.82	27.95	28.40	28.30	27.89
15	015-2	28.40	28.44	28.46	28.15	28.18	28.44	28.48	28.22

5.7.1.8. Spurkranzdicke

Tabelle 5.49.: Radsatzvermessung: Spurkranzdicke

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
13	013-7	29.83	30.15	29.98	29.94	29.88	30.15	30.31	30.23
14	014-5	30.07	30.05	30.03	29.87	29.74	30.25	29.83	29.91
3	003-8	30.53	30.63	30.58	30.59	30.54	30.63	30.53	30.49
12	012-9	32.65	32.77	32.75	32.76	32.68	32.76	32.75	32.72
2	002-0	32.59	32.88	32.90	32.63	32.47	32.67	32.62	32.59
6	006-1	32.51	32.66	32.65	32.45	32.46	32.62	32.72	32.52
11	011-1	32.40	32.65	32.40	32.45	32.32	32.56	32.52	32.44
9	009-5	32.32	32.53	32.54	32.43	32.51	32.49	32.55	32.29
10	010-3	30.54	30.55	30.31	30.48	30.45	30.54	30.61	30.45
8	008-7	30.62	30.50	30.46	30.73	30.62	30.53	30.55	30.70
4	004-6	30.44	30.65	30.58	30.48	30.45	30.64	30.65	30.49
7	007-9	32.50	32.75	32.65	32.57	32.68	32.85	32.80	32.68
1	001-2	32.47	32.56	32.49	32.44	32.36	32.61	32.53	32.50
5	005-3	32.46	32.50	32.28	32.50	32.45	32.58	32.46	32.27
16	016-0	29.97	29.98	30.09	29.81	29.91	30.09	30.00	29.87
15	015-2	29.85	29.93	29.94	29.94	29.54	29.58	29.71	29.58

5.7.2. Willisau, R=490m und Kerzers, R=290m

Nach den Akustikmessungen bei Kerzers wurden folgende Radsätze neu abgedreht, da durch eine Notbremsung Flachstellen entstanden sind (siehe Kapitel 4).

- Wagen 81 85 4552 001-2 RS3 und RS4
- Wagen 81 85 4552 002-0 RS4
- Wagen 81 85 4552 005-3 RS2 und RS4
- Wagen 81 85 4552 007-9 RS1, RS2, RS3 und RS4
- Wagen 81 85 4552 009-5 RS2 und RS4
- Wagen 81 85 4552 011-1 RS2
- Wagen 81 85 4552 015-2 RS2 und RS4

Die Wagen mit den ID 013-7 und 014-5, die ebenfalls Flachstellen enthielten, wurden für die Gleisbogenmessungen aus dem Zugverband genommen. Die Messwerte für die neu abgedrehten Radsätze finden Sie im Folgenden, die Messdaten aller übrigen Radsätze bleiben dieselben wie für die Messungen auf gerader Strecke bei Kerzers.

5.7.2.1. Radinnenabstand

Tabelle 5.50.: Radsatzvermessung: Radinnenabstand

ID	Wagen#	RS1	RS2	RS3	RS4
		mm	*mm*	*mm*	*mm*
1	001-2			1360.1	1360.3
2	002-0				1360.5
5	005-3		1359.7		1359.8
7	007-9	1360.2	1360.1	1360.2	1360.2
9	009-5		1360.2		1359.9
11	011-1		1360.1		
15	015-2		1360.3		1360.4

5.7.2.2. Spurmaß

Tabelle 5.51.: Radsatzvermessung: Spurmaß

ID	Wagen#	RS1	RS2	RS3	RS4
		mm	*mm*	*mm*	*mm*
1	001-2			1425.2	1425.2
2	002-0				1425.7
5	005-3		1424.8		1424.8
7	007-9	1425.3	1425.0	1425.2	1425.3
9	009-5		1425.6		1425.0
11	011-1		1425.2		
15	015-2		1420.6		1420.7

5.7.2.3. Durchmesserdifferenz

Tabelle 5.52.: Radsatzvermessung: Durchmesserdifferenz

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
1	001-2					0.30	0.03	0.03	0.03
2	002-0							0.01	0.01
5	005-3			0.10	0.10			0.16	0.16
7	007-9	0.05	0.05	0.15	0.15	0.01	0.01	0.09	0.09
9	009-5			0.07	0.07			0.26	0.26
11	011-1			0.05	0.05				
15	015-2			0.03	0.03			0.15	0.15

5.7.2.4. Laufkreisdurchmesser

Tabelle 5.53.: Radsatzvermessung: Laufkreisdurchmesser

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
1	001-2					918.03	917.73	917.81	917.78
2	002-0							918.22	918.23
5	005-3			912.06	911.96			909.79	909.63
7	007-9	916.05	916.00	917.72	917.87	916.03	916.03	917.14	917.04
9	009-5			920.24	920.17			919.92	919.66
11	011-1			917.61	917.66				
15	015-2			886.88	886.85			896.98	896.83

5.7.2.5. Planlauf bzw. Axialschlag

Tabelle 5.54.: Radsatzvermessung: Planlauf; Axialschlag

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
1	001-2					0.11	0.14	0.11	0.15
2	002-0							0.03	0.02
5	005-3			0.11	0.11			0.07	0.19
7	007-9	0.03	0.06	0.02	0.07	0.01	0.05	0.03	0.06
9	009-5			0.10	0.18			0.08	0.18
11	011-1			0.08	0.11				
15	015-2			0.05	0.06			0.34	0.55

5.7.2.6. Rundlauf bzw. Radialschlag

Tabelle 5.55.: Radsatzvermessung: Rundlauf; Radialschlag

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
1	001-2					0.03	0.04	0.02	0.05
2	002-0							0.02	0.05
5	005-3			0.02	0.04			0.03	0.02
7	007-9	0.02	0.05	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
9	009-5			0.03	0.03			0.04	0.03
11	011-1			0.03	0.03				
15	015-2			0.03	0.04			0.03	0.04

5.7.2.7. Spurkranzhöhe

Tabelle 5.56.: Radsatzvermessung: Spurkranzhöhe

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
1	001-2					28.10	28.02	28.04	28.01
2	002-0							28.07	28.04
5	005-3			28.07	28.03			28.03	28.04
7	007-9	28.00	27.97	28.08	28.03	28.07	28.00	28.02	27.96
9	009-5			28.05	28.01			28.00	27.97
11	011-1			28.09	28.04				
15	015-2			28.03	28.02			27.99	28.03

5.7.2.8. Spurkranzdicke

Tabelle 5.57.: Radsatzvermessung: Spurkranzdicke

ID	Wagen#	1L	1R	2L	2R	3L	3R	4L	4R
		mm	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*	*mm*
1	001-2					32.40	32.67	32.45	32.47
2	002-0							32.64	32.50
5	005-3			32.50	32.65			32.53	32.52
7	007-9	32.52	32.54	32.43	32.46	32.42	32.58	32.58	32.54
9	009-5			32.54	32.85			32.48	32.63
11	011-1			32.60	32.54				
15	015-2			30.25	30.10			30.13	30.15

Abbildungsverzeichnis

3.1. Flachwagen des Typs Sgnss bei Versuchsfahrten im Gleisbogen 5
3.2. Messort Kerzers, gerade Strecke bei Kilometer 24.5 9
3.3. Blickrichtung absteigender bzw. aufsteigender Kilometer (Kerzers, gerade Strecke) . 9
3.4. Messort Willisau, $R = 490\,m$ bei Kilometer 13.4 10
3.5. Messort Menznau, $R = 290\,m$ bei Kilometer 19.9 10
3.6. Akustische Kamera und Mikrofonpositionen; Lichtschranke (Kerzers, gerade Strecke) 11
3.7. Mikrofonpositionen, Lichtschranke und Beschleunigungssensoren (Willisau, $R = 490\,m$) 11
3.8. Mikrofonpositionen, Lichtschranke und Beschleunigungssensoren (Menznau, $R = 290\,m$) 11
3.9. Gleise mit frischen Teststreifen zur Feststellung der Schienenfahrfläche (Kerzers, gerade Strecke) 12
3.10. Schienenfahrfläche auf S01/S02 (Kerzers, gerade Strecke) 12
3.11. Drei Spuren auf S01/S02 (Kerzers, gerade Strecke) 12
3.12. PJM-Rauheitsmessgerät im Einsatz; Schlitten zur Spurabtastung (Willisau, $R = 490\,m$) 13
3.13. Schienenfahrläche auf S01 bzw S02 (Willisau, $R = 490\,m$) 13
3.14. Erfassung der Schienenfahrfläche auf S01 (vorher-nachher) (Willisau, $R = 490\,m$) . . 13
3.15. Erfassung der Schienenfahrfläche auf S02 (vorher-nachher) (Willisau, $R = 490\,m$) . . 13
3.16. PJM-Rauheitsmessgerät im Einsatz (Menznau, $R = 290\,m$) 14
3.17. Schienefahrläche auf S01/S02 (Menznau, $R = 290\,m$) 14
3.18. Abklingrate, Hammerschlagpositionen relativ zum Beschleunigungsaufnehmer . . . 15
3.19. Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S01 (Kerzers, gerade Strecke) 15
3.20. Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S02 (Kerzers, gerade Strecke) 16
3.21. Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S01 (Willisau, $R = 490\,m$) 16
3.22. Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S02 (Willisau, $R = 490\,m$) 16
3.23. Hammerschlagpositionen (Menznau, $R = 290\,m$) 17
3.24. Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S01 (Menznau, $R = 290\,m$) 17
3.25. Beschleunigungsmessung lateral/vertikal auf S02 (Menznau, $R = 290\,m$) 17

A.1. Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Kerzers, R=Infm) . 73
A.2. Kerzers: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID13-ID14], [ID12-ID02] 74
A.3. Kerzers: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID11-ID09] 74
A.4. Kerzers: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 75
A.5. Kerzers: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID01-ID05] und [ID16-ID15] 75
A.6. Kerzers: Schalldruckpegel, v=100km/h, [ID13-ID14], [ID12-ID02] 76
A.7. Kerzers: Schalldruckpegel, v=100km/h, [ID02-ID06] und [ID11-ID09] 76
A.8. Kerzers: Schalldruckpegel, v=100km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 77
A.9. Kerzers: Schalldruckpegel, v=100km/h, [ID01-ID05] und [ID16-ID15] 77
A.10. Kerzers: Schalldruckpegel, v=120km/h, [ID13-ID14], [ID12-ID02] 78
A.11. Kerzers: Schalldruckpegel, v=120km/h, [ID02-ID06] und [ID11-ID09] 78
A.12. Kerzers: Schalldruckpegel, v=120km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 79
A.13. Kerzers: Schalldruckpegel, v=120km/h, [ID01-ID05] und [ID16-ID15] 79

A.14. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID14-ID13] 80
A.15. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID02-ID12] 80
A.16. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID06-ID02] 80
A.17. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID09-ID11] 81
A.18. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID08-ID10] 81
A.19. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID04-ID08] 81
A.20. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID05-ID01] 81
A.21. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID15-ID16] 82
A.22. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID14-ID13] 83
A.23. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID02-ID12] 83
A.24. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID06-ID02] 83
A.25. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID09-ID11] 83
A.26. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID08-ID10] 84
A.27. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID04-ID08] 84
A.28. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID05-ID01] 84
A.29. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID15-ID16] 84
A.30. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID14-ID13] 85
A.31. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID02-ID12] 85
A.32. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID06-ID02] 85
A.33. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID09-ID11] 85
A.34. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID08-ID10] 86
A.35. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID04-ID08] 86
A.36. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID05-ID01] 86
A.37. Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID15-ID16] 86
A.38. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 87
A.39. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 87
A.40. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 88
A.41. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 88
A.42. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 89
A.43. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 89
A.44. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID01-ID05] 90
A.45. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 90
A.46. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 91
A.47. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 91
A.48. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 92
A.49. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 92
A.50. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 93
A.51. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID01-ID05] 93
A.52. Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Willisau, R=490m) . 94
A.53. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 95
A.54. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 95
A.55. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 96
A.56. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 96
A.57. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 97

A.58. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 97
A.59. Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID01-ID05] 98
A.60. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 98
A.61. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 99
A.62. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 99
A.63. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 100
A.64. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 100
A.65. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 101
A.66. Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID01-ID05] 101
A.67. Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Willisau, R=490m) . 102
A.68. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 103
A.69. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 103
A.70. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 104
A.71. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 104
A.72. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 105
A.73. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 105
A.74. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID01-ID05] 106
A.75. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 106
A.76. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 107
A.77. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 107
A.78. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 108
A.79. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 108
A.80. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 109
A.81. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID01-ID05] 109
A.82. Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Willisau, R=490m) . 110
A.83. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 111
A.84. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 111
A.85. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 112
A.86. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 112
A.87. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 113
A.88. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 113
A.89. Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID01-ID05] 114
A.90. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 114
A.91. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 115
A.92. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 115
A.93. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 116
A.94. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 116
A.95. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 117
A.96. Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID01-ID05] 117
A.97. Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Menznau, R=290m) 118
A.98. Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 119
A.99. Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 119
A.100Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 120
A.101Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 120

A.102 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 121
A.103 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 121
A.104 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID01-ID05] 122
A.105 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 122
A.106 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 123
A.107 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 123
A.108 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 124
A.109 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 124
A.110 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 125
A.111 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID01-ID05] 125
A.112 Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Menznau, R=290m) 126
A.113 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 127
A.114 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 127
A.115 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 128
A.116 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 128
A.117 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 129
A.118 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 129
A.119 Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID01-ID05] 130
A.120 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 130
A.121 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 131
A.122 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 131
A.123 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 132
A.124 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 132
A.125 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 133
A.126 Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID01-ID05] 133
A.127 Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Menznau, R=290m) 134
A.128 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 135
A.129 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 135
A.130 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 136
A.131 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 136
A.132 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 137
A.133 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 137
A.134 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID01-ID05] 138
A.135 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 138
A.136 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 139
A.137 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 139
A.138 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 140
A.139 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 140
A.140 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 141
A.141 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID01-ID05] 141
A.142 Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Menznau, R=290m) 142
A.143 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 143
A.144 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 143
A.145 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 144

A.146 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 144
A.147 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 145
A.148 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 145
A.149 Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID01-ID05] 146
A.150 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03] 146
A.151 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02] 147
A.152 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11] 147
A.153 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10] 148
A.154 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04] 148
A.155 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01] 149
A.156 Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID01-ID05] 149
A.157 Kerzers: Akustische Schienenrauheit auf S01 und S02 150
A.158 Willisau: Akustische Schienenrauheit auf S01 und S02 150
A.159 Menznau: Akustische Schienenrauheit auf S01 und S02 151
A.160 Kerzers: Laterale Abklingrate auf S01 und S02 152
A.161 Kerzers: Transversale Abklingrate auf S01 und S02 153
A.162 Willisau: Laterale Abklingrate auf S01 und S02 154
A.163 Willisau: Transversale Abklingrate auf S01 und S02 155
A.164 Menznau: Laterale Abklingrate auf S01 und S02 156
A.165 Menznau: Transversale Abklingrate auf S01 und S02 157

Tabellenverzeichnis

3.1. RInf, Wagenkonfigurationen im Zugverband . . . 6
3.2. R290, Wagenkonfigurationen im Zugverband . . . 7
3.3. Verwendete Sensoren . . . 8
3.4. Messorte am Gleis . . . 9

5.1. RInf, Werte für den gesamten Zug $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ . . . 22
5.2. RInf, $Mik1$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ . . . 23
5.3. R490, Werte für den gesamten Zug $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ . . . 25
5.4. R490, $Mik1$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ . . . 26
5.5. R490, $Mik1$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ Teil 2 . . . 26
5.6. R490, $Mik2$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ . . . 27
5.7. R490, $Mik2$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ Teil 2 . . . 27
5.8. R490, a_y: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ . . . 28
5.9. R490, a_y: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ Teil 2 . . . 28
5.10. R490, a_z: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ . . . 29
5.11. R490, a_z: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ Teil 2 . . . 29
5.12. R290, Werte für den gesamten Zug $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ . . . 30
5.13. R290, $Mik1$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ . . . 30
5.14. R290, $Mik1$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ Teil 2 . . . 31
5.15. R290, $Mik2$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ . . . 31
5.16. R290, $Mik2$: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{p0=20\mu Pa}]$ Teil 2 . . . 32
5.17. R290, a_y: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ . . . 32
5.18. R290, a_y: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ Teil 2 . . . 33
5.19. R290, a_z: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ . . . 33
5.20. R290, a_z: Werte $L_{Aeq,Tp,80}$ $[dB(A)_{a0=1mm/s^2}]$ Teil 2 . . . 34
5.21. Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Kerzers . . . 35
5.22. Rauheitsmessung: Schienenfahrfläche und Spuren in Kerzers . . . 36
5.23. Schienenrauheit S01 $[dB_{s0=1\mu m}]$ . . . 36
5.24. Schienenrauheit S02 $[dB_{s0=1\mu m}]$ . . . 37
5.25. Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Willisau . . . 38
5.26. Rauheitsmessung: Schienenfahrfläche und Spuren in Willisau . . . 38
5.27. Schienenrauheit S01 $[dB_{s0=1\mu m}]$ . . . 39
5.28. Schienenrauheit S02 $[dB_{s0=1\mu m}]$ . . . 40
5.29. Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Menznau . . . 40
5.30. Rauheitsmessung: Schienenfahrfläche und Spuren in Menznau . . . 41
5.31. Schienenrauheit S01 $[dB_{s0=1\mu m}]$ . . . 41
5.32. Schienenrauheit S02 $[dB_{s0=1\mu m}]$ . . . 42
5.33. Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Kerzers . . . 43
5.34. Abklingrate lateral $[dB/m]$ . . . 44
5.35. Abklingrate transversal $[dB/m]$ . . . 45
5.36. Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Willisau . . . 45

5.37. Abklingrate lateral $[dB/m]$ 46
5.38. Abklingrate transversal $[dB/m]$ 47
5.39. Rauheitsmessung: Informationen zu den Schienen in Menznau 47
5.40. Abklingrate lateral $[dB/m]$ 48
5.41. Abklingrate transversal $[dB/m]$ 49
5.42. Radsatzvermessung: Radinnenabstand 51
5.43. Radsatzvermessung: Spurmaß 52
5.44. Radsatzvermessung: Durchmesserdifferenz 53
5.45. Radsatzvermessung: Laufkreisdurchmesser 54
5.46. Radsatzvermessung: Planlauf; Axialschlag 55
5.47. Radsatzvermessung: Rundlauf; Radialschlag 56
5.48. Radsatzvermessung: Spurkranzhöhe 57
5.49. Radsatzvermessung: Spurkranzdicke 58
5.50. Radsatzvermessung: Radinnenabstand 59
5.51. Radsatzvermessung: Spurmaß 60
5.52. Radsatzvermessung: Durchmesserdifferenz 60
5.53. Radsatzvermessung: Laufkreisdurchmesser 61
5.54. Radsatzvermessung: Planlauf; Axialschlag 61
5.55. Radsatzvermessung: Rundlauf; Radialschlag 62
5.56. Radsatzvermessung: Spurkranzhöhe 62
5.57. Radsatzvermessung: Spurkranzdicke 63

Literaturverzeichnis

Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 : *(TSI Noise) Verordnung über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge-Lärm“ sowie zur Änderung der Entscheidung 2008/232/EG und Aufhebung des Beschlusses 2011/229/EU.* 11 2014

ÖNORM EN ISO 3095 2013 : *Akustik-Bahnanwendungen-Messung der Geräuschemission von Spurgebundenen Fahrzeugen.* 11 2013

ÖNORM EN 13979-1 2012 : *Bahnanwendungen-Radsätze und Drehgestelle-Vollräder-Technische Zulassungsverfahren.* 08 2012

ÖNORM EN 15610 2009 : *Bahnanwendungen-Geräuschemission-Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch.* 08 2009

ÖNORM EN 15461 2010 : *Bahnanwendungen-Schallemission-Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtgeräuschmessungen.* 12 2010

Monitoring Eisenbahnlärm 2015 (Bafu 2015) : *Jahresbericht; Bundesamt für Verkehr (BAV), 1.Januar-31.Dezember 2015*

A. Anhang

A.1. Vorbeifahrtmessungen

Es ist sowohl der gesamte Zug als Übersichtsdarstellung, als auch die einzelnen Intervalle dargestellt. Die Intervalle werden für jede Vorbeifahrtgeschwindigkeit separat dargestellt.

A.1.1. Kerzers, R=Infm, Schalldruckpegel (7.5m Abstand, 1.2m Höhe)

Der abgebildete Schalldruckpegel bezieht sich auf den Referenzschalldruck $p0 = 20\,\mu Pa$.

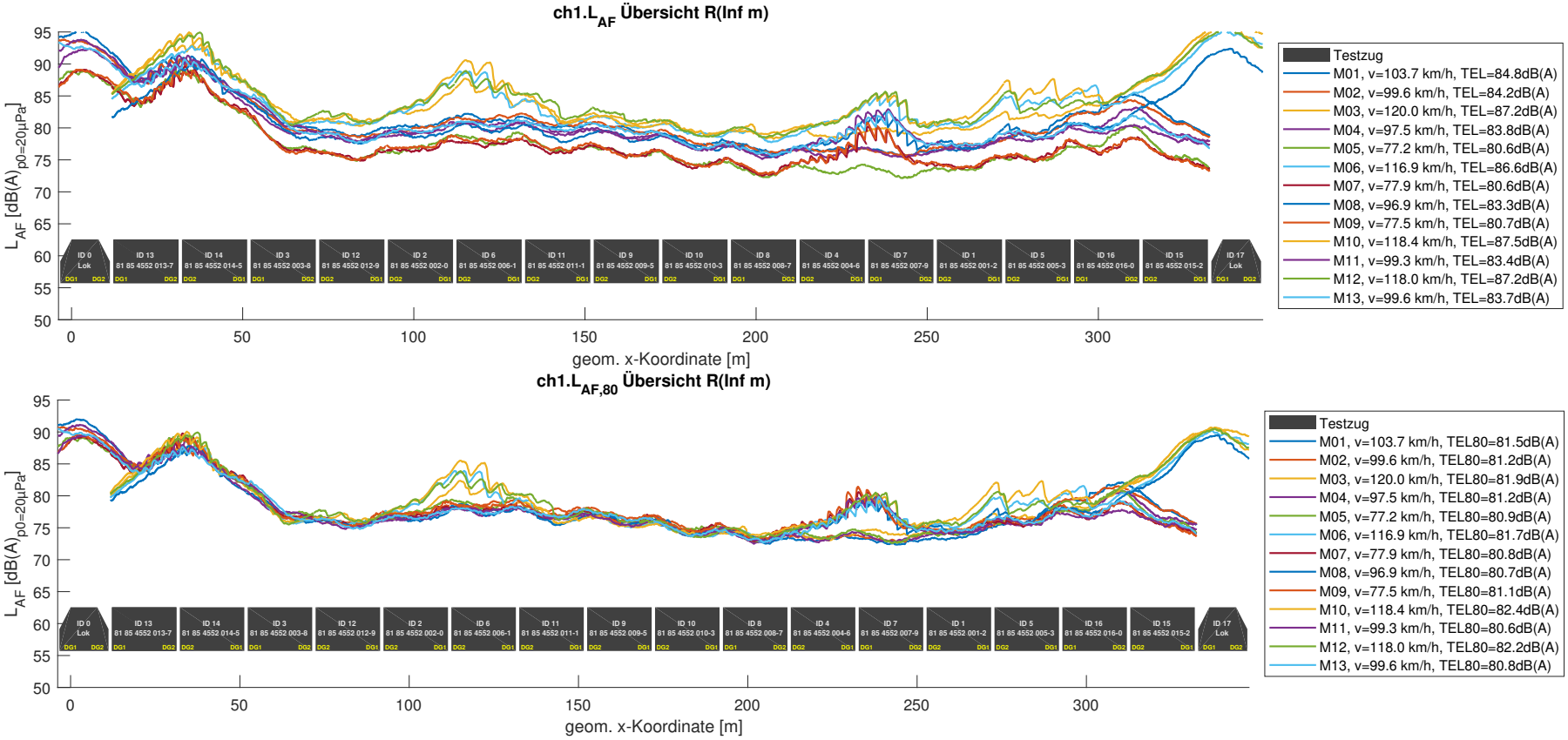


Abbildung A.1.: Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Kerzers, R=Infm)

In der Übersichtsdarstellung sind die Flachstellen im Intervall ID04-ID07 (ab M06) gut zu erkennen. Die Flachstelle im Intervall ID13-ID14 bestand von Anfang an. In den Intervallen ID02-ID06 (ID06-ID11), sowie ID01-ID05 und ID05-ID16 treten bei erhöhter Geschwindigkeit ($120\,km/h$) impulsartige, pfeifende Geräusche auf, die nicht sauber reproduzierbar sind, aber nur in diesen Intervallen auftreten. Folgend finden Sie die Detailabbildungen zu den ausgewählten Intervallen:

A.1.1.1. Schalldruckpegel, v=080km/h

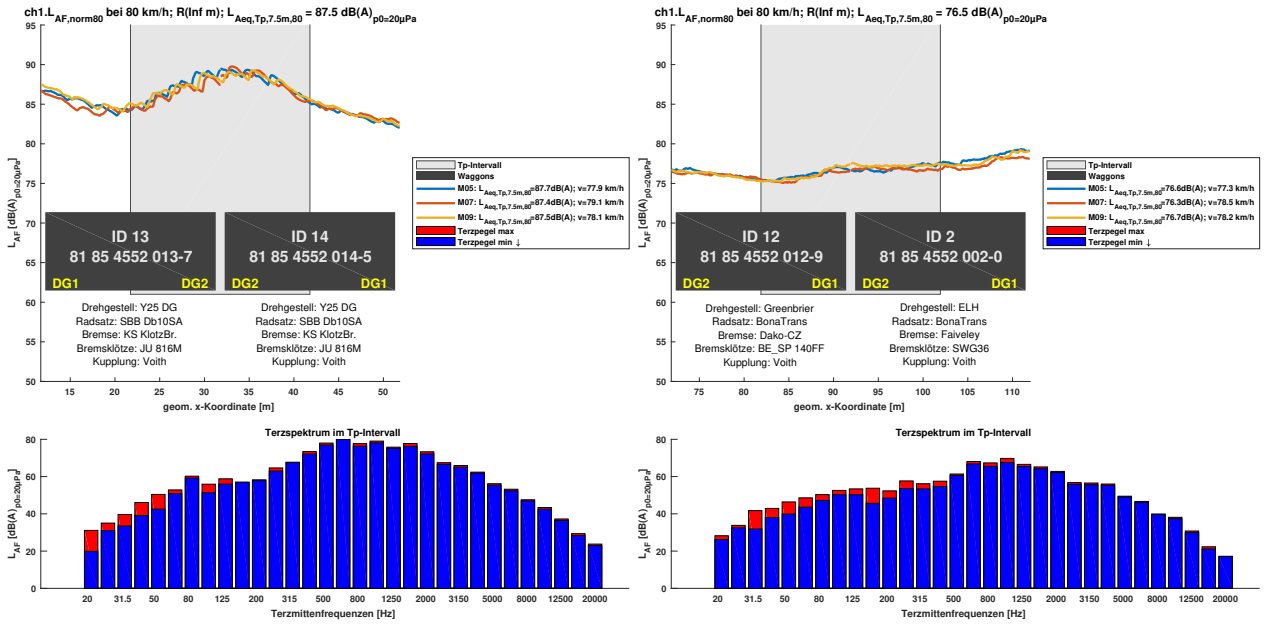


Abbildung A.2.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID13-ID14], [ID12-ID02]

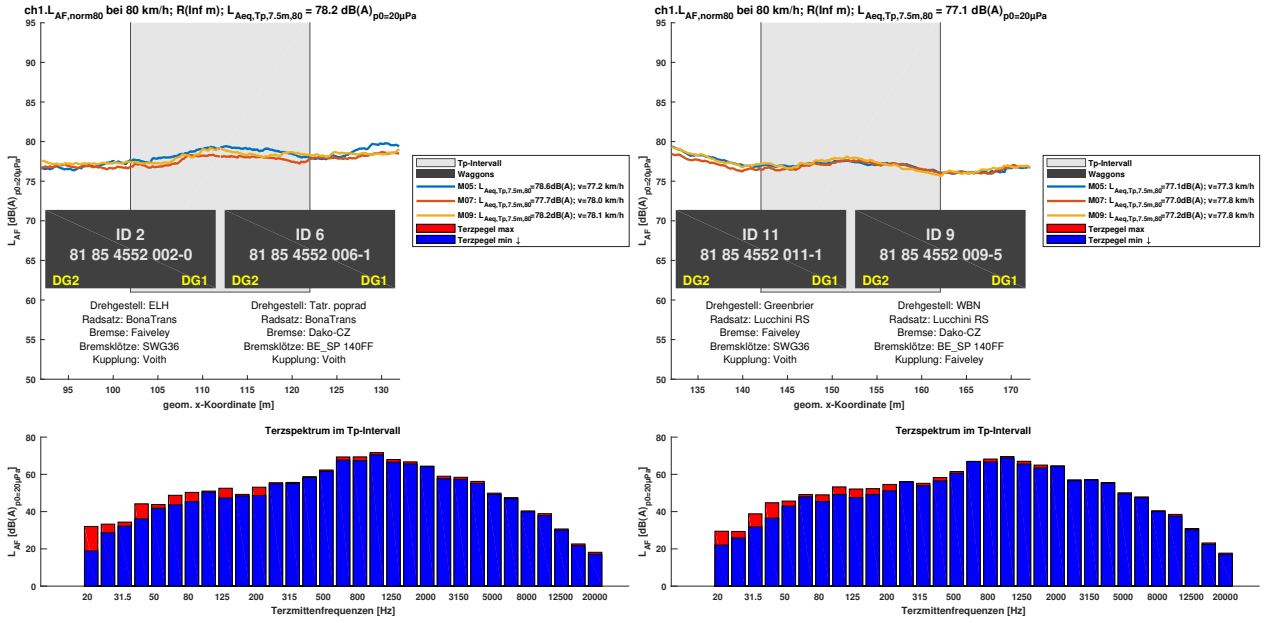


Abbildung A.3.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID11-ID09]

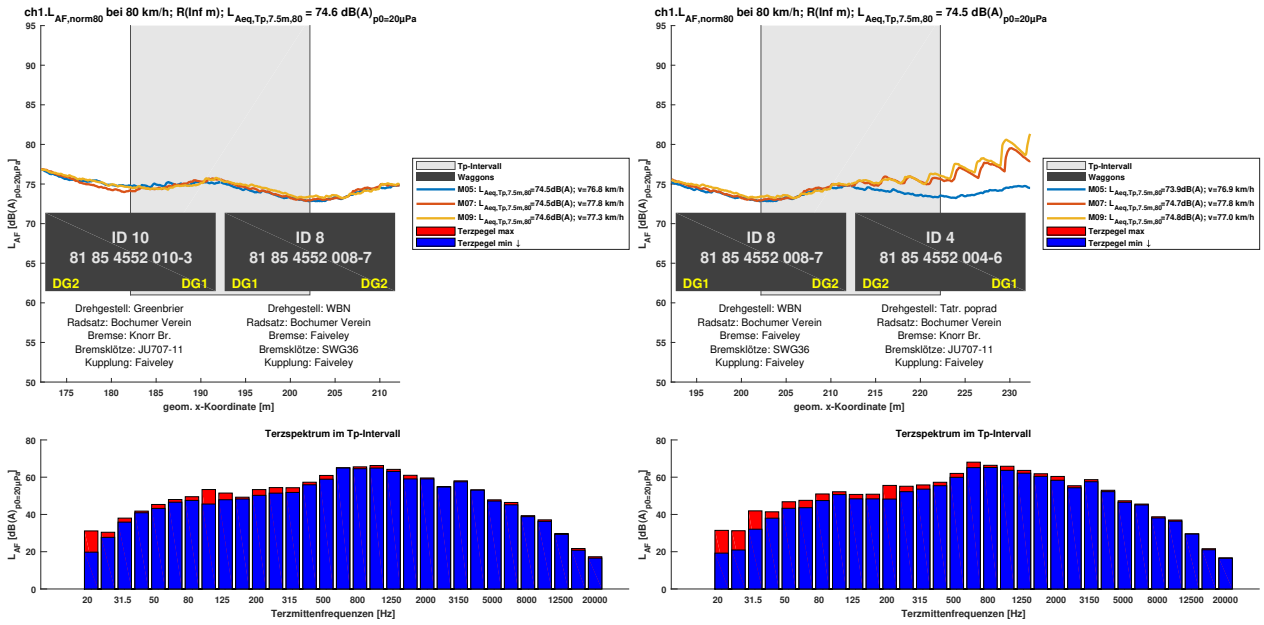


Abbildung A.4.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

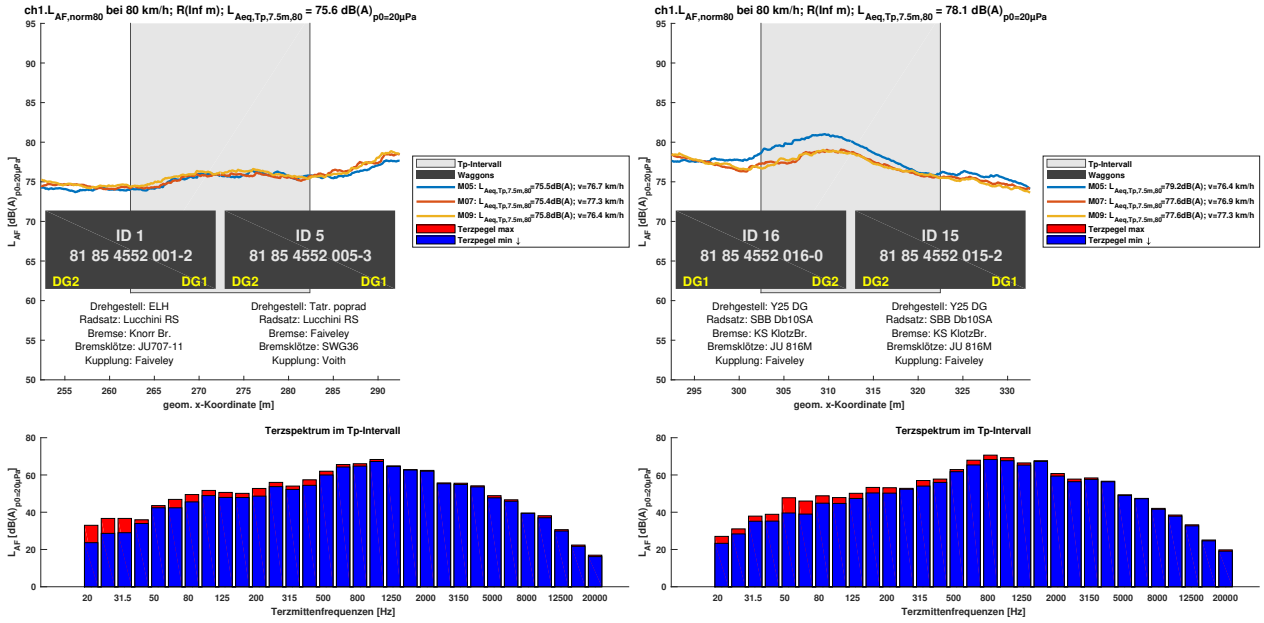


Abbildung A.5.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID01-ID05] und [ID16-ID15]

A.1.1.2. Schalldruckpegel, v=100km/h

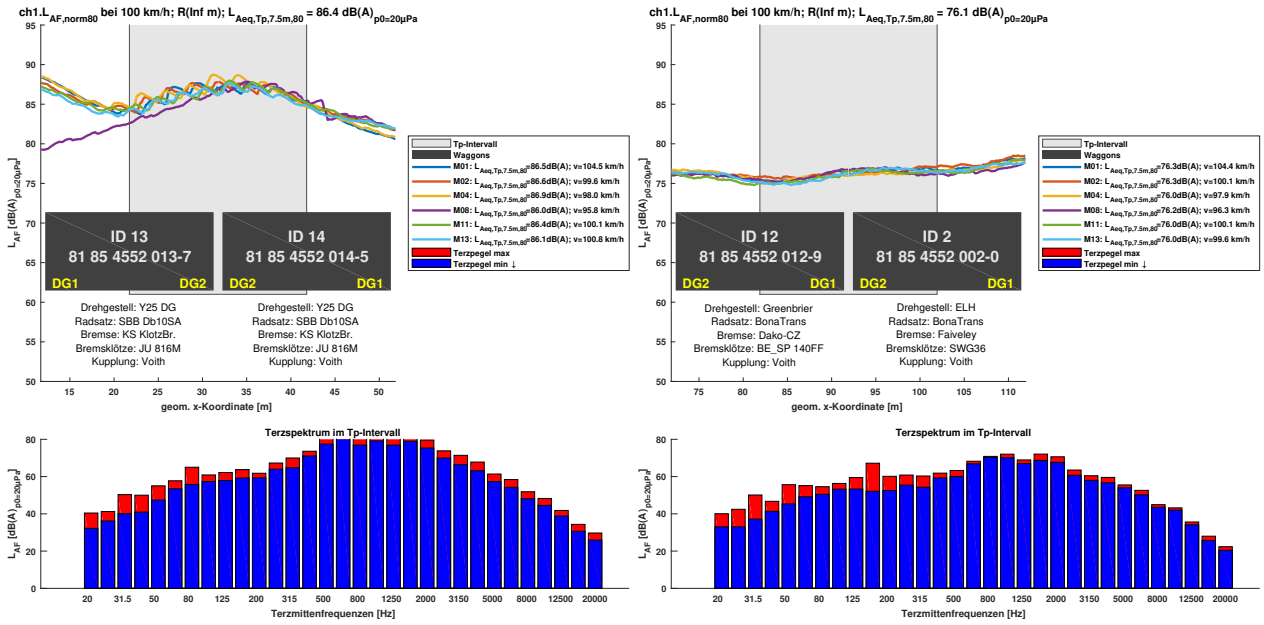


Abbildung A.6.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=100km/h, [ID13-ID14], [ID12-ID02]

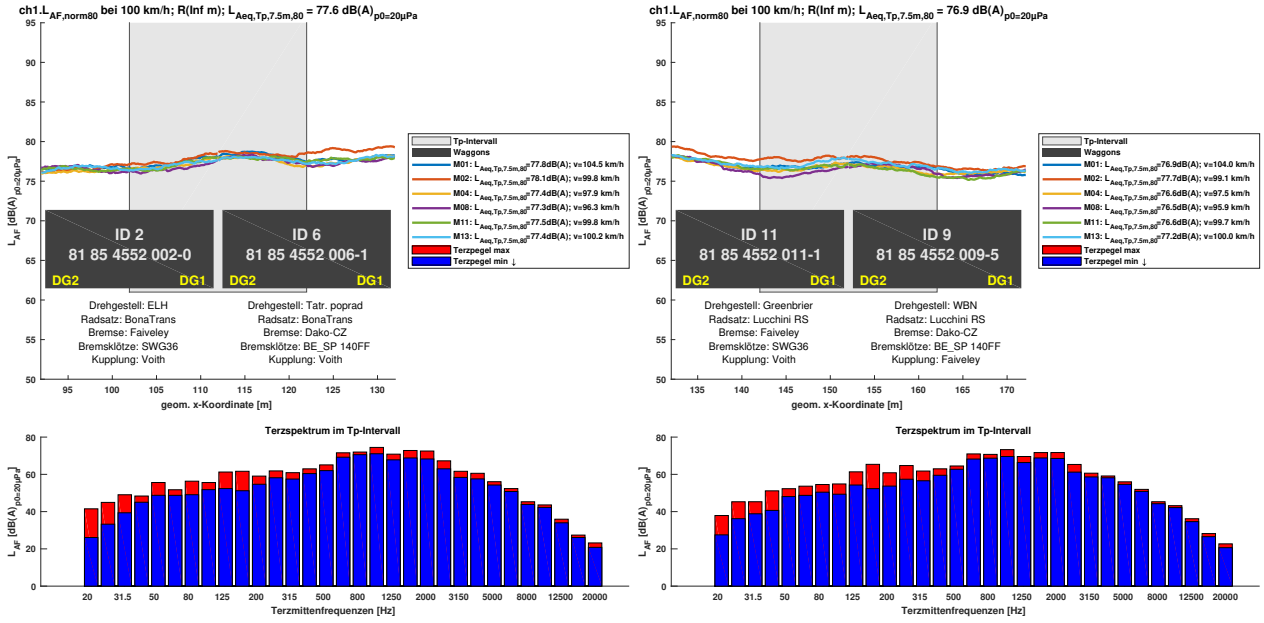


Abbildung A.7.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=100km/h, [ID02-ID06] und [ID11-ID09]

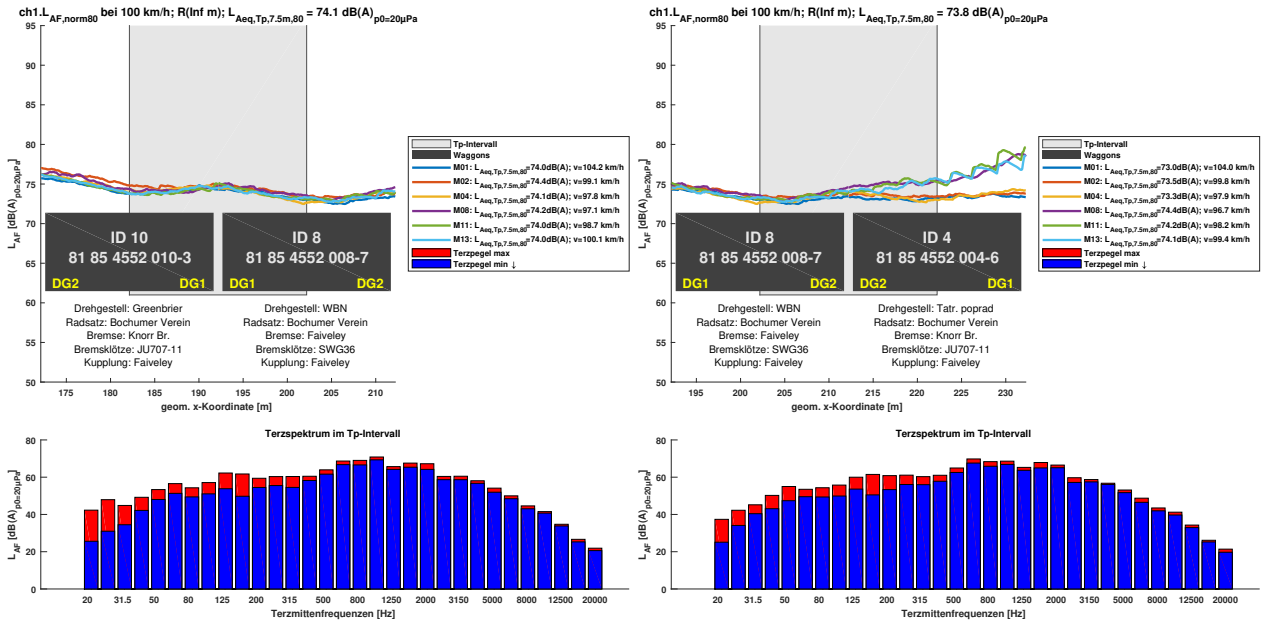


Abbildung A.8.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=100km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

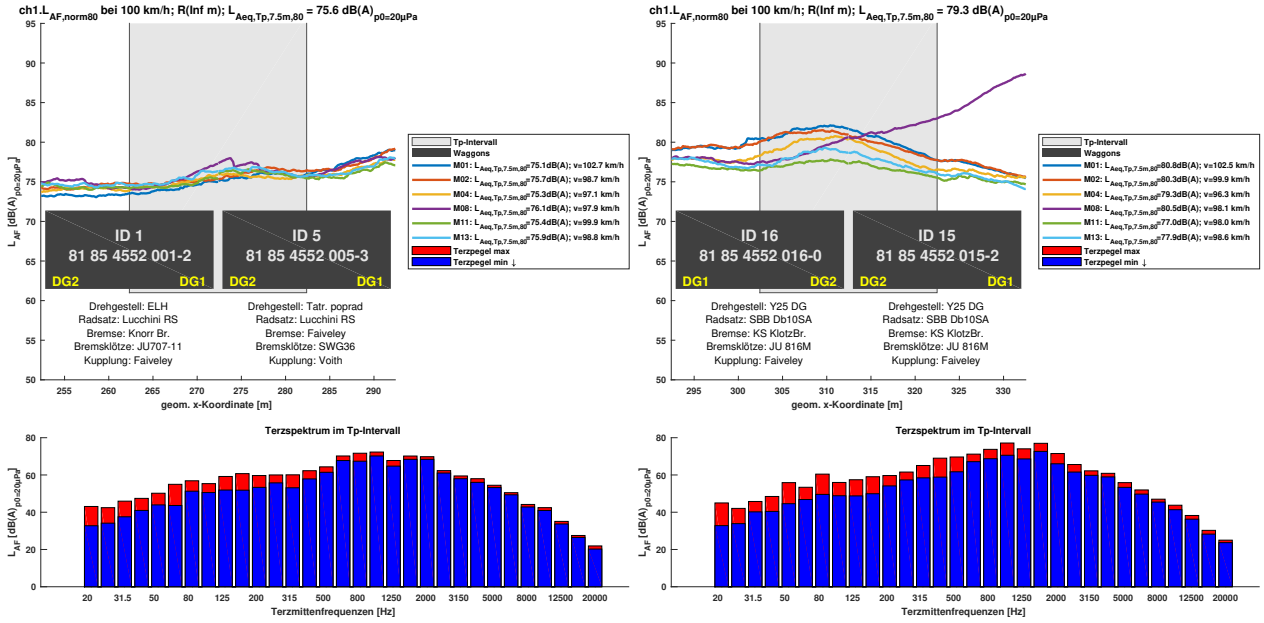


Abbildung A.9.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=100km/h, [ID01-ID05] und [ID16-ID15]

A.1.1.3. Schalldruckpegel, v=120km/h

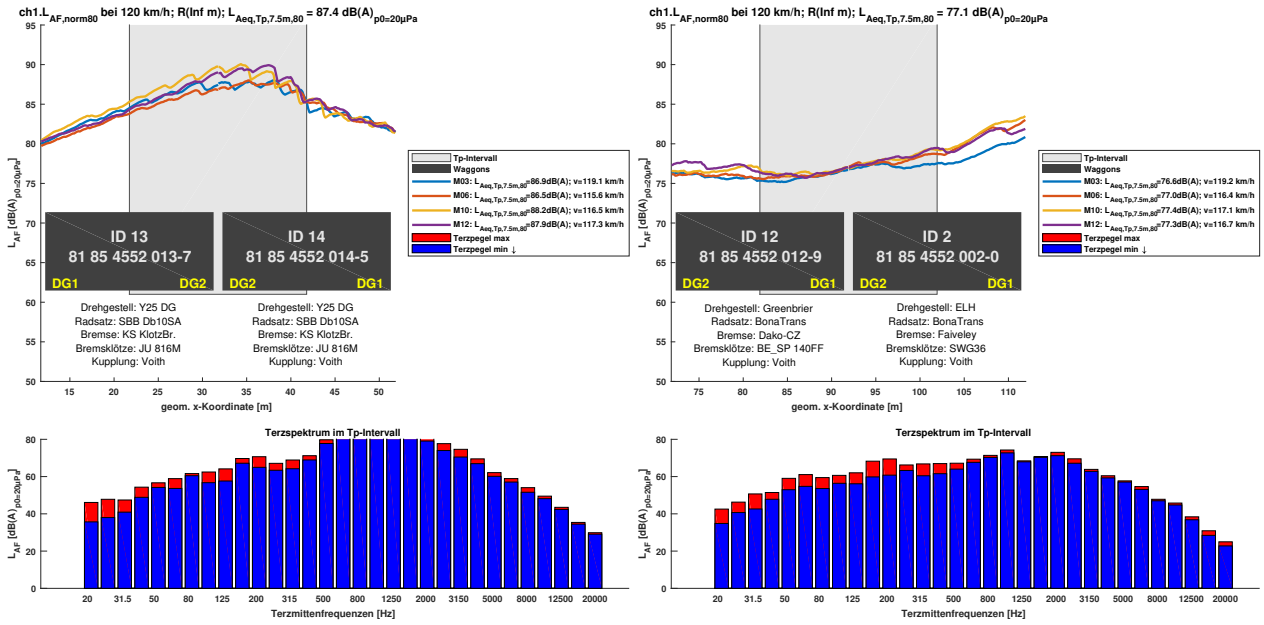


Abbildung A.10.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=120km/h, [ID13-ID14], [ID12-ID02]

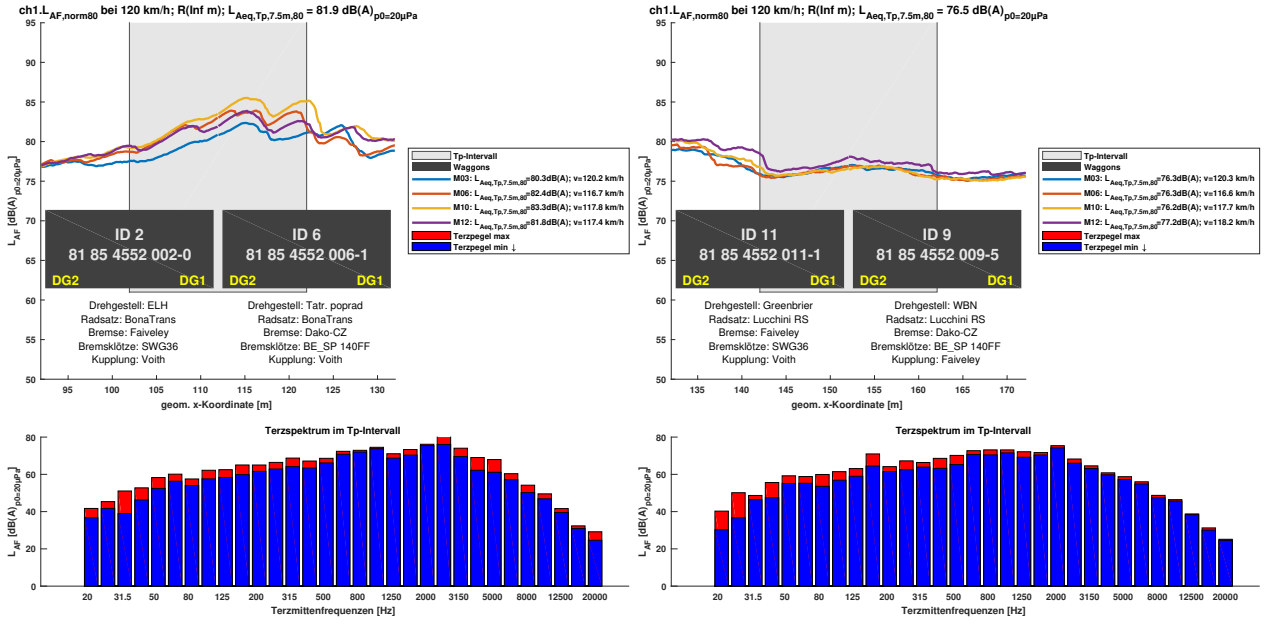


Abbildung A.11.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=120km/h, [ID02-ID06] und [ID11-ID09]

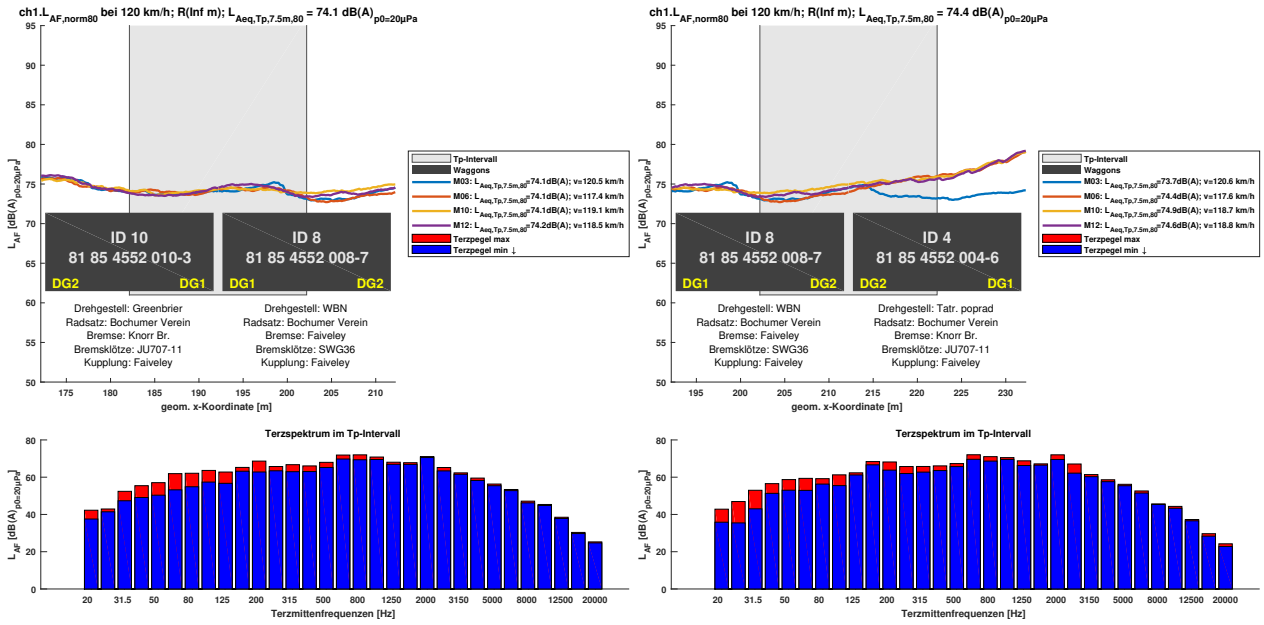


Abbildung A.12.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=120km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

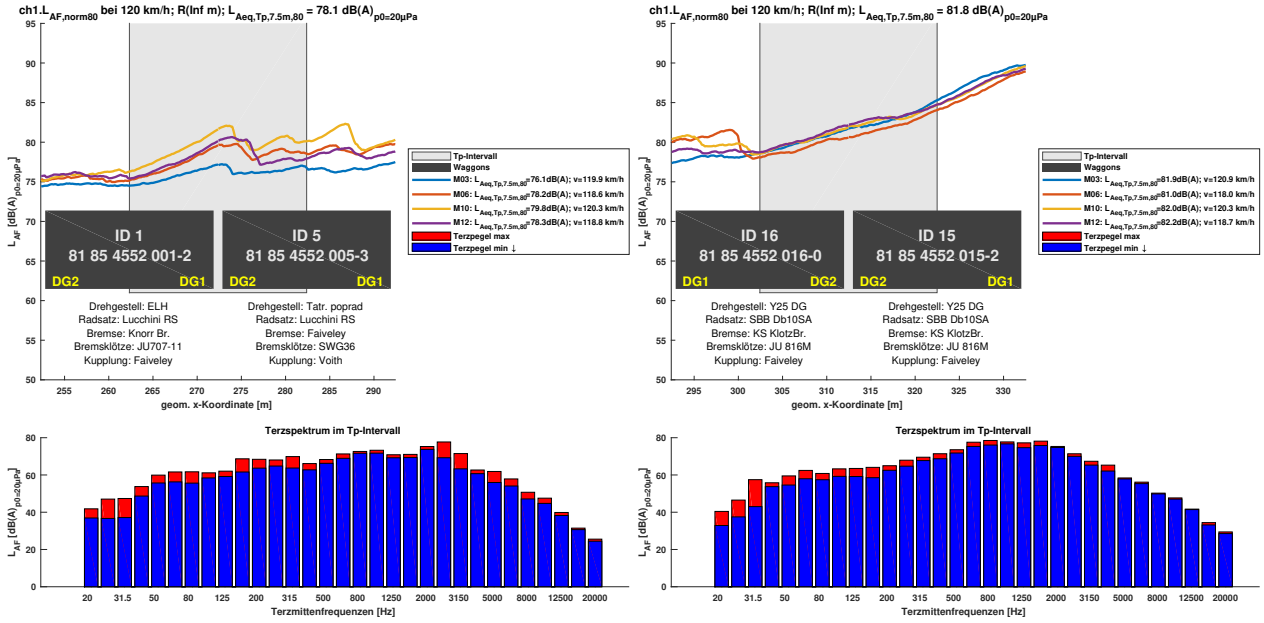


Abbildung A.13.: Kerzers: Schalldruckpegel, v=120km/h, [ID01-ID05] und [ID16-ID15]

A.2. Messungen mit der Akustischen Kamera

A.2.1. Kerzers, R=Infm, v=080km/h

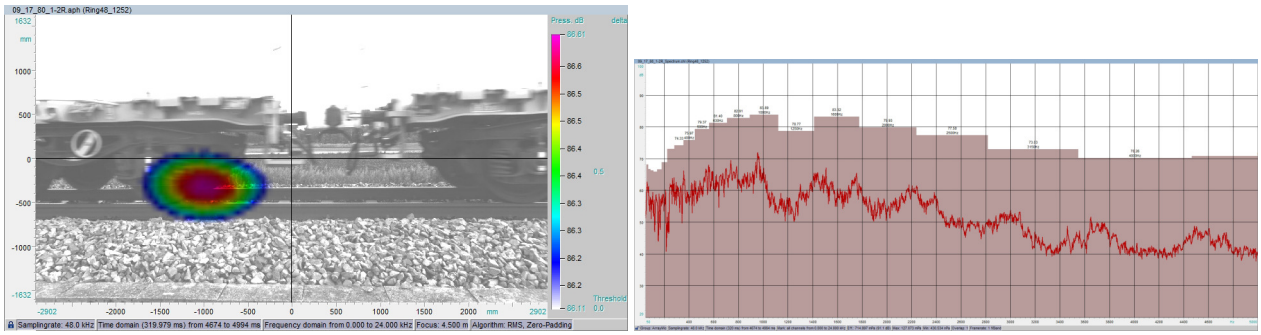


Abbildung A.14.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID14-ID13]

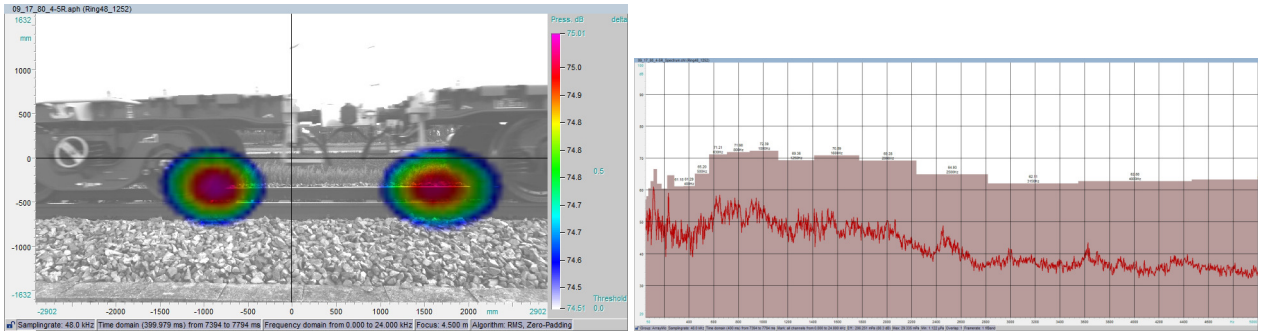


Abbildung A.15.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID02-ID12]

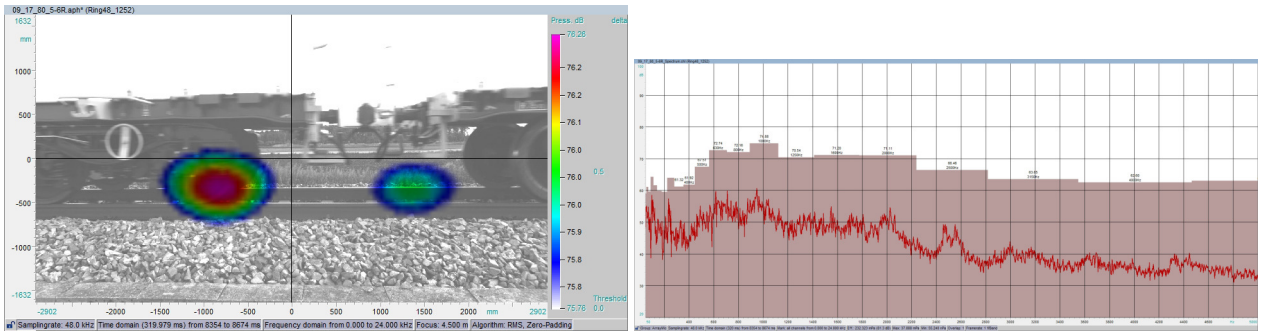


Abbildung A.16.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID06-ID02]

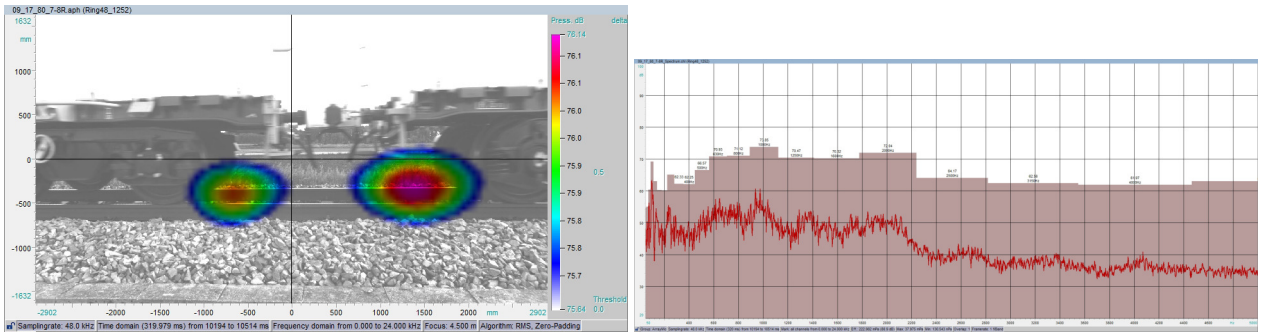


Abbildung A.17.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID09-ID11]

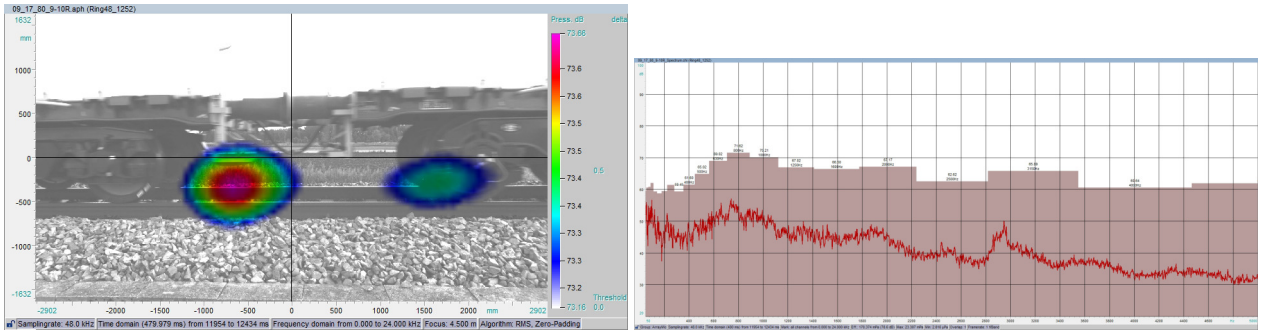


Abbildung A.18.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID08-ID10]

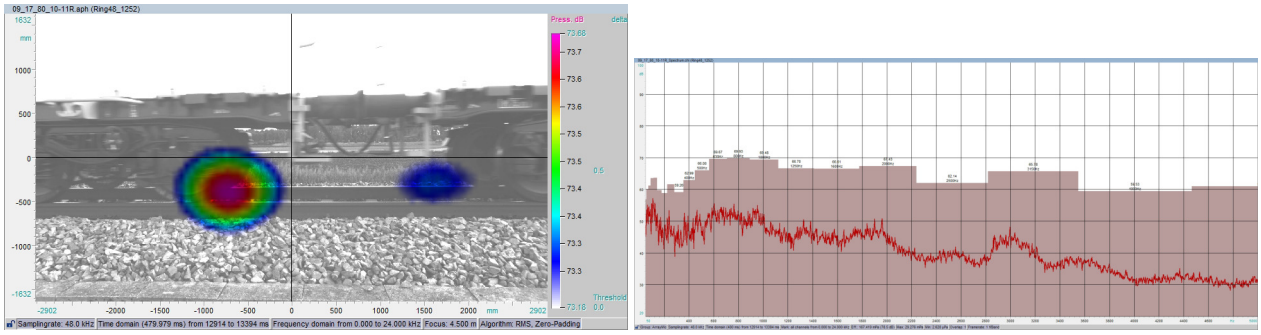


Abbildung A.19.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID04-ID08]

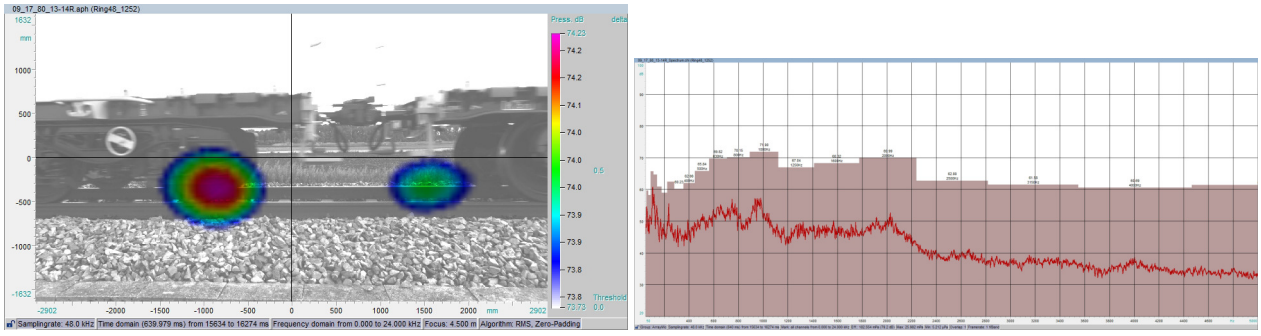


Abbildung A.20.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID05-ID01]

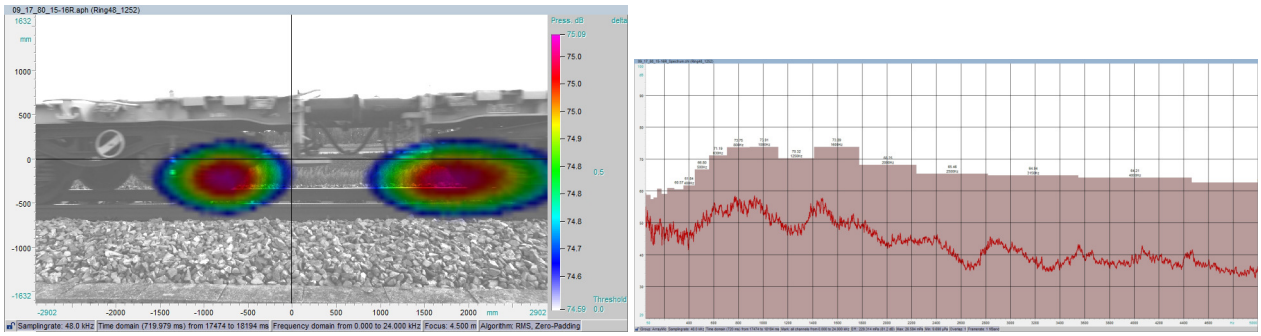


Abbildung A.21.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=080km/h, Intervall [ID15-ID16]

A.2.2. Kerzers, R=Infm, v=100km/h

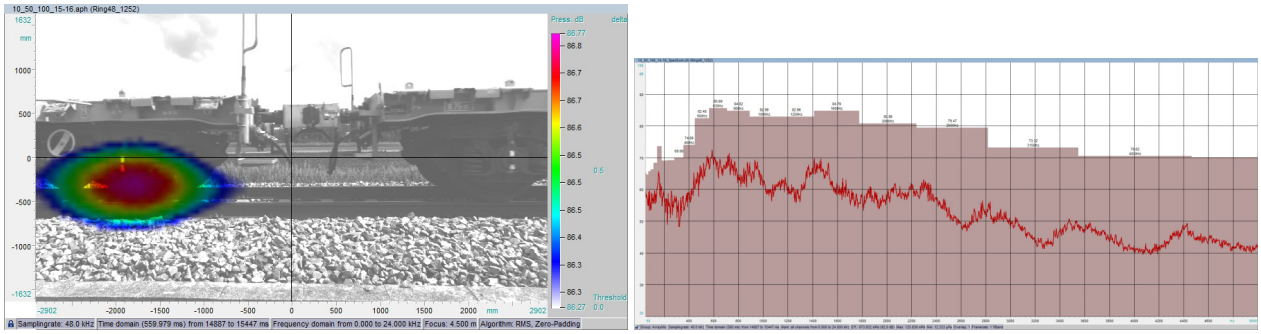


Abbildung A.22.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID14-ID13]

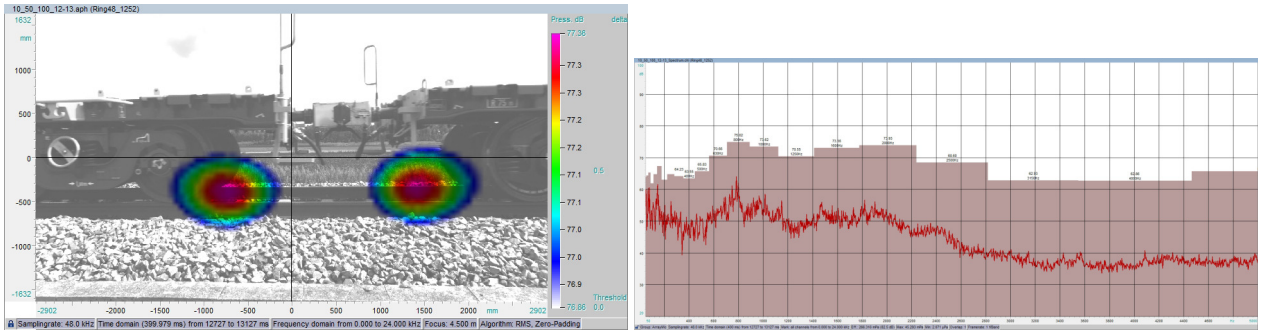


Abbildung A.23.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID02-ID12]

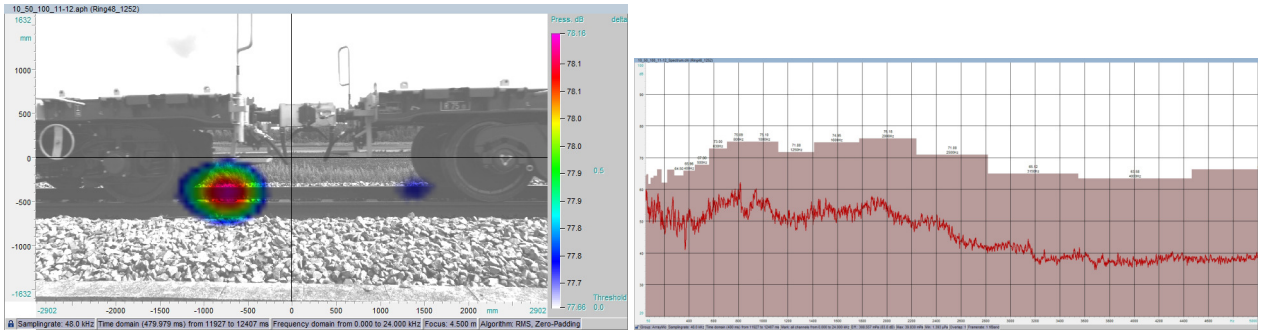


Abbildung A.24.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID06-ID02]

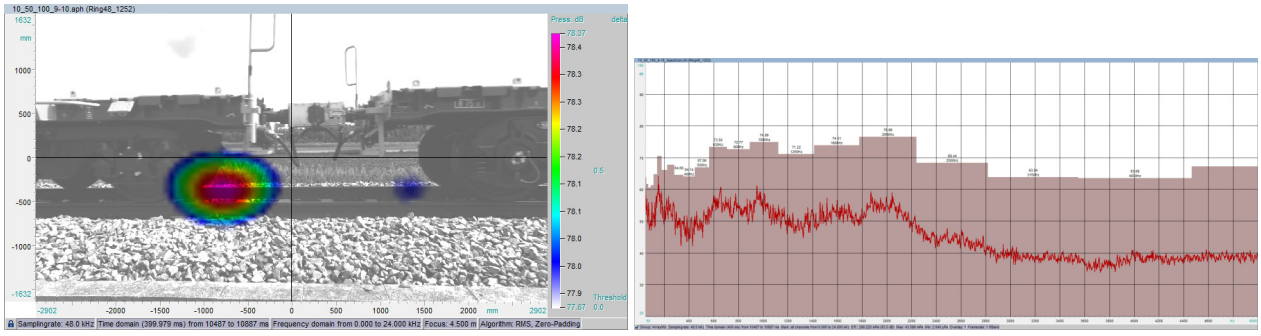


Abbildung A.25.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID09-ID11]

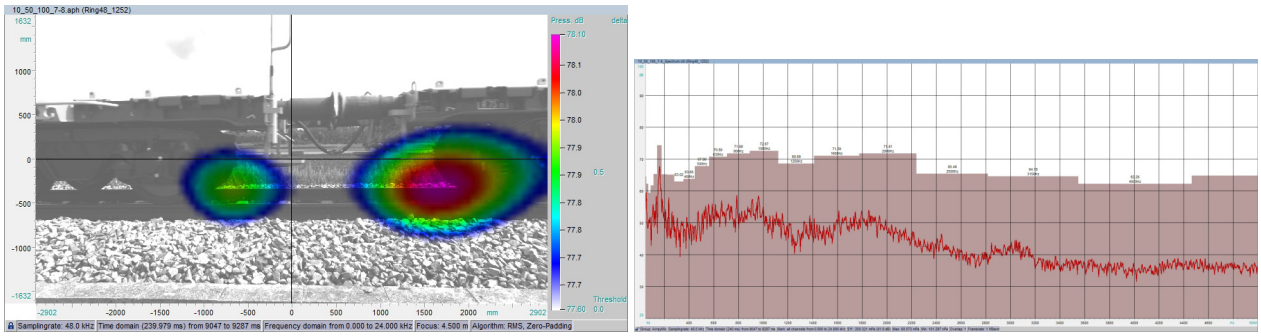


Abbildung A.26.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID08-ID10]

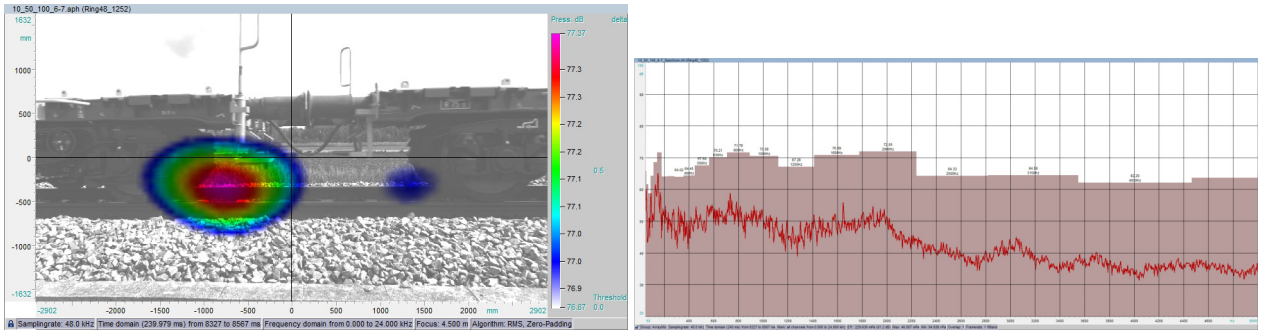


Abbildung A.27.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID04-ID08]

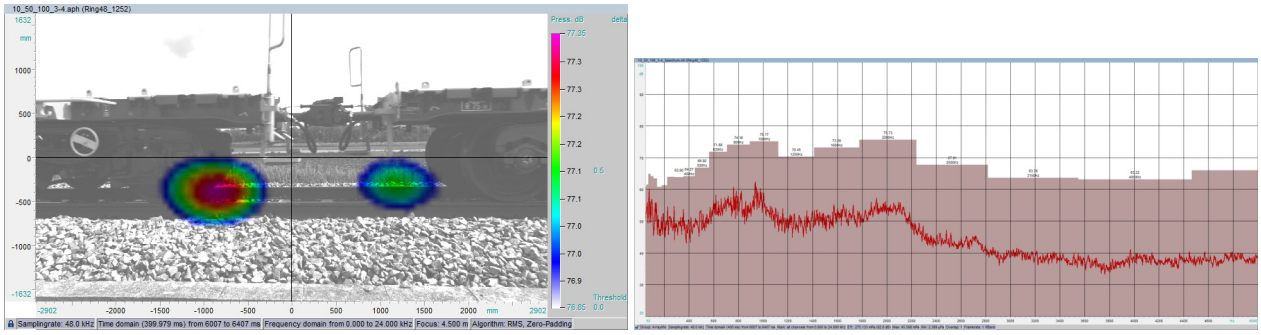


Abbildung A.28.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID05-ID01]

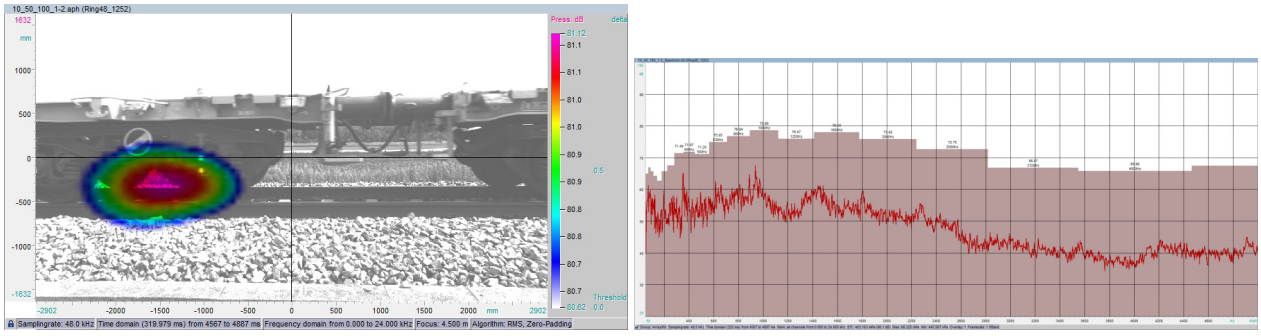


Abbildung A.29.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=100km/h, Intervall [ID15-ID16]

A.2.3. Kerzers, R=Infm, v=120km/h

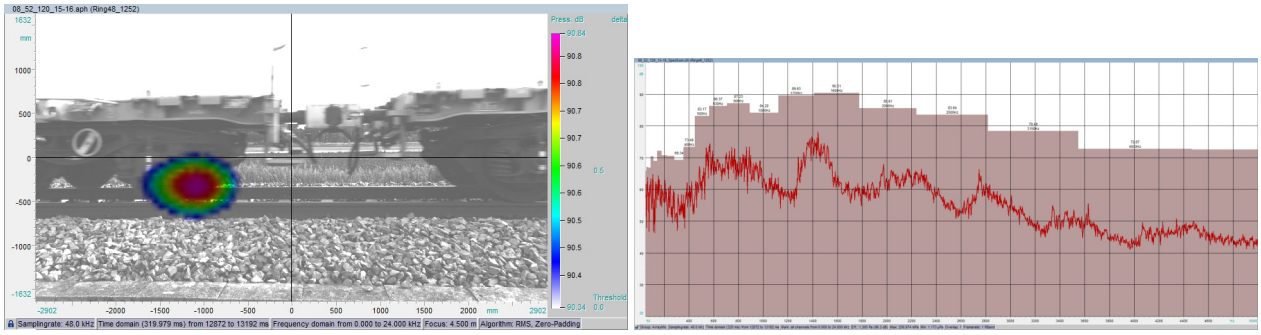


Abbildung A.30.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID14-ID13]

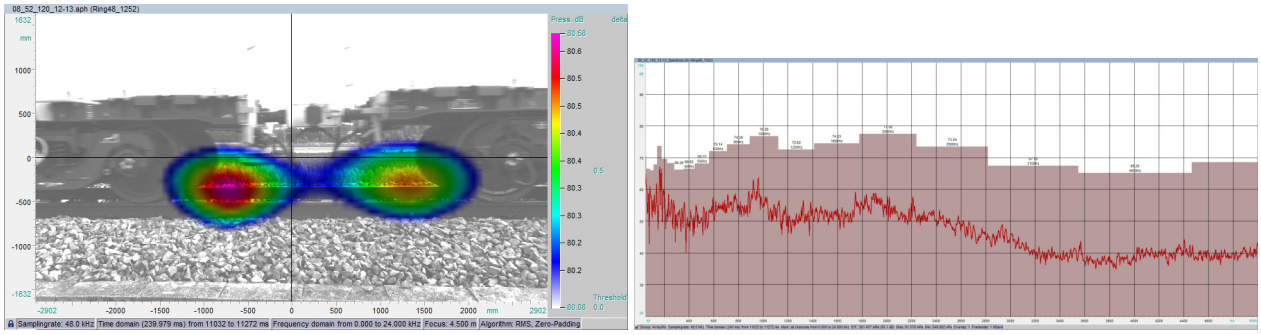


Abbildung A.31.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID02-ID12]

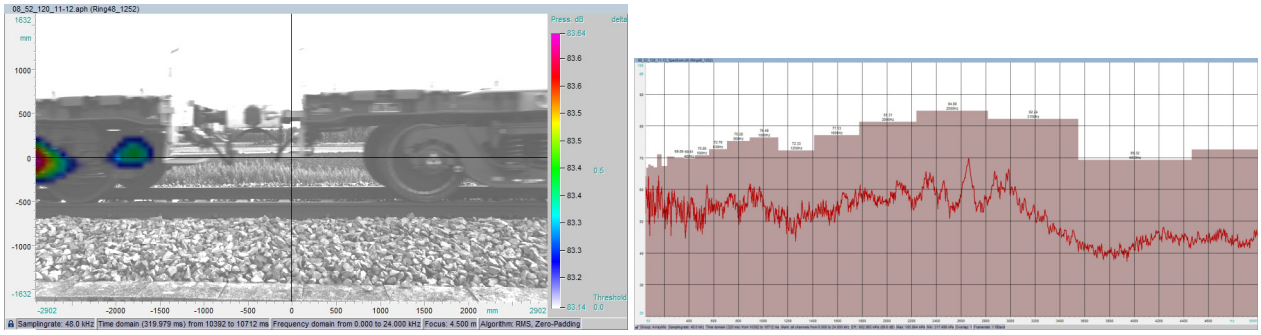


Abbildung A.32.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID06-ID02]

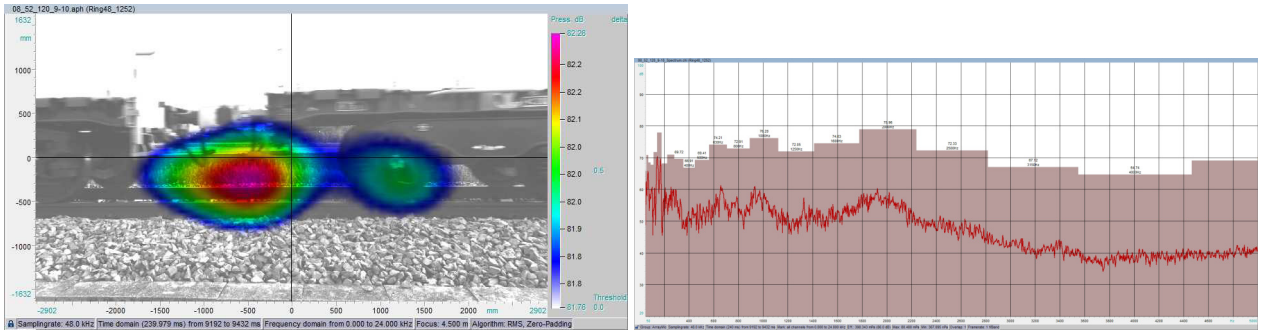


Abbildung A.33.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID09-ID11]

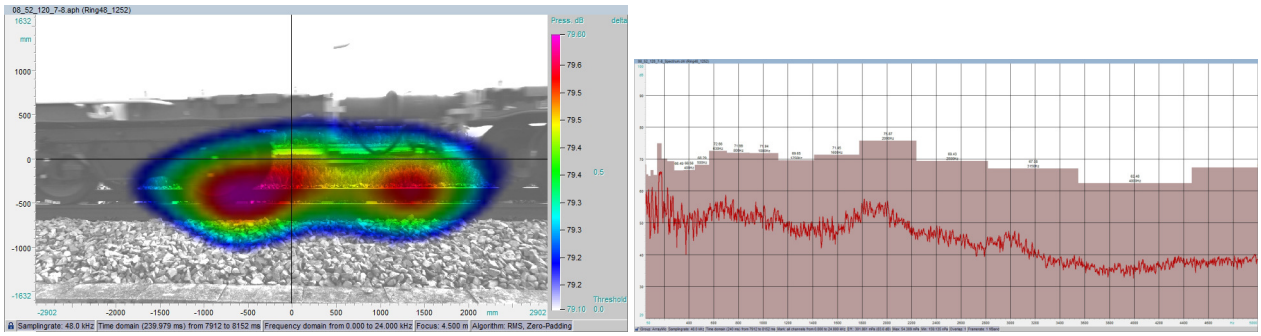


Abbildung A.34.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID08-ID10]

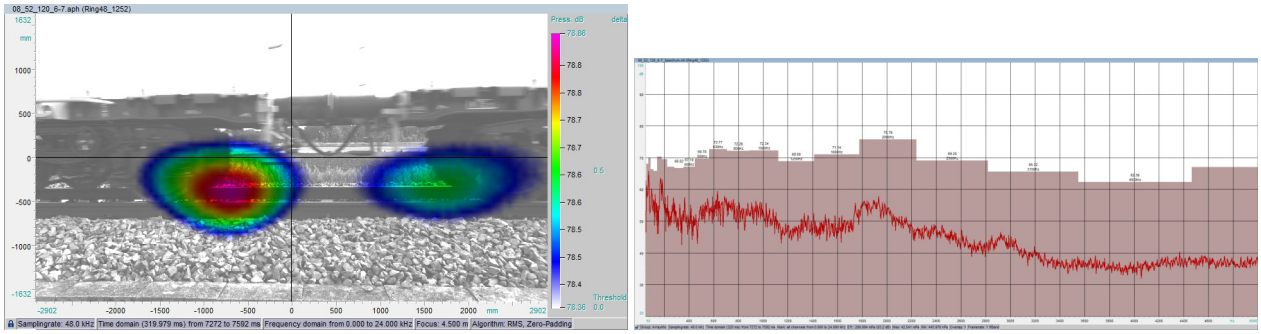


Abbildung A.35.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID04-ID08]

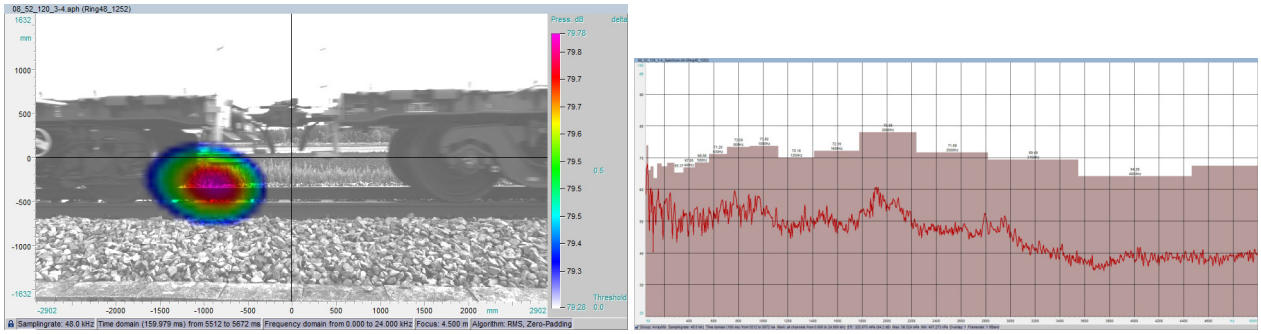


Abbildung A.36.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID05-ID01]

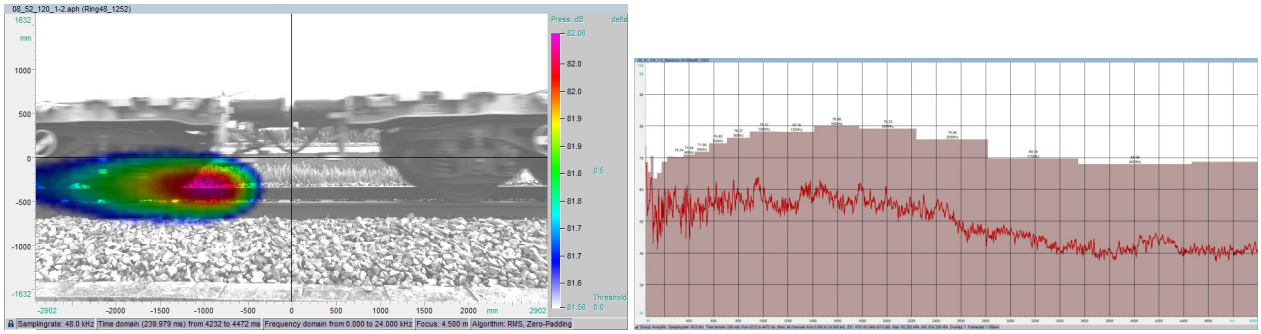


Abbildung A.37.: Kerzers: Akustisches Bild und Spektrum, v=120km/h, Intervall [ID15-ID16]

A.3. Gleisbogenmessungen Akustik und Vibration

A.3.1. Willisau, R=490m, Schalldruckpegel (2.78m Abstand, 2.1m Höhe)

Der abgebildete Schalldruckpegel bezieht sich auf den Referenzschalldruck $p0 = 20\,\mu Pa$.

A.3.1.1. Schalldruckpegel, v=060km/h

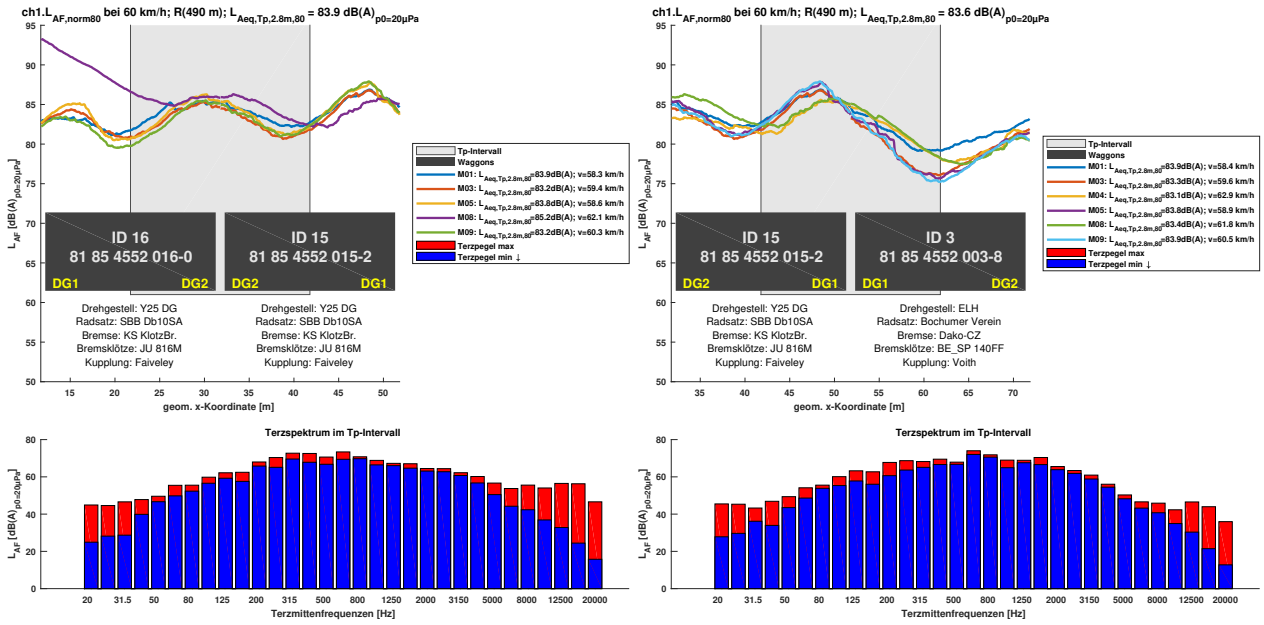


Abbildung A.38.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

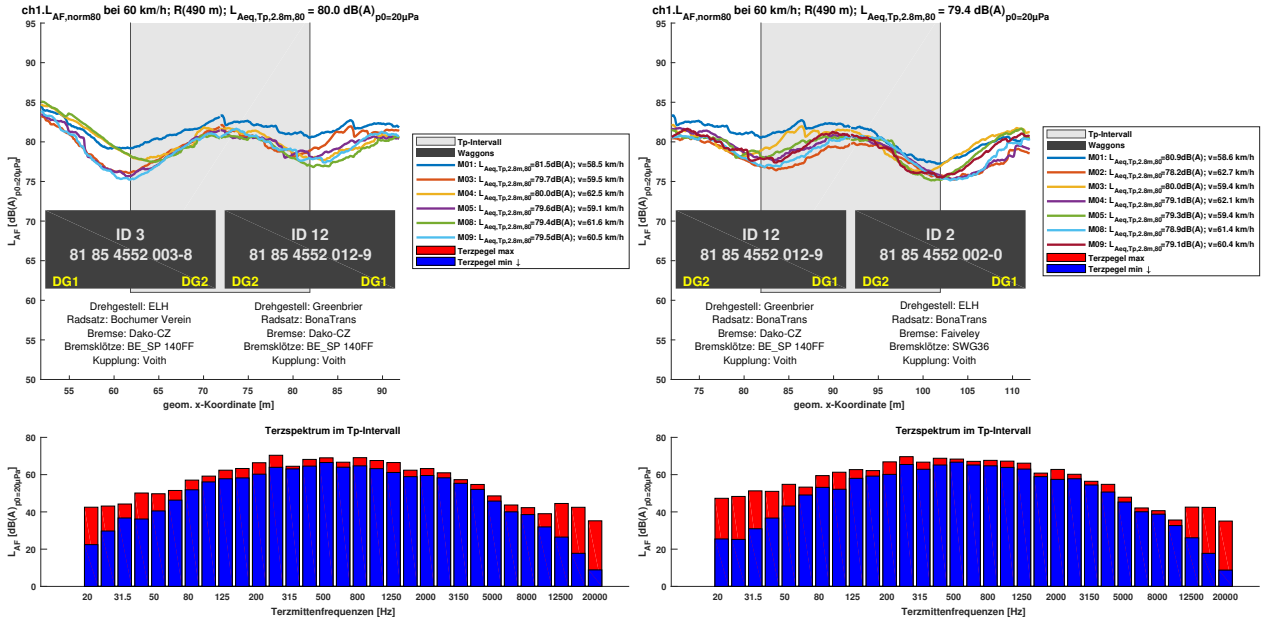


Abbildung A.39.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

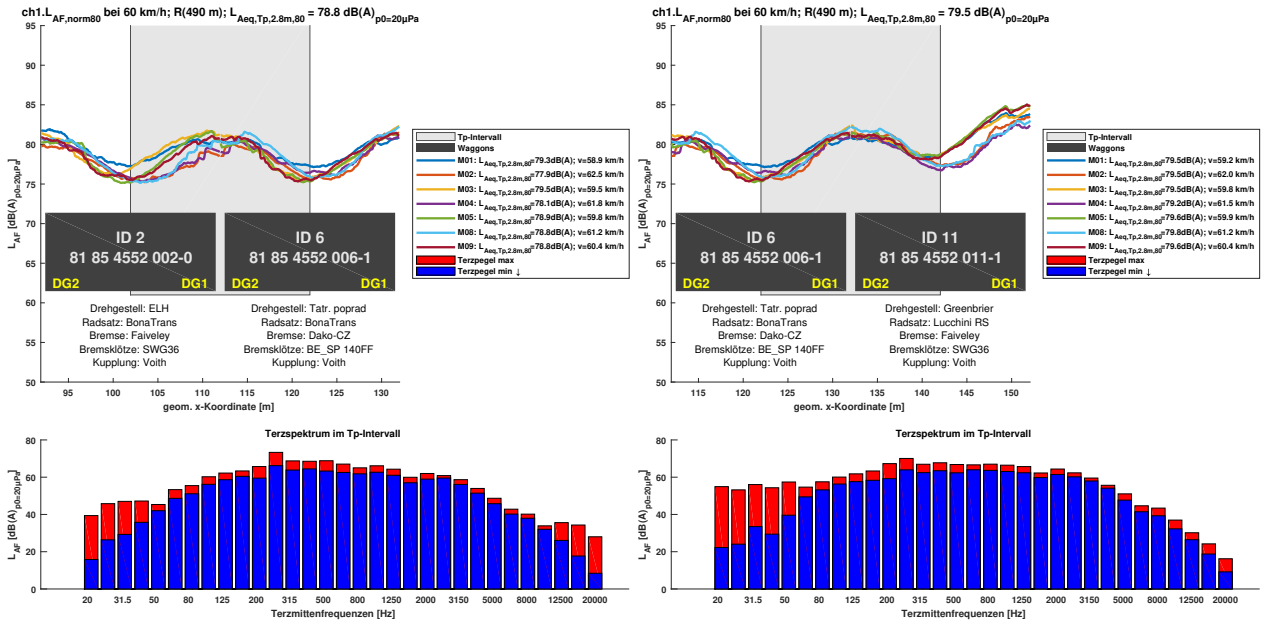


Abbildung A.40.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

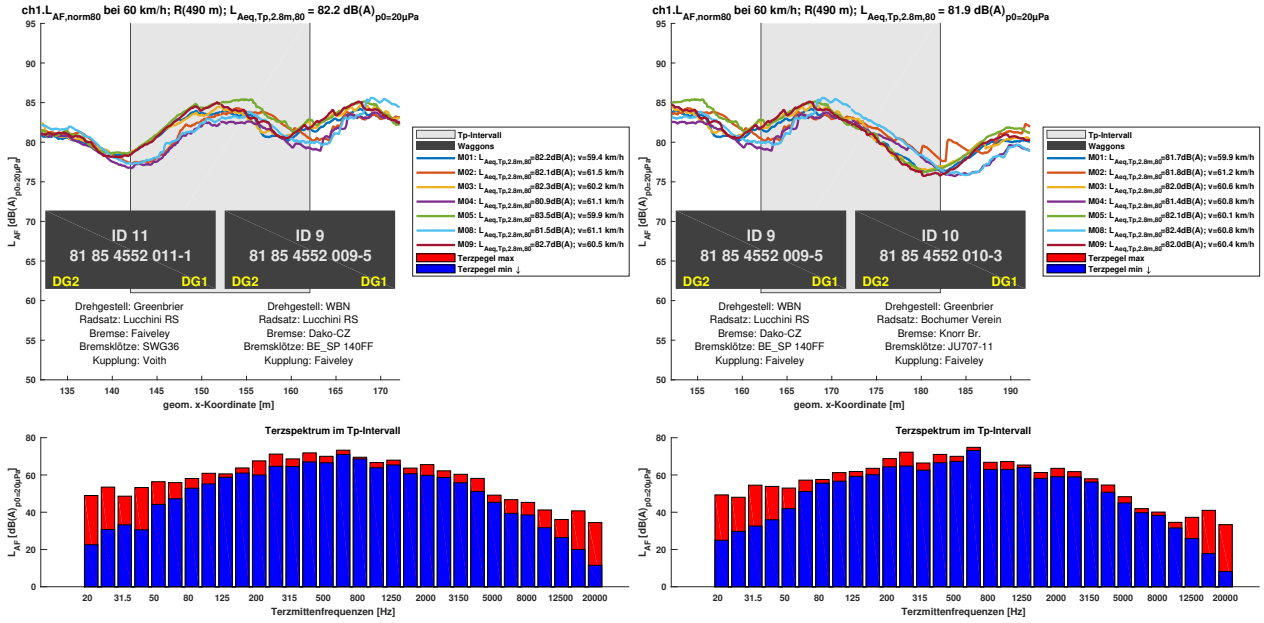


Abbildung A.41.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

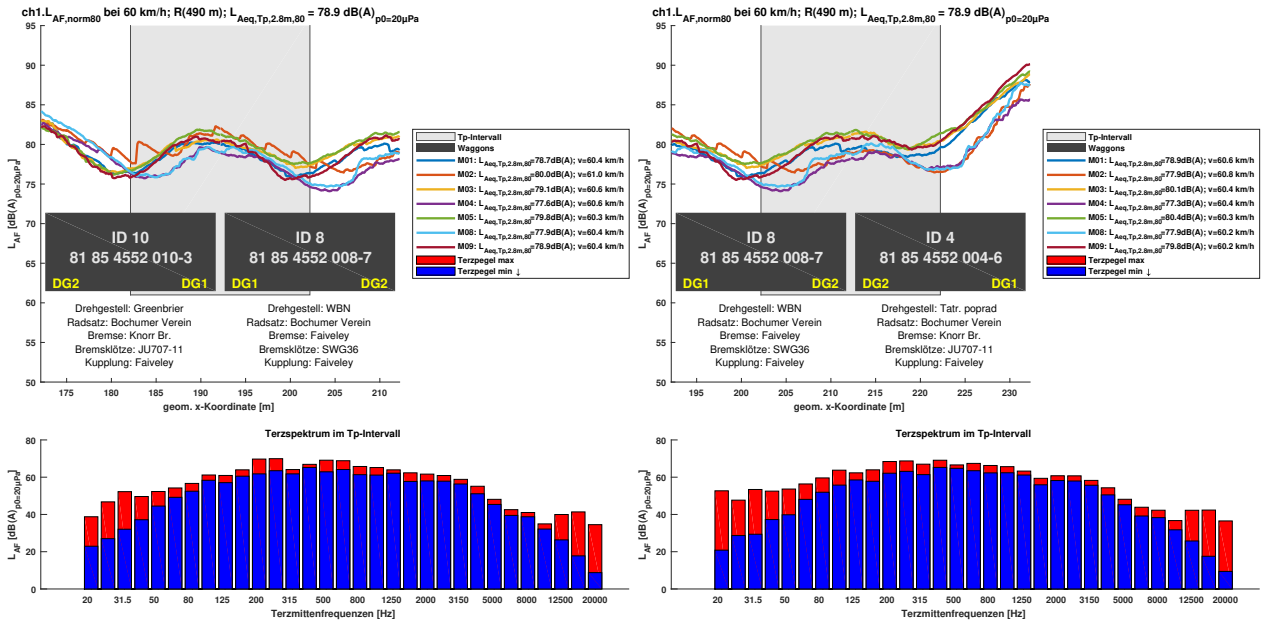


Abbildung A.42.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

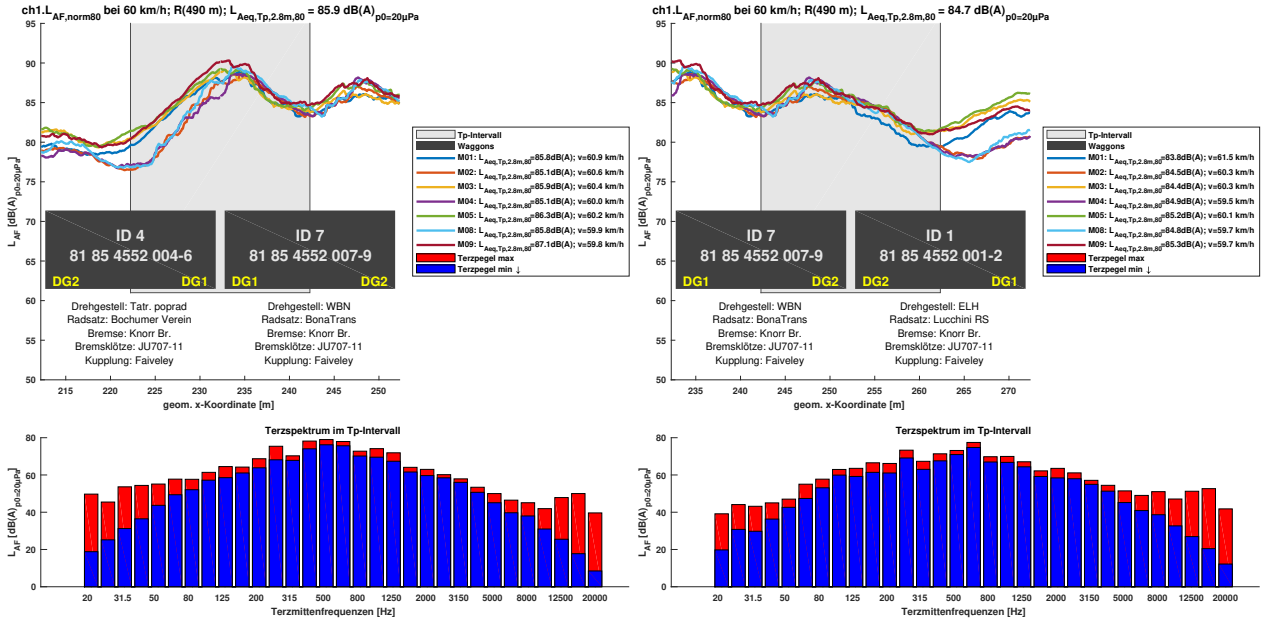


Abbildung A.43.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

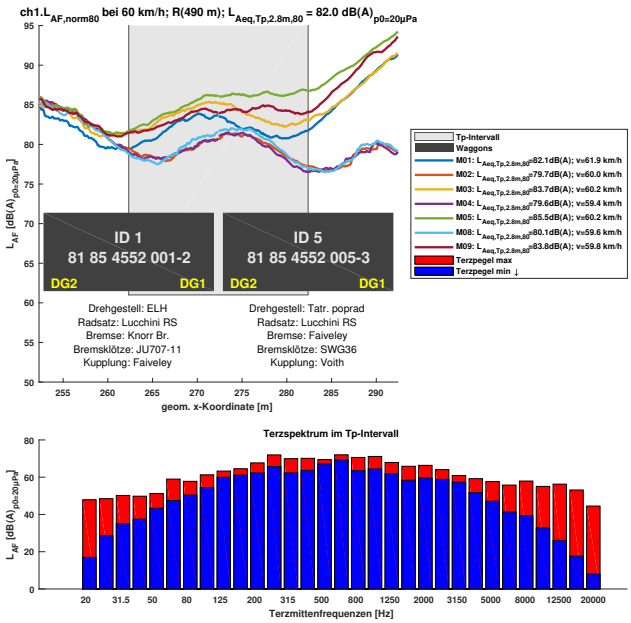


Abbildung A.44.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID01-ID05]

A.3.1.2. Schalldruckpegel, v=080km/h

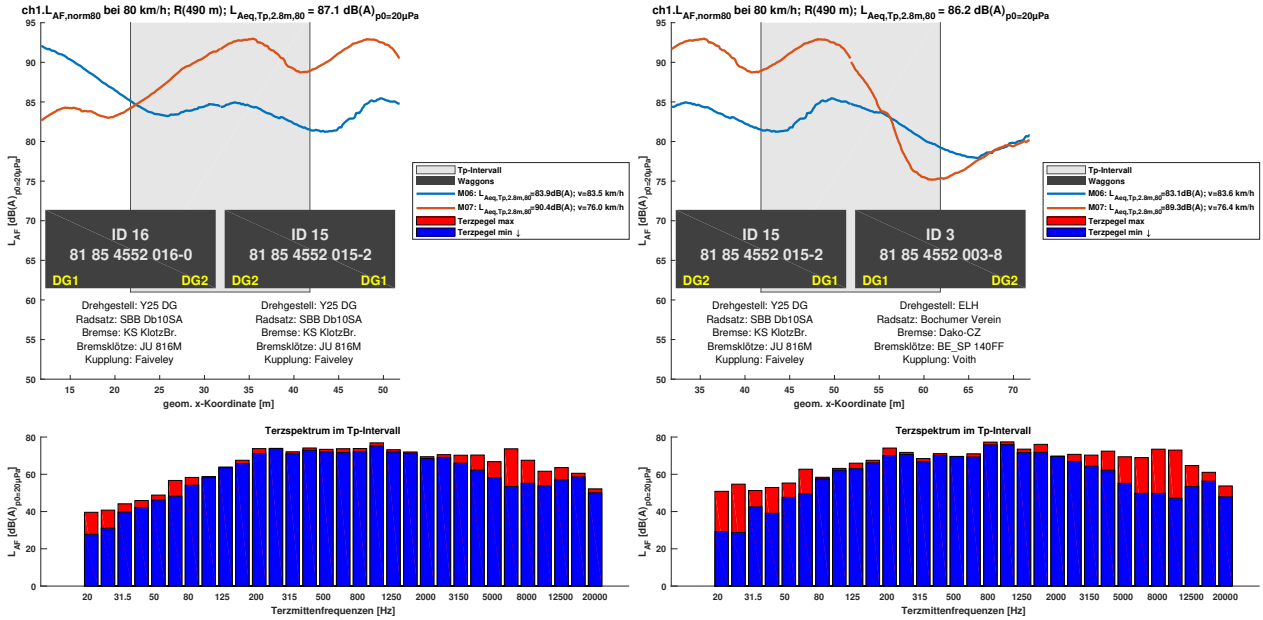


Abbildung A.45.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

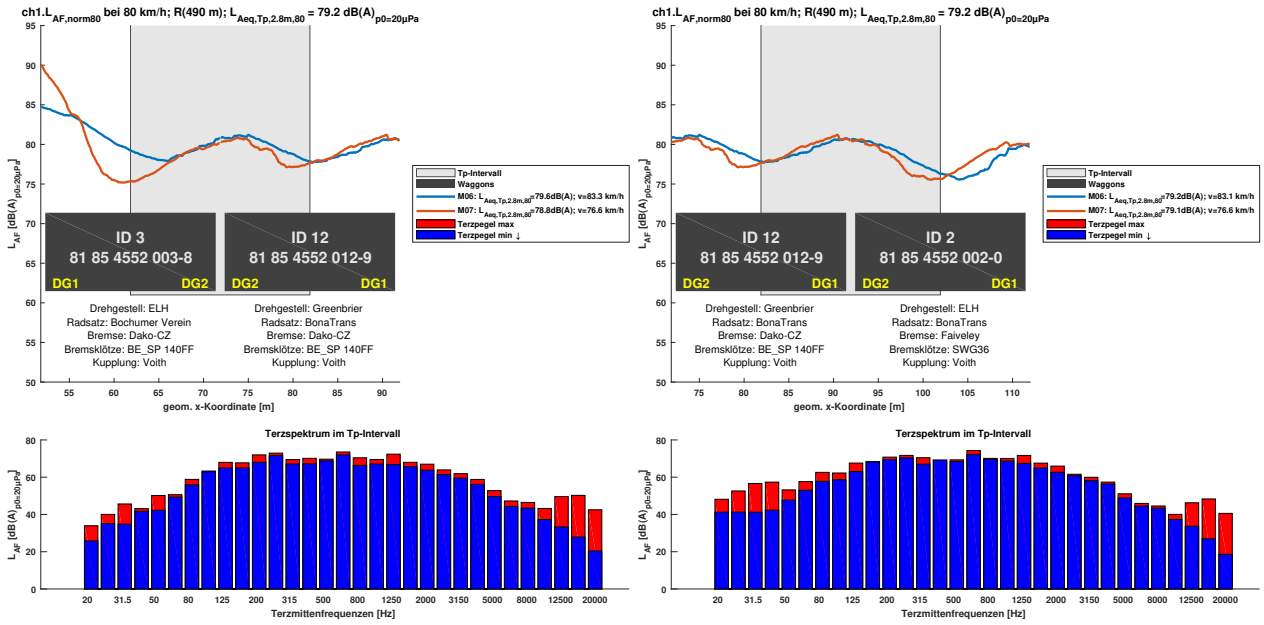


Abbildung A.46.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

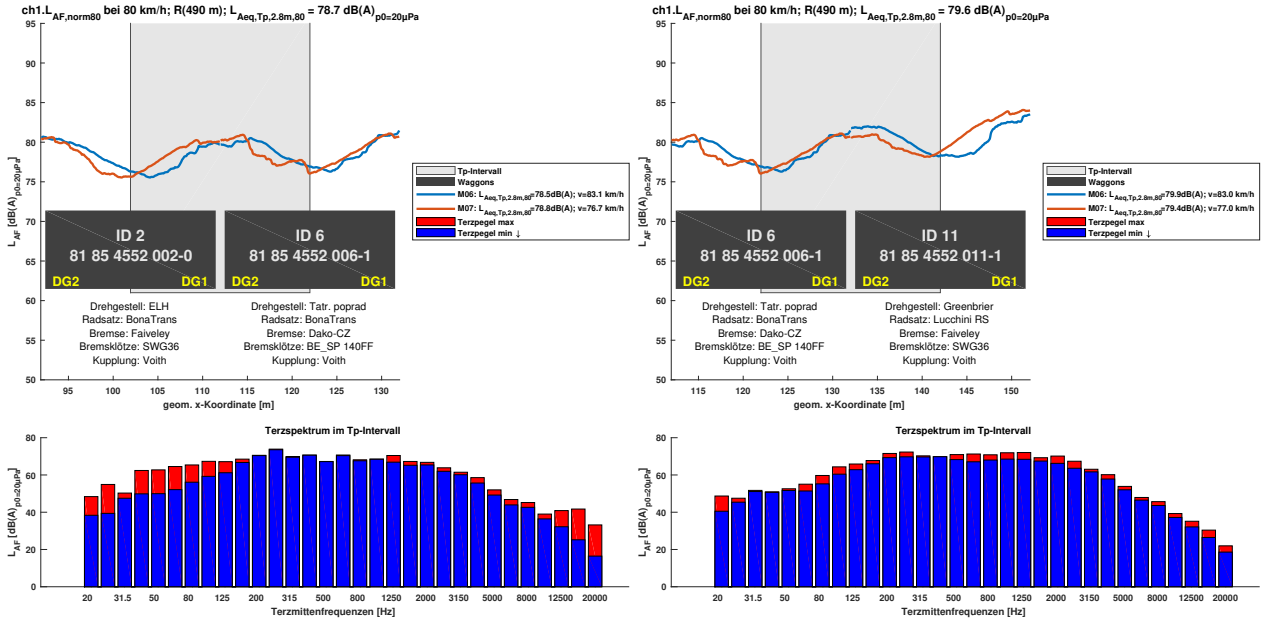


Abbildung A.47.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

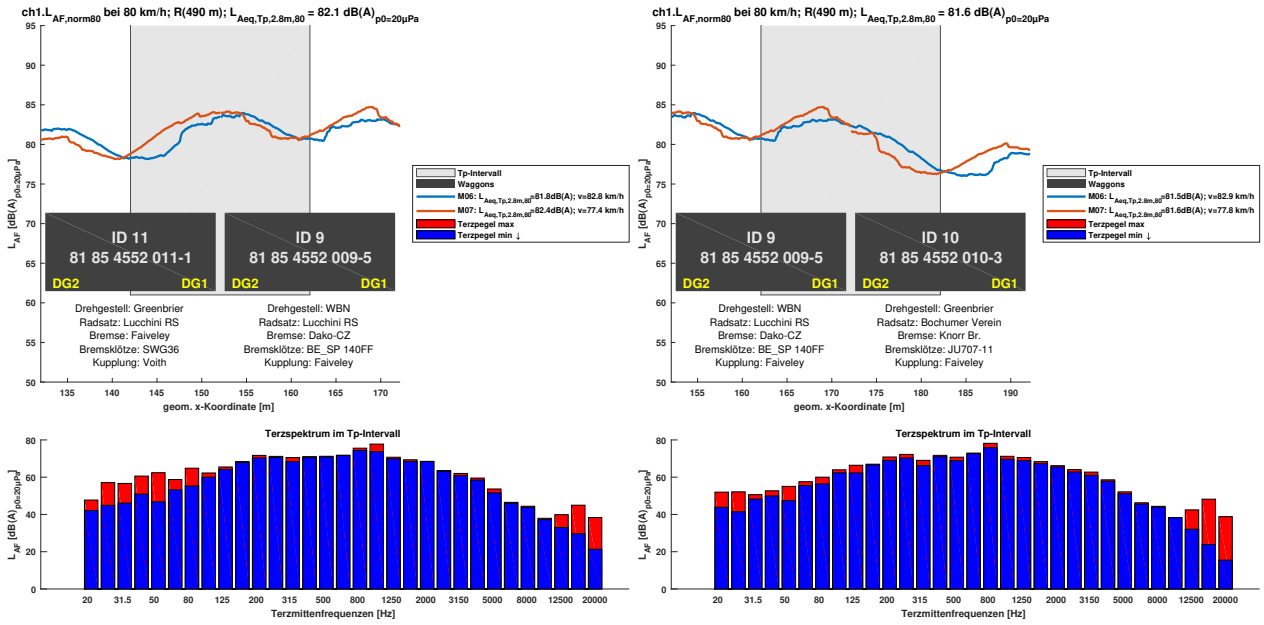


Abbildung A.48.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

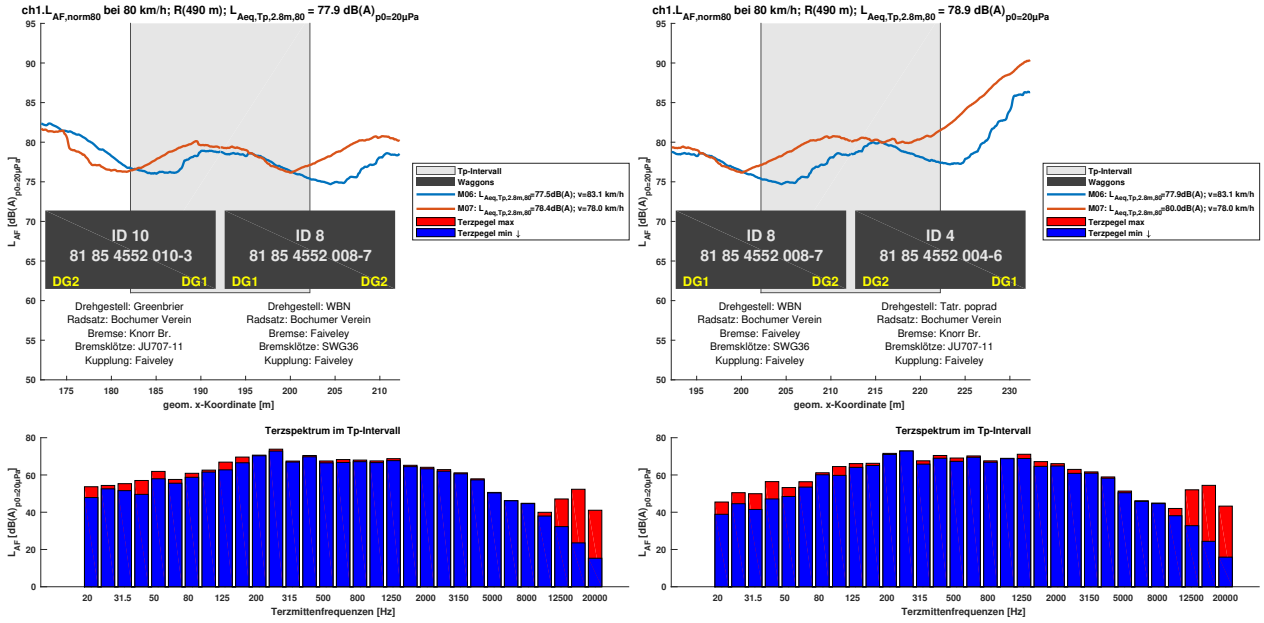


Abbildung A.49.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

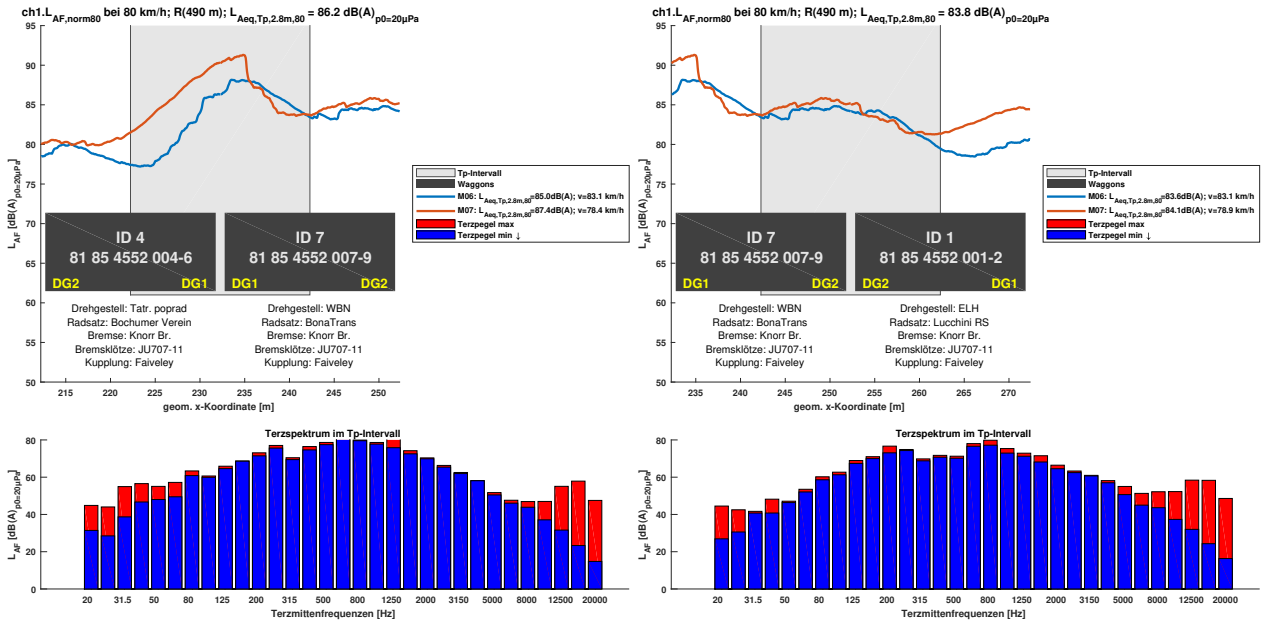


Abbildung A.50.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

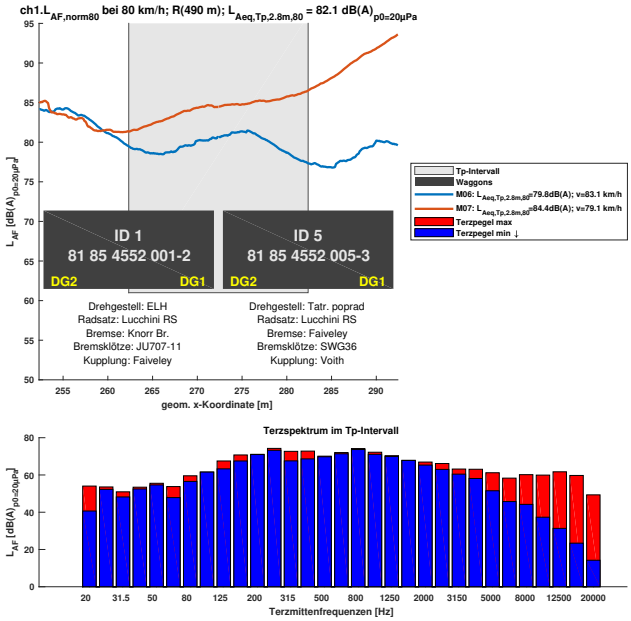


Abbildung A.51.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID01-ID05]

A.3.2. Willisau, R=490m, Schalldruckpegel (3.38m Abstand, 1.1m Höhe)

Der abgebildete Schalldruckpegel bezieht sich auf den Referenzschalldruck $p0 = 20\,\mu Pa$.

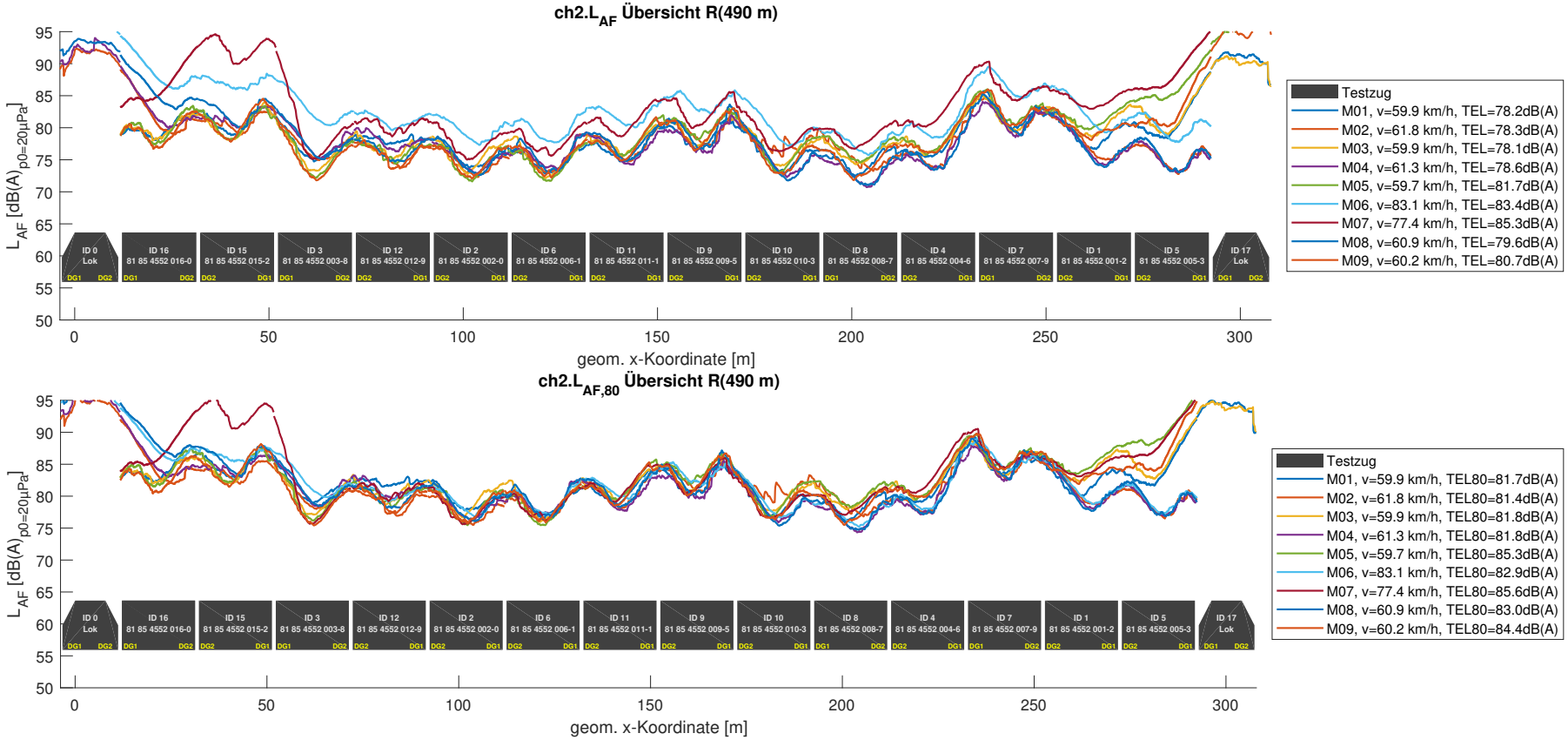


Abbildung A.52.: Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Willisau, R=490m)

A.3.2.1. Schalldruckpegel, v=060km/h

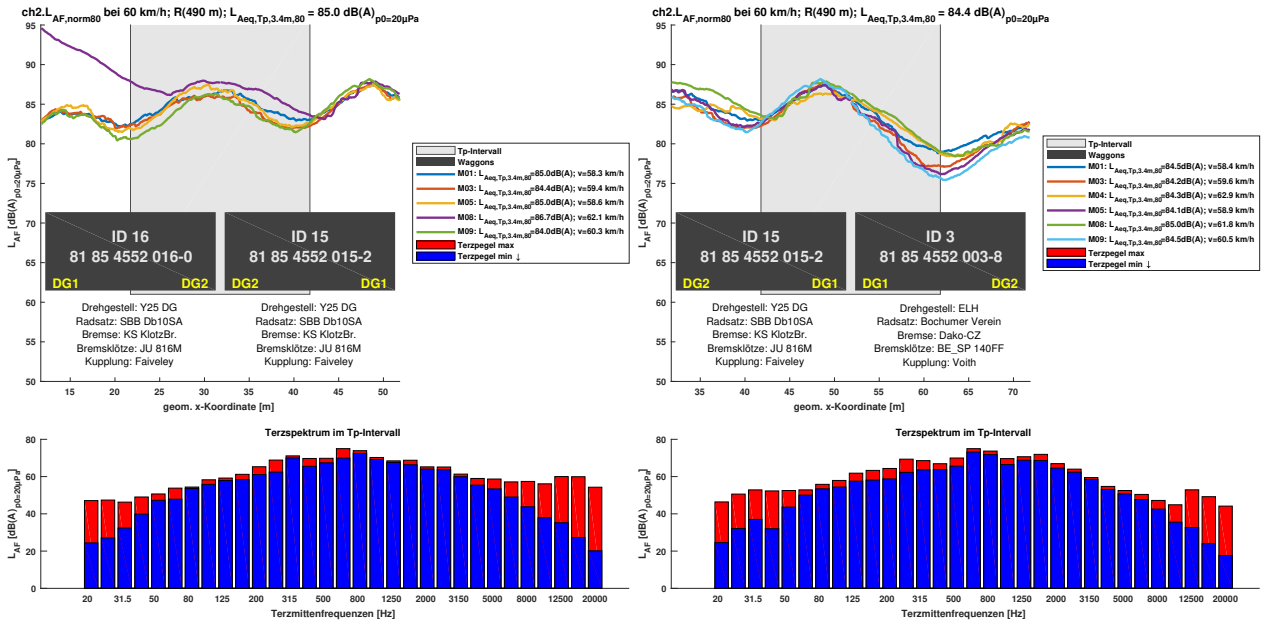


Abbildung A.53.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

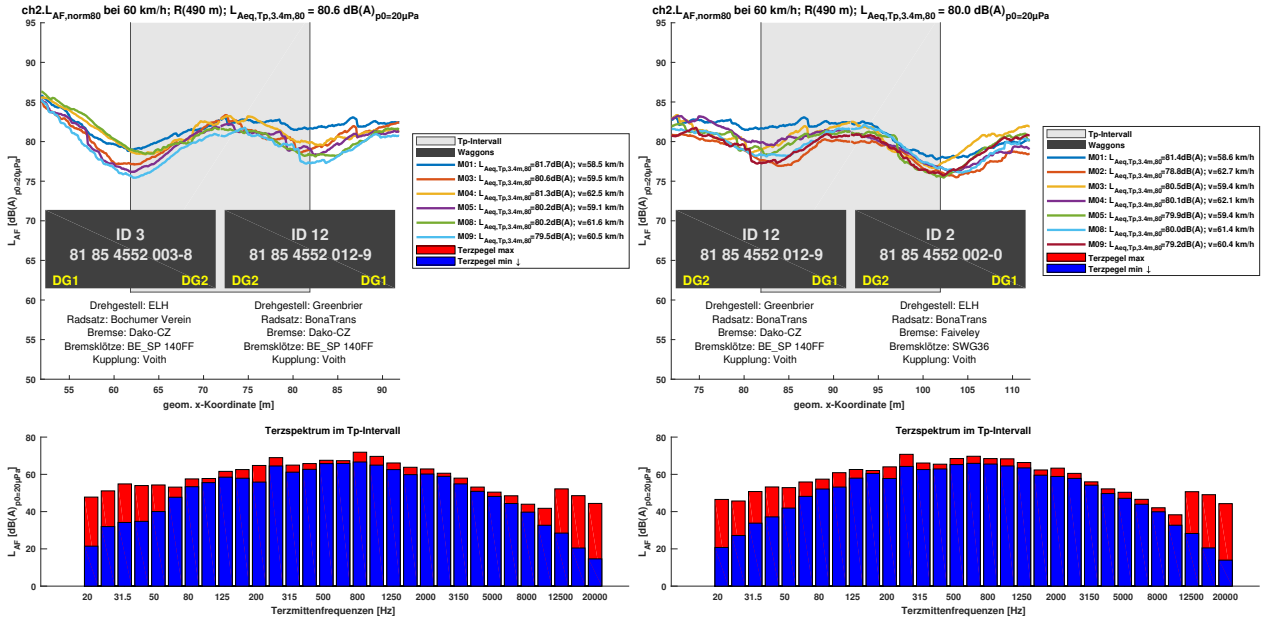


Abbildung A.54.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

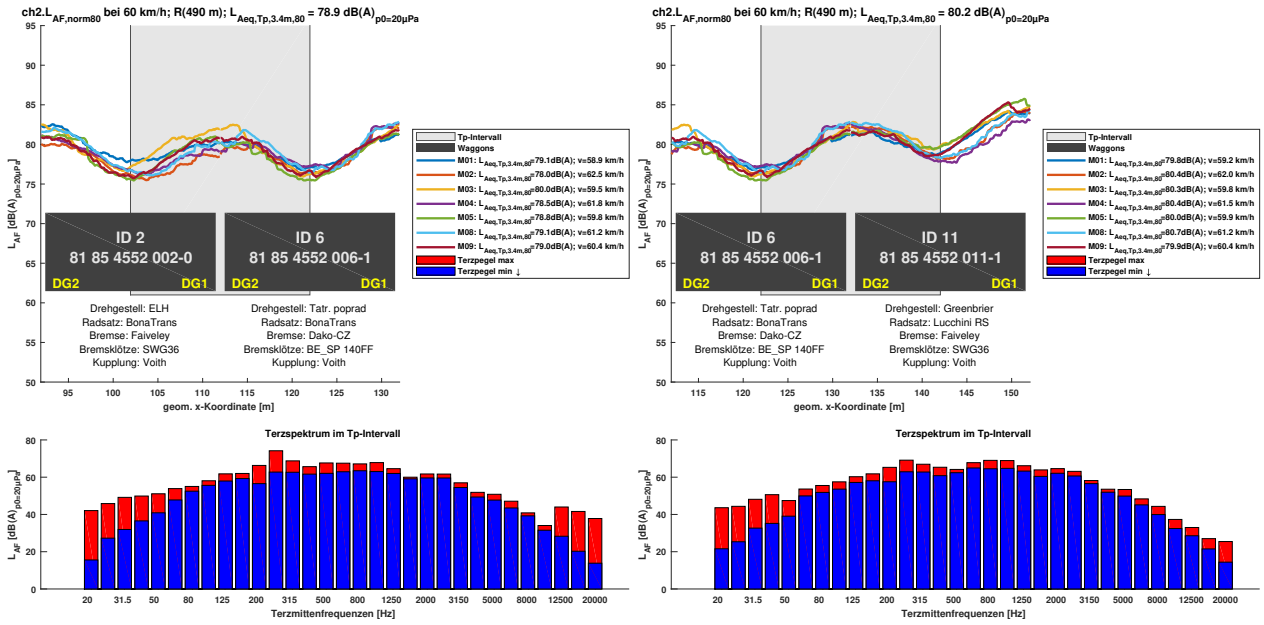


Abbildung A.55.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

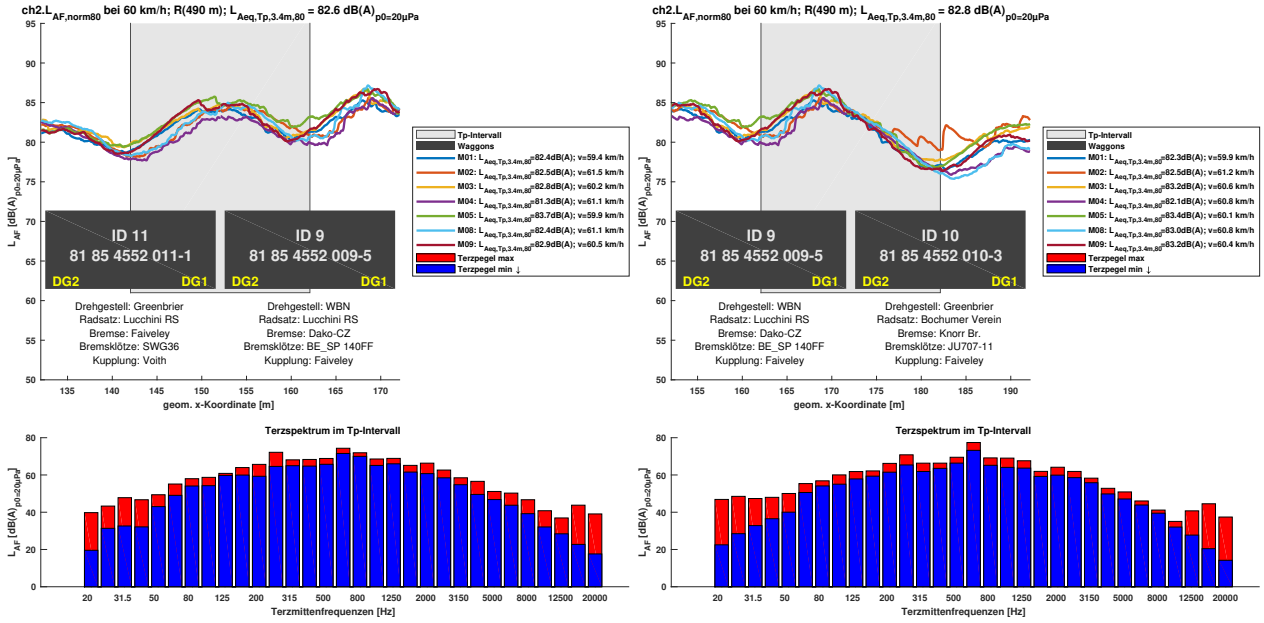


Abbildung A.56.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

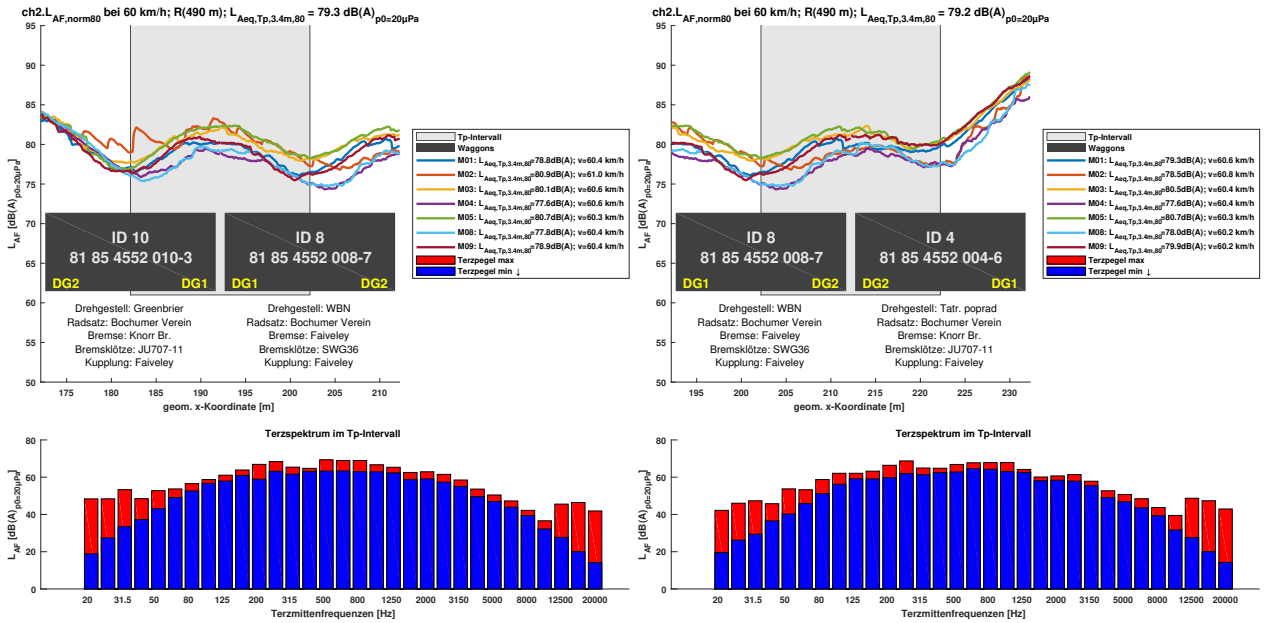


Abbildung A.57.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

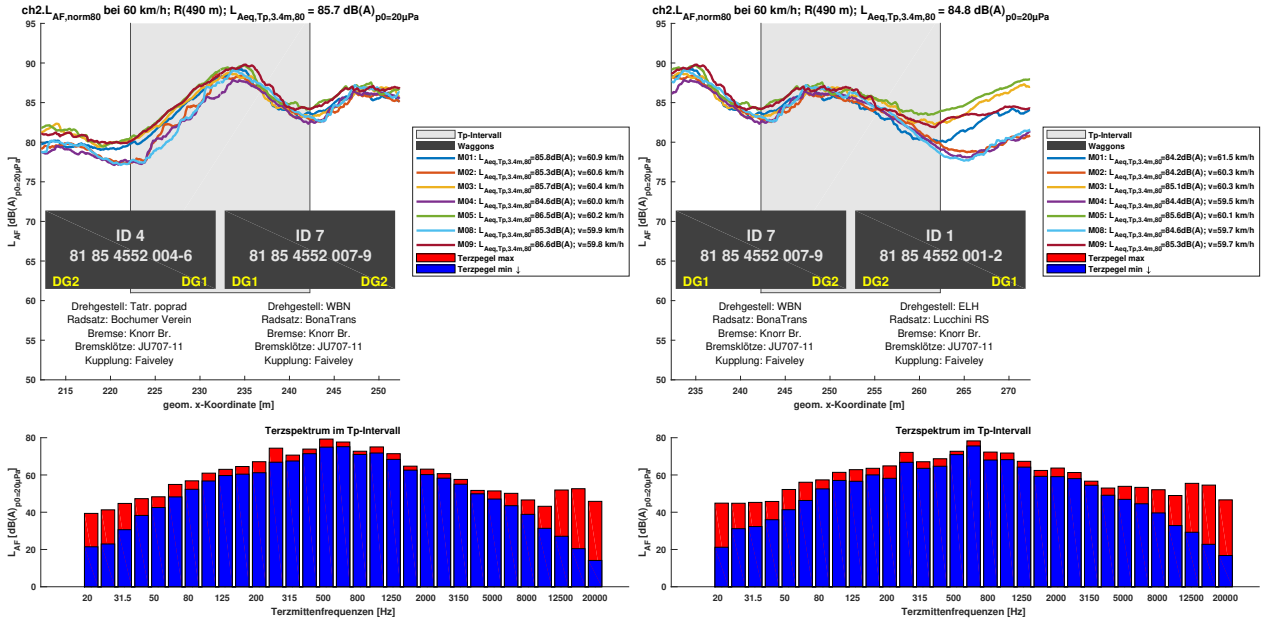


Abbildung A.58.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

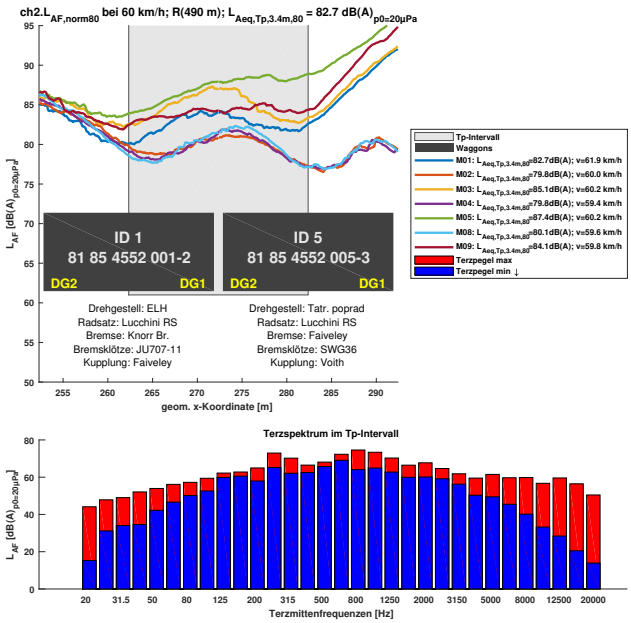


Abbildung A.59.: Willisau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID01-ID05]

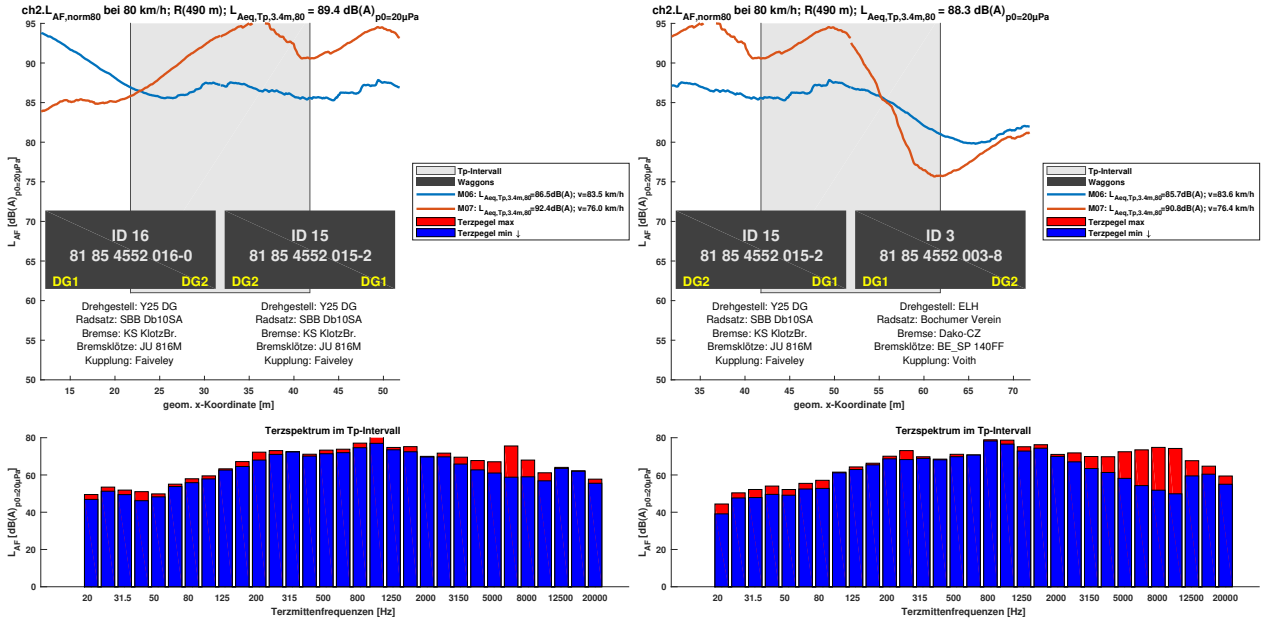


Abbildung A.60.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

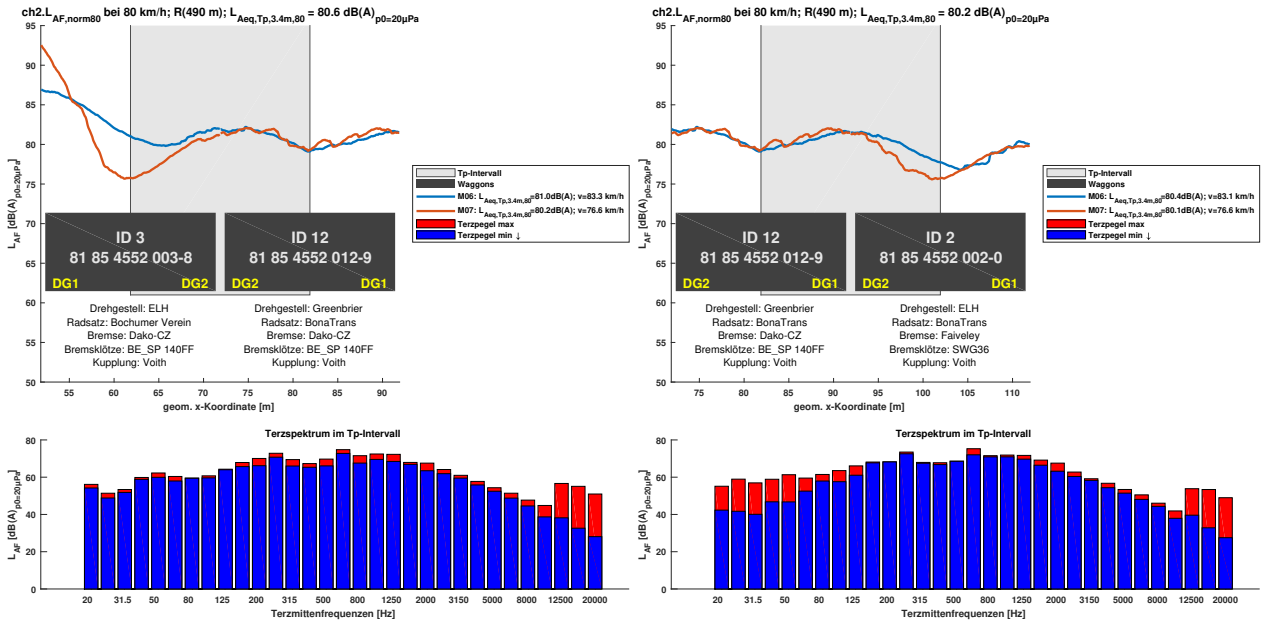


Abbildung A.61.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

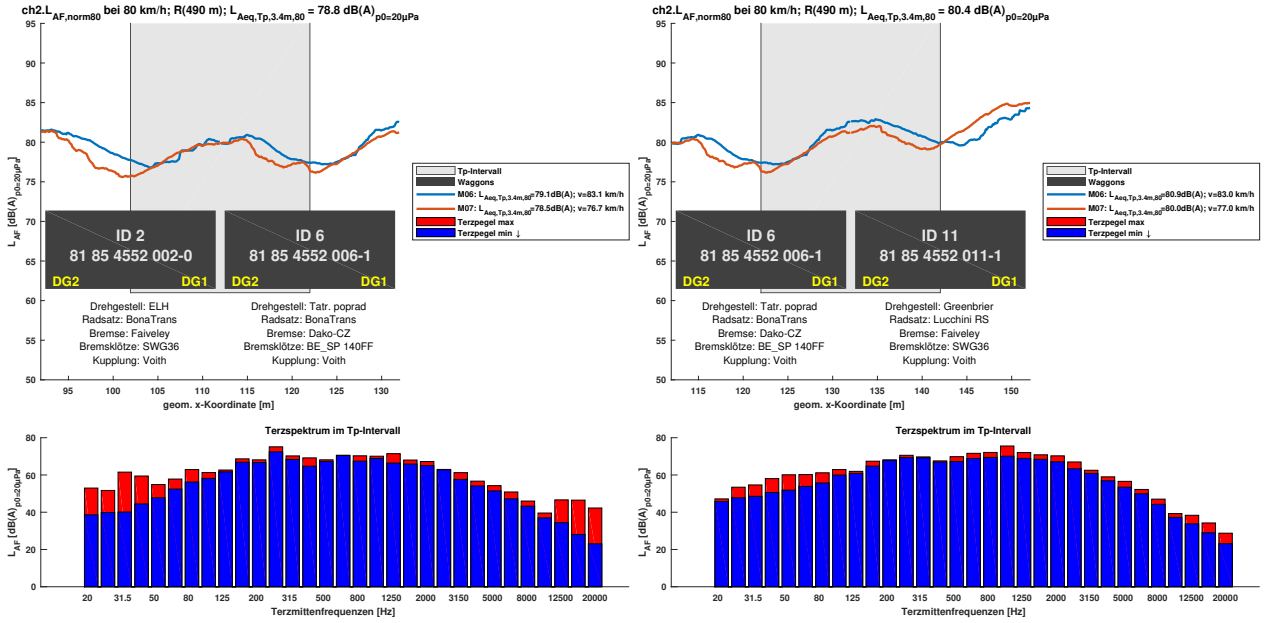


Abbildung A.62.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

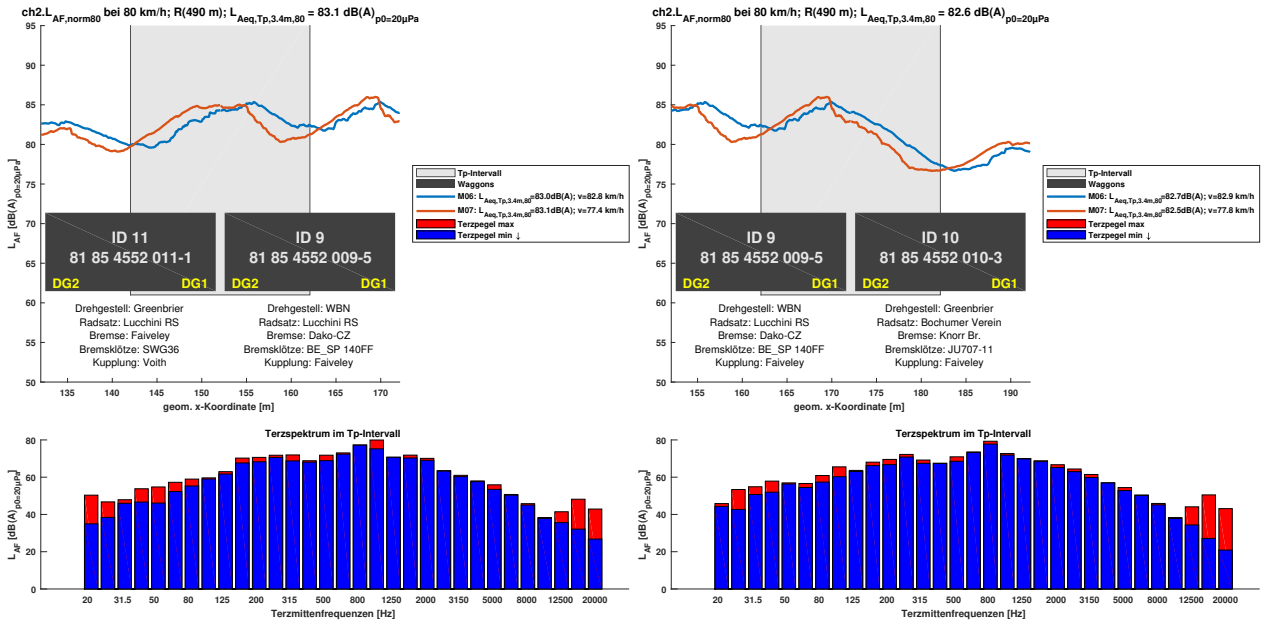


Abbildung A.63.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

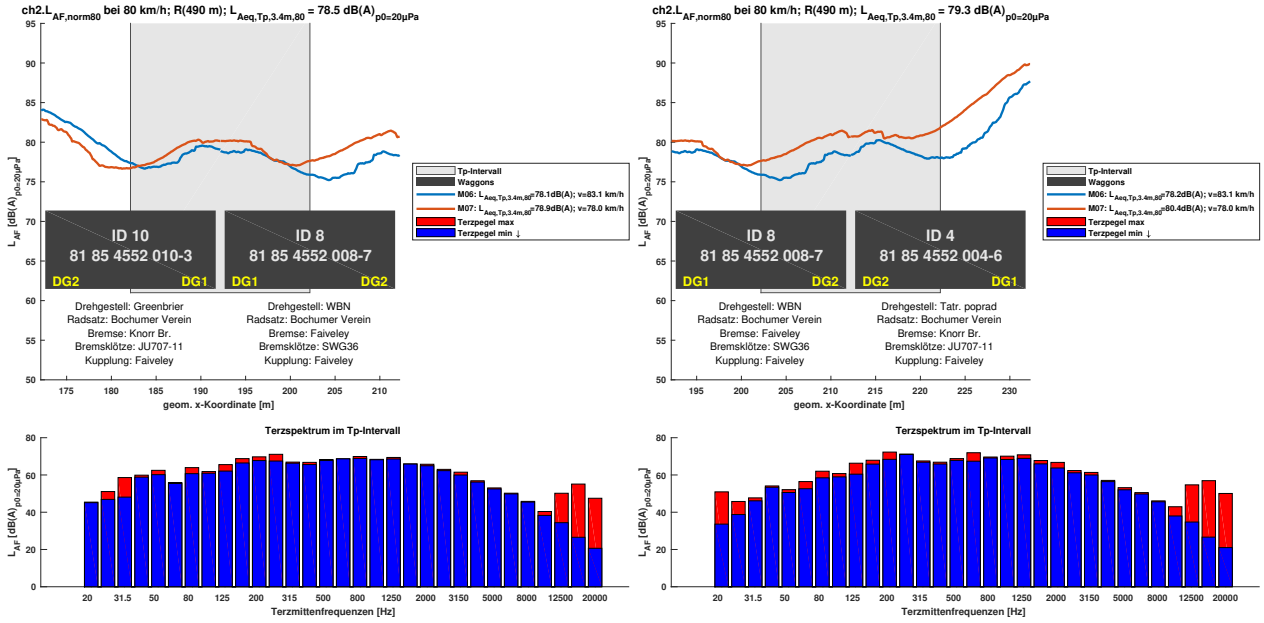


Abbildung A.64.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

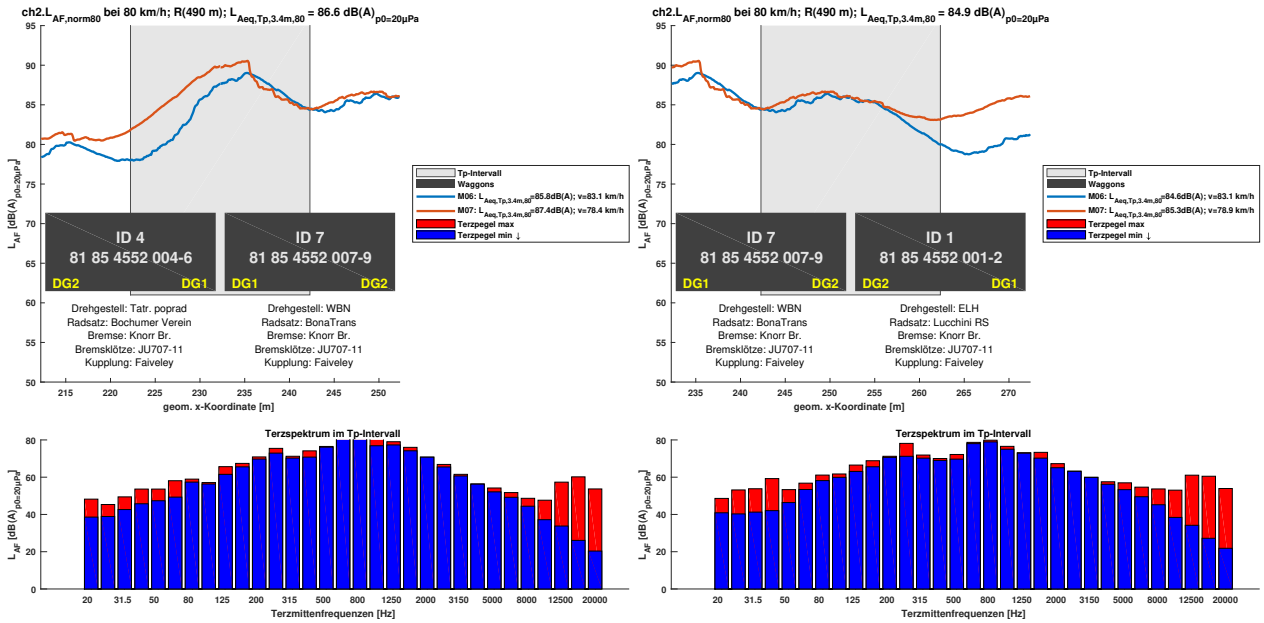


Abbildung A.65.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

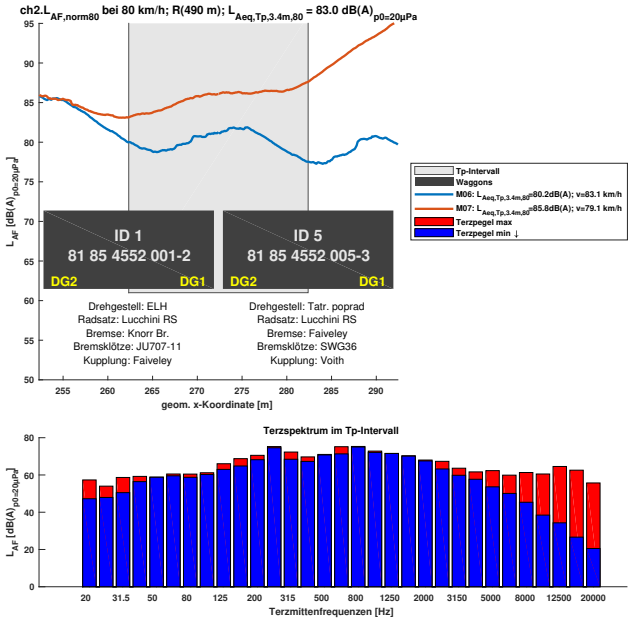


Abbildung A.66.: Willisau: Schalldruckpegel, v=080km/h, [ID01-ID05]

A.3.3. Willisau, R=490m, Beschleunigungspegel (am Schienenkopf, lateral)

Der abgebildete Beschleunigungspegel bezieht sich auf den Referenzbeschleunigungswert $a0 = 1\,mm/s^2$.

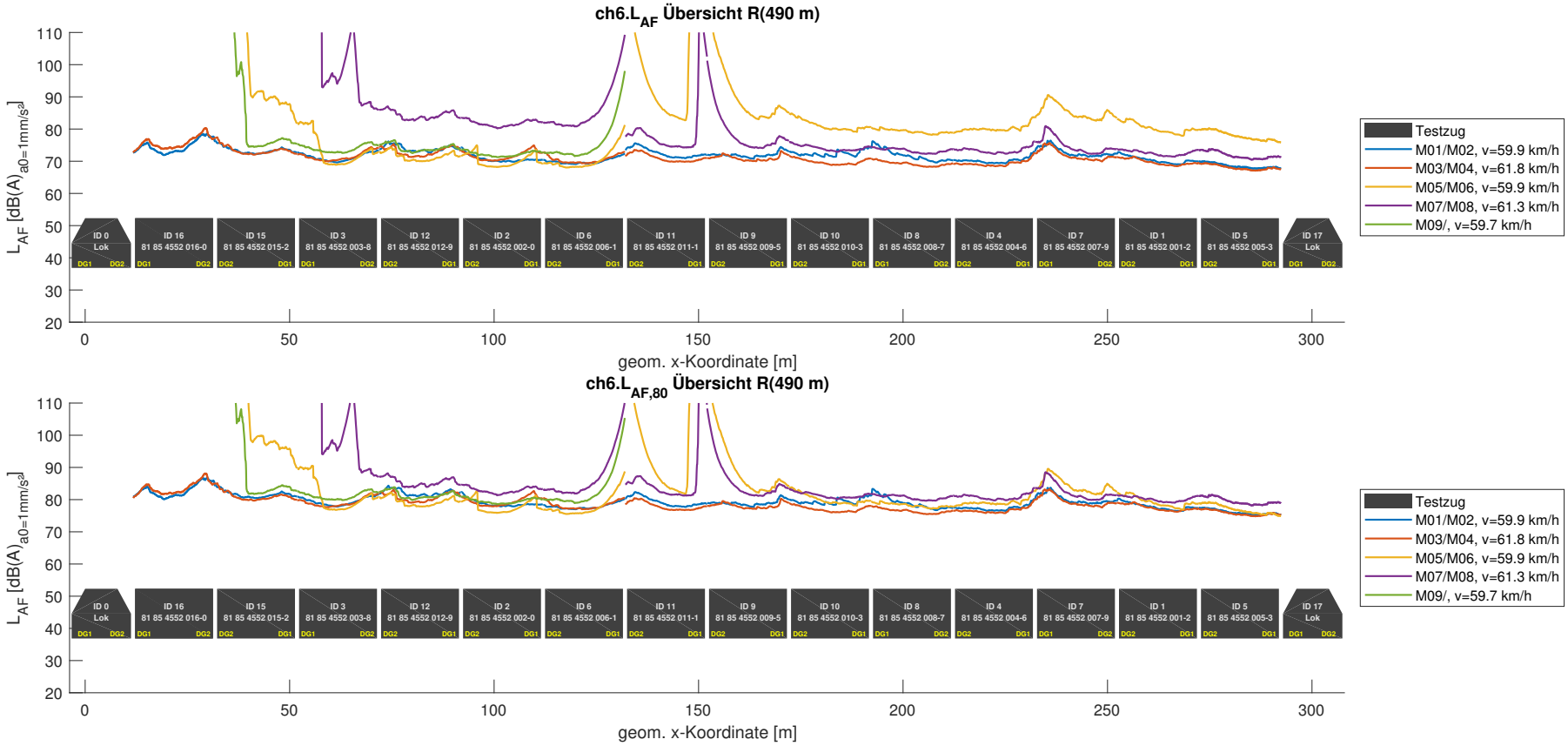


Abbildung A.67.: Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Willisau, R=490m)

A.3.3.1. Beschleunigungspegel, v=060km/h

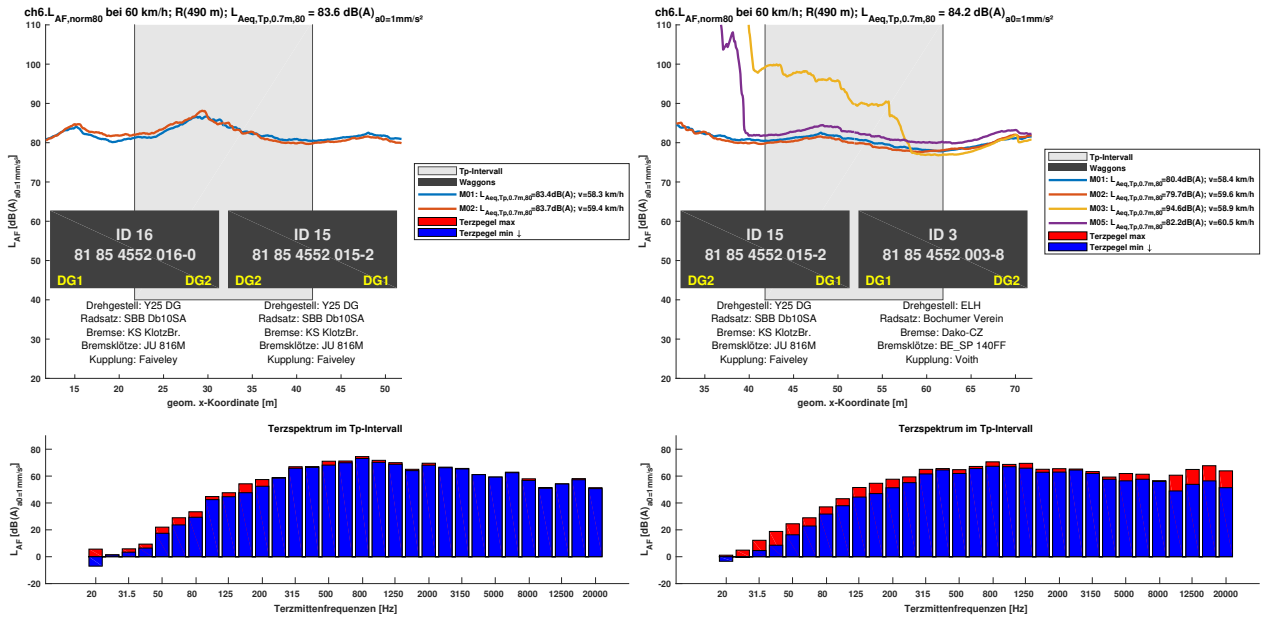


Abbildung A.68.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

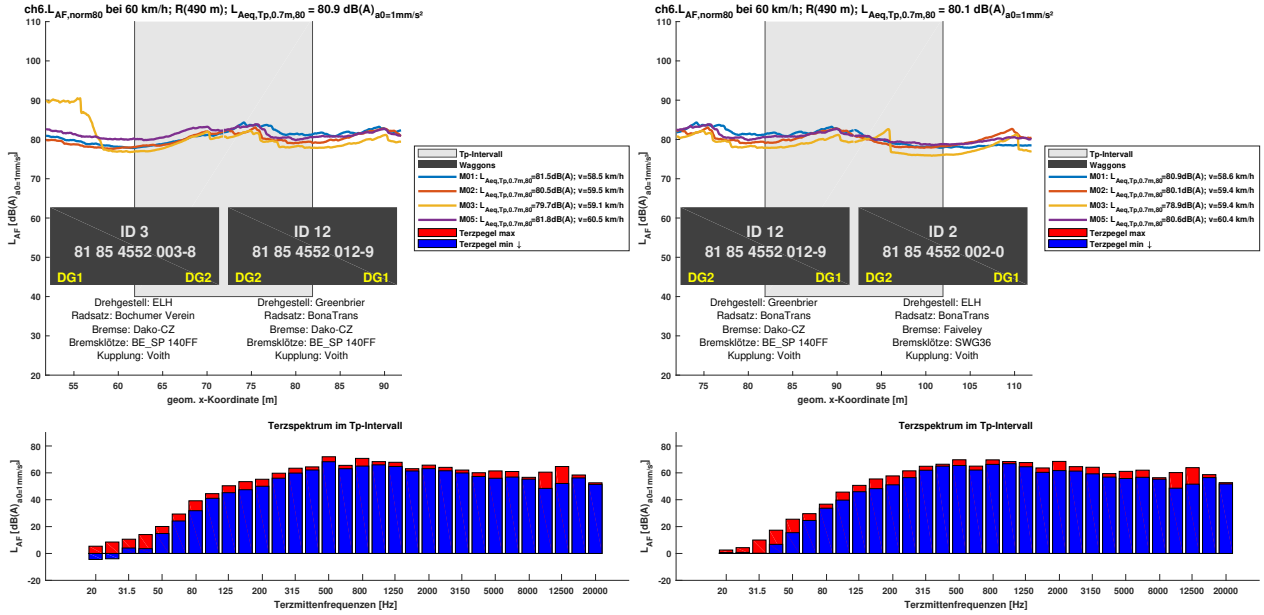


Abbildung A.69.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

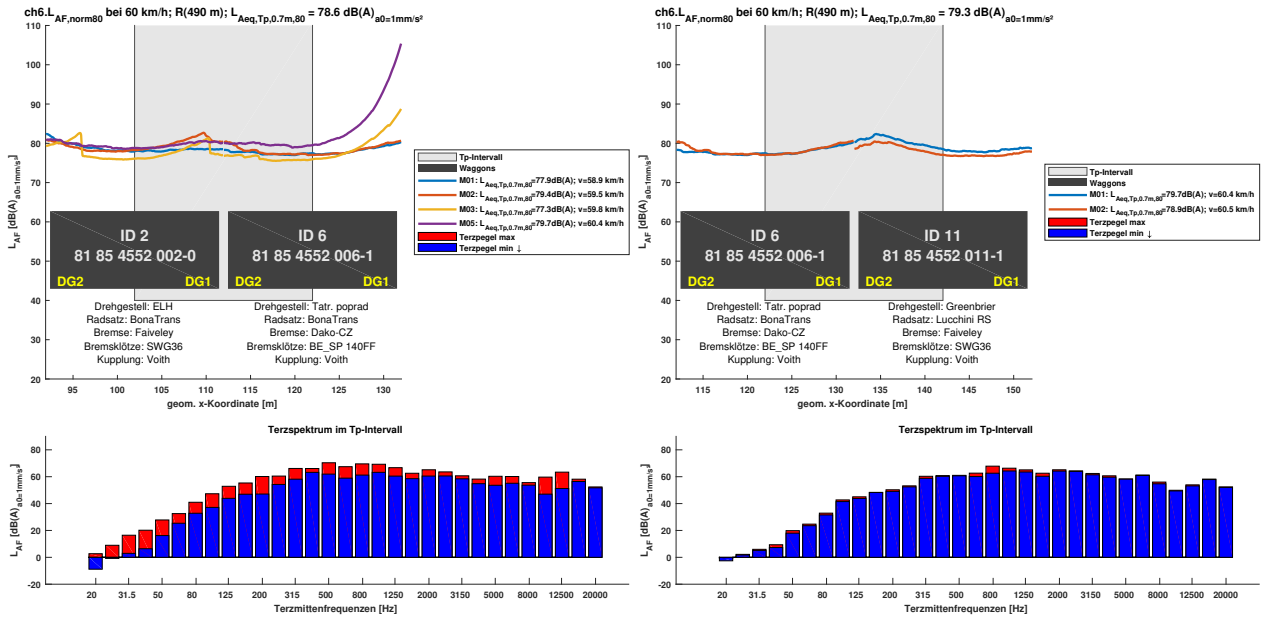


Abbildung A.70.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

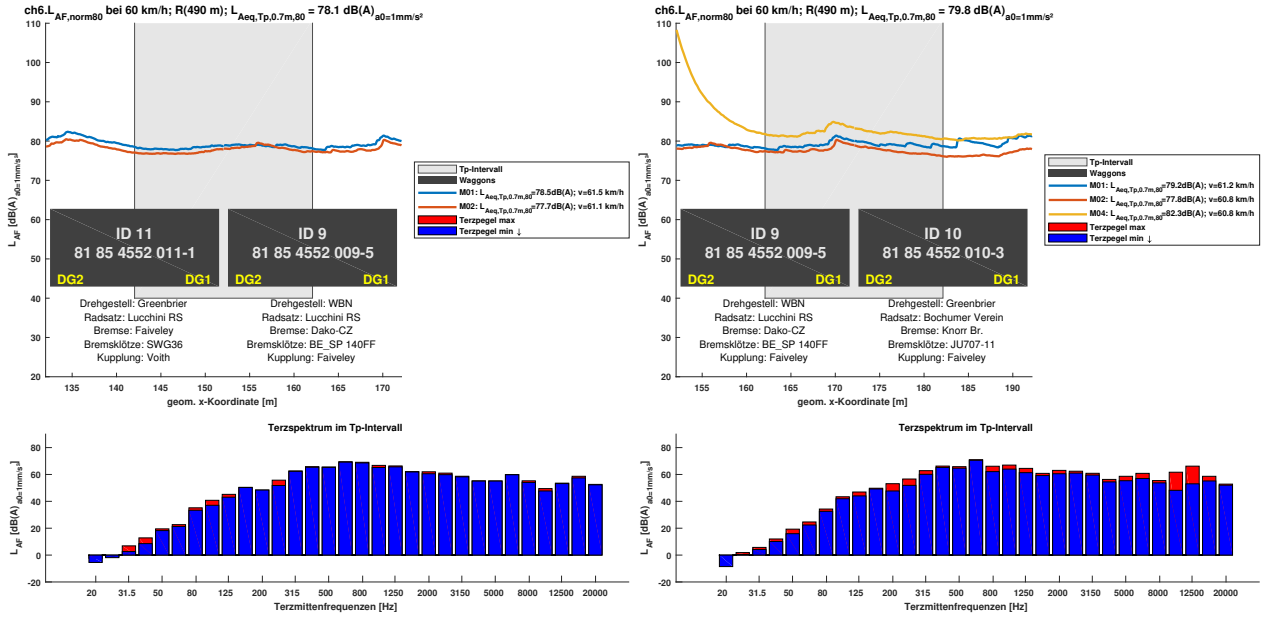


Abbildung A.71.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

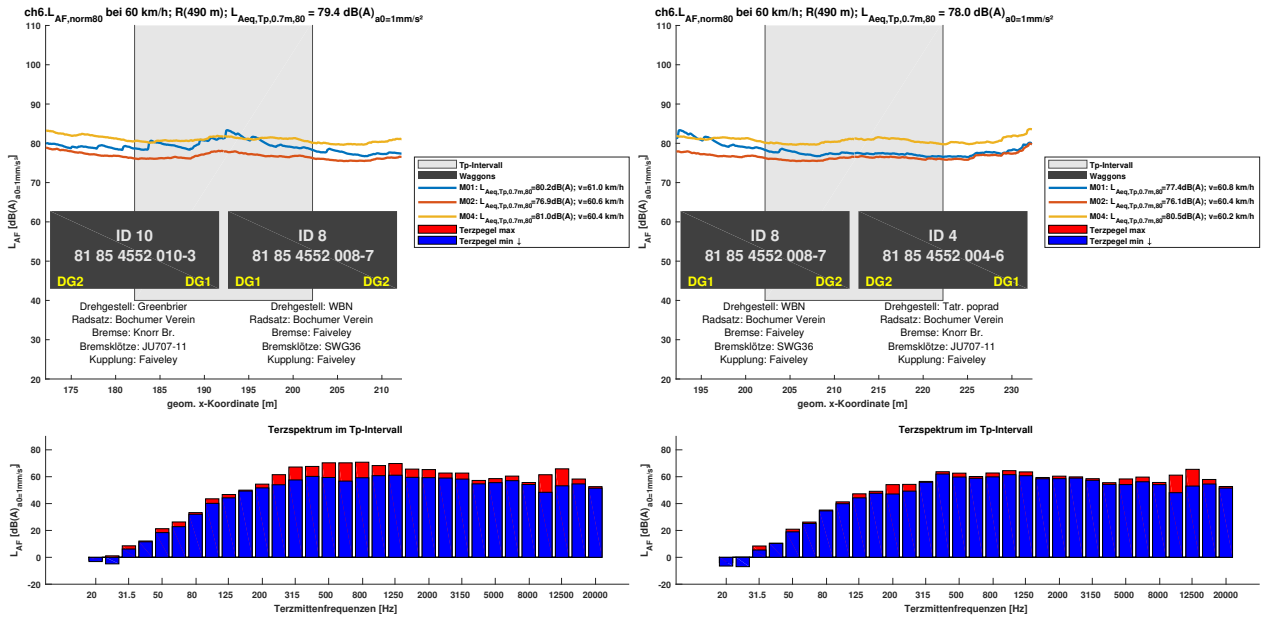


Abbildung A.72.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

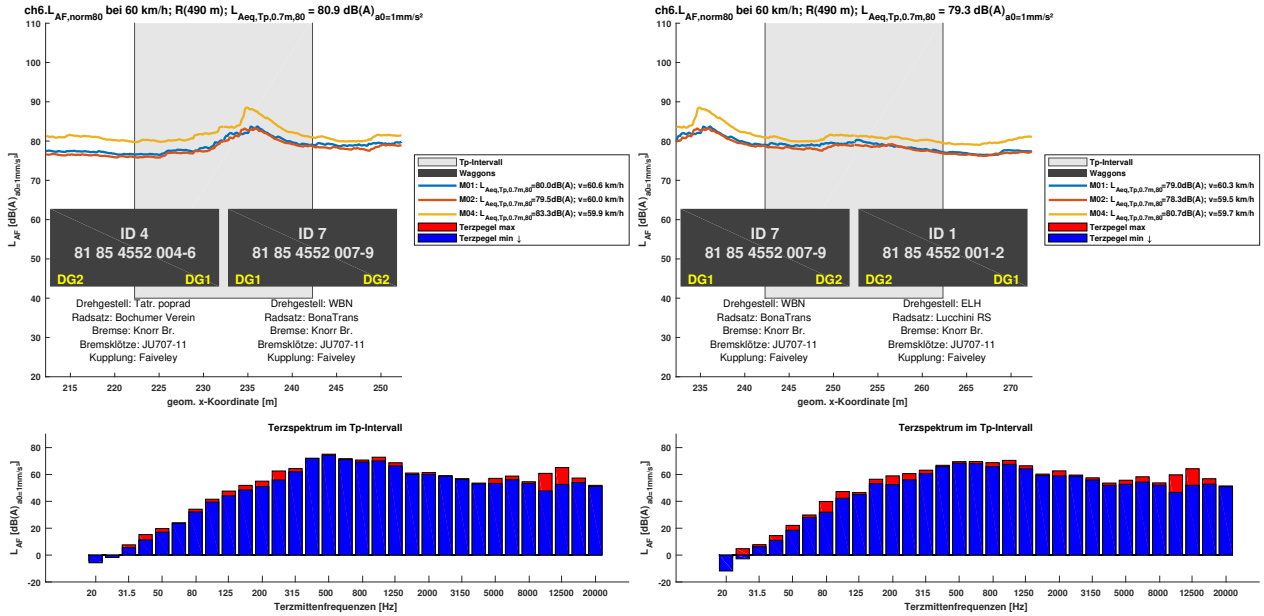


Abbildung A.73.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

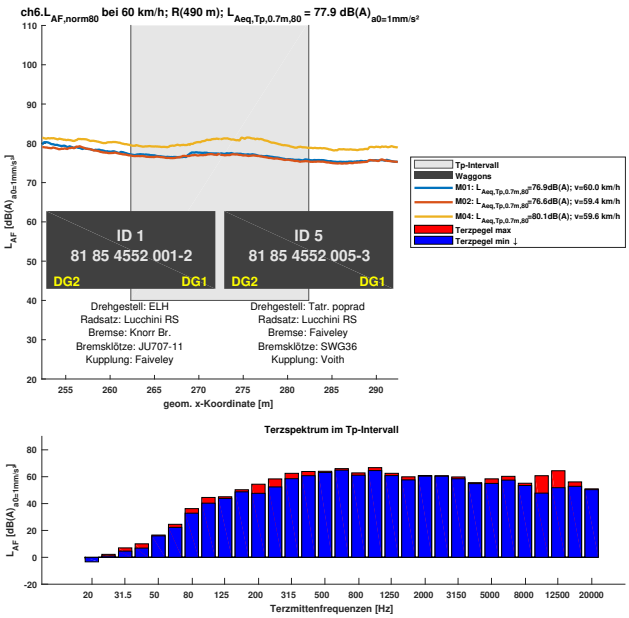


Abbildung A.74.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID01-ID05]

A.3.3.2. Beschleunigungspegel, v=080km/h

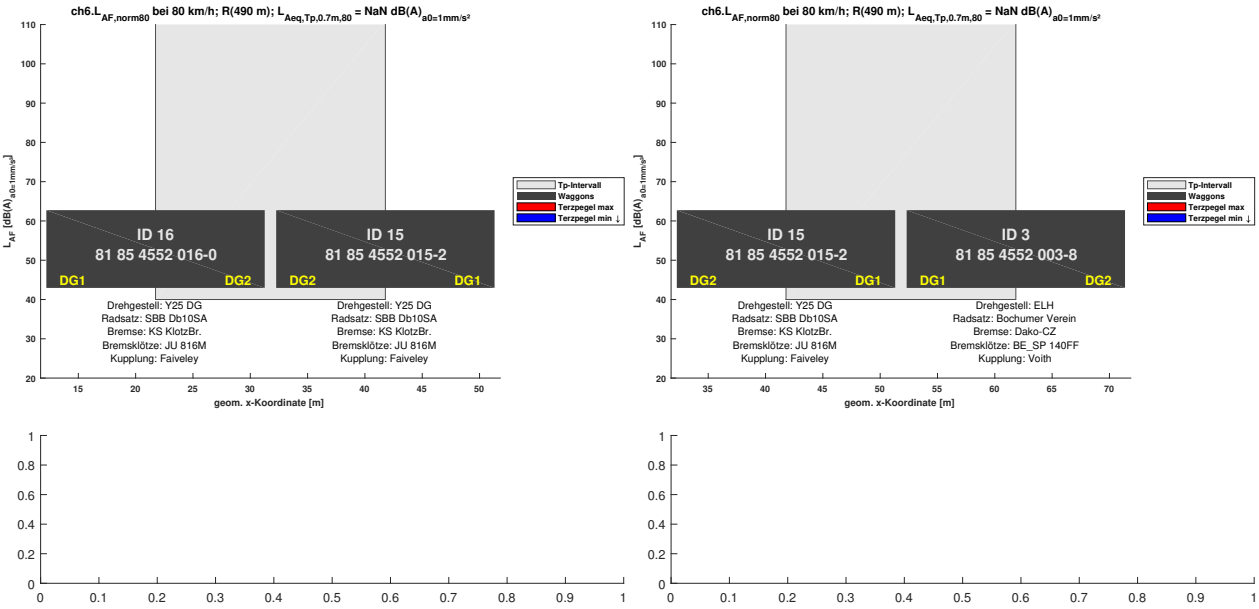


Abbildung A.75.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

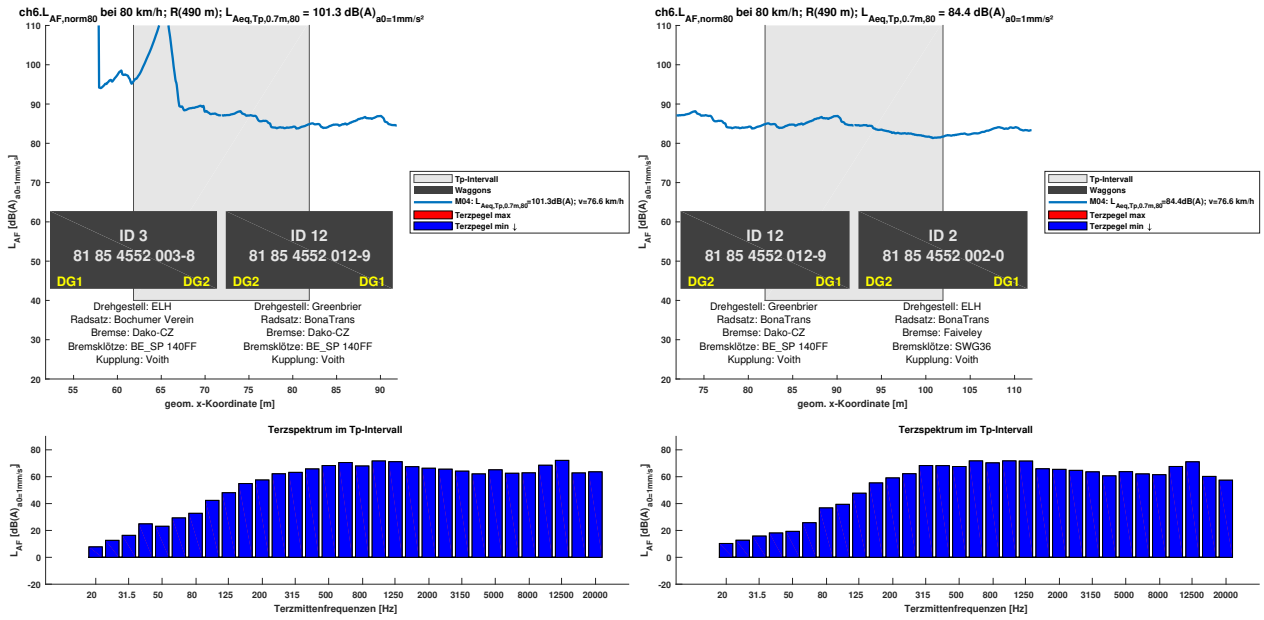


Abbildung A.76.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

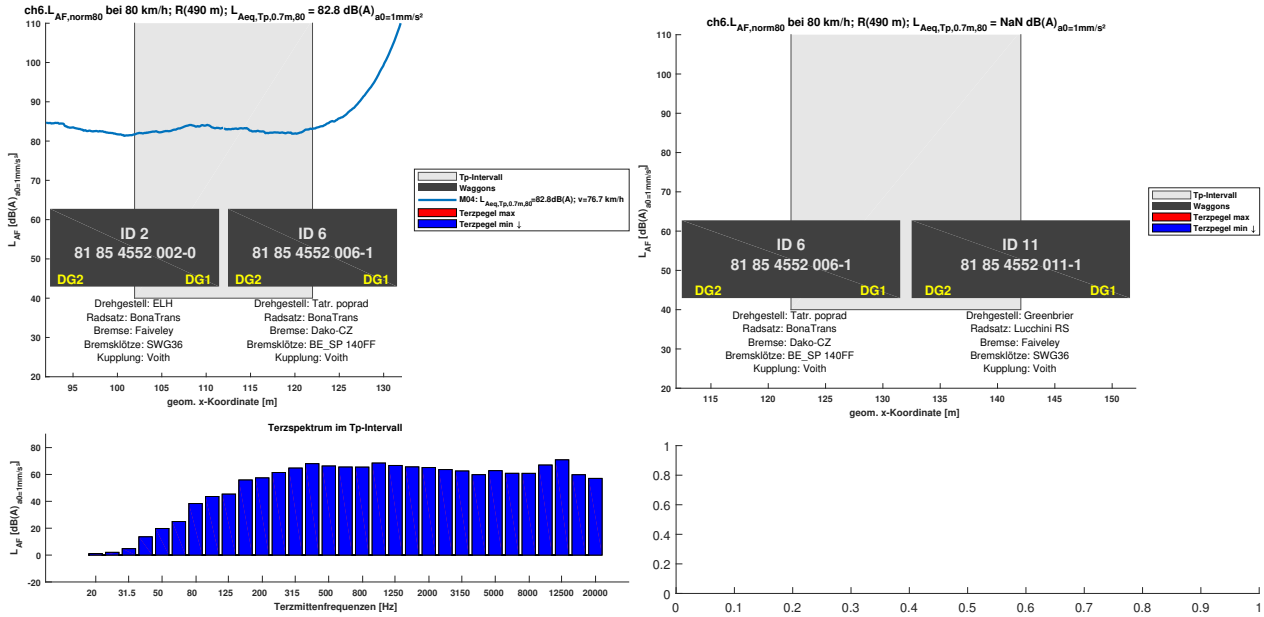


Abbildung A.77.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

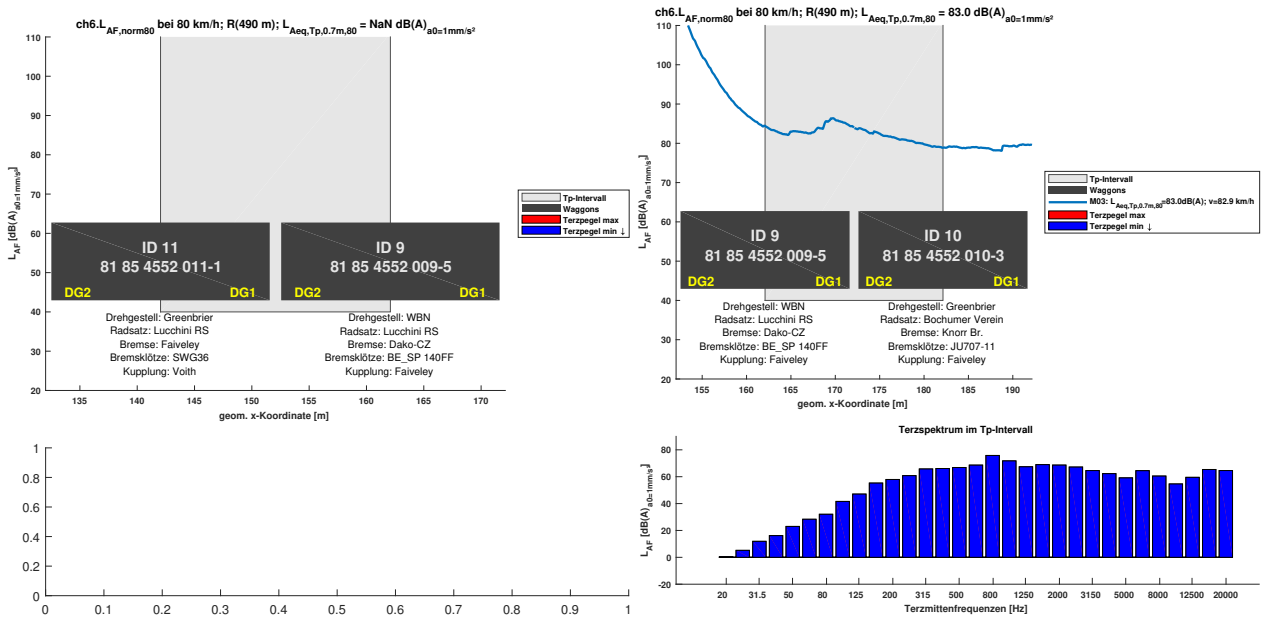


Abbildung A.78.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

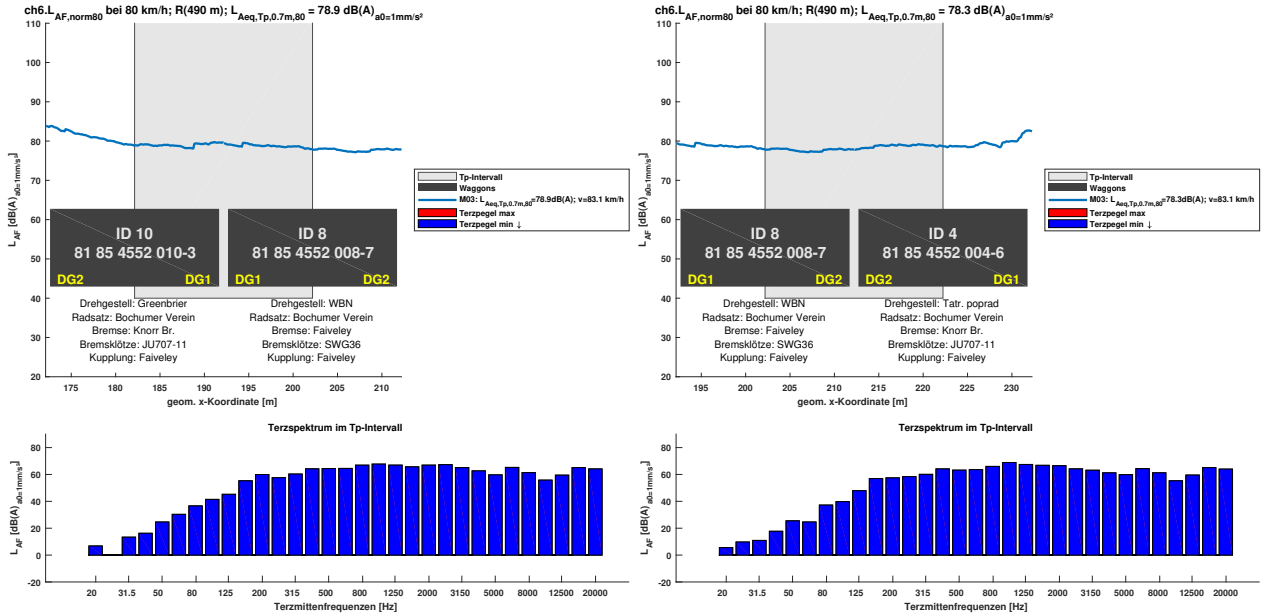


Abbildung A.79.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

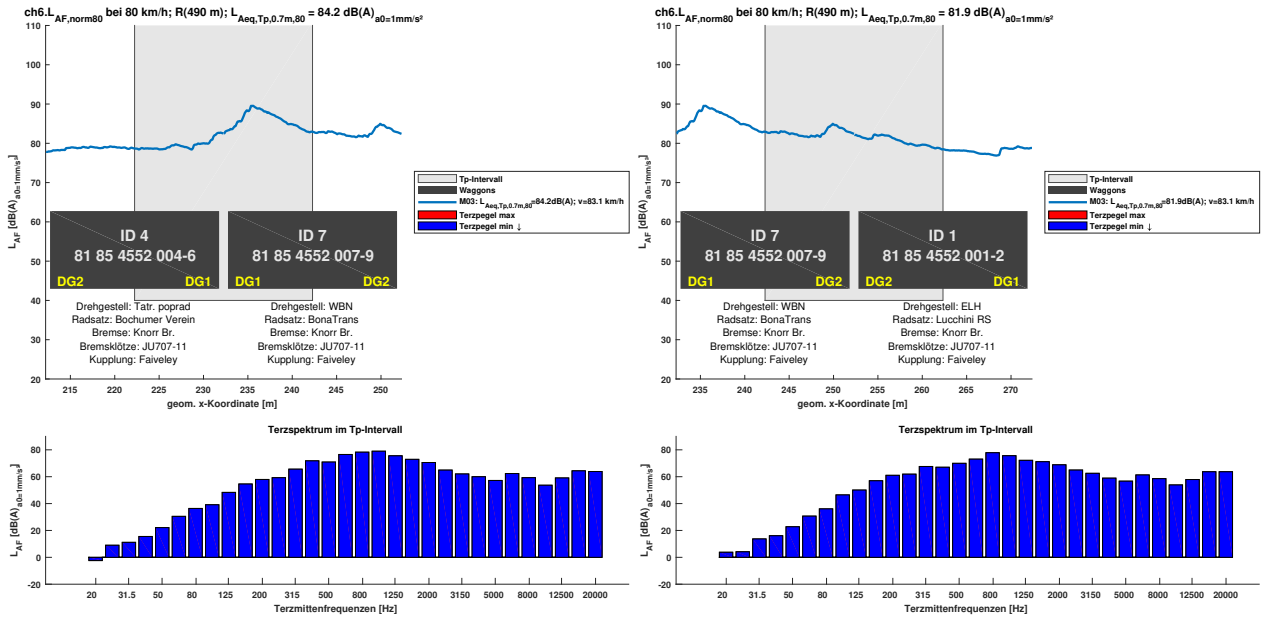


Abbildung A.80.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

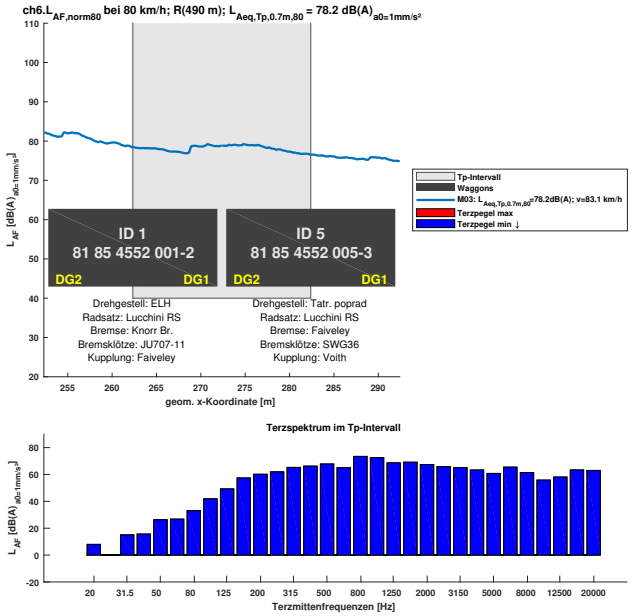


Abbildung A.81.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID01-ID05]

A.3.4. Willisau, R=490m, Beschleunigungspegel (am Schienenkopf, transversal)

Der abgebildete Beschleunigungspegel bezieht sich auf den Referenzbeschleunigungswert $a0 = 1\,mm/s^2$.

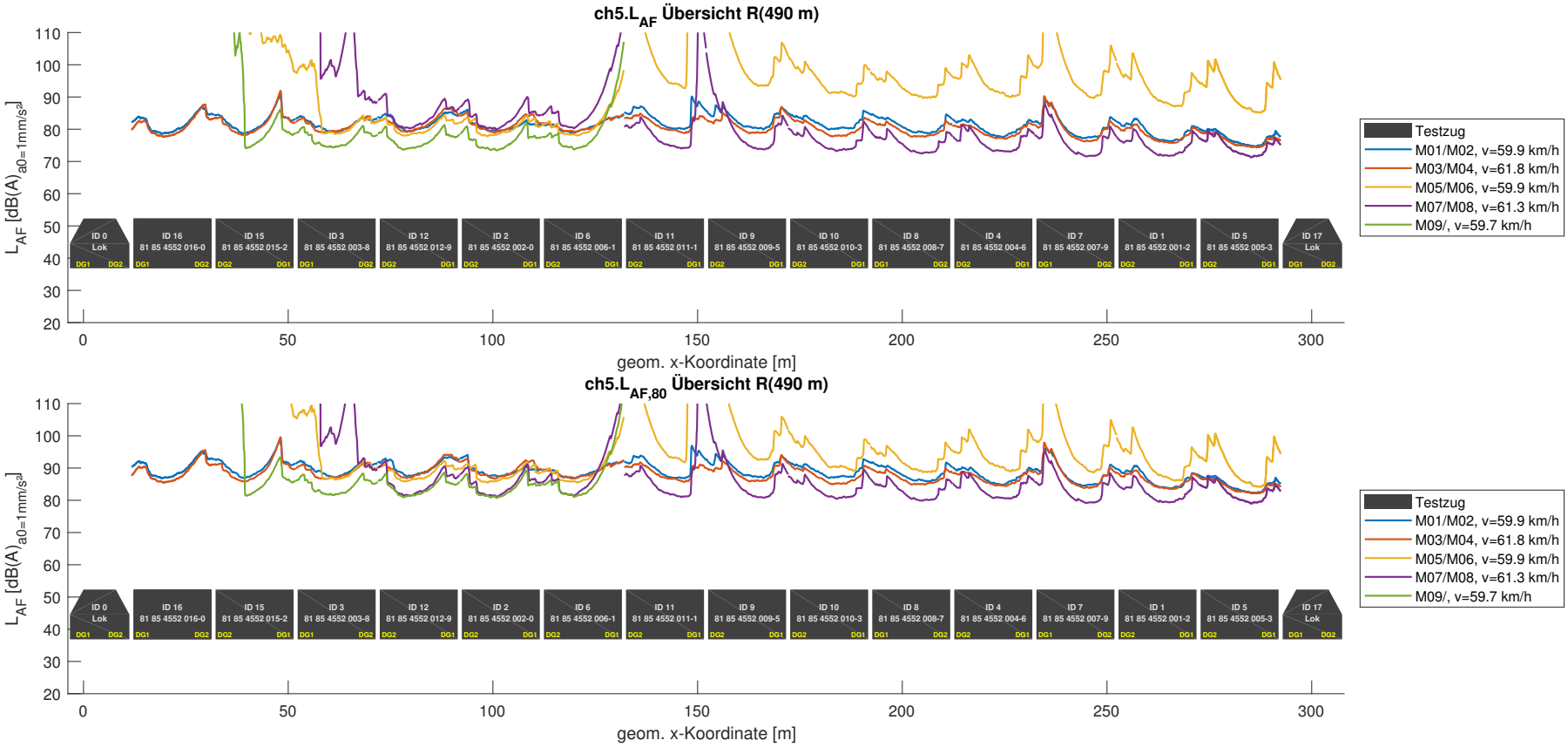


Abbildung A.82.: Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Willisau, R=490m)

A.3.4.1. Beschleunigungspegel, v=060km/h

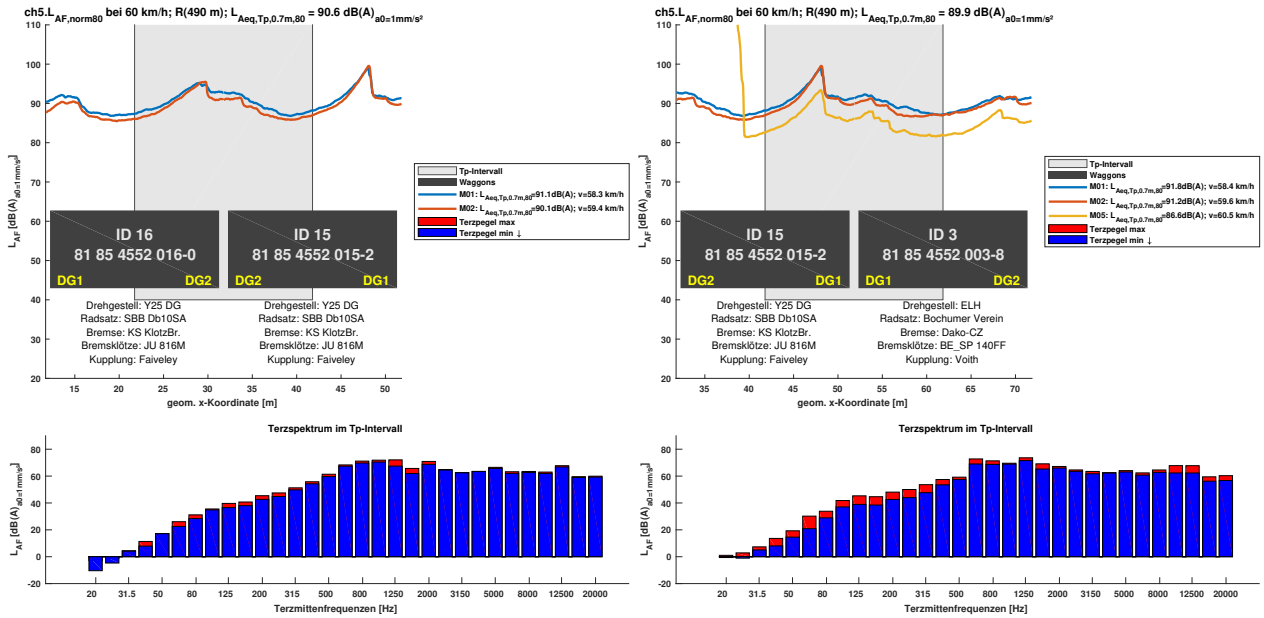


Abbildung A.83.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

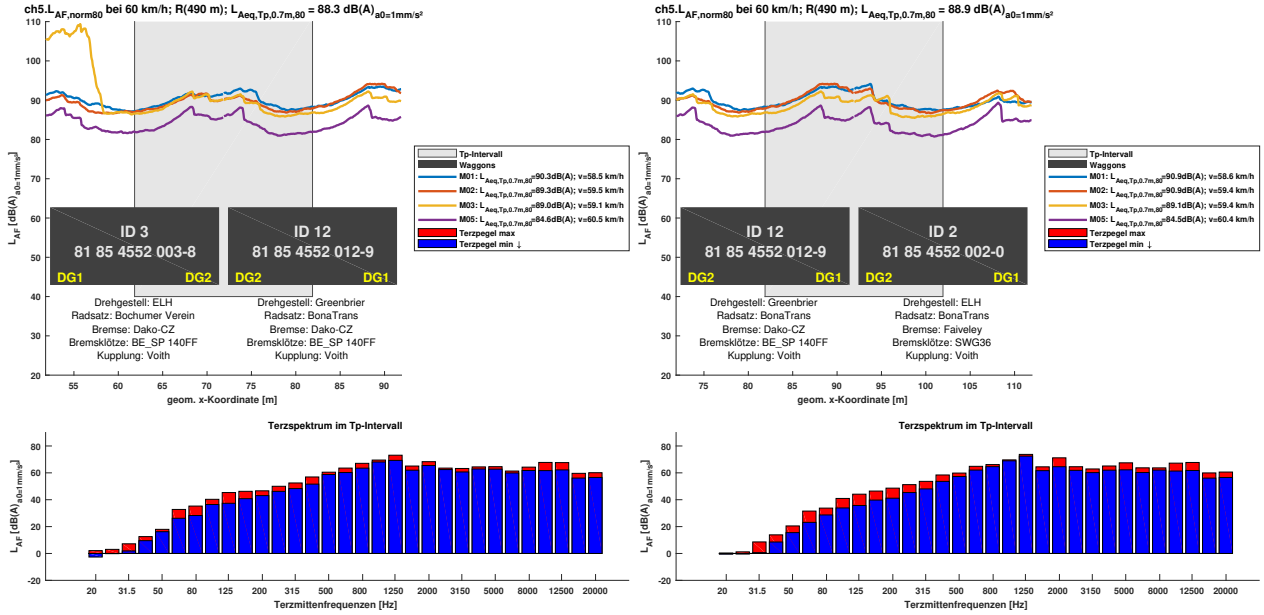


Abbildung A.84.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

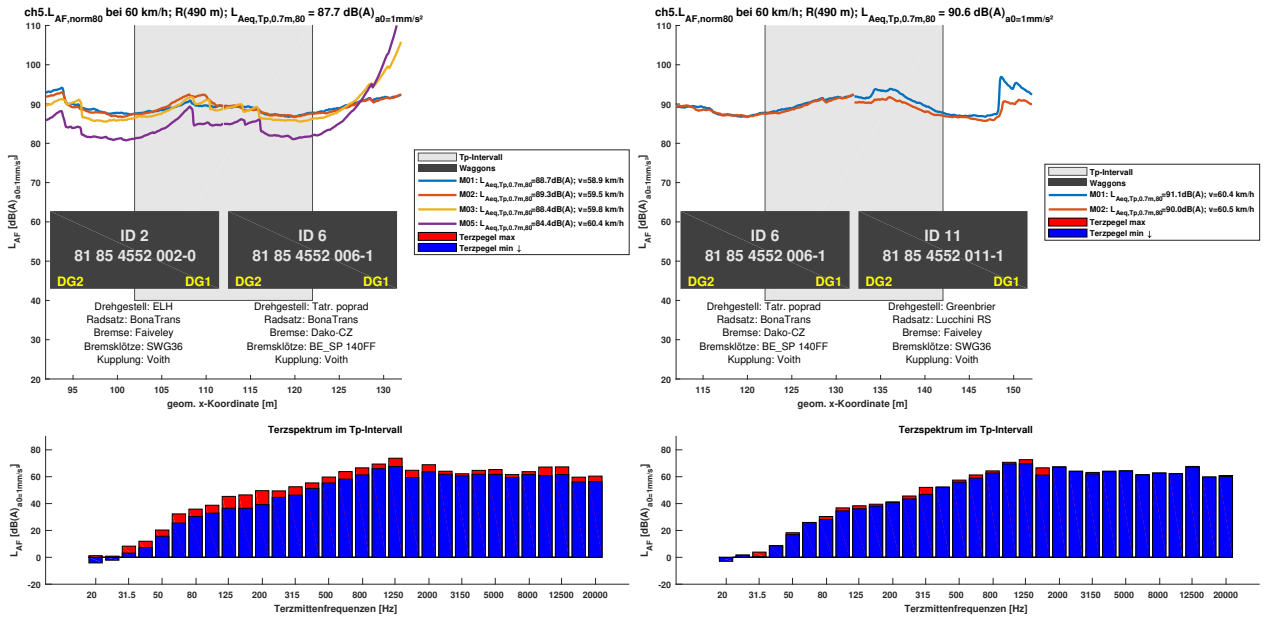


Abbildung A.85.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

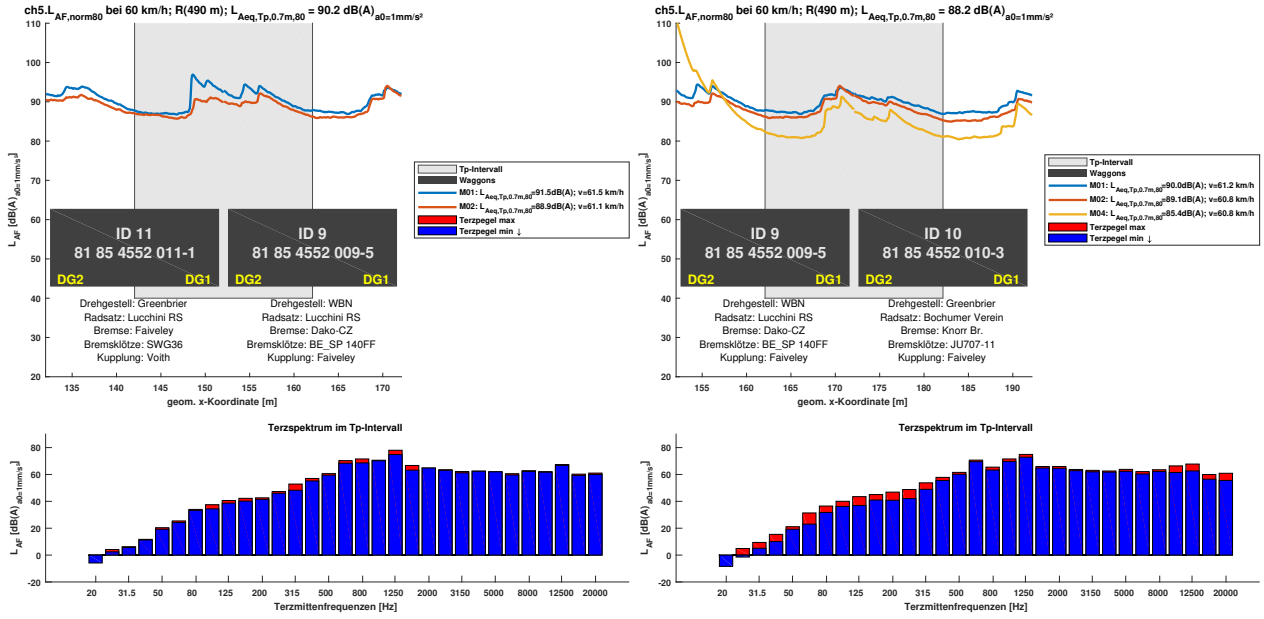


Abbildung A.86.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

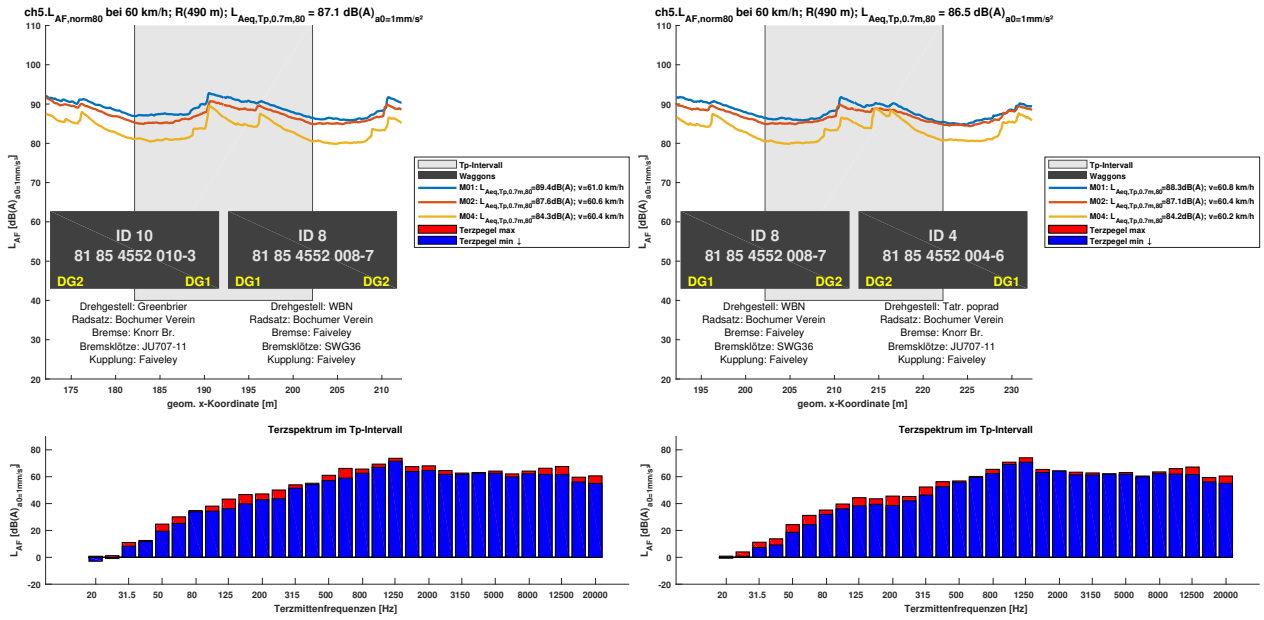


Abbildung A.87.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

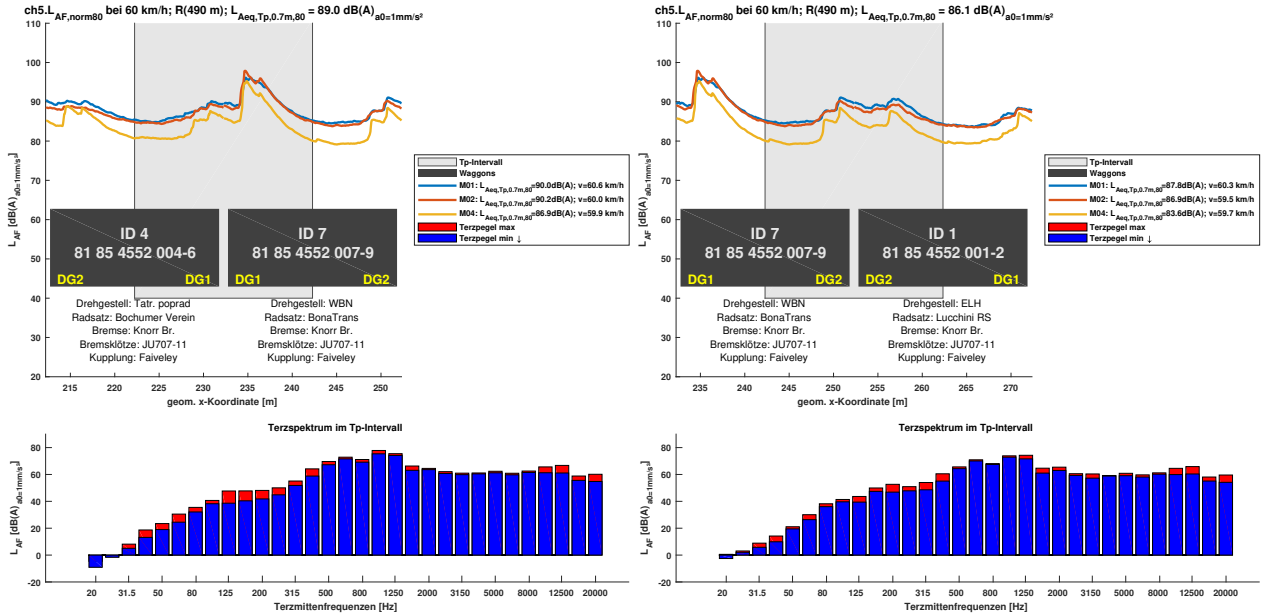


Abbildung A.88.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

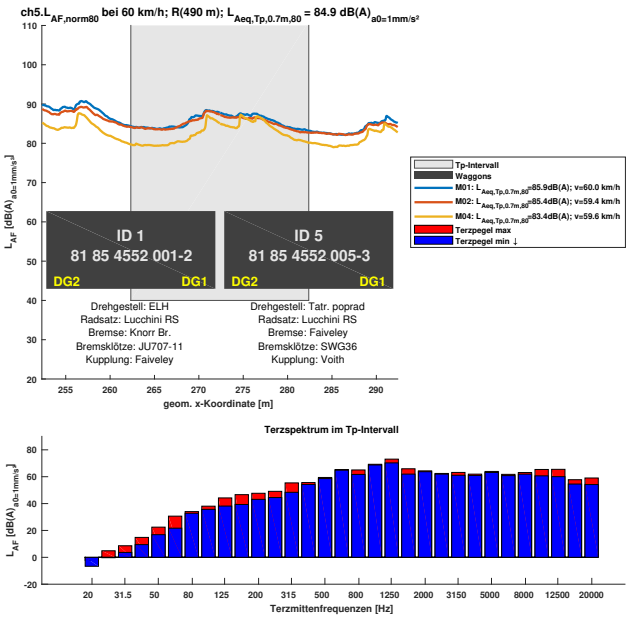


Abbildung A.89.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID01-ID05]

A.3.4.2. Beschleunigungspegel, v=080km/h

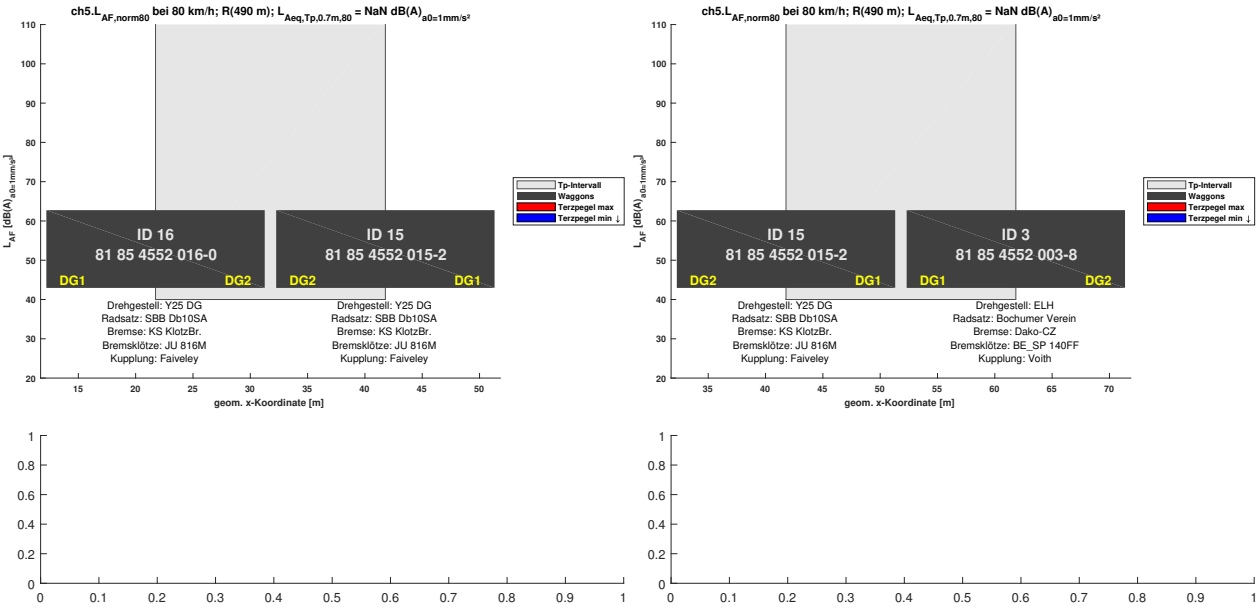


Abbildung A.90.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

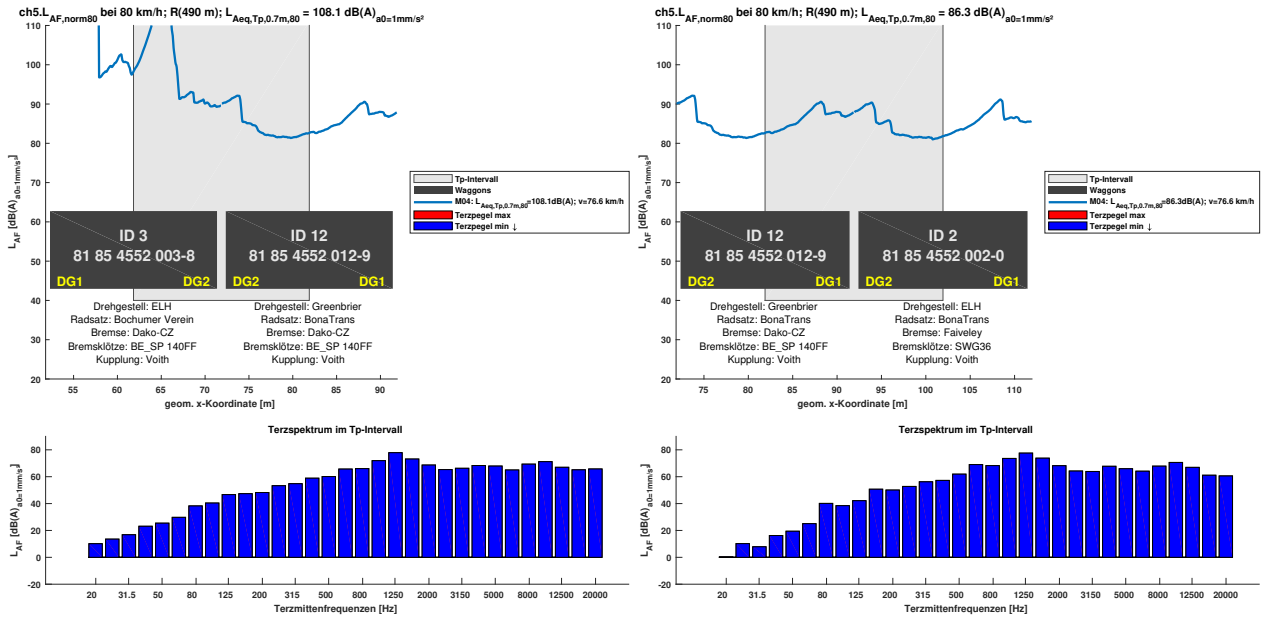


Abbildung A.91.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

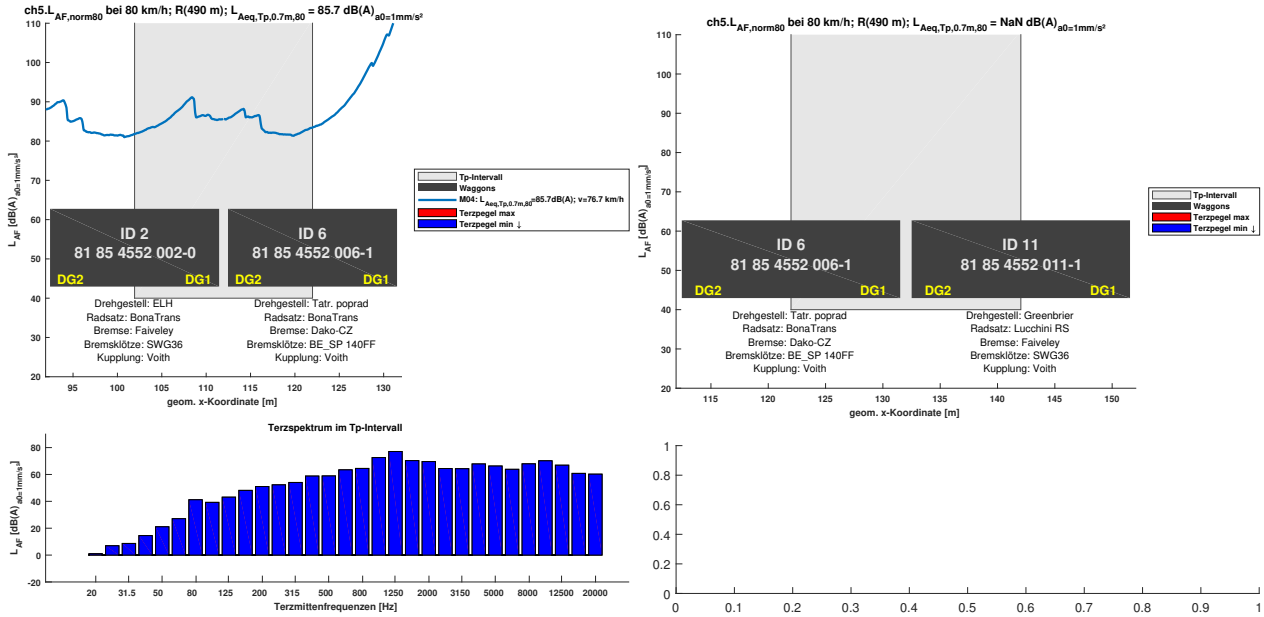


Abbildung A.92.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

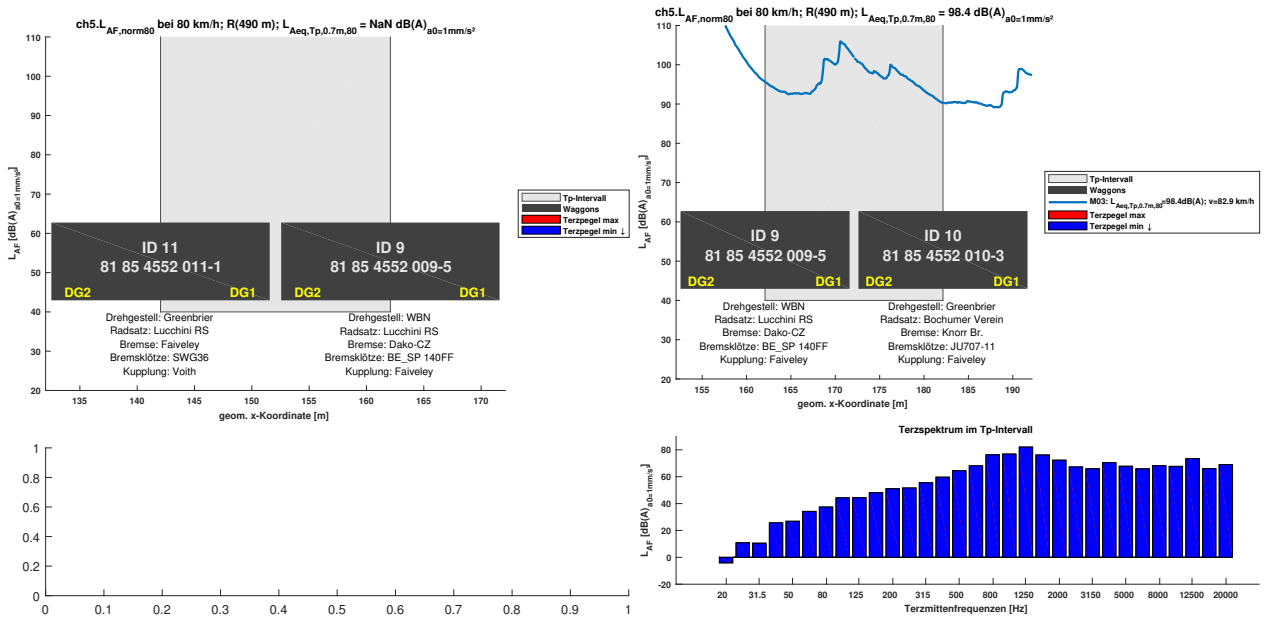


Abbildung A.93.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

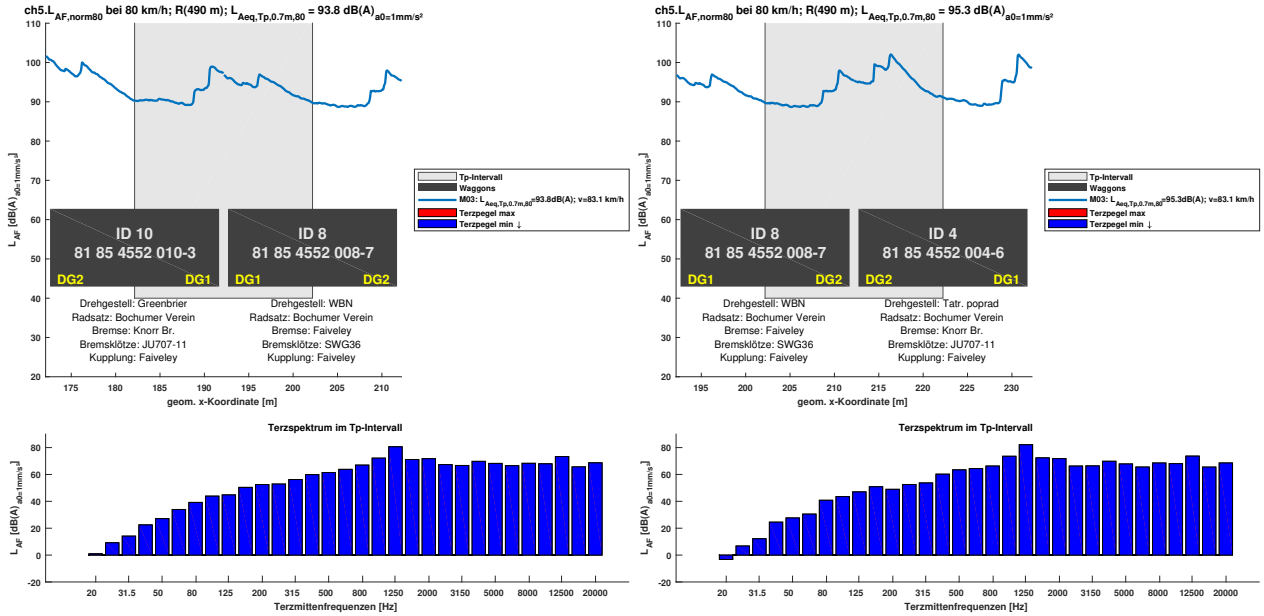


Abbildung A.94.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

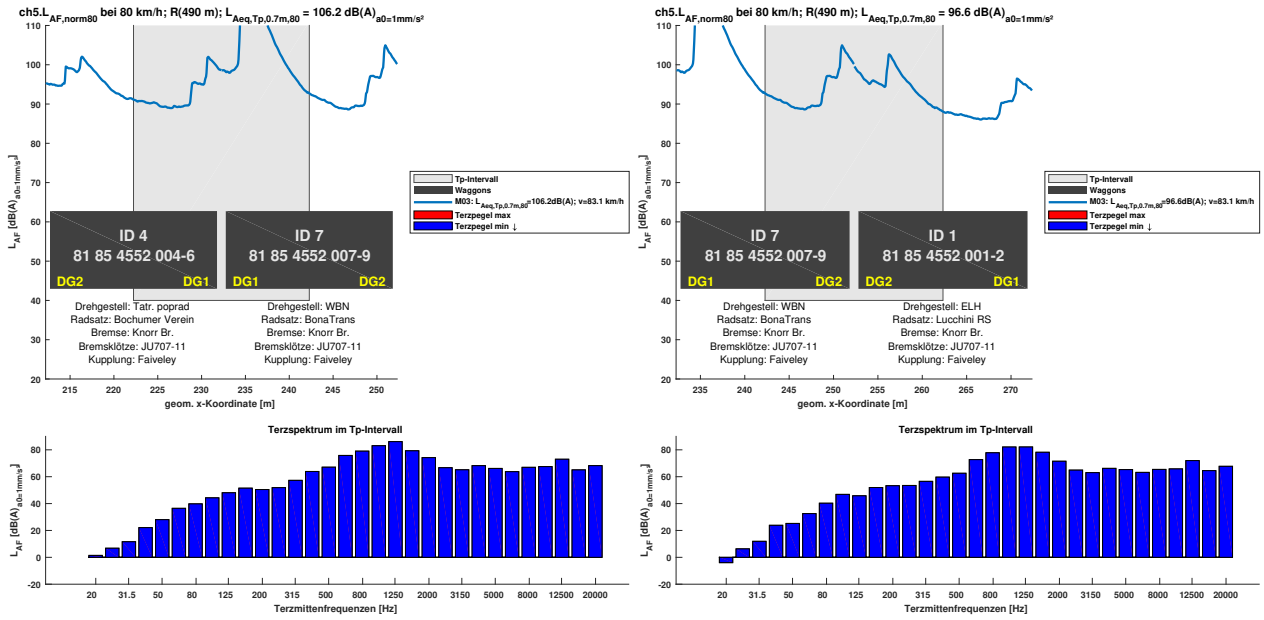


Abbildung A.95.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

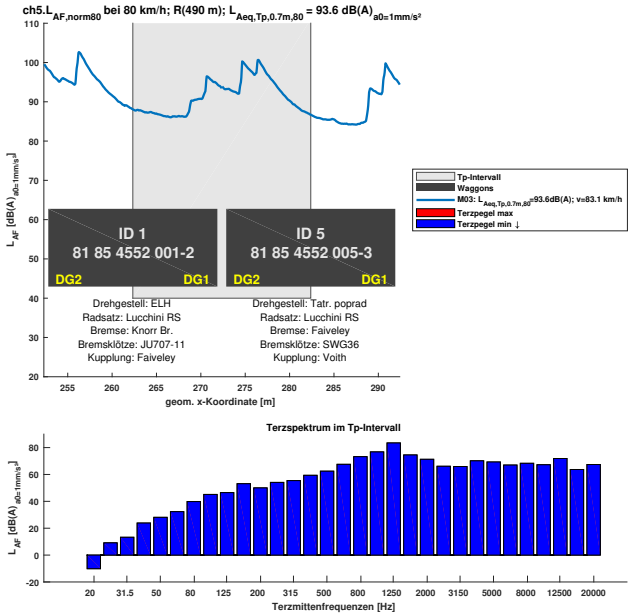


Abbildung A.96.: Willisau: Beschleunigungspegel, v=080km/h, [ID01-ID05]

A.3.5. Menznau, R=290m, Schalldruckpegel (2.1m Abstand, 2.1m Höhe)

Der abgebildete Schalldruckpegel bezieht sich auf den Referenzschalldruck $p0 = 20\,\mu Pa$.

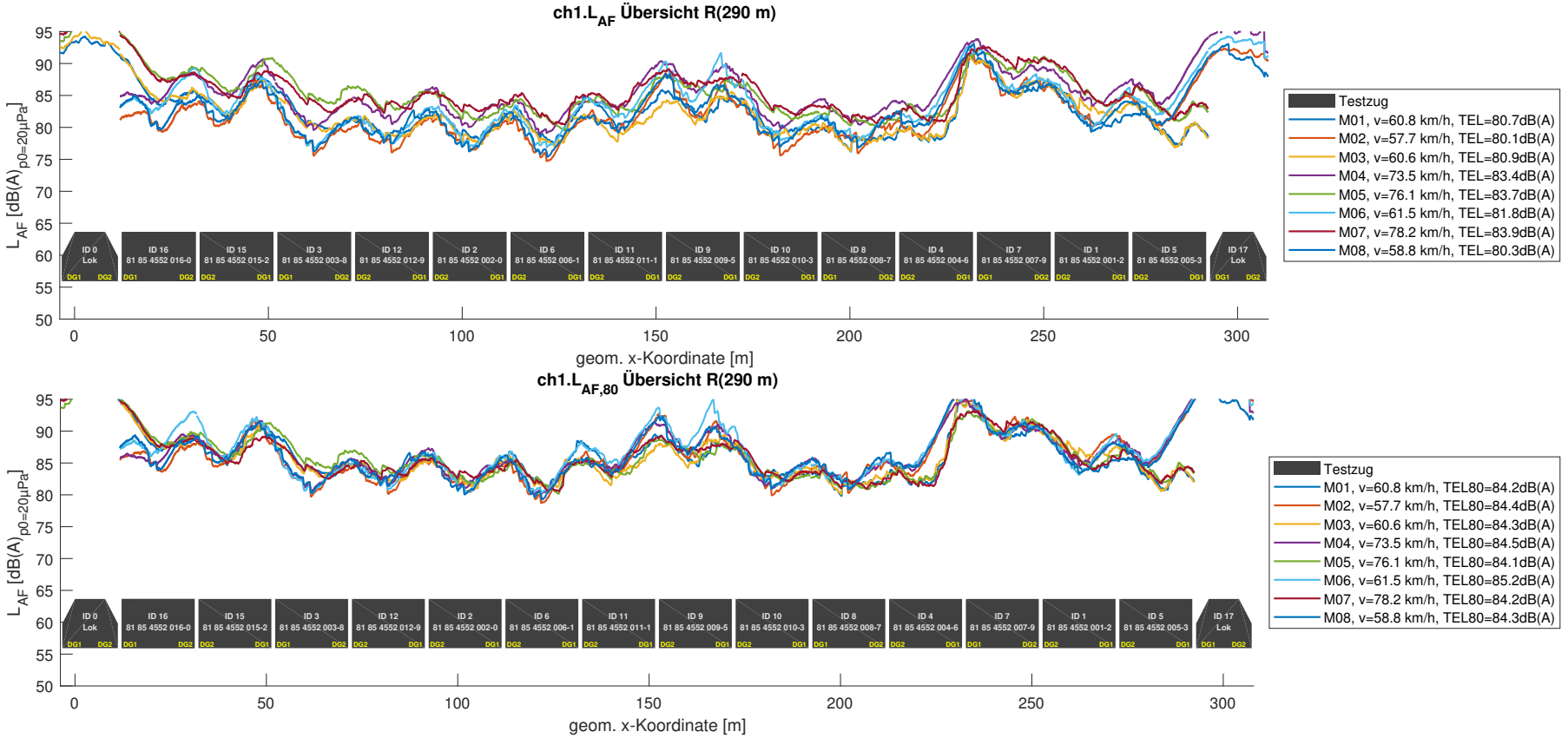


Abbildung A.97.: Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Menznau, R=290m)

A.3.5.1. Schalldruckpegel, v=060km/h

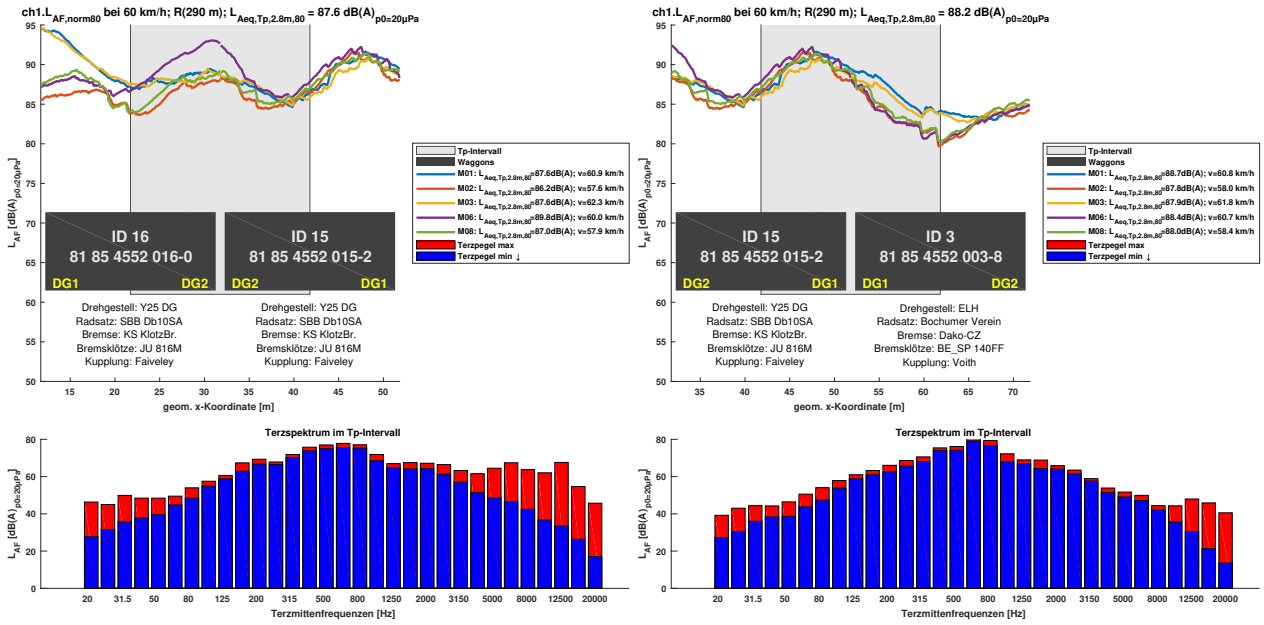


Abbildung A.98.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

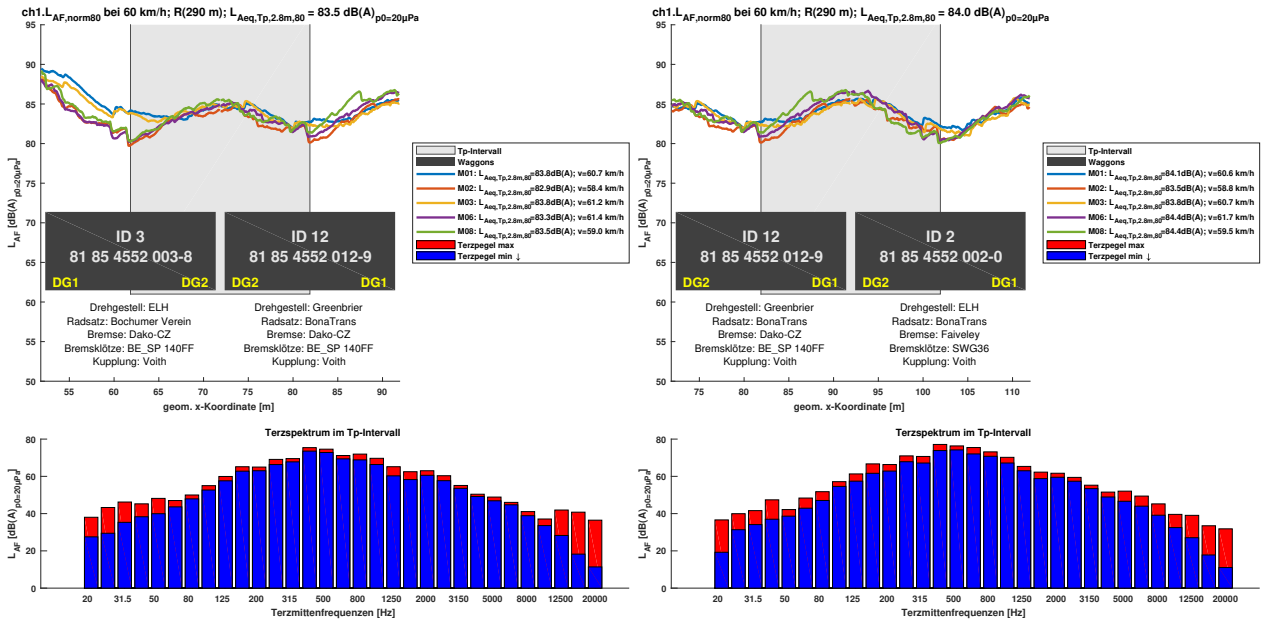


Abbildung A.99.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

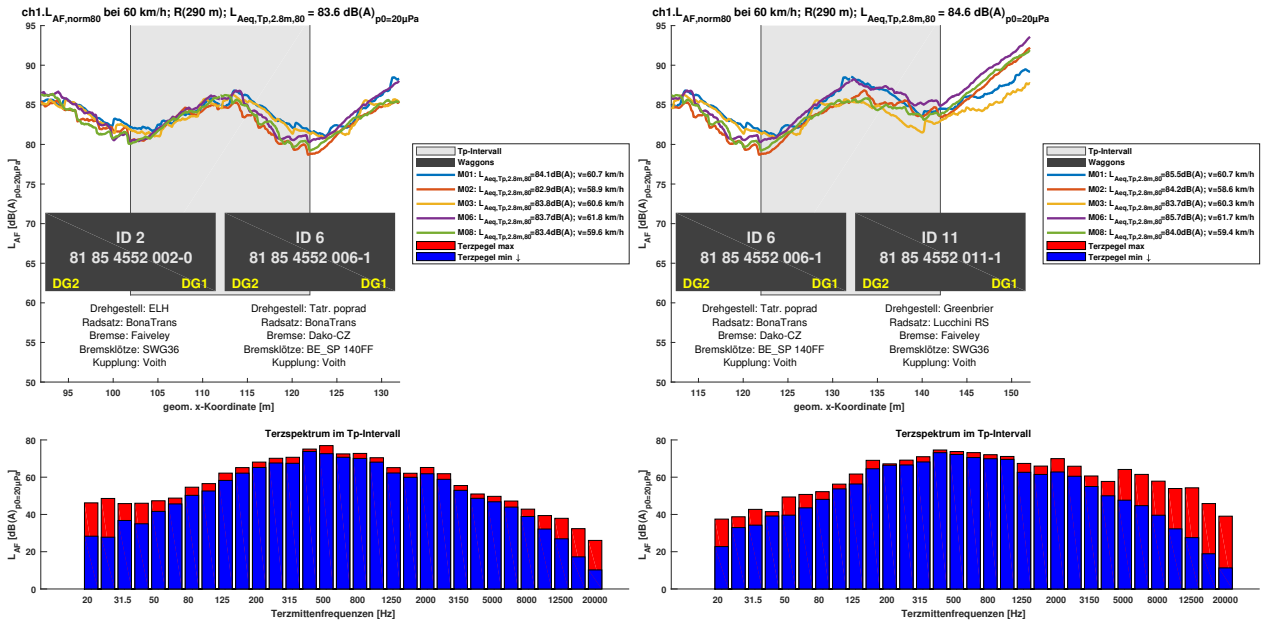


Abbildung A.100.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

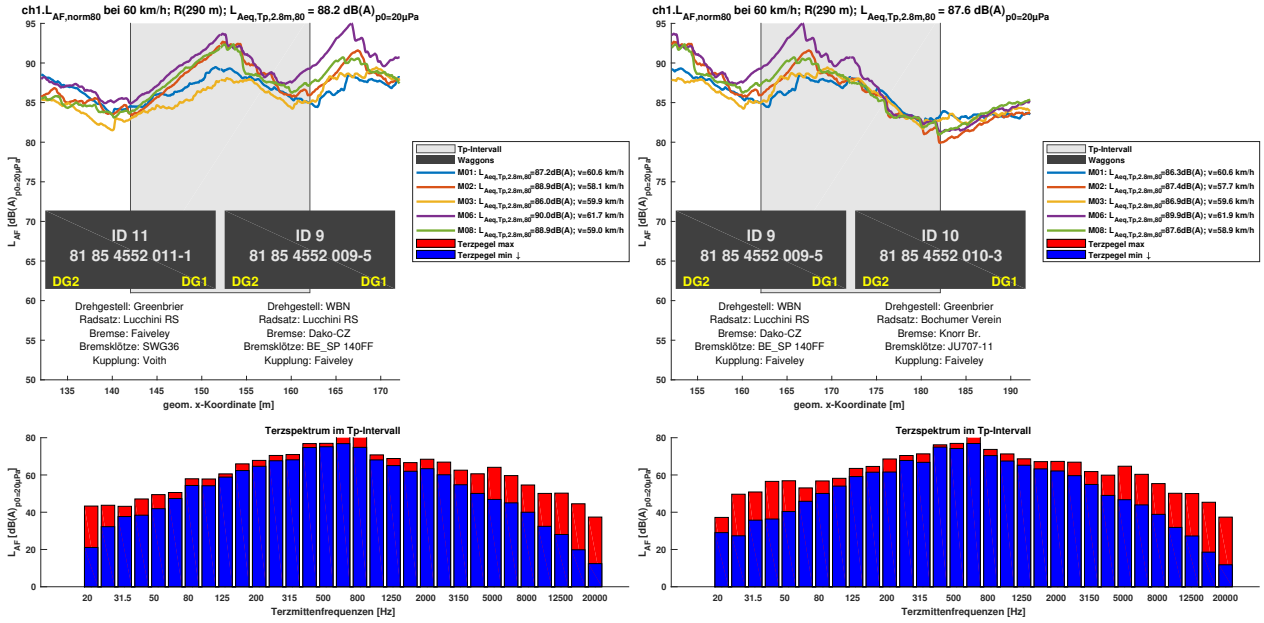


Abbildung A.101.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

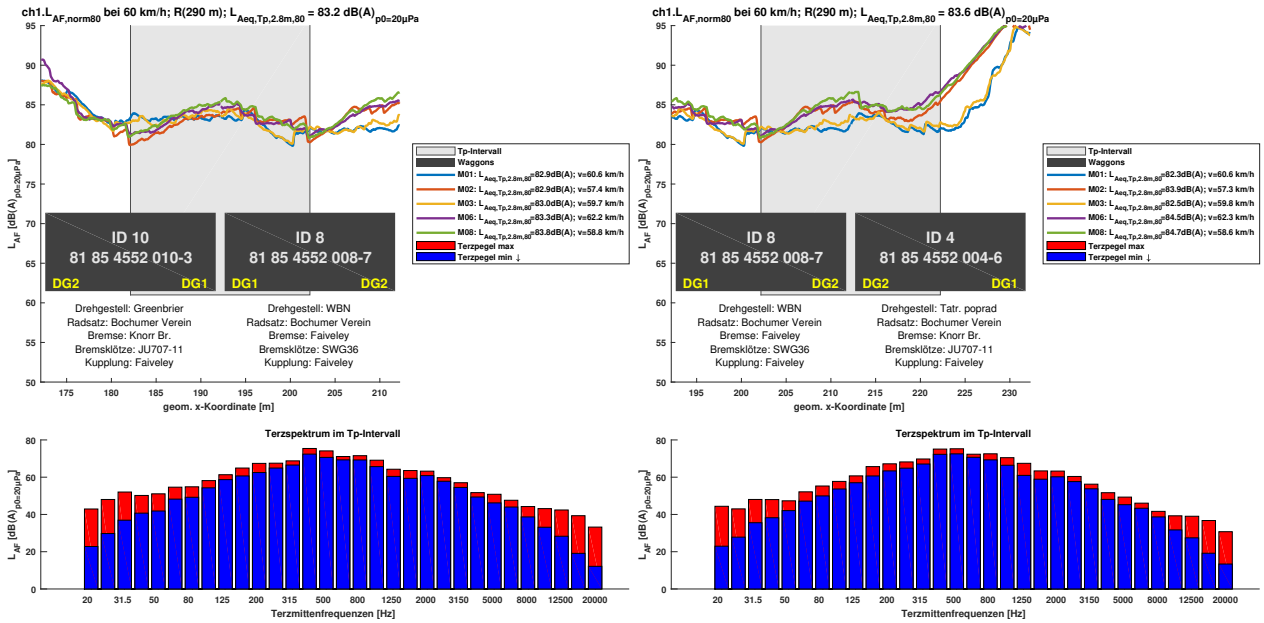


Abbildung A.102.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

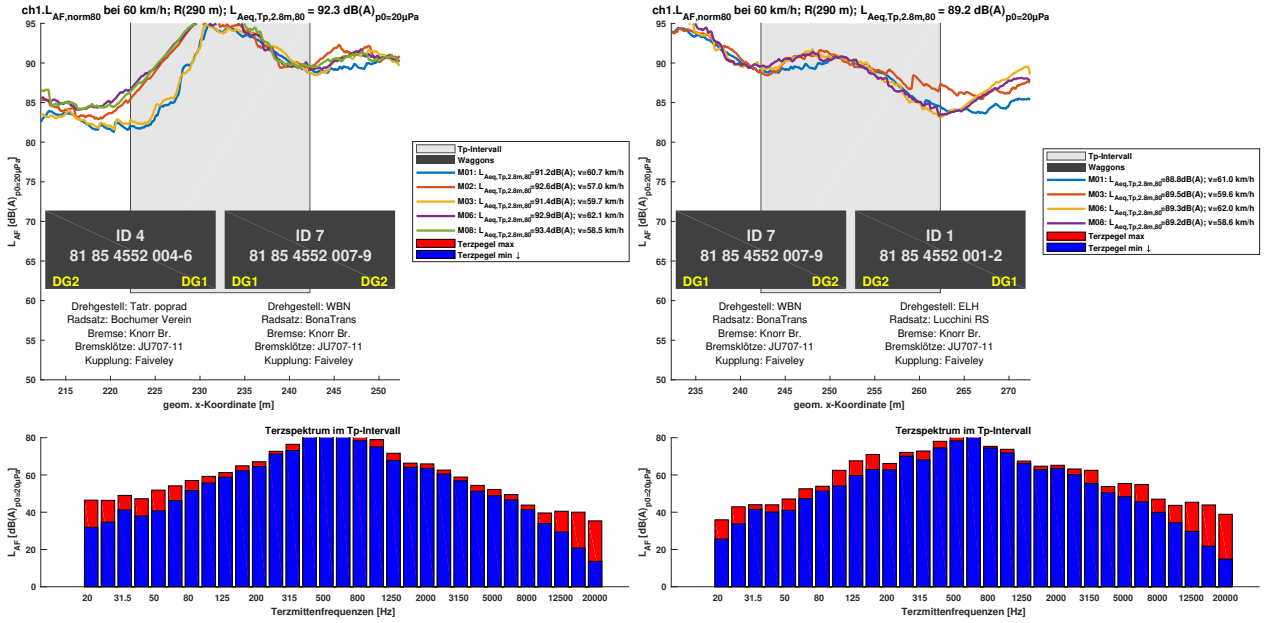


Abbildung A.103.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

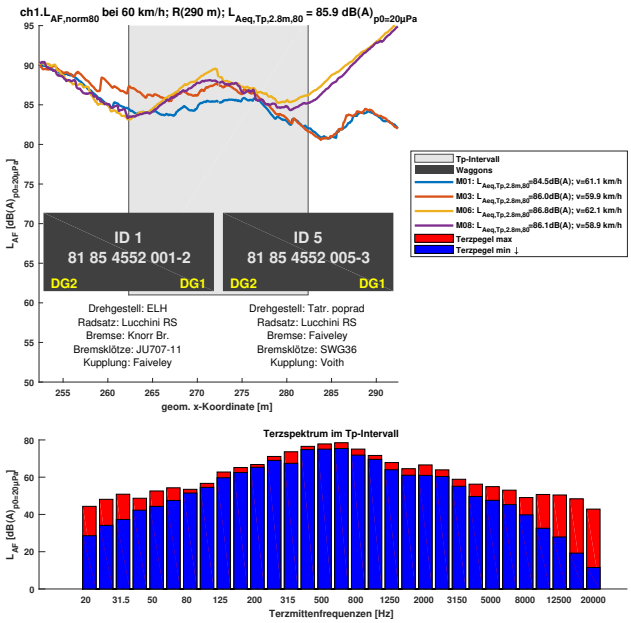


Abbildung A.104.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID01-ID05]

A.3.5.2. Schalldruckpegel, v=075km/h

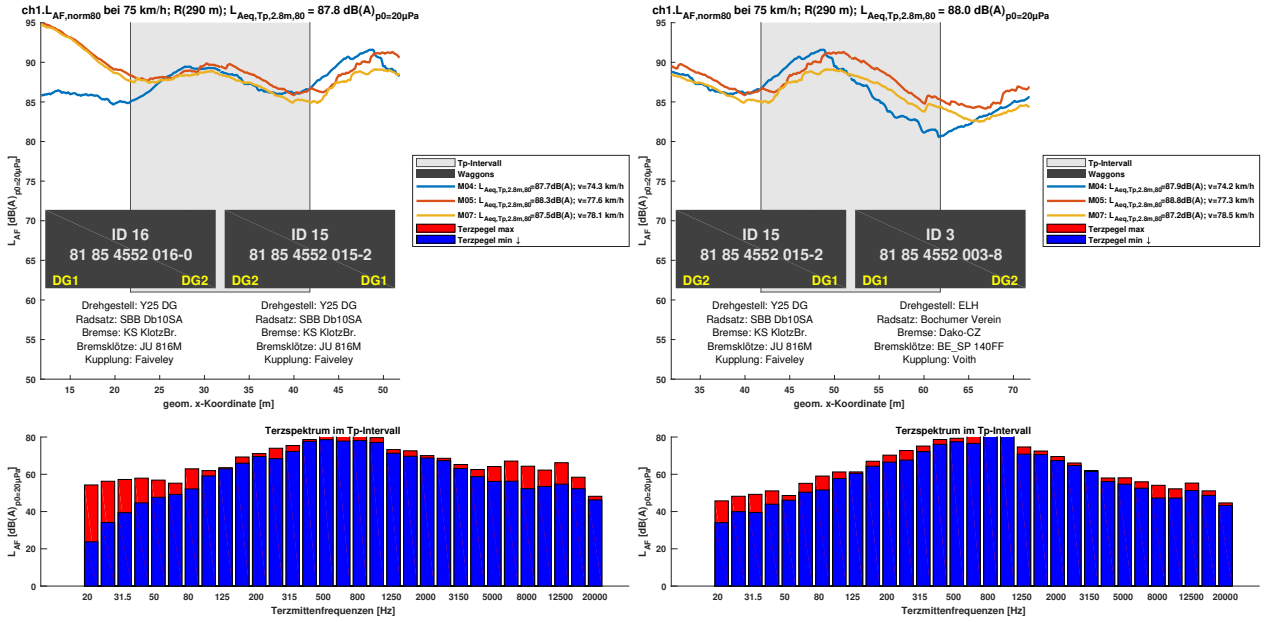


Abbildung A.105.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

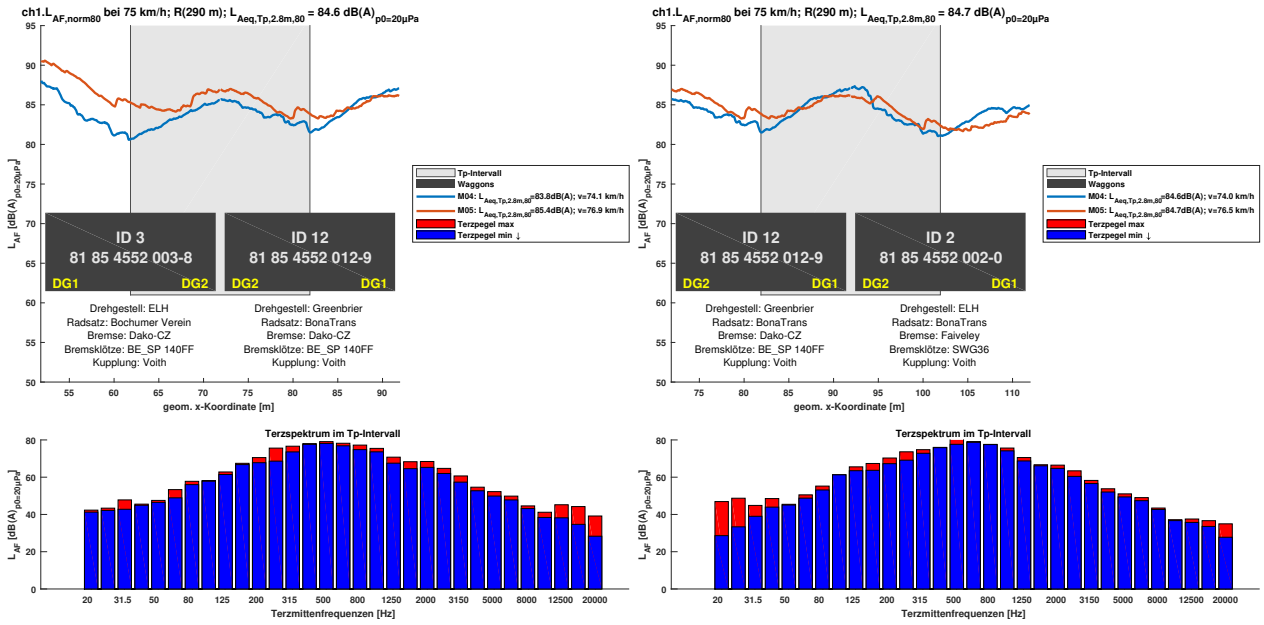


Abbildung A.106.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

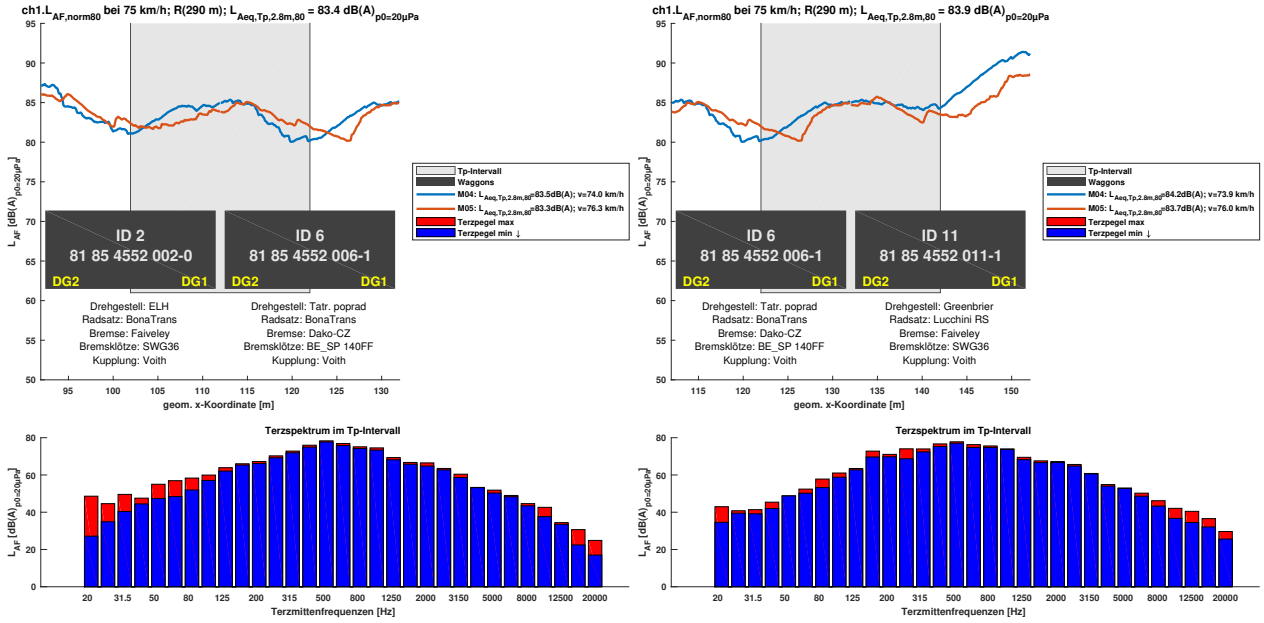


Abbildung A.107.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

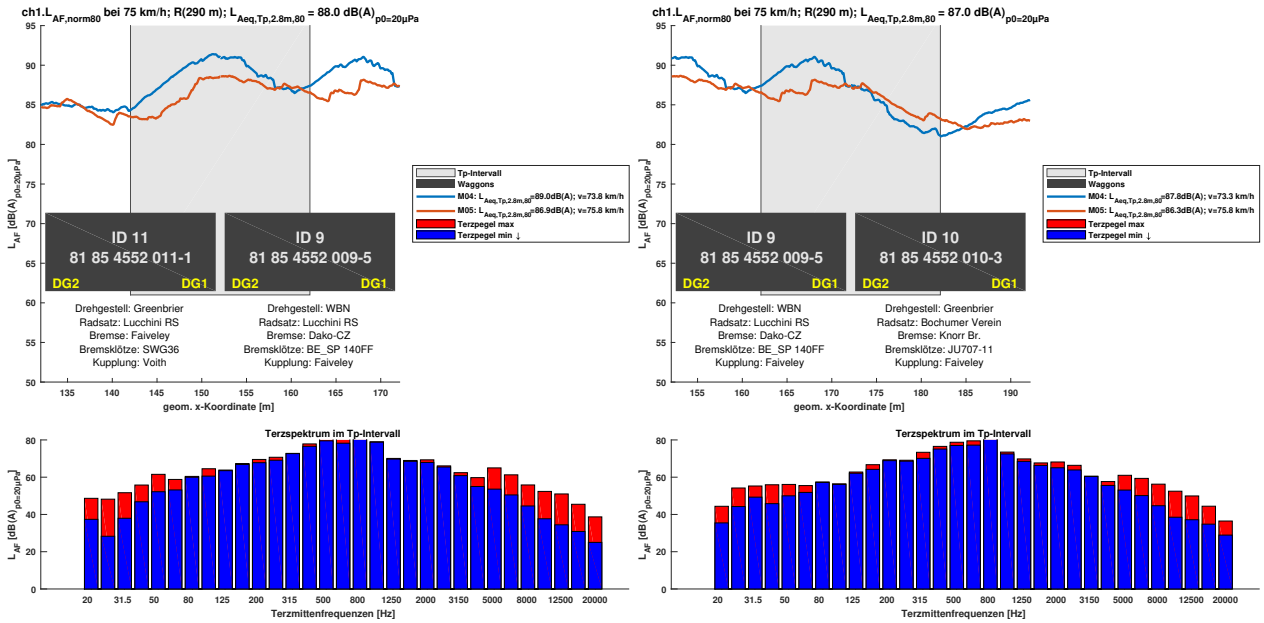


Abbildung A.108.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

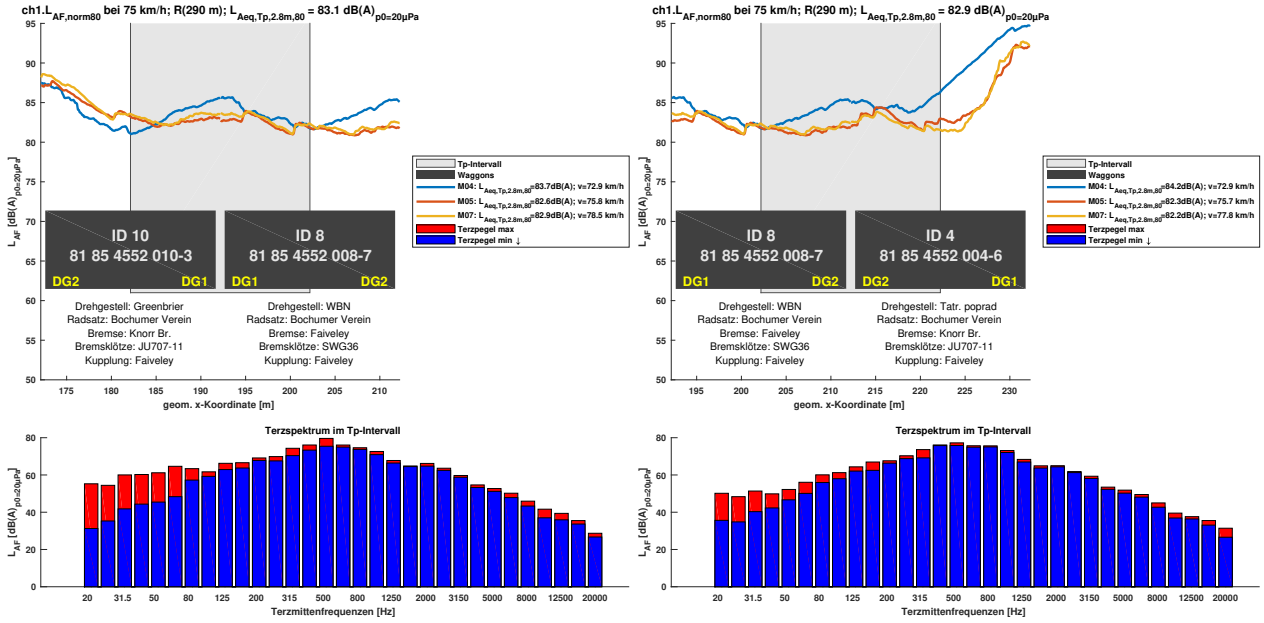


Abbildung A.109.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

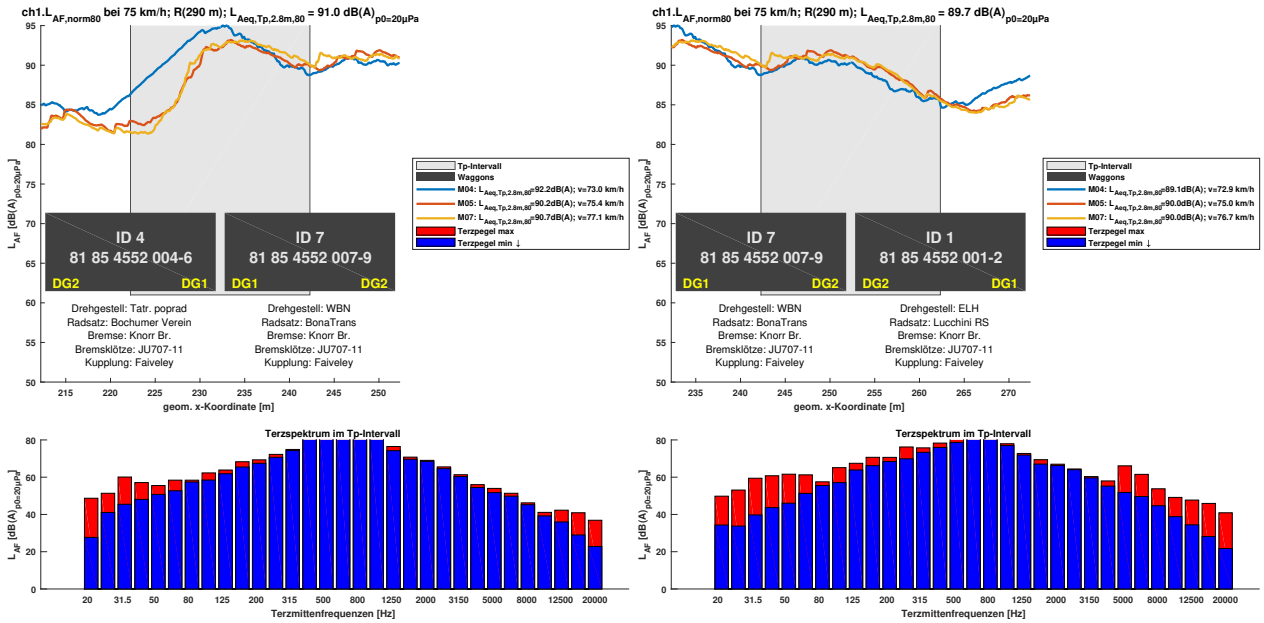


Abbildung A.110.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

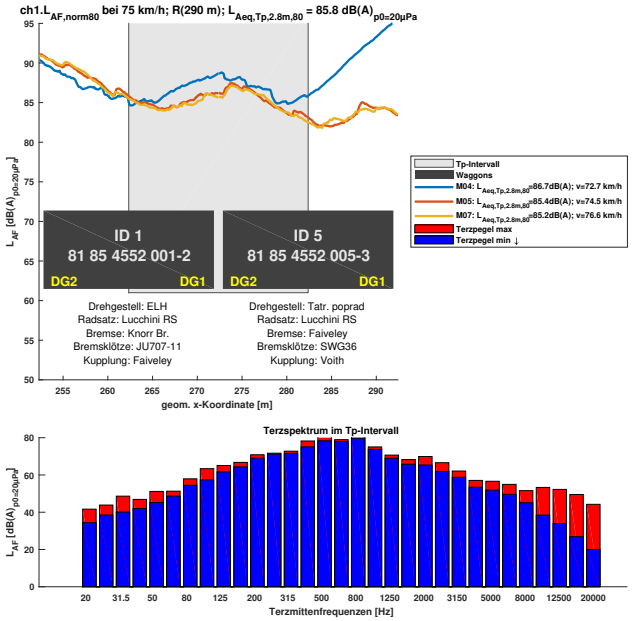


Abbildung A.111.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID01-ID05]

A.3.6. Menznau, R=290m, Schalldruckpegel (2.7m Abstand, 1.1m Höhe)

Der abgebildete Schalldruckpegel bezieht sich auf den Referenzschalldruck $p0 = 20\,\mu Pa$.

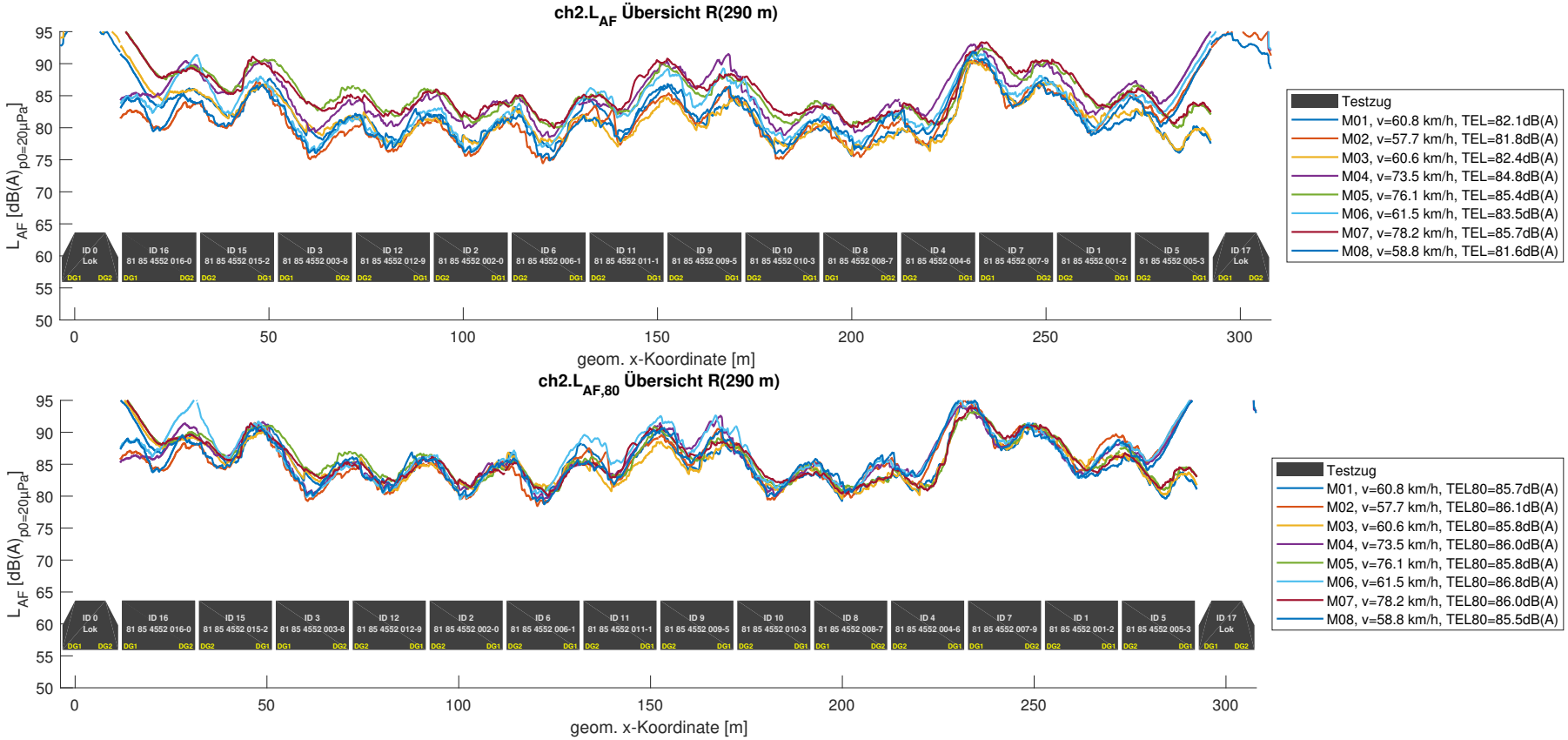


Abbildung A.112.: Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Menznau, R=290m)

A.3.6.1. Schalldruckpegel, v=060km/h

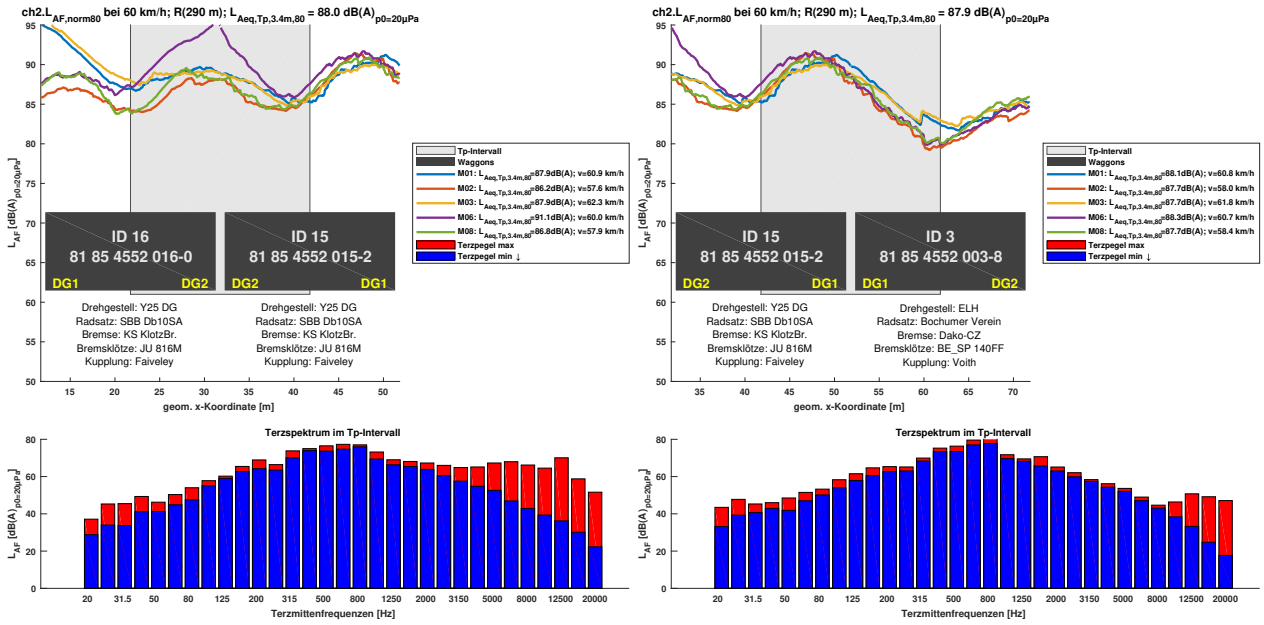


Abbildung A.113.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

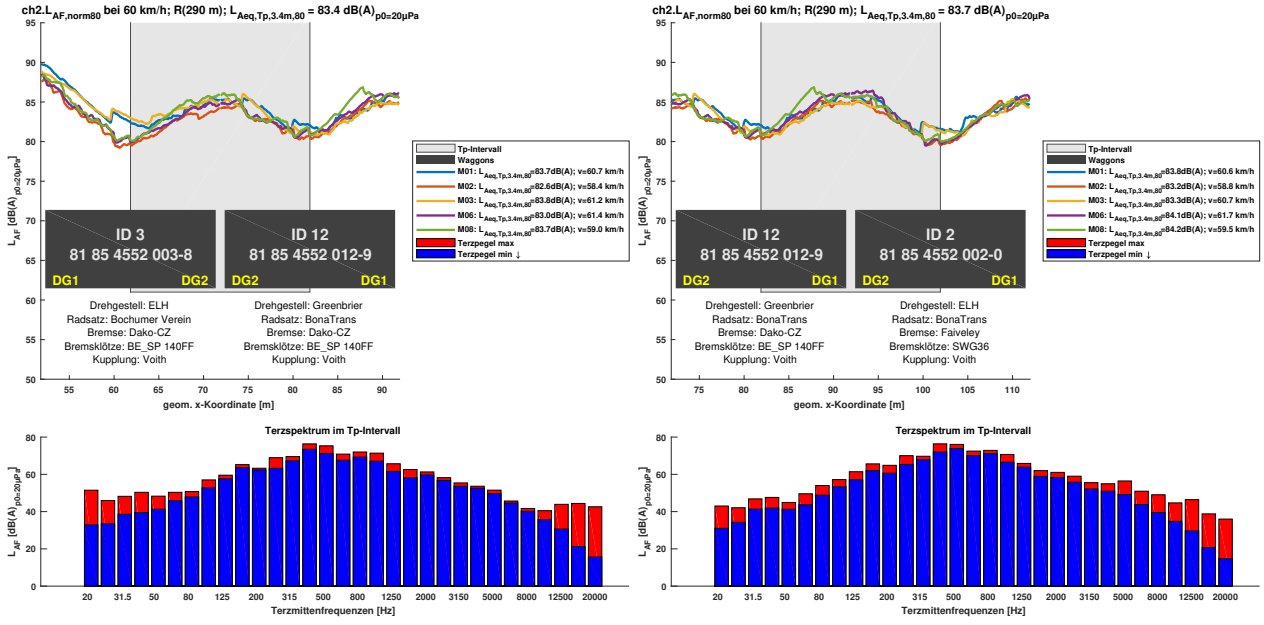


Abbildung A.114.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

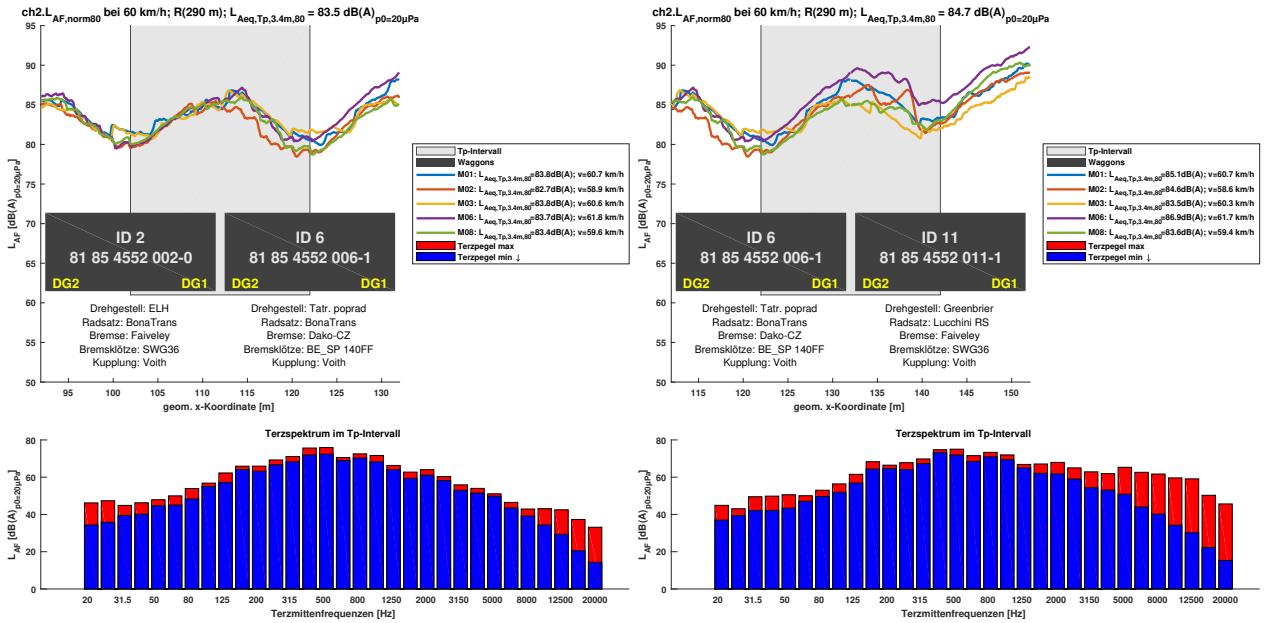


Abbildung A.115.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

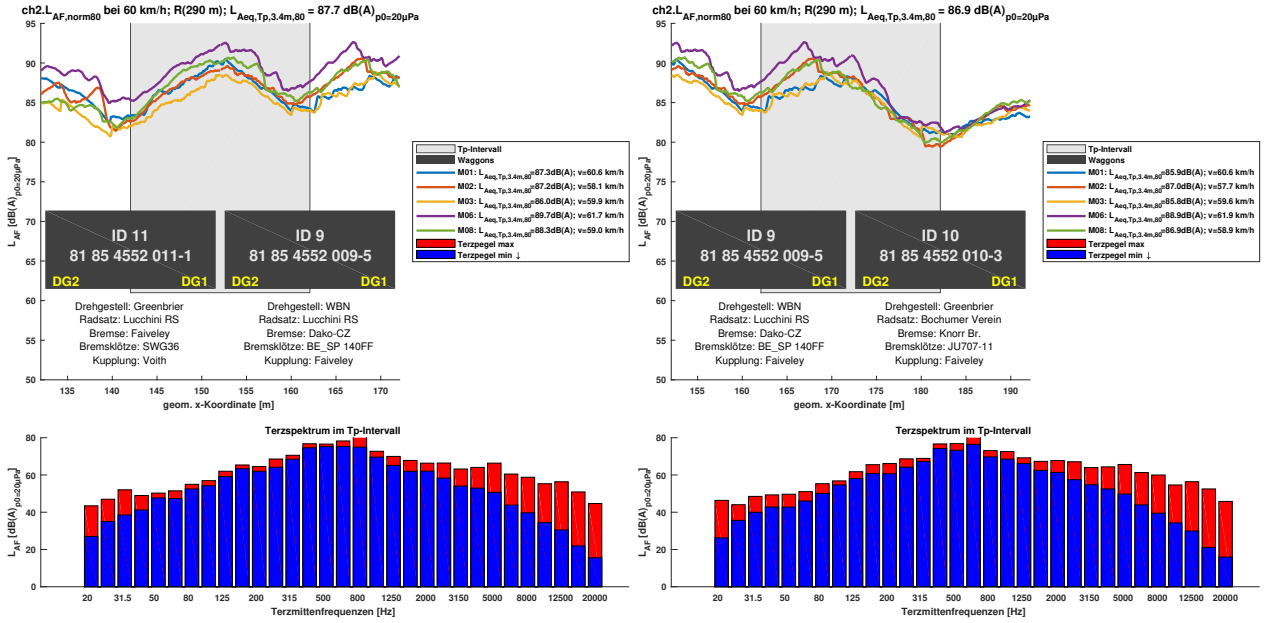


Abbildung A.116.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

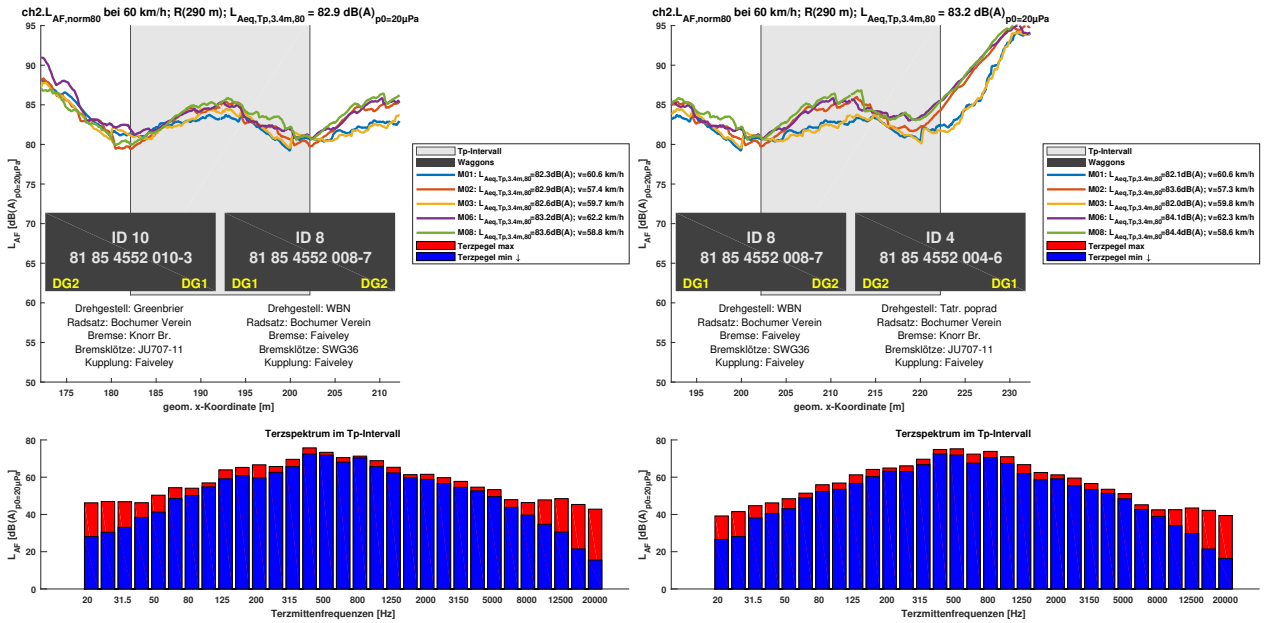


Abbildung A.117.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

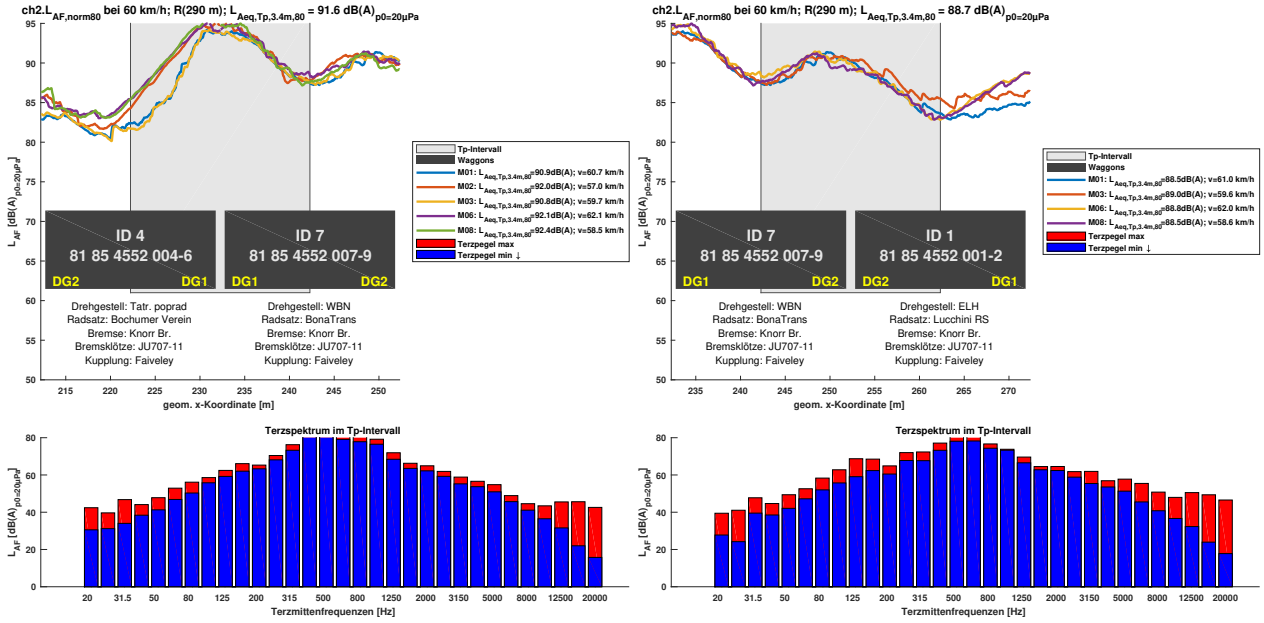


Abbildung A.118.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

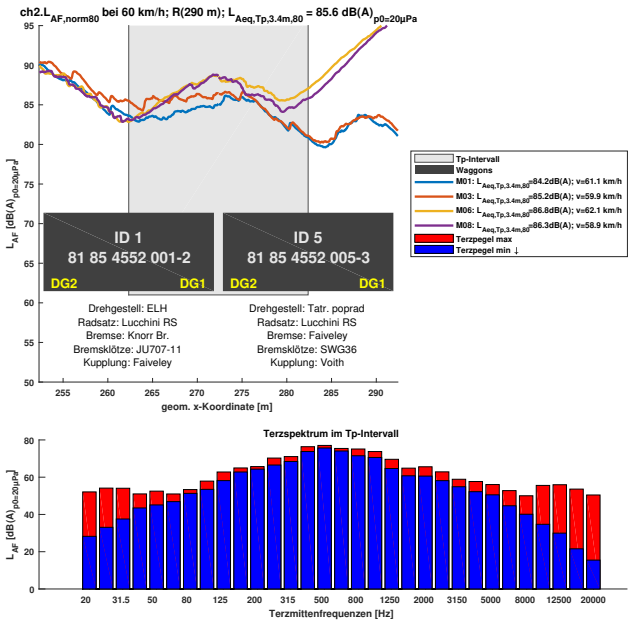


Abbildung A.119.: Menznau: Schalldruckpegel, v=060km/h, [ID01-ID05]

A.3.6.2. Schalldruckpegel, v=075km/h

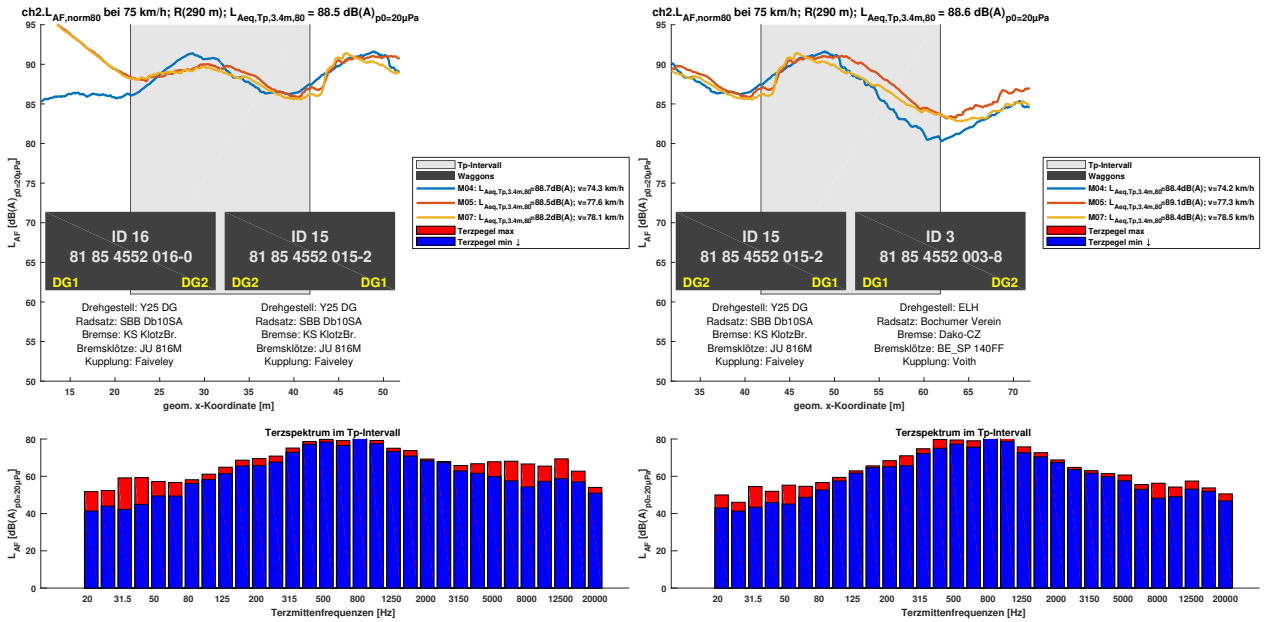


Abbildung A.120.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

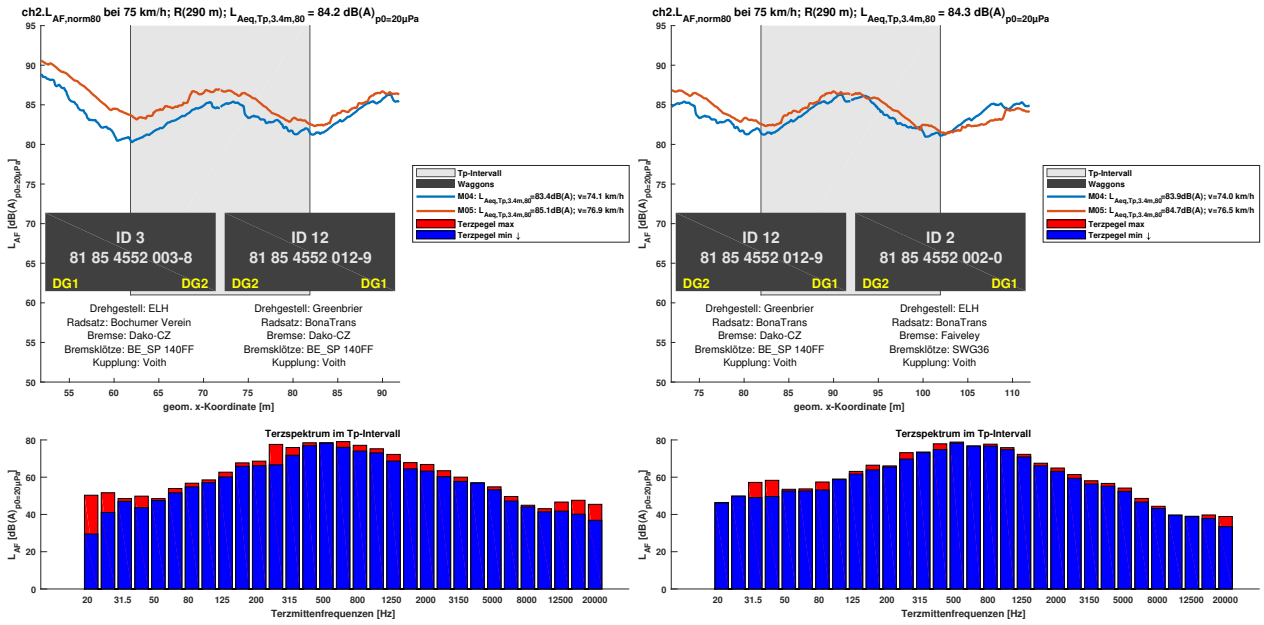


Abbildung A.121.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

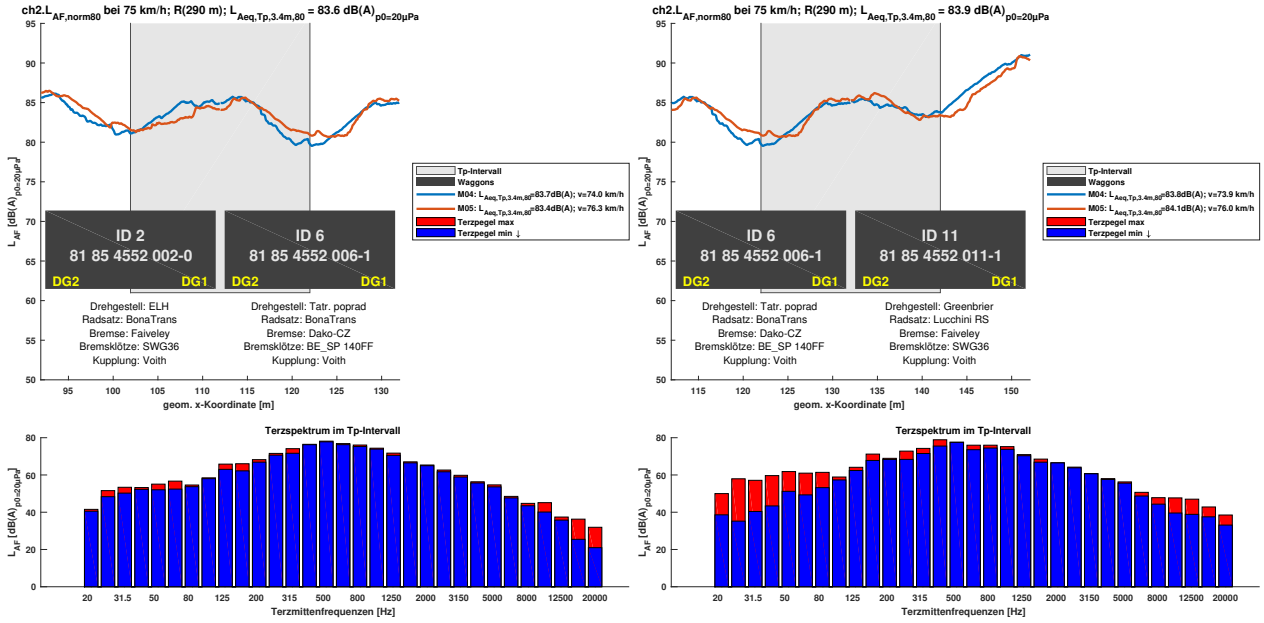


Abbildung A.122.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

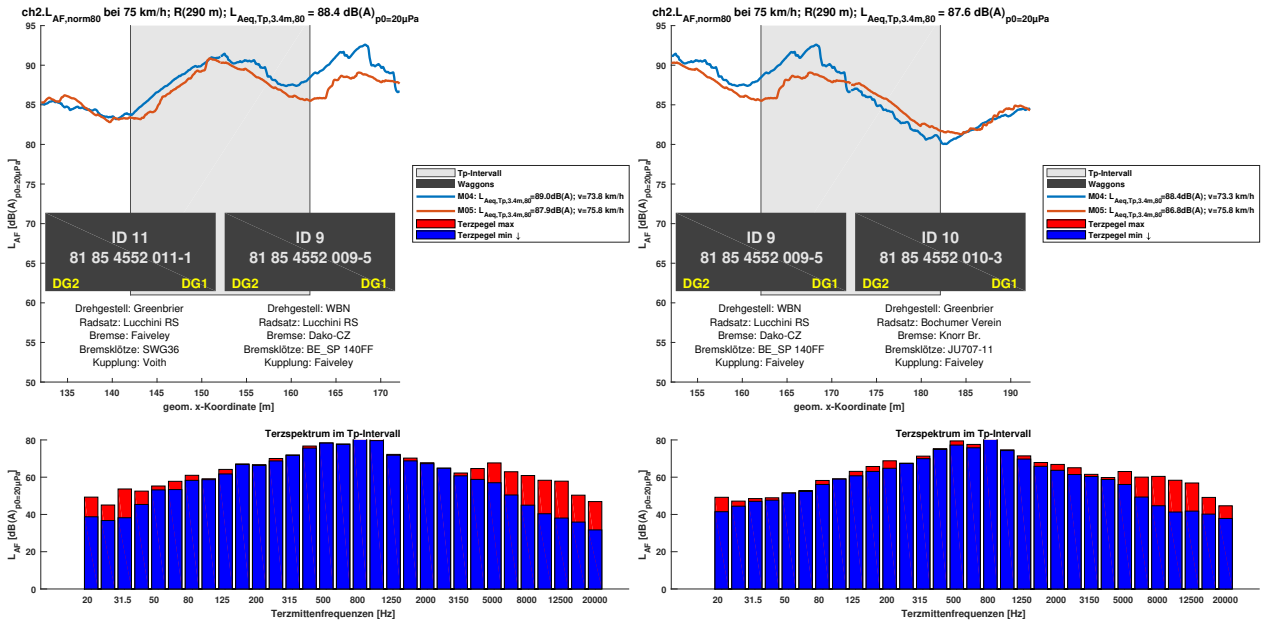


Abbildung A.123.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

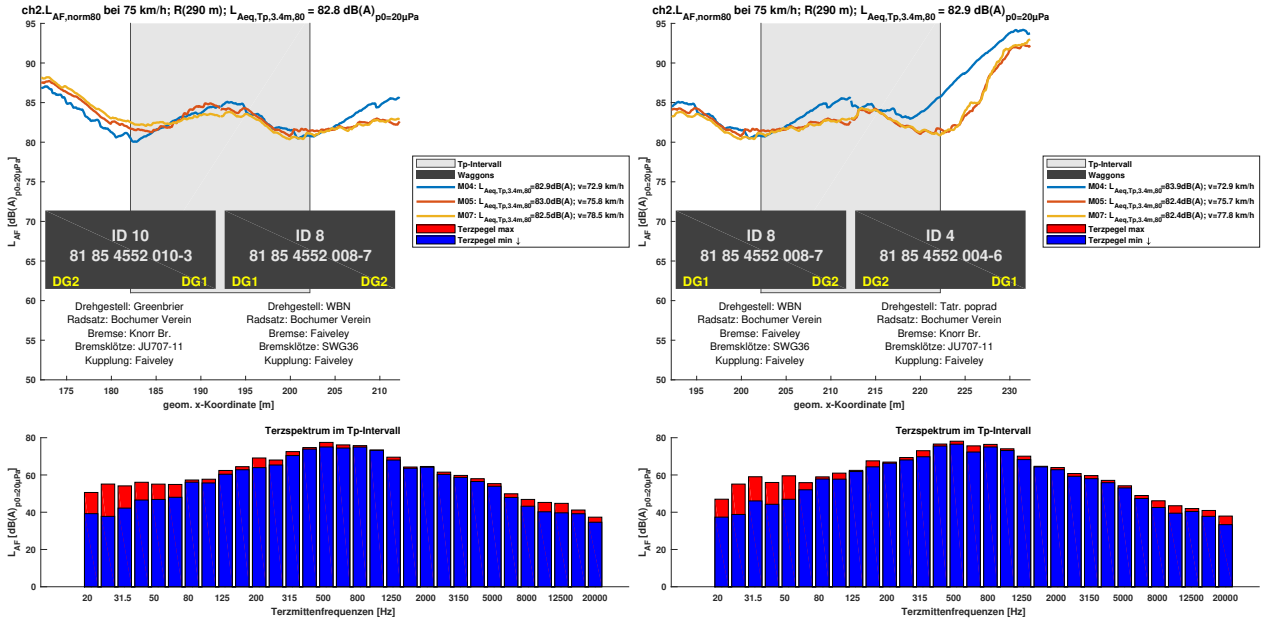


Abbildung A.124.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

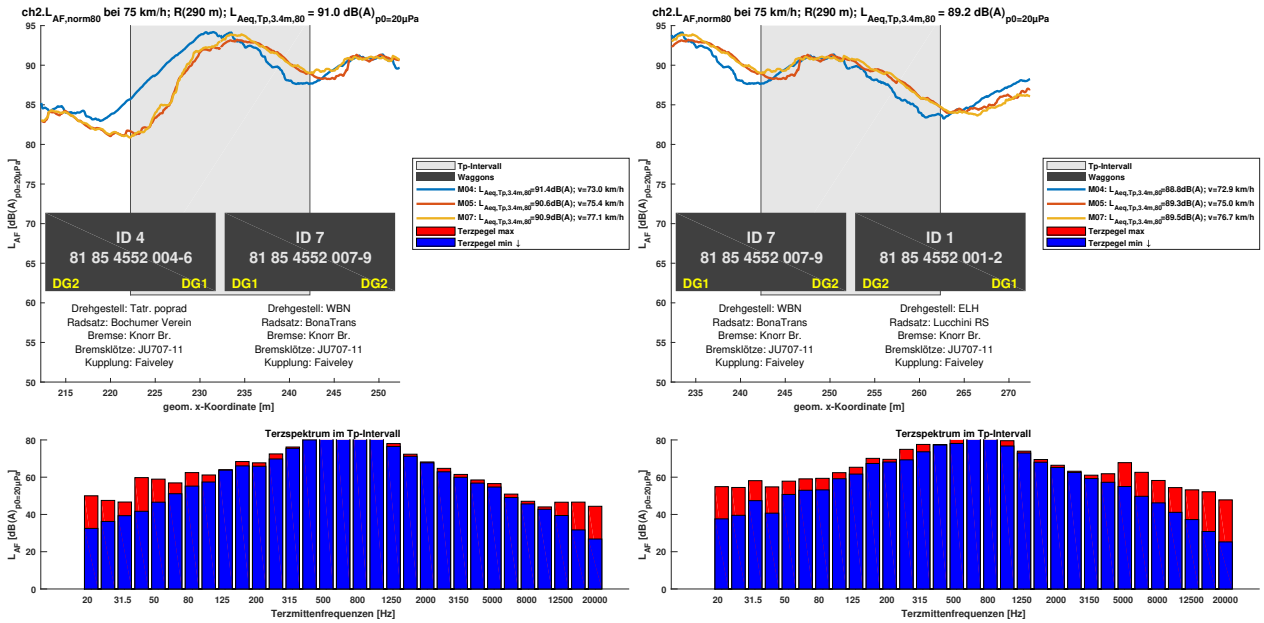


Abbildung A.125.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

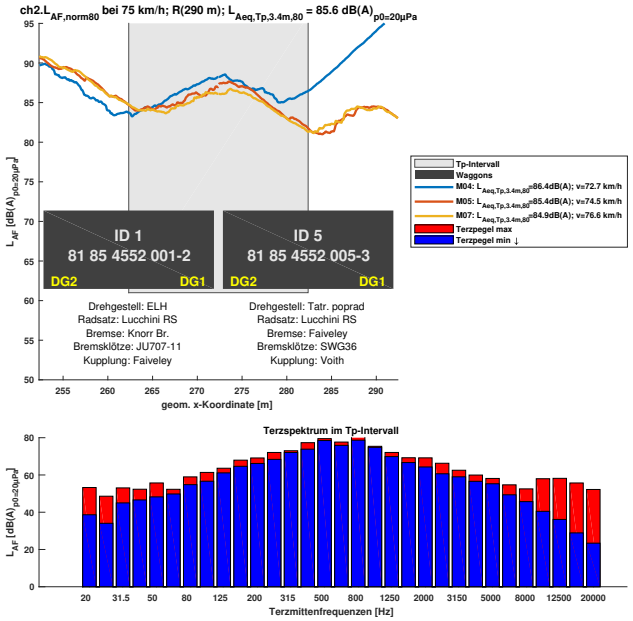


Abbildung A.126.: Menznau: Schalldruckpegel, v=075km/h, [ID01-ID05]

A.3.7. Menznau, R=290m, Beschleunigungspegel (am Schienenkopf, lateral)

Der abgebildete Beschleunigungspegel bezieht sich auf den Referenzbeschleunigungswert $a0 = 1\,mm/s^2$.

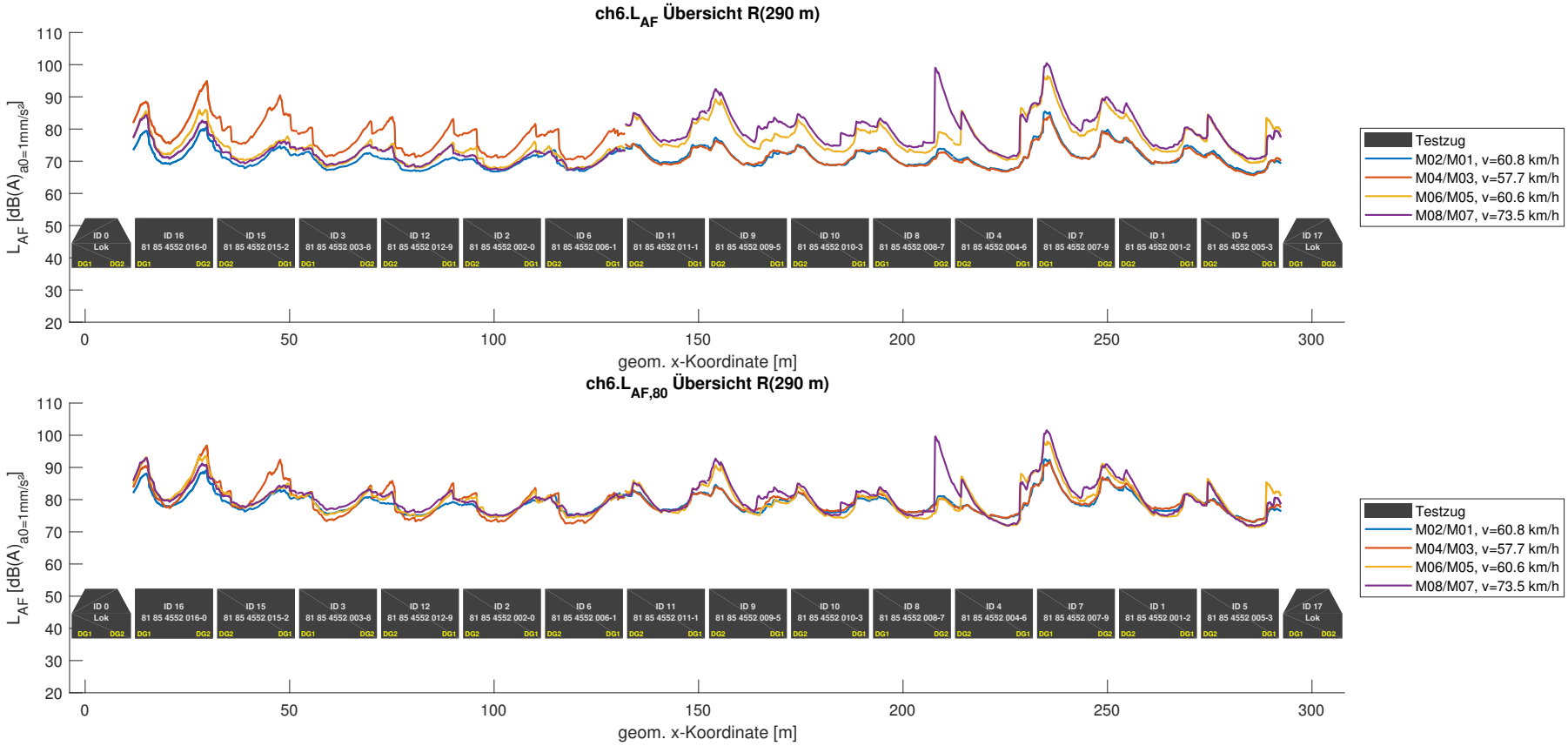


Abbildung A.127.: Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Menznau, R=290m)

A.3.7.1. Beschleunigungspegel, v=060km/h

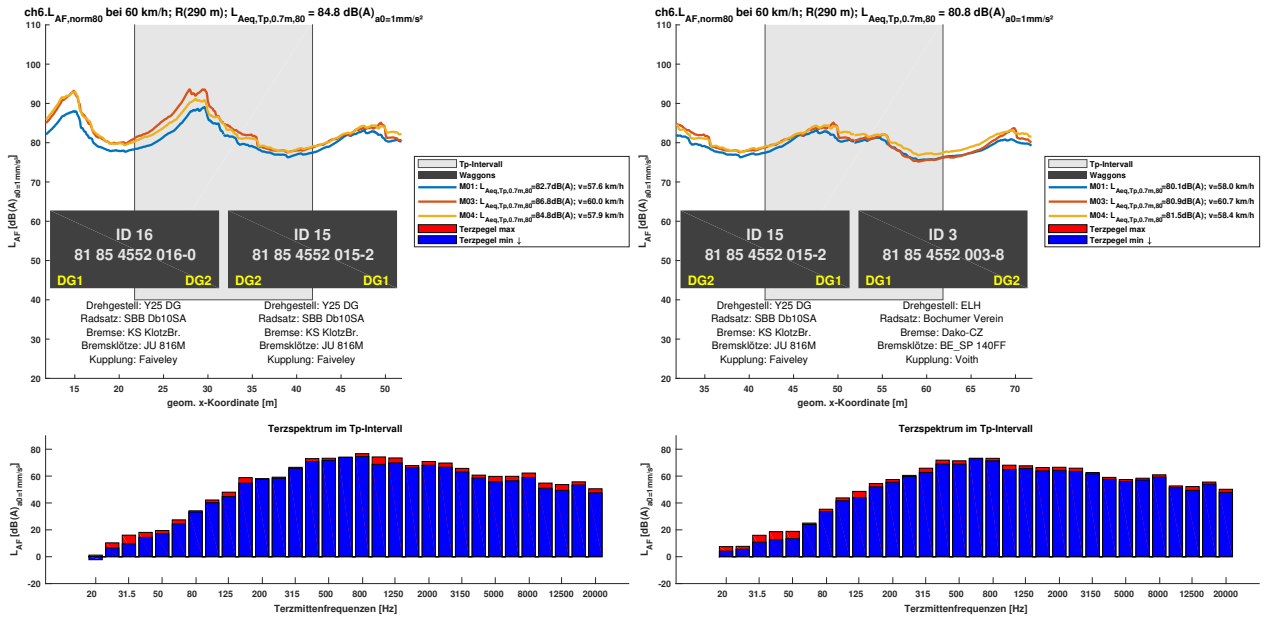


Abbildung A.128.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

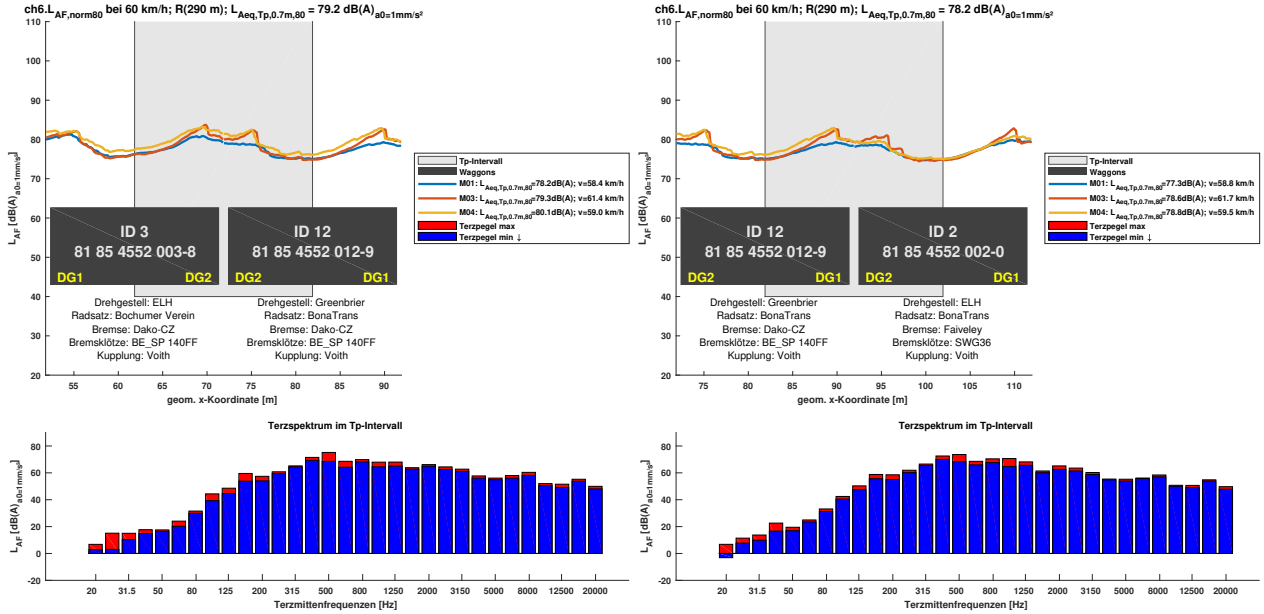


Abbildung A.129.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

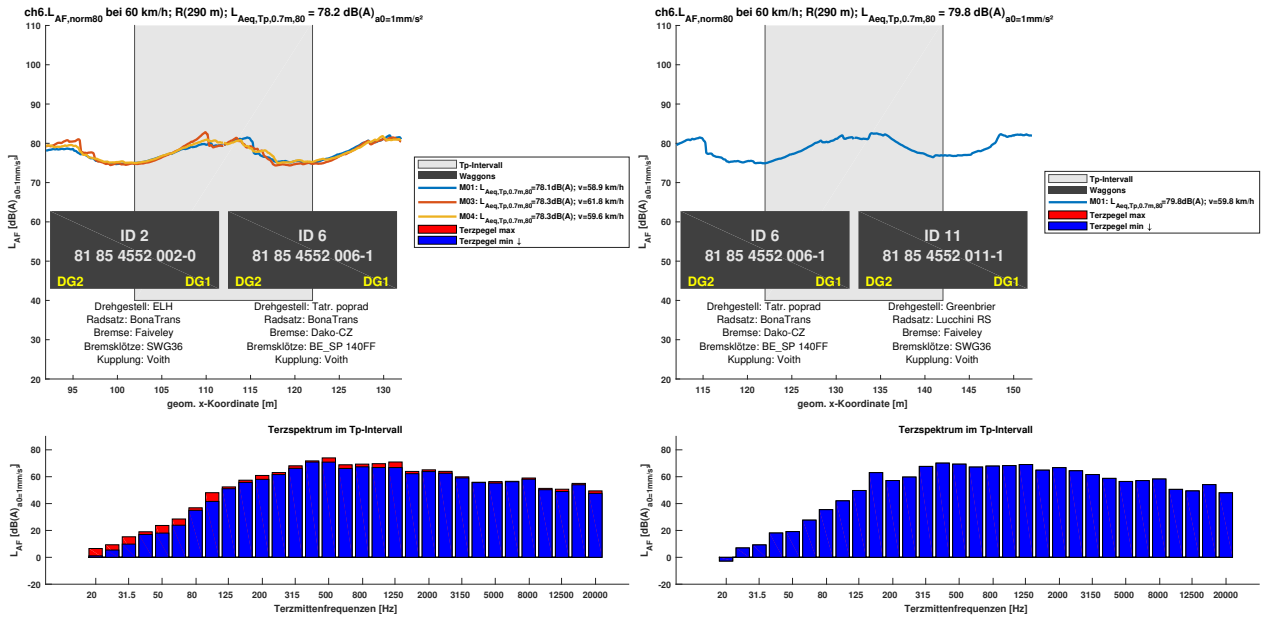


Abbildung A.130.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

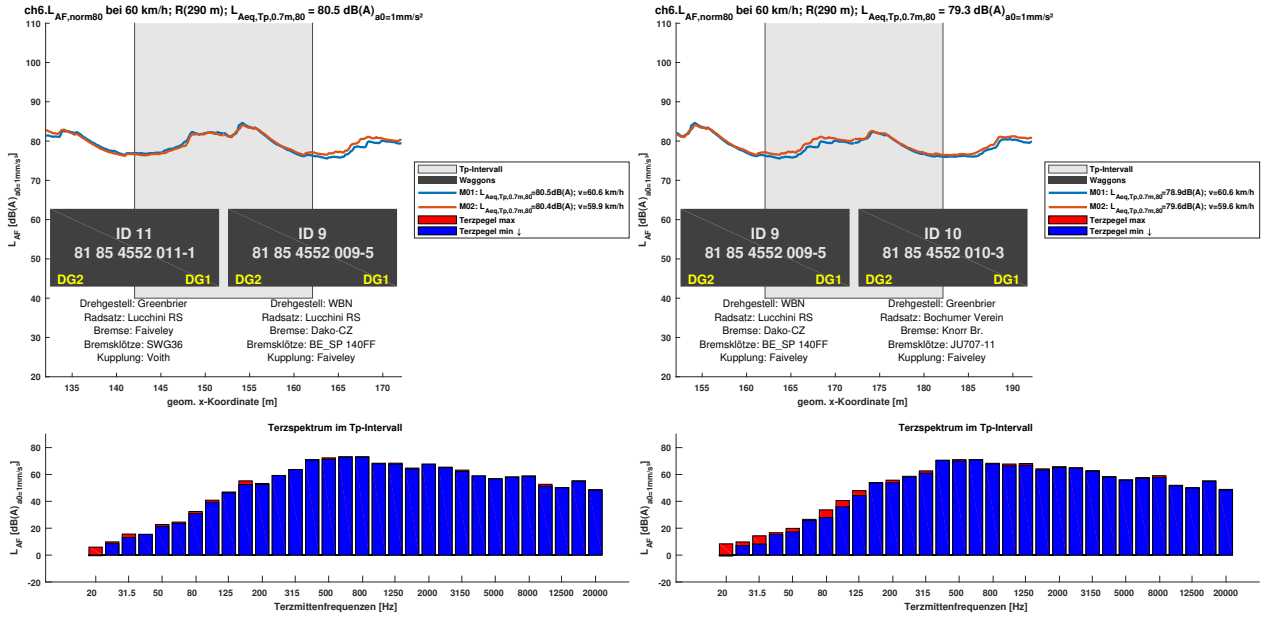


Abbildung A.131.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

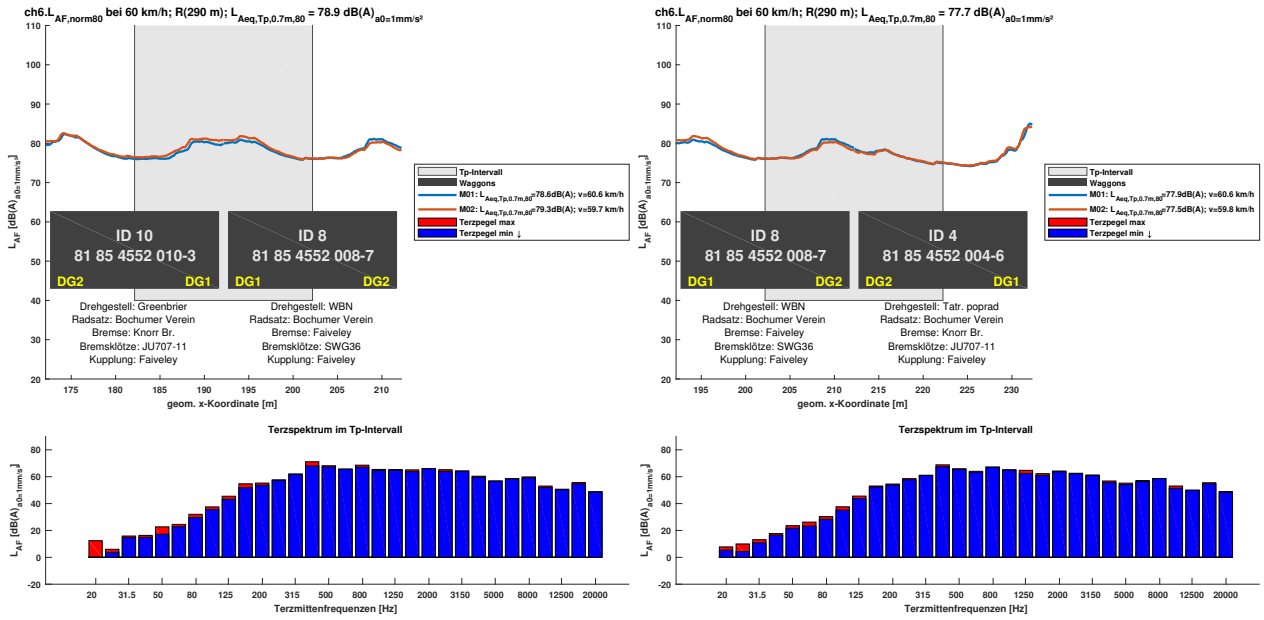


Abbildung A.132.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

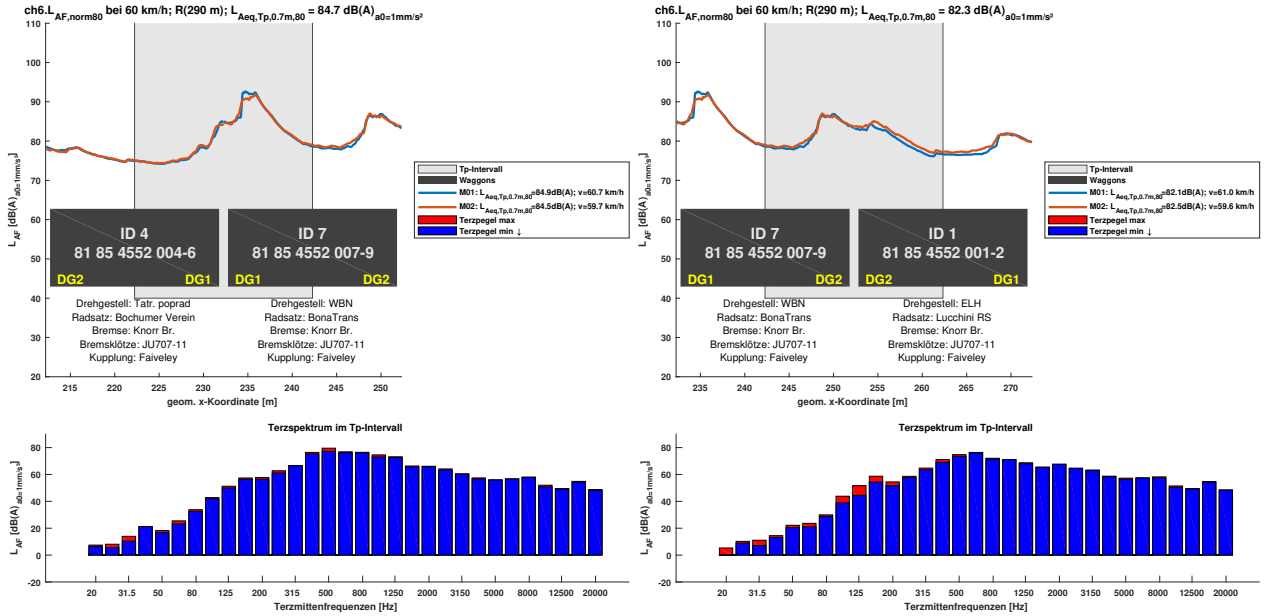


Abbildung A.133.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

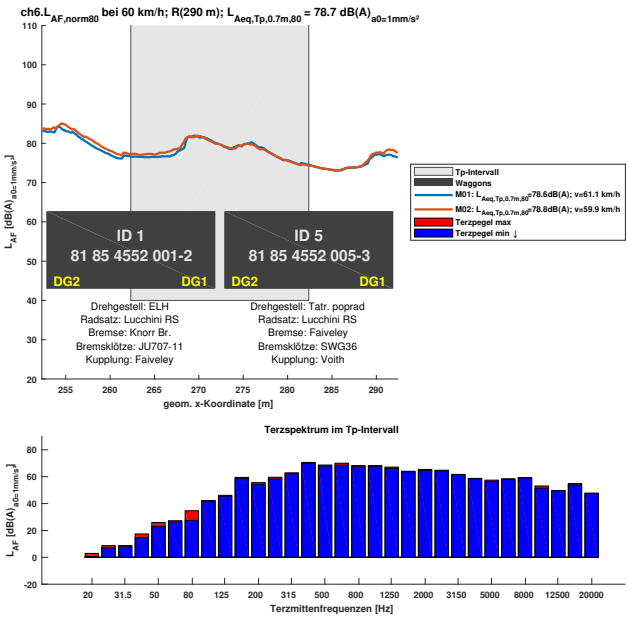


Abbildung A.134.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID01-ID05]

A.3.7.2. Beschleunigungspegel, v=075km/h

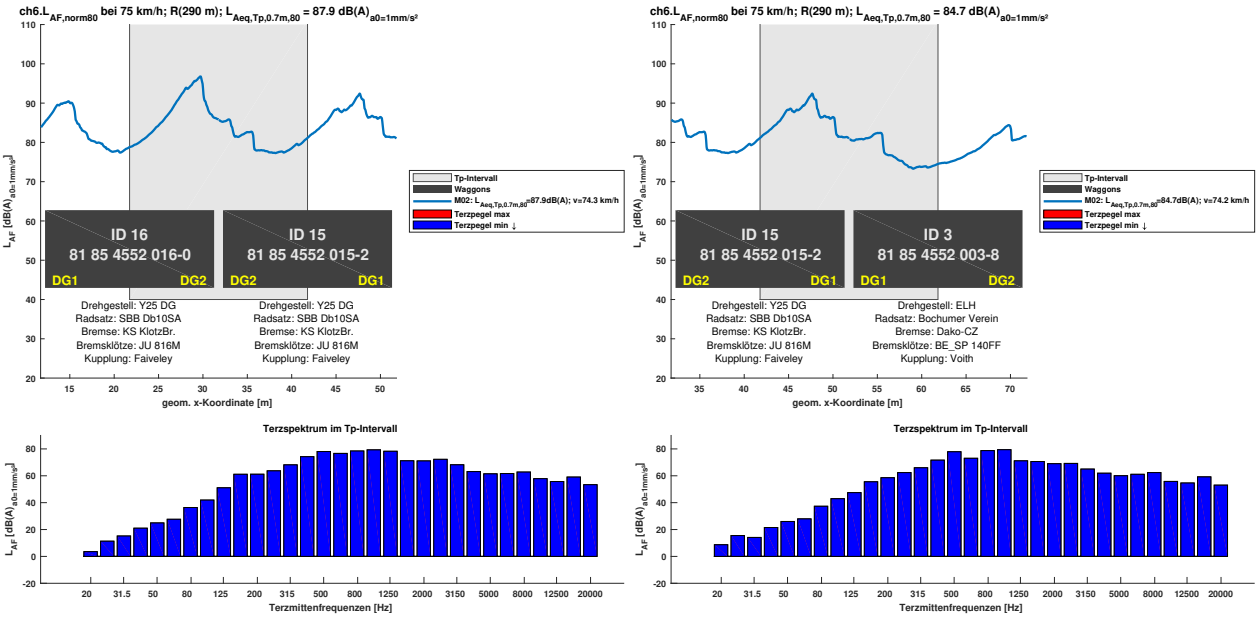


Abbildung A.135.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

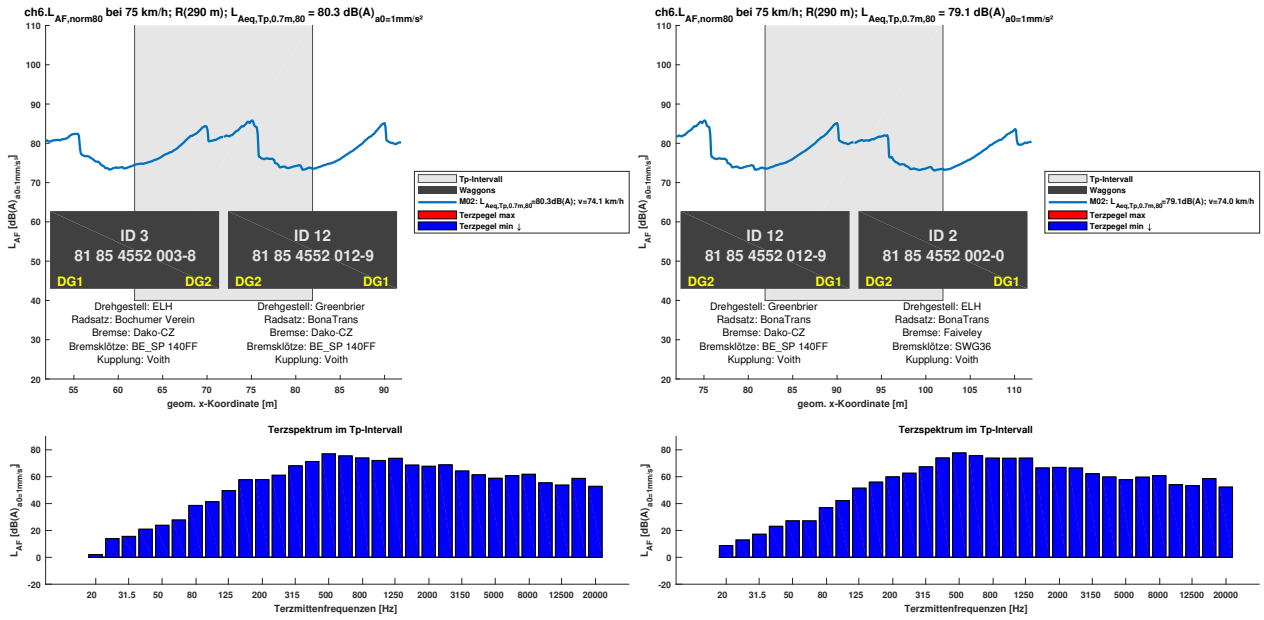


Abbildung A.136.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

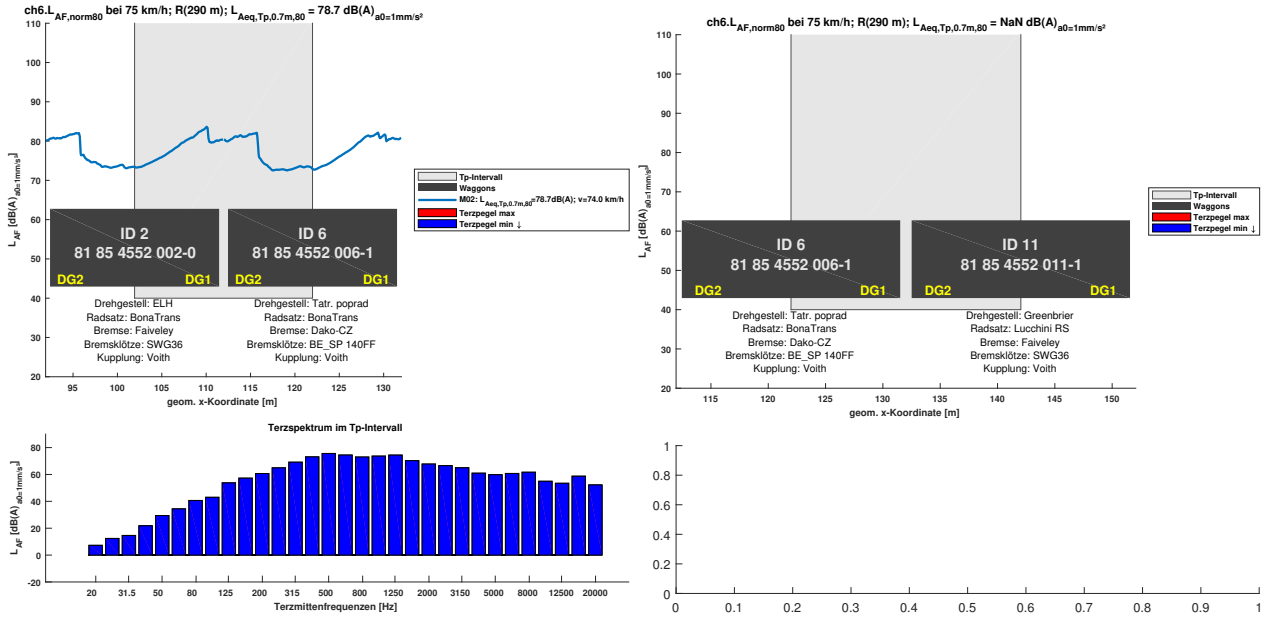


Abbildung A.137.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

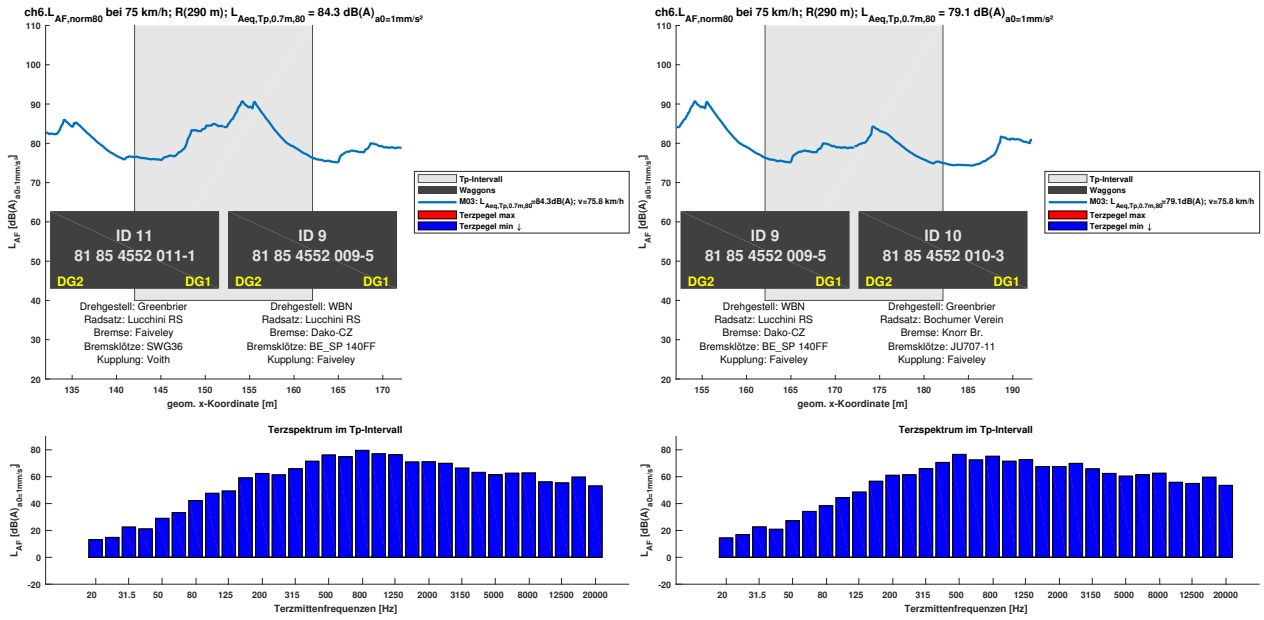


Abbildung A.138.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

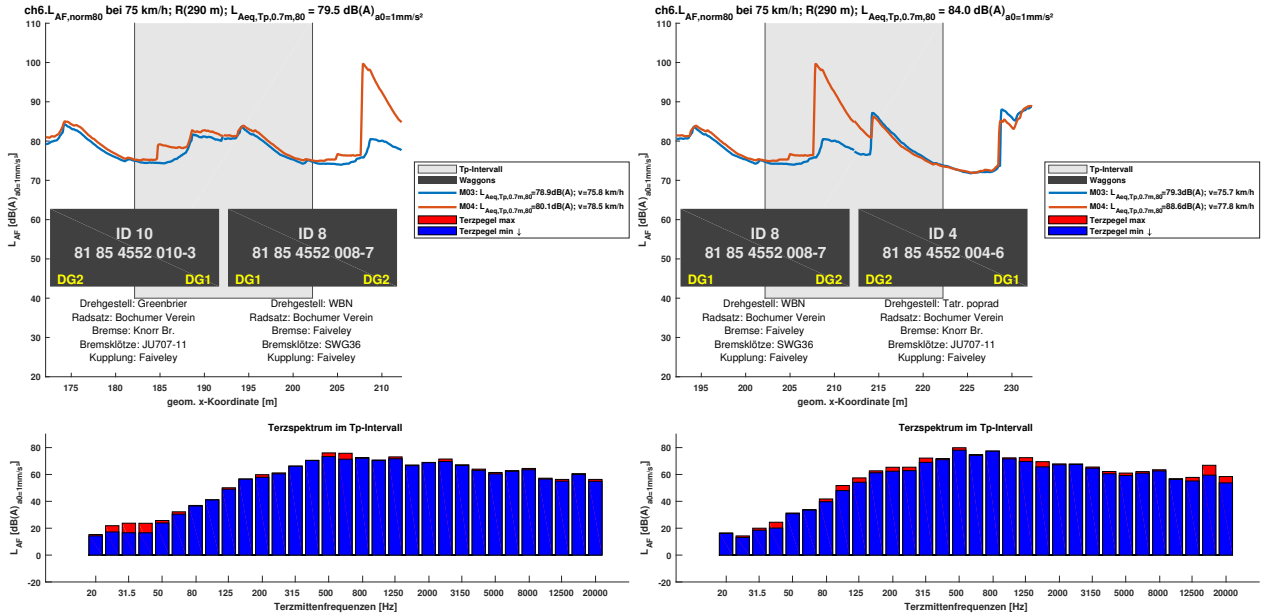


Abbildung A.139.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

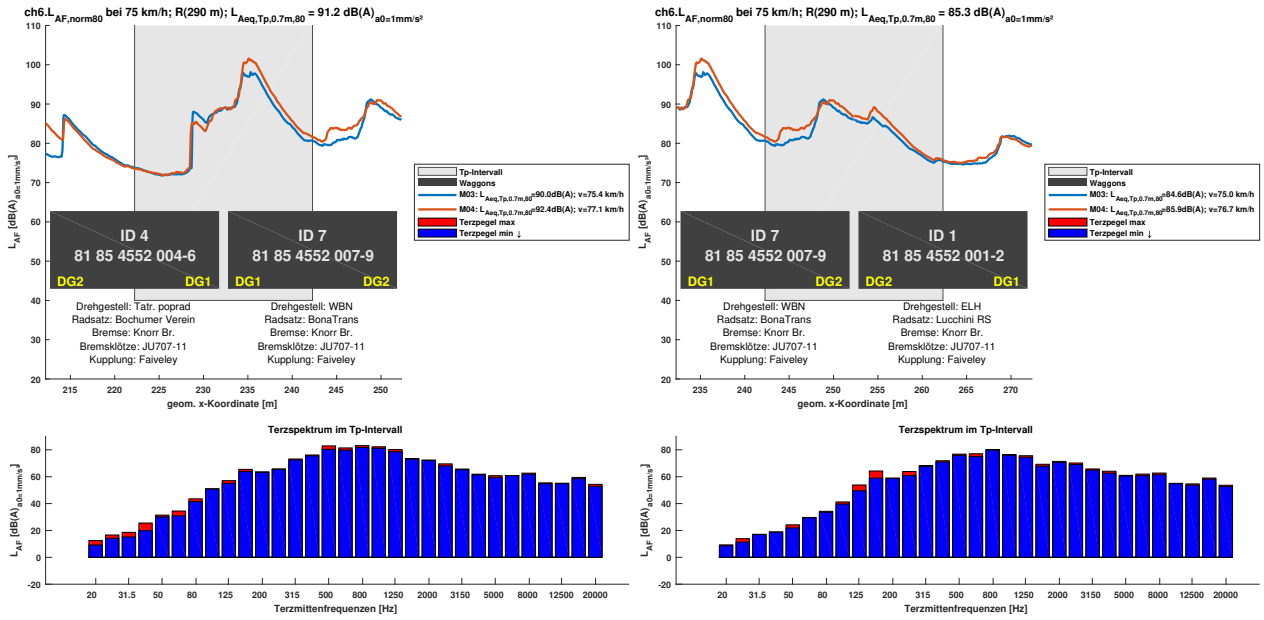


Abbildung A.140.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

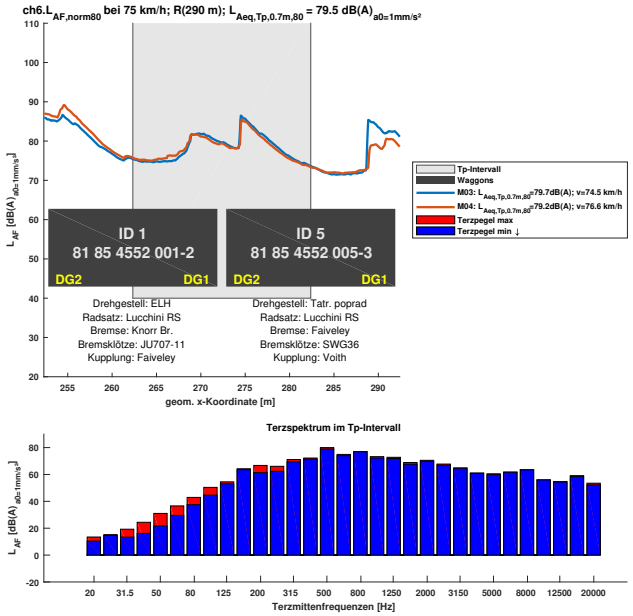


Abbildung A.141.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID01-ID05]

A.3.8. Menznau, R=290m, Beschleunigungspegel (am Schienenkopf, transversal)

Der abgebildete Beschleunigungspegel bezieht sich auf den Referenzbeschleunigungswert $a0 = 1\,mm/s^2$.

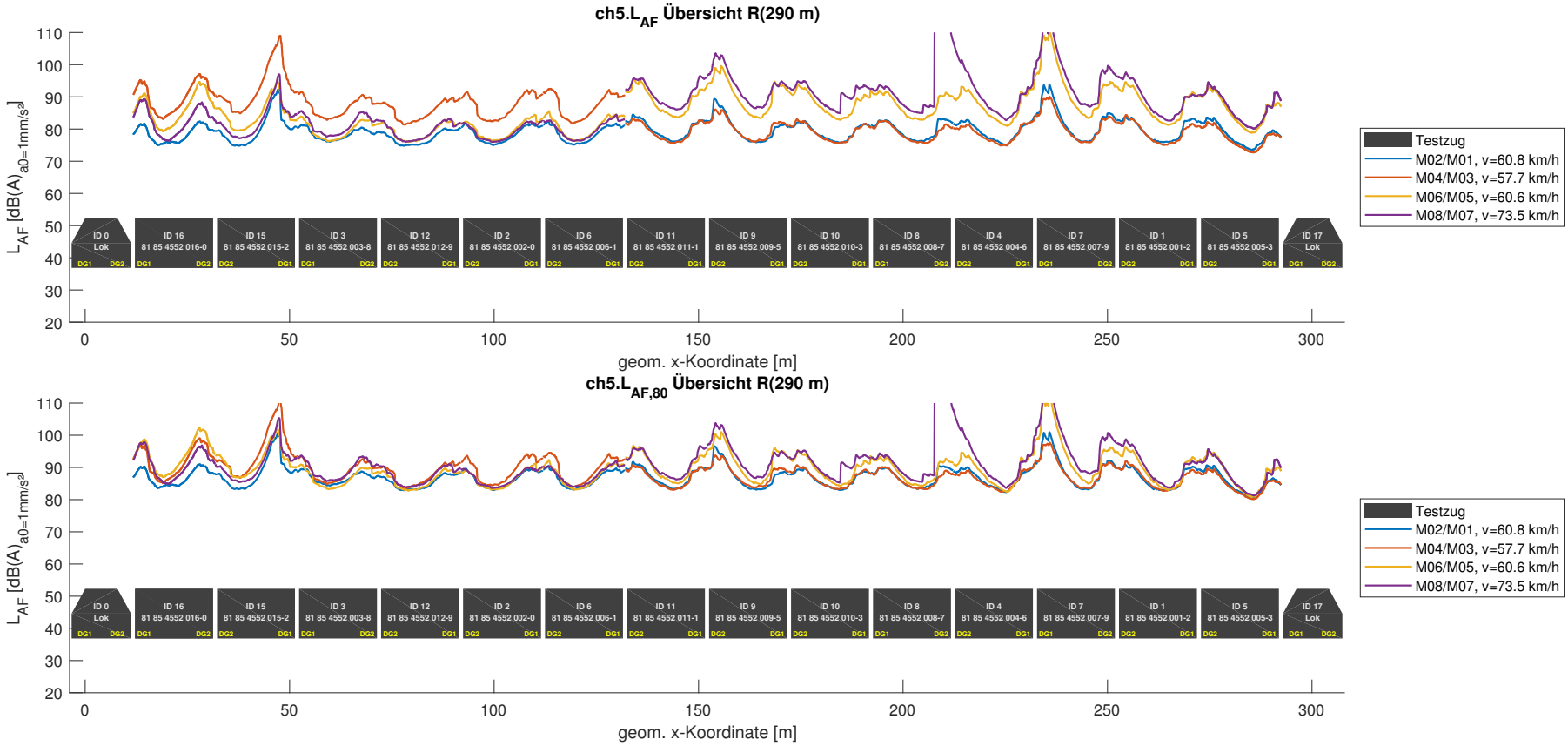


Abbildung A.142.: Übersicht Messdaten, ohne und mit Geschwindigkeitskorrektur(Menznau, R=290m)

A.3.8.1. Beschleunigungspegel, v=060km/h

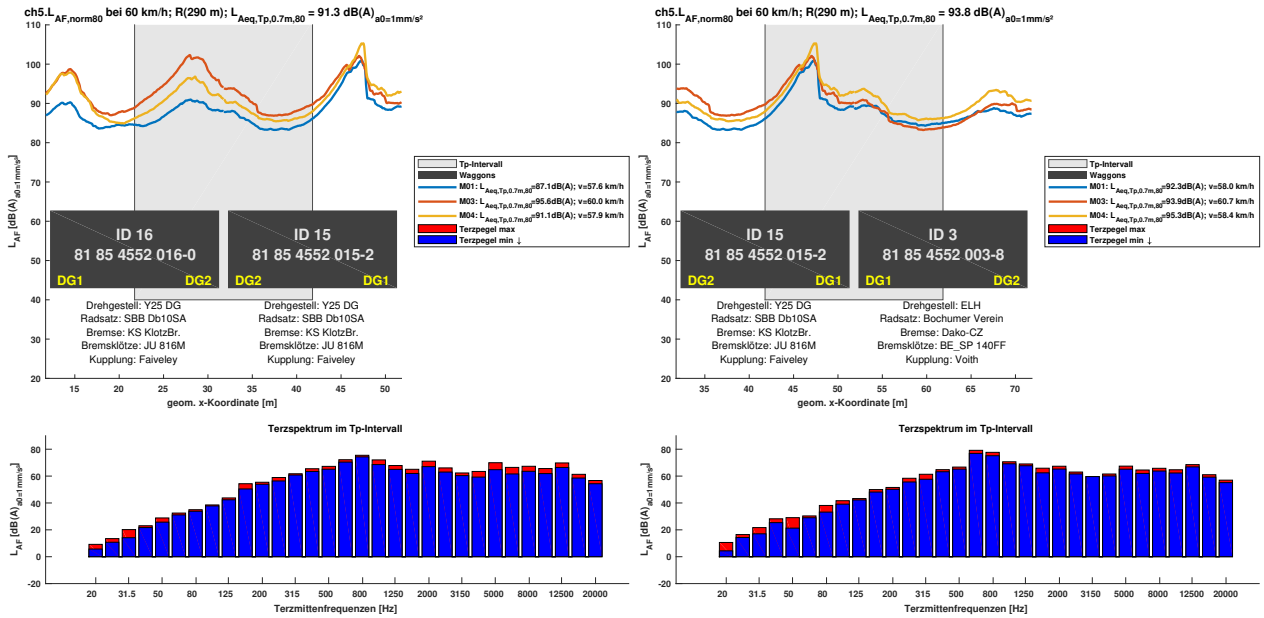


Abbildung A.143.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

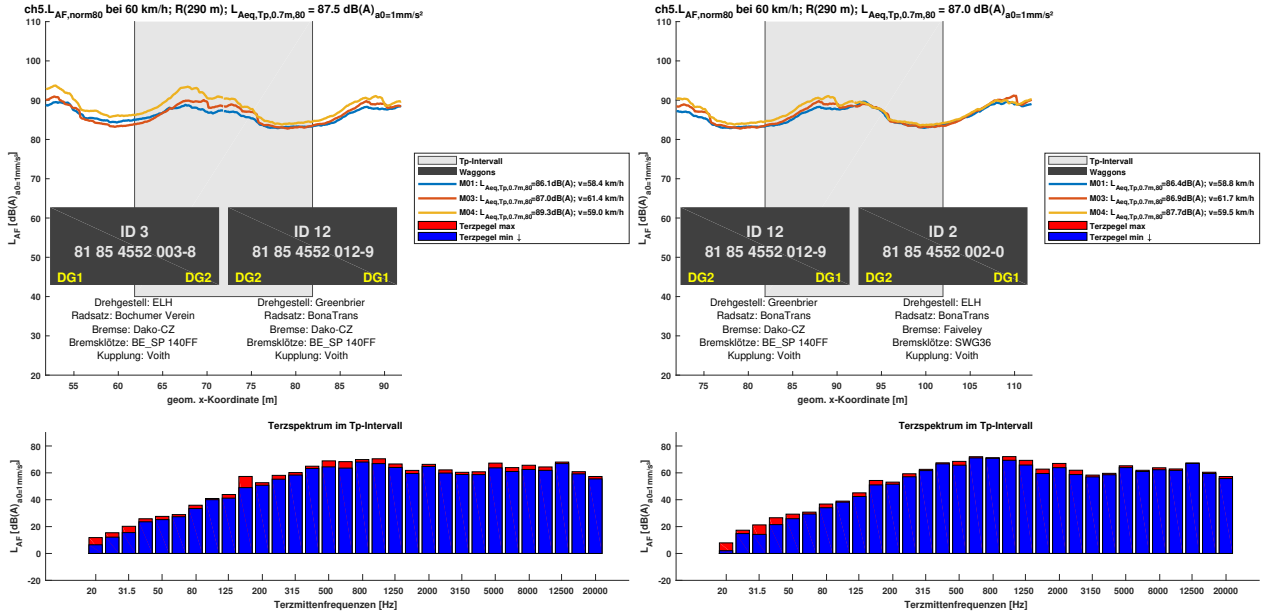


Abbildung A.144.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

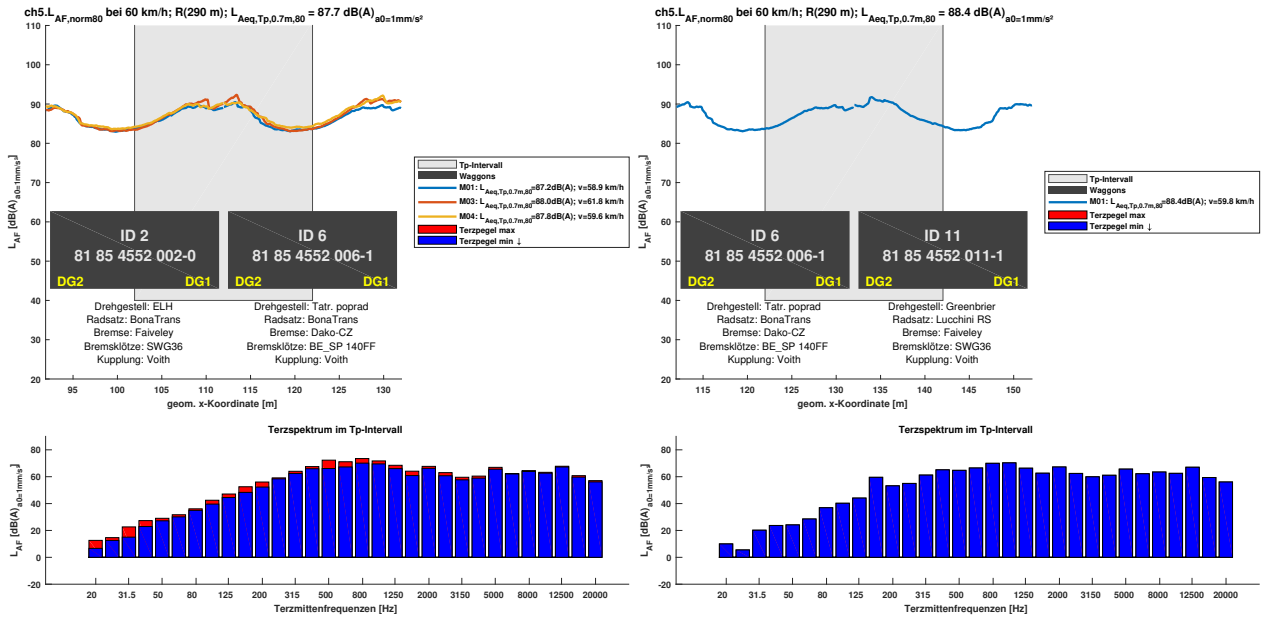


Abbildung A.145.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

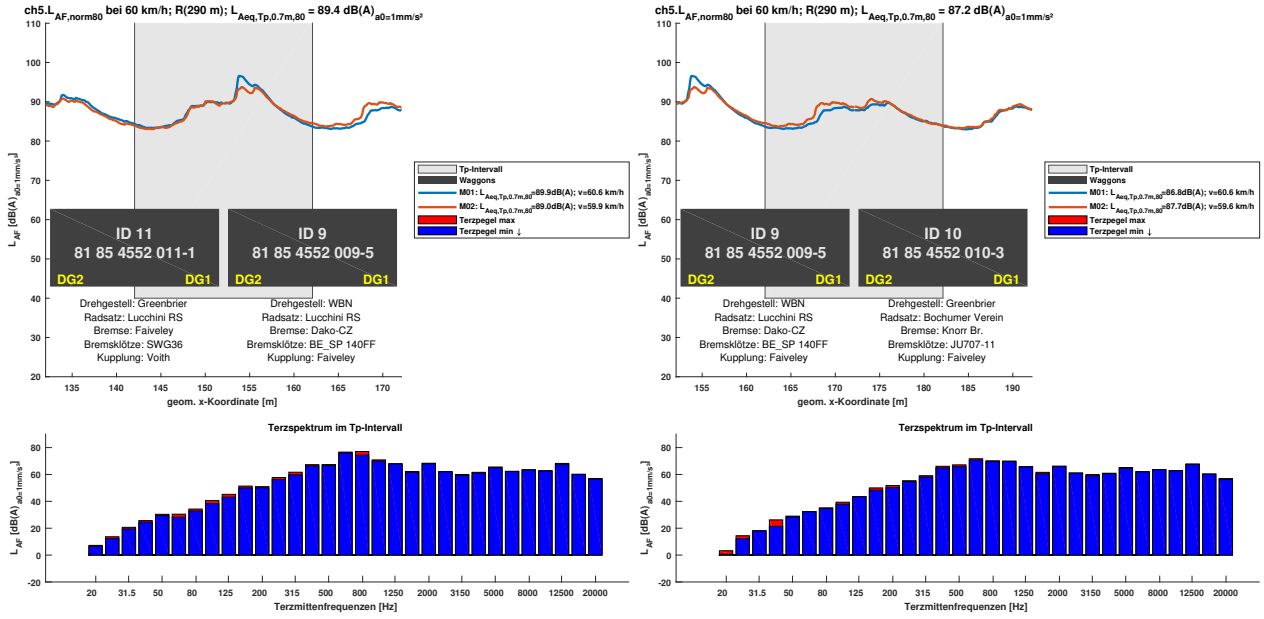


Abbildung A.146.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

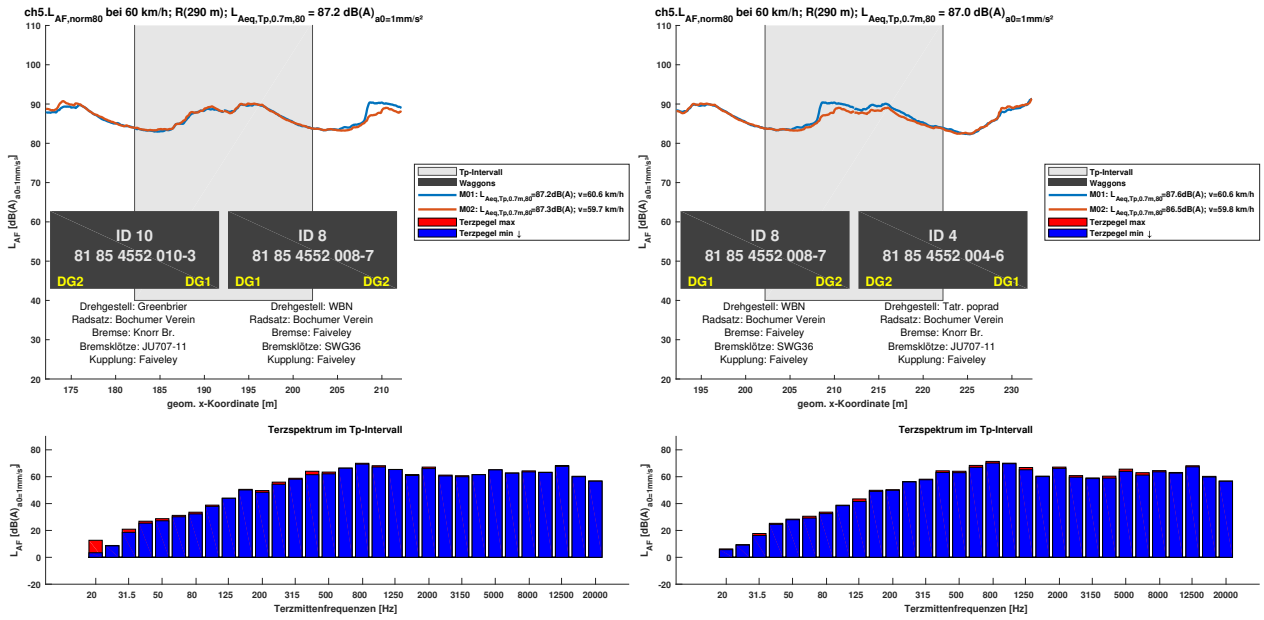


Abbildung A.147.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

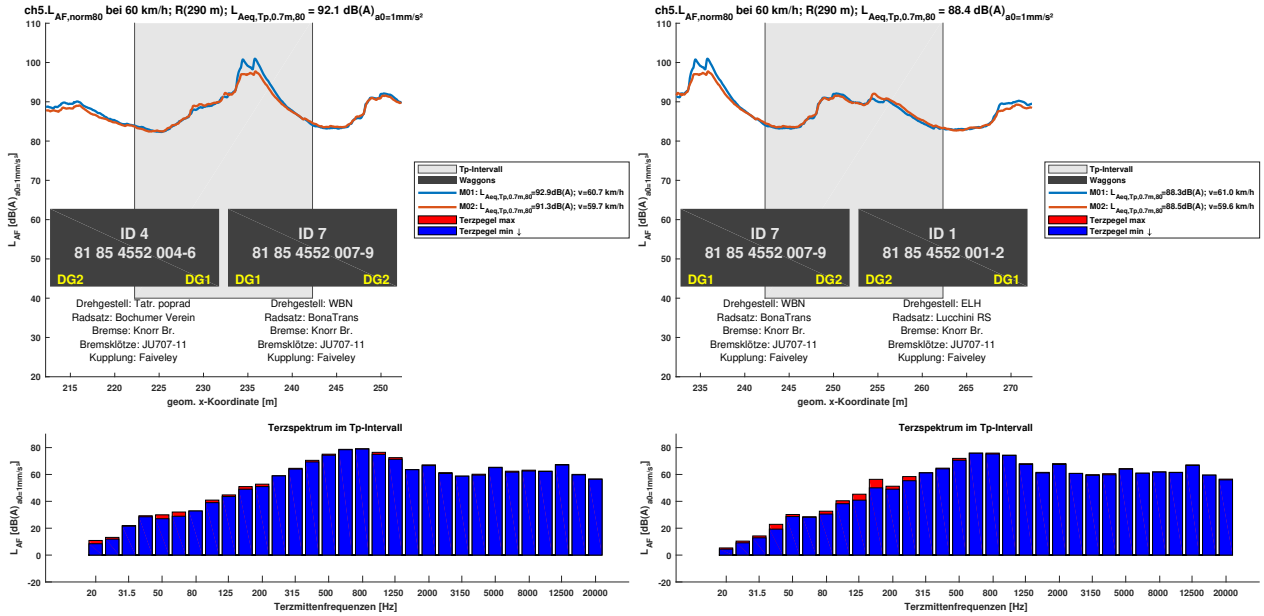


Abbildung A.148.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

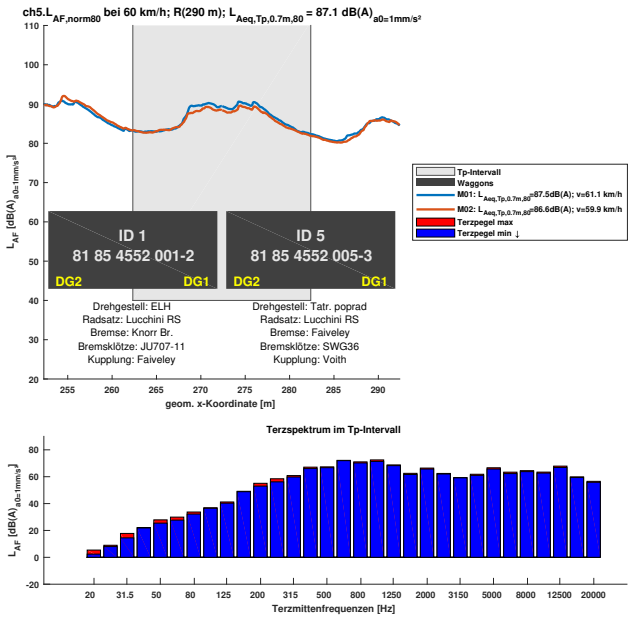


Abbildung A.149.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=060km/h, [ID01-ID05]

A.3.8.2. Beschleunigungspegel, v=075km/h

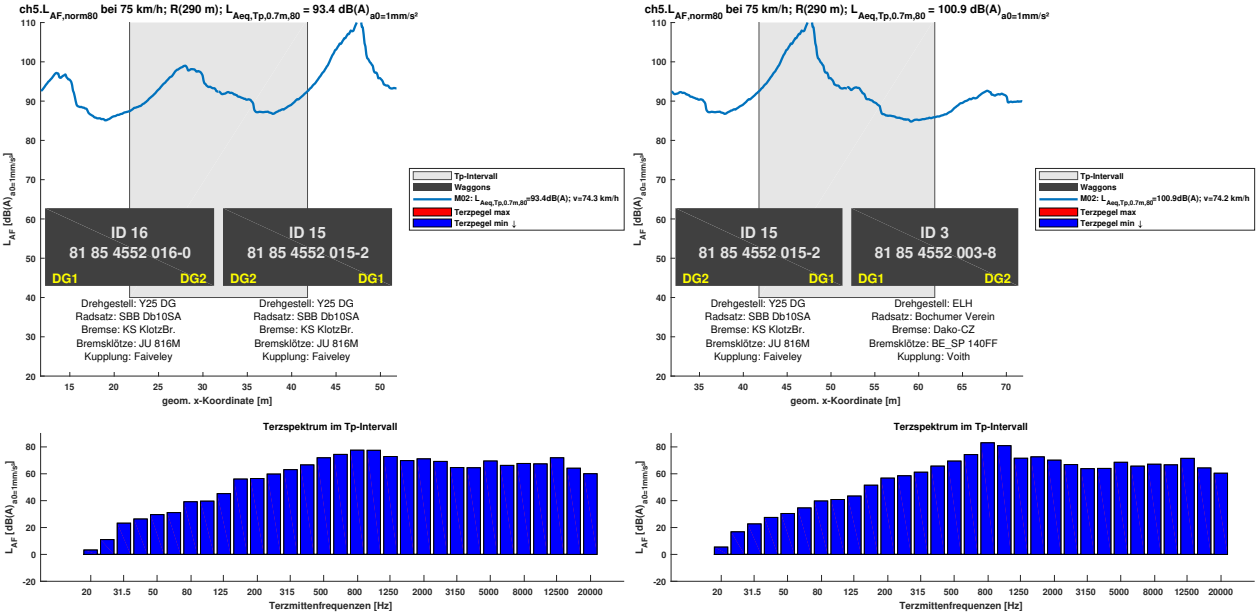


Abbildung A.150.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID16-ID15] und [ID15-ID03]

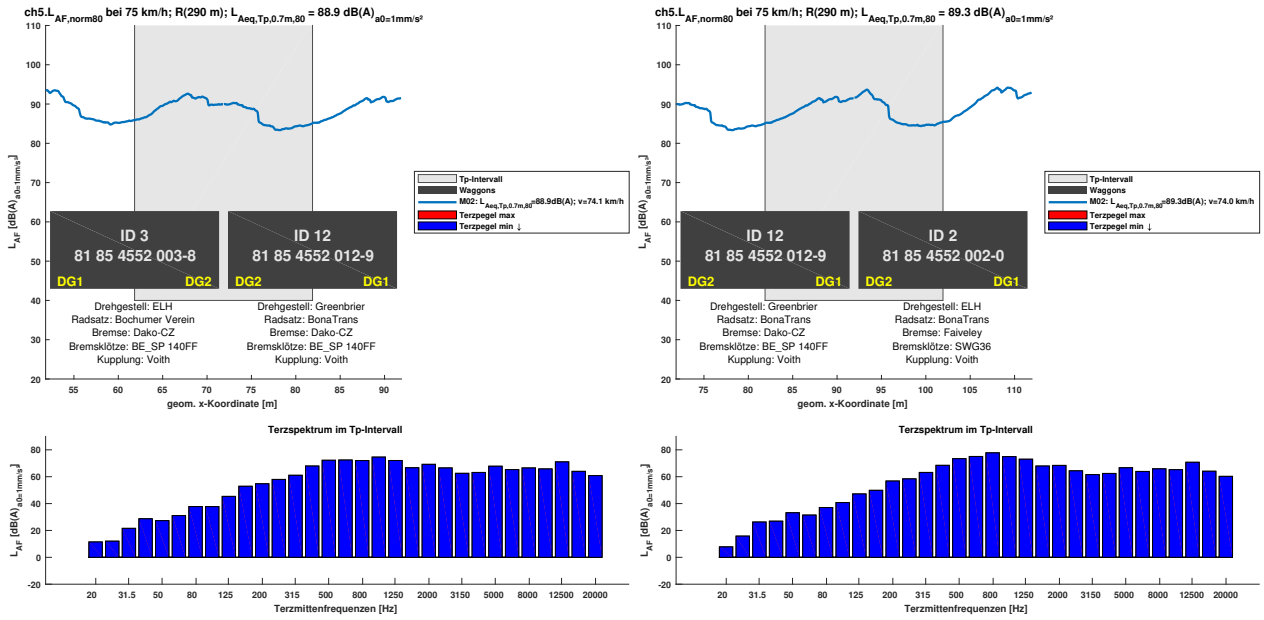


Abbildung A.151.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID03-ID12] und [ID12-ID02]

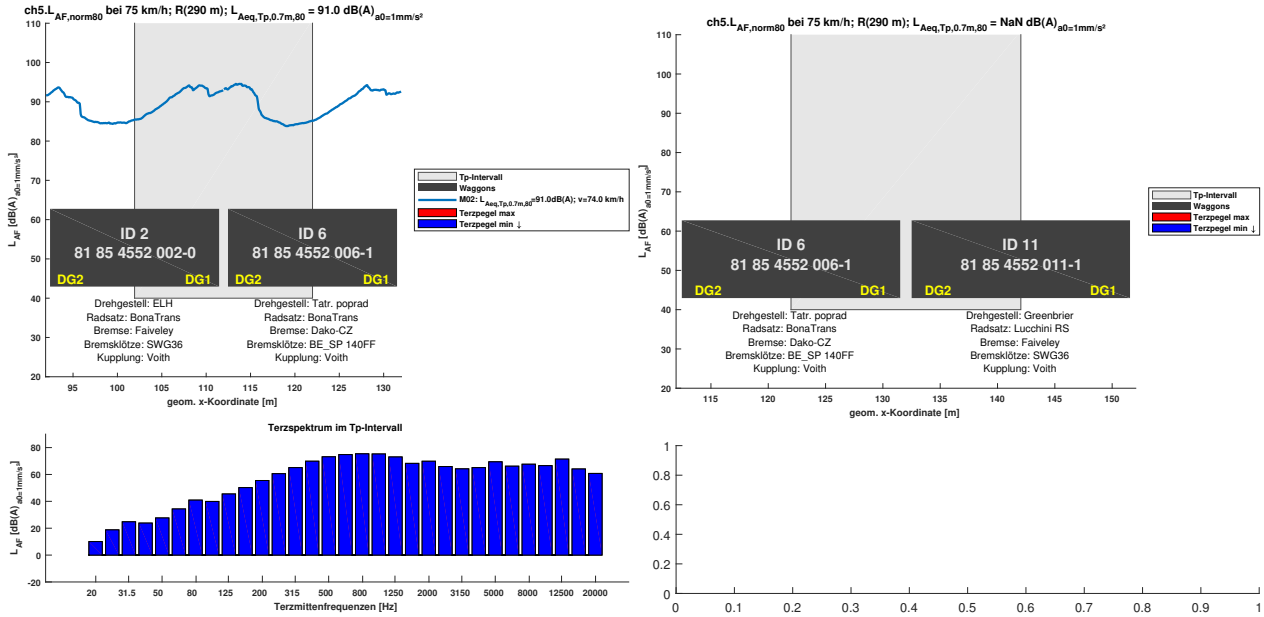


Abbildung A.152.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID02-ID06] und [ID06-ID11]

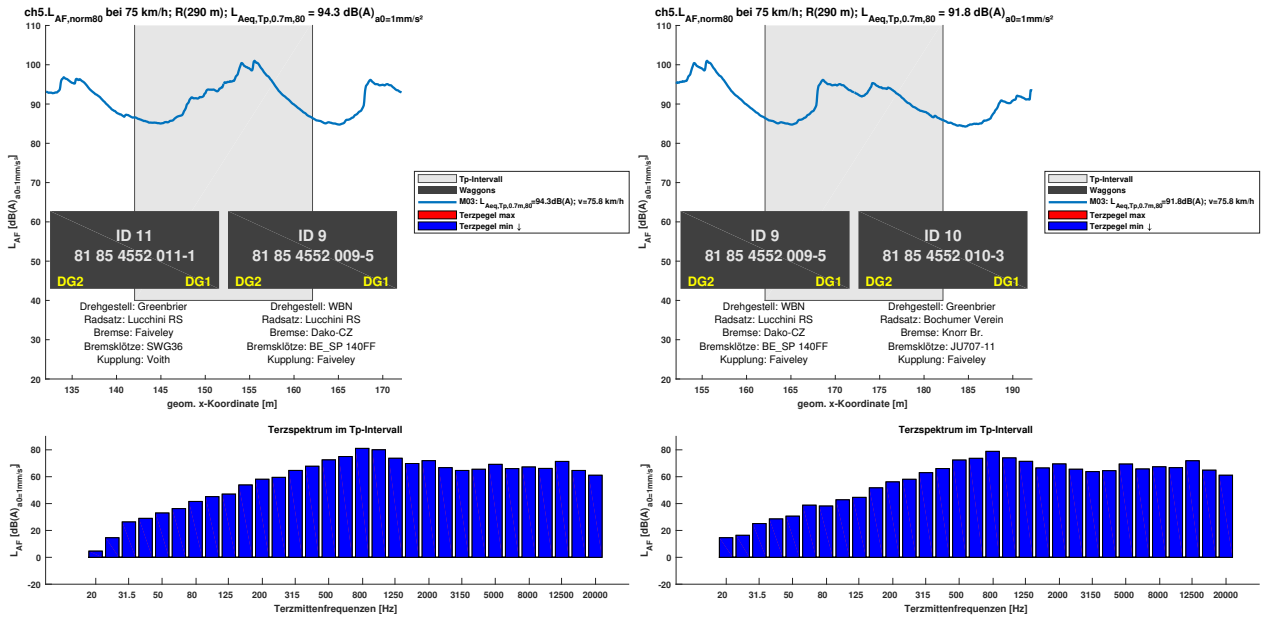


Abbildung A.153.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID11-ID09] und [ID09-ID10]

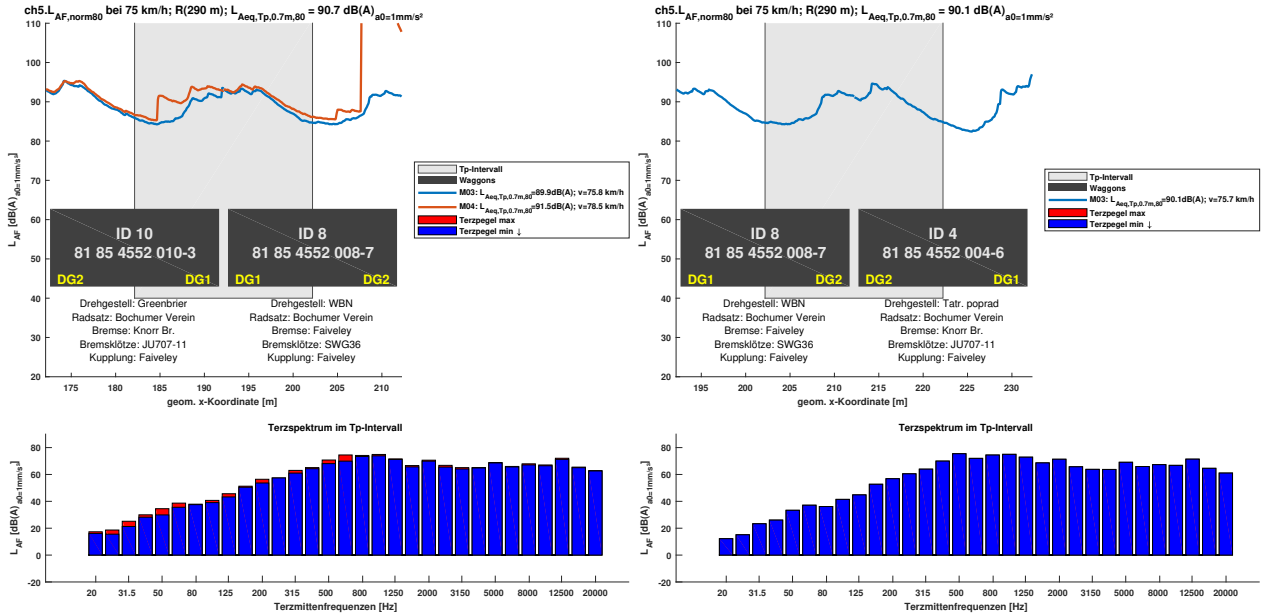


Abbildung A.154.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID10-ID08] und [ID08-ID04]

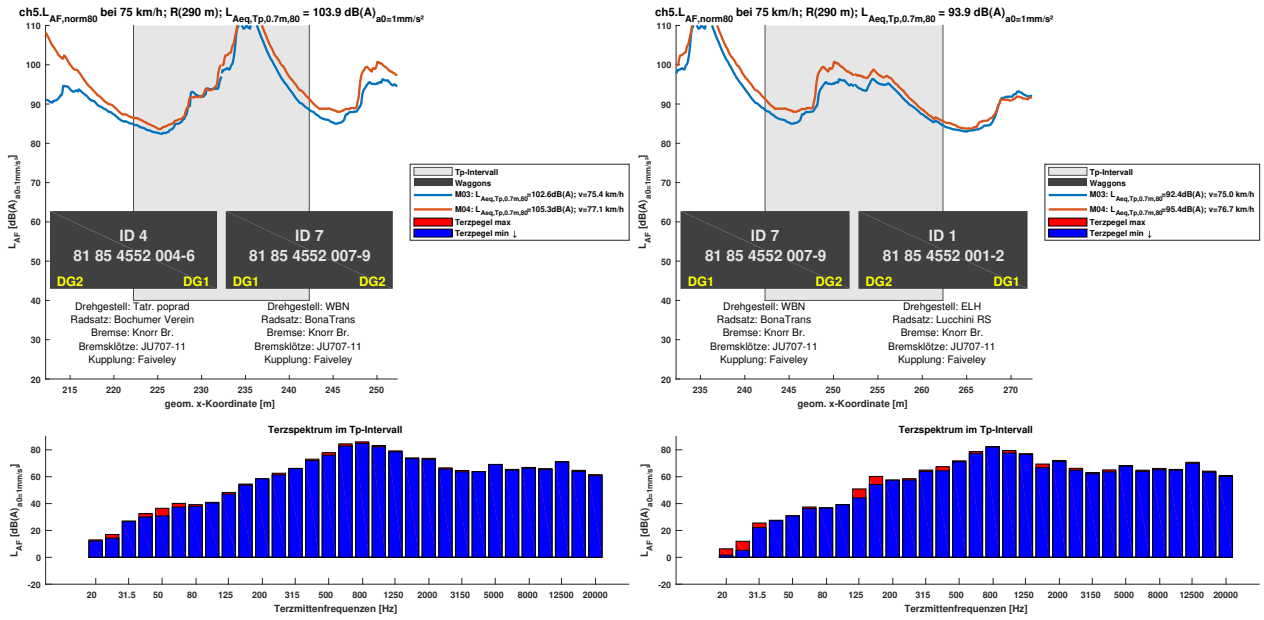


Abbildung A.155.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID04-ID07] und [ID07-ID01]

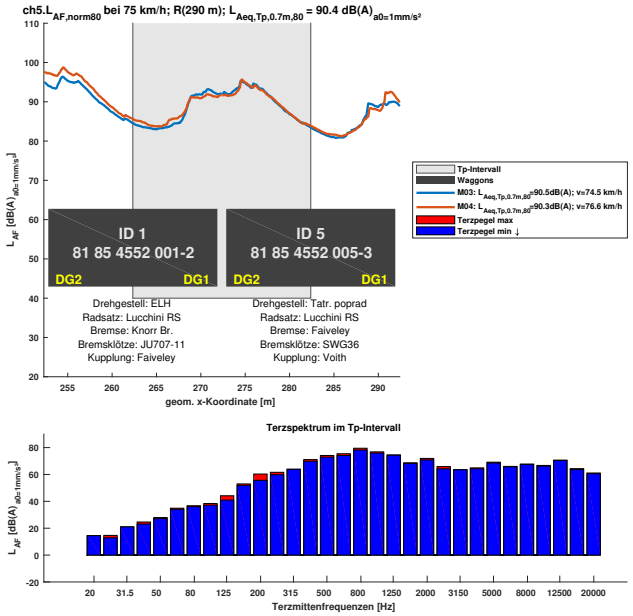


Abbildung A.156.: Menznau: Beschleunigungspegel, v=075km/h, [ID01-ID05]

A.4. Schienenrauheit

A.4.1. Kerzers, R=Infm

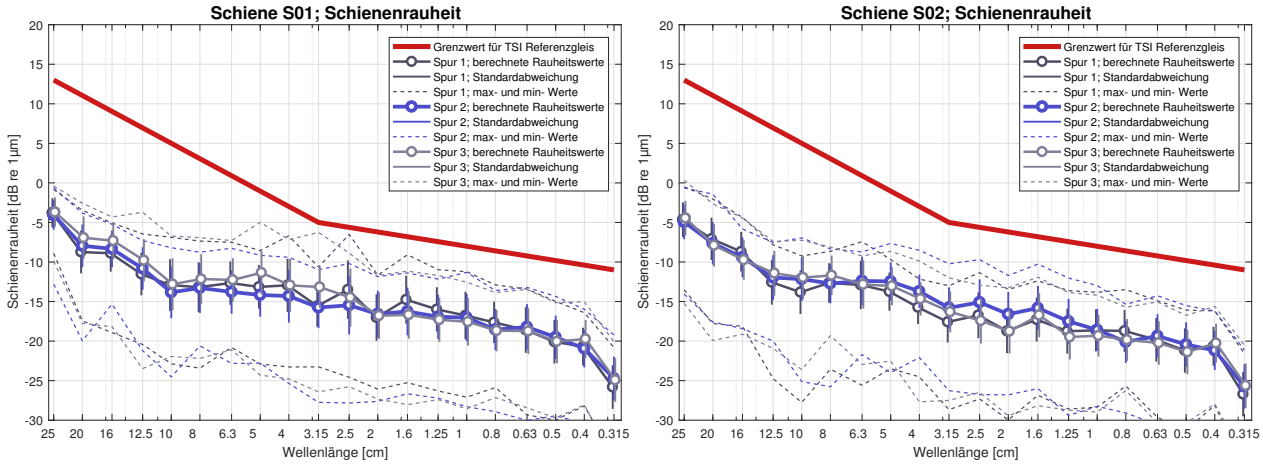


Abbildung A.157.: Kerzers: Akustische Schienenrauheit auf S01 und S02

A.4.2. Willisau, R=490m

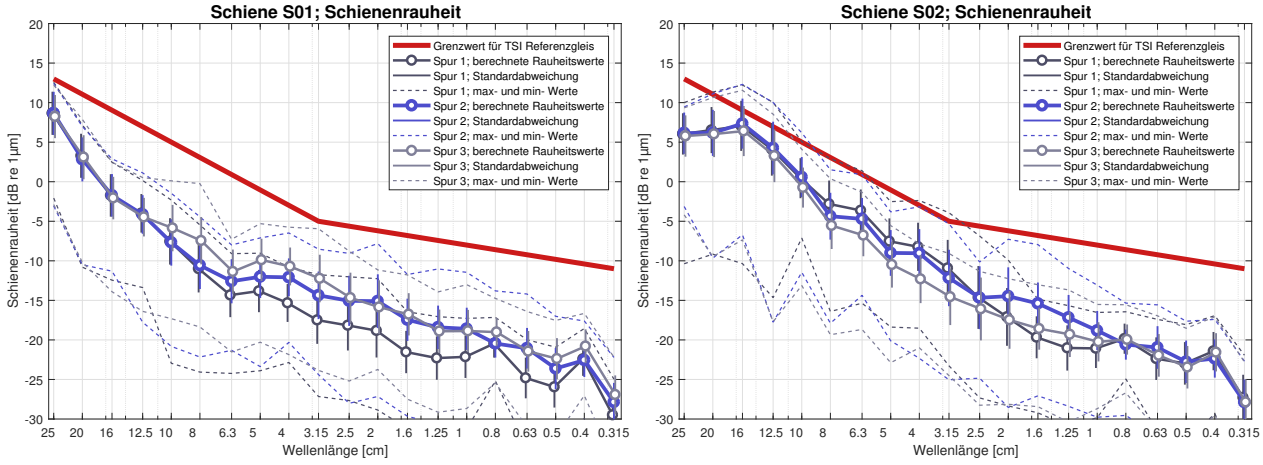


Abbildung A.158.: Willisau: Akustische Schienenrauheit auf S01 und S02

A.4.3. Menznau, R=290m

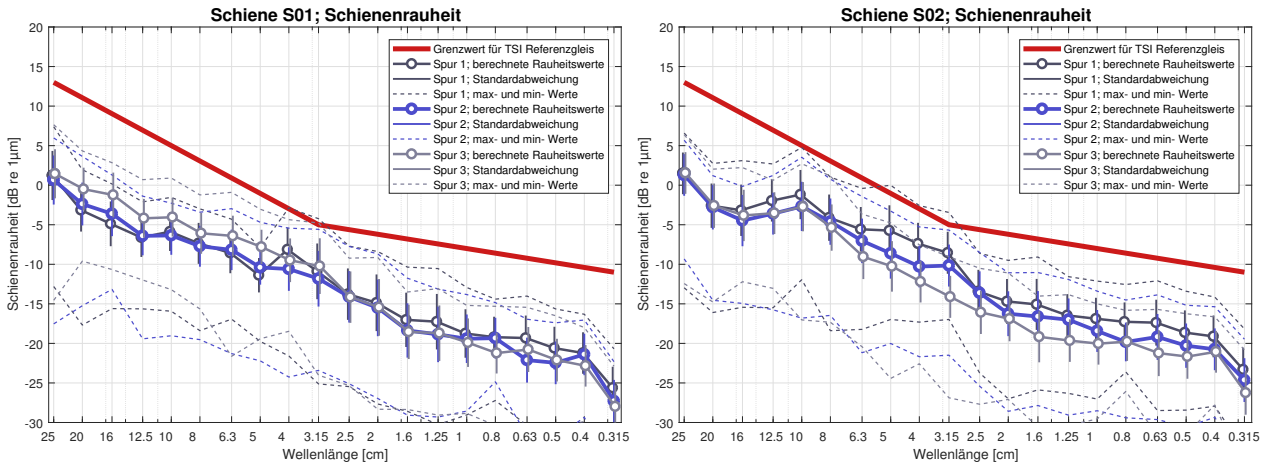


Abbildung A.159.: Menznau: Akustische Schienenrauheit auf S01 und S02

A.5. Abklingrate

A.5.1. Kerzers, R=Infm

A.5.1.1. Laterale Abklingrate

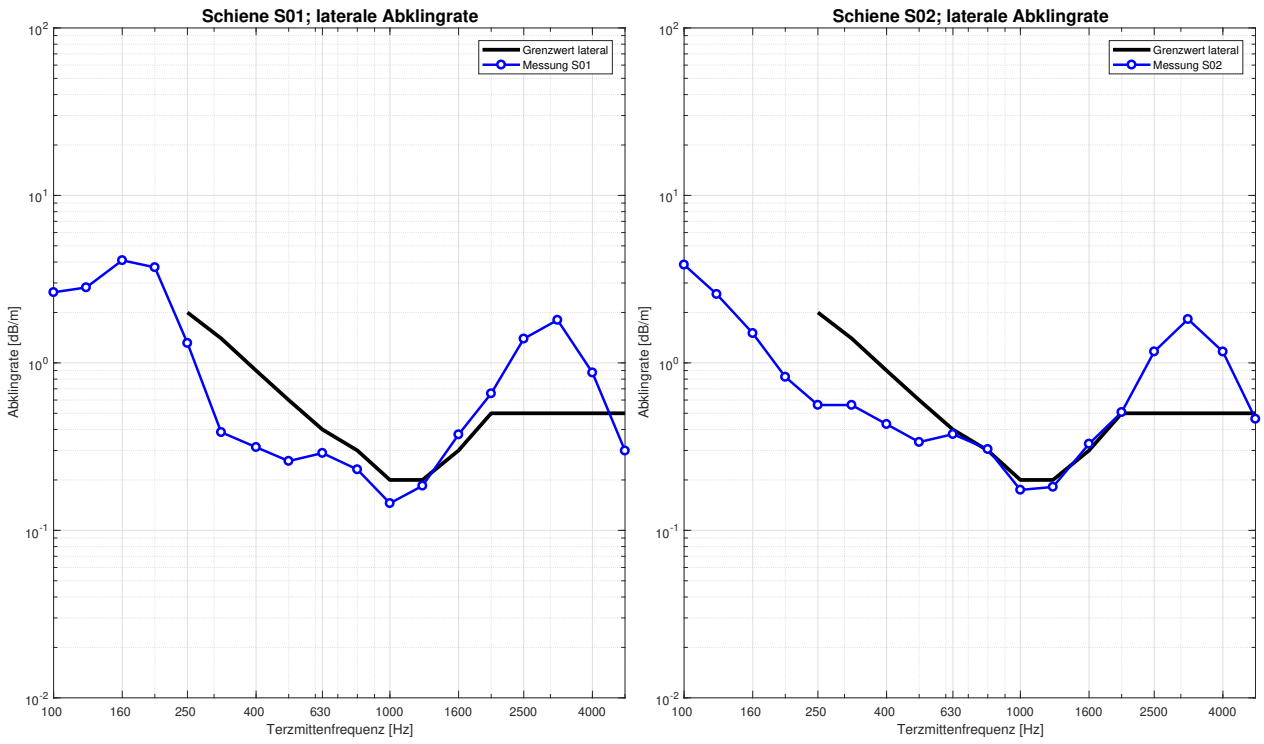


Abbildung A.160.: Kerzers: Laterale Abklingrate auf S01 und S02

A.5.1.2. Transversale Abklingrate

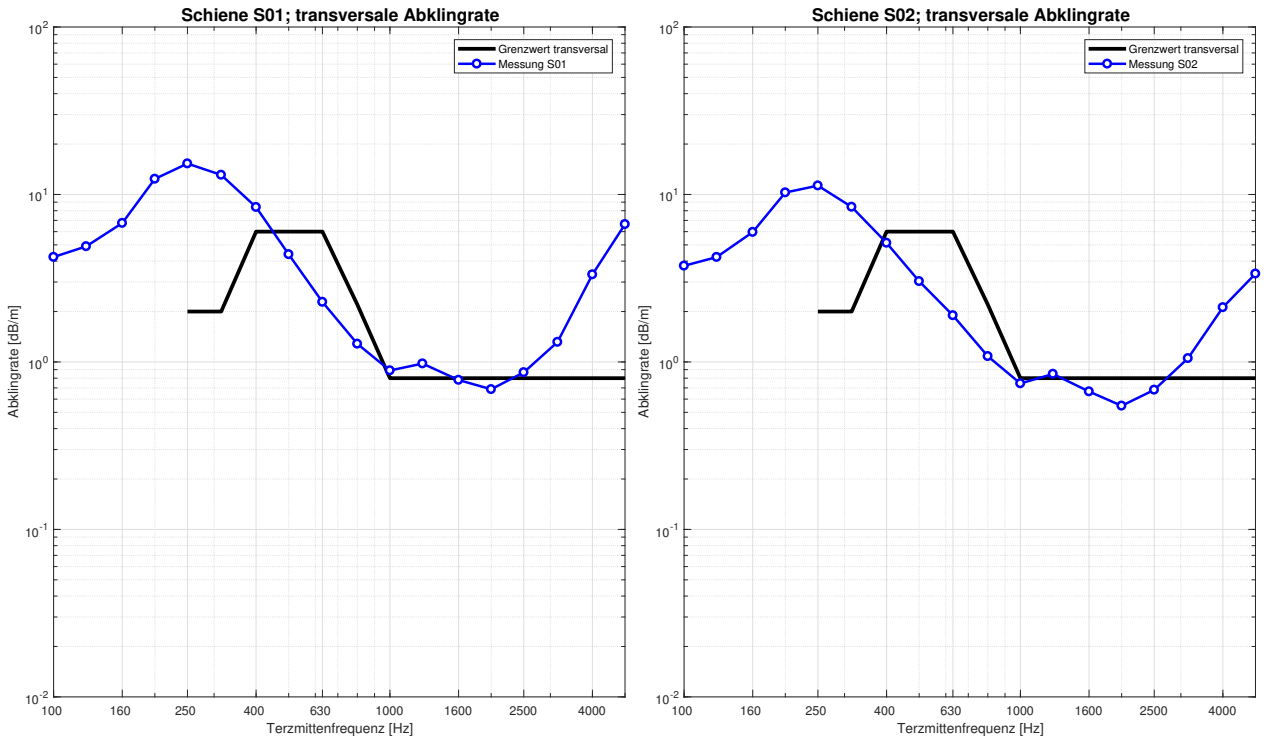


Abbildung A.161.: Kerzers: Transversale Abklingrate auf S01 und S02

A.5.2. Willisau, R=490m

A.5.2.1. Laterale Abklingrate

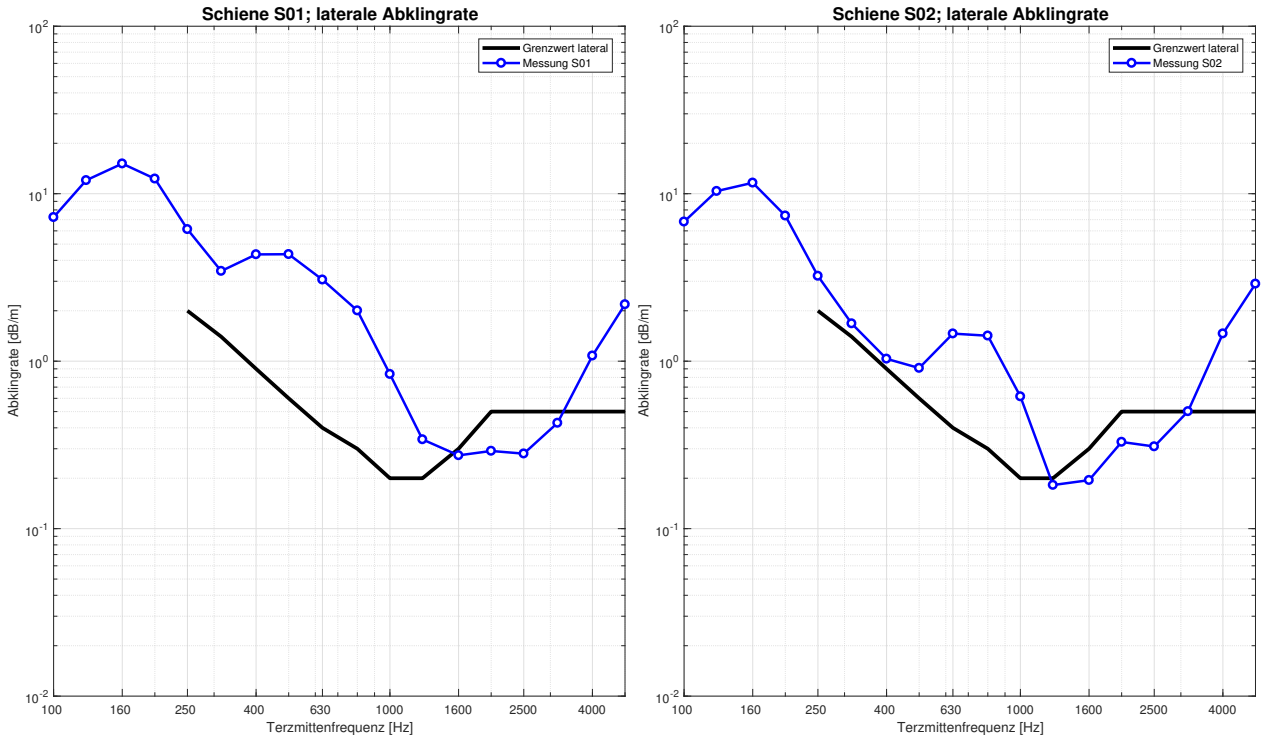


Abbildung A.162.: Willisau: Laterale Abklingrate auf S01 und S02

A.5.2.2. Transversale Abklingrate

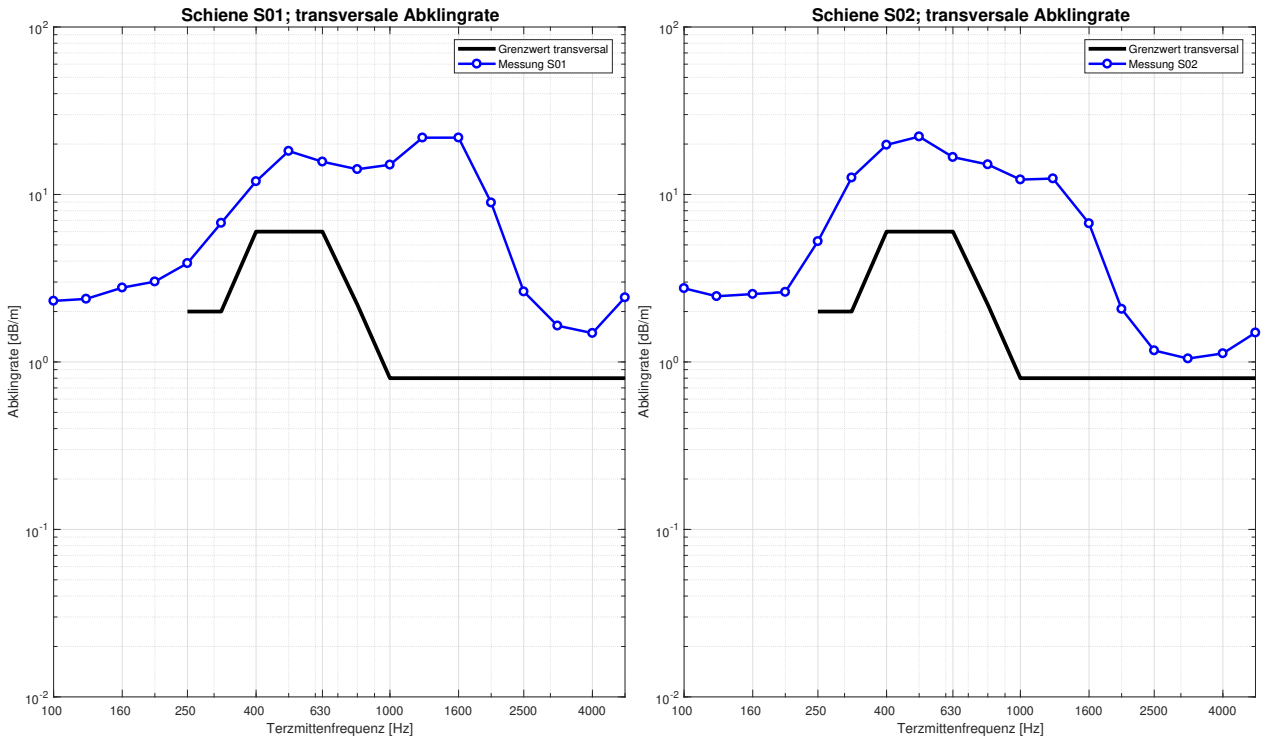


Abbildung A.163.: Willisau: Transversale Abklingrate auf S01 und S02

A.5.3. Menznau, R=290m

A.5.3.1. Laterale Abklingrate

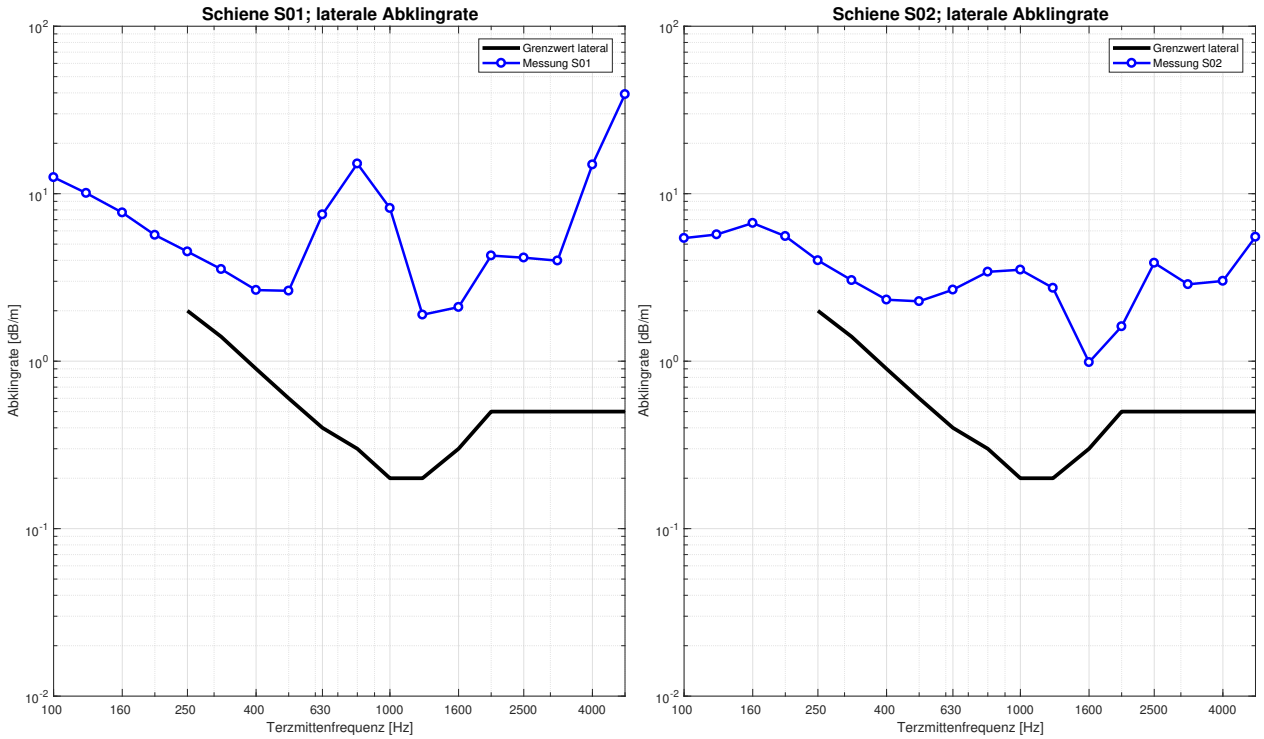


Abbildung A.164.: Menznau: Laterale Abklingrate auf S01 und S02

A.5.3.2. Transversale Abklingrate

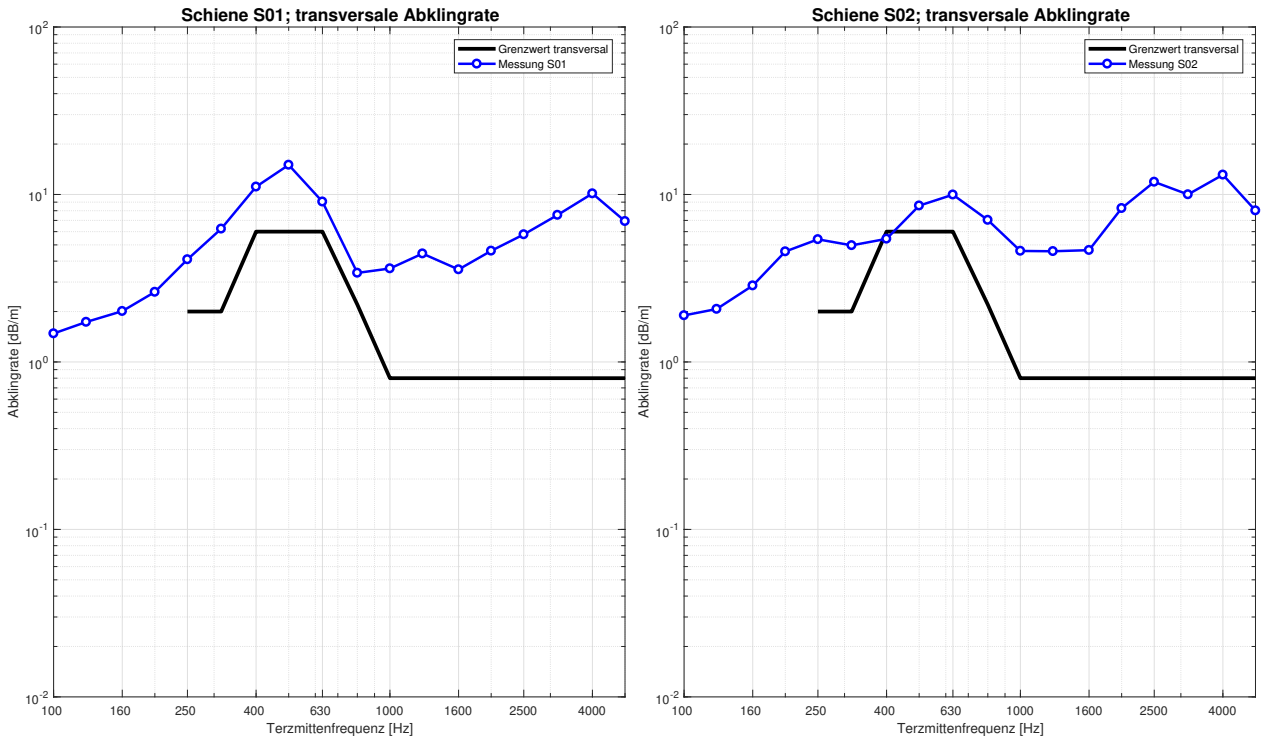


Abbildung A.165.: Menznau: Transversale Abklingrate auf S01 und S02

Dies ist die letzte Seite dieses Dokuments!

This is the last page of the document!