

**Zentralbahn
Monitoring Eisenbahnlärm
Steinibachkurve, 6052 Hergiswil**

**Reduktion der Lärmemissionen
mit Schienenkopfkonditionierung**



25. November 2016

Auftraggeber: zb Zentralbahn AG
Volkmar Walz
Ingenieur Flottentechnik
Stanserstrasse 2
6362 Stansstad

Auftragnehmer: Planteam GHS AG
Bahnhofstrasse 19a
6203 Sempach Station
Telefon: 041 469 40 40
Internet: www.planteam.ch
E-Mail: reto.hoein@planteam.ch

Projektleiter: Reto Höin, dipl. Ing. HTL, Raumplaner NDS/HTL

Sachbearbeiterin: Dominique Fedier-Höin

Auftrag-Nr.: 16-165 / Version: 15165MB2.doc

Inhaltsverzeichnis	1	Einleitung	3
	1.1	Auftrag	3
	1.2	Messort	4
	1.3	Projektorganisation	5
	2	Installation mobile Messstation	6
	2.1	Messanordnung	6
	2.2	Installation Messstation (Fotodoku)	7
	2.1	Einsatz-Protokoll Monitoring	10
	3	Aufzeichnung der Mess-Daten	10
	3.1	Auswertung mit «Wochenliste»	10
	3.1.1	Zugsvorbeifahrten: Auszug aus Tagessatz (Beispiel)	11
	3.1.2	Auswertung Tagessatz (Beispiel)	12
	3.1.3	Resultat Wochenliste (Beispiel)	13
	3.1.4	Schluss-Resultat Beurteilungspegel L _{r,e} gemäss LSV	14
	3.2	Speicherung der Frequenzen 20 Hz – 20 kHz	14
	4	Spezielle, verwendete Messgrössen	15
	5	Erkennung von Kreischgeräuschen	16
	5.1	Konzept zur Erkennung von Kreischgeräuschen	16
	5.2	Definition der Kreisch-Formel	17
	5.3	Beispiele: Frequenzspektren mit / ohne Kreischen	18
	6	Konzept Schienen-Kopf-Konditionierung (SKK)	19
	7	Wirkung SKK Im Tagesverlauf	21
	7.1	Pegelübersicht (SEL) über einen Tag ohne SKK	21
	7.2	Pegelübersicht (SEL) über einen Tag mit SKK	22
	7.3	Ausgewählte Pegel (SEL) an einem Tag mit SKK	23
	7.4	Vergleich der Tageswerte mit / ohne SKK	24
	7.5	Pegel-Veränderung am Beispiel vom 21.04.16	25
	8	Wirkung SKK am Typ Abe130010-SKK/Abeh160003	26
	8.1	Wirkung im Schallpegel-Bereich	26

8.2	Wirkung im Frequenz-Bereich (Richtung Hergiswil)	27
8.3	Wirkung im Frequenzbereich (Richtung Horw)	31
9	Zusammenfassung	35
9.1	Konzept Monitoring	35
9.2	Kreischgeräusche	35
9.3	Auswertung Messresultate	35
9.4	Wirkung Schienenkonditionierung im Tagesverlauf	36
9.5	Wirkung SKK an einem ausgewählten Zugstyp	36
9.6	Störwirkung von Kreischgeräuschen	37
9.7	Wahrnehmbarkeit von «schleichenden» Veränderungen	38

1 Einleitung

1.1 Auftrag

Auftrag

Mit einem Monitoring Eisenbahnlärm, am Standort Steinibachkurve in Hergiswil, sollen über einen längeren Zeitraum die Mess-Daten gesammelt werden, die im Nachgang Aussagen über die Wirksamkeit der eingesetzten Lärmschutz-Massnahmen ermöglichen.

Offerte Monitoring

Mess-Standort:	Hergiswil, Parz. 168 (Ref. Kirche), südlich der Unterführung (siehe Kapitel 1.3).
Stromanschluss:	220V Anschluss beim Eingang Gemeindehaus.
Messkonzept:	Die Messung der akustischen Parameter erfolgt nach ISO-Norm in einer Distanz von 7.5 m ab Mitte Gleis und 1.2 m über Schienenoberkant (SOK).
Installation:	Das Aufkleben der Dehnmessstreifen erfolgt, während der Zugspausen, unter Aufsicht der Sicherheitswärter Zentralbahn.
Messgeräte Akustik:	Mobile Messstation mit Fernwartung: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schallpegelmessers Nor 121 ▪ Schallpegelmessers Nor 140 ▪ Aussenmikrofon
Messgeräte zusätzlich:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dehnmessstreifen am Gleis mit Achserkennungssoftware auf PC ▪ Wettermessstation
Automat. Datentransfer:	Automatischer Datentransfer täglich während der Nacht. Vorgängig erfolgt ein Plausibilitätstest der aufbereiteten Daten.
Speicherung der Daten:	Die aufbereiteten Daten werden pro Zugvorbeifahrt auf einer SD Karte gespeichert. Speicherung im CSV-Format (für Übertrag ins Excel) und im NBF-Format (für Auswertung mit NorReview).
Zugserkennung:	Über Triggerung mit Achszähler.
Erfasste Messgrößen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die mobile Messstation erfasst automatisiert sämtliche Daten im Mittel pro Zugdurchfahrt (siehe Kapitel 1.4). ▪ Zusätzlich werden alle Daten pro festgelegte Zeiteinheit (z.B. 100 ms) gespeichert. Aus diesen Daten können später, von Hand, detaillierte Auswertungen für einzelne Züge erstellt werden.
Automatisierte Kreischerkennung:	Die automatisierte Kreischerkennung erfolgt nach einem mathematischen Ansatz, welcher aufgrund von Höreindrücken vor Ort, im Vergleich mit den Messdaten, festgelegt wird. Bestimmt wird eine, für die Zentralbahn, typische Frequenzabhängigkeit.

1.2 Messort

Der Mess-Standort liegt auf dem Grundstück der Reformierten Kirche Hergiswil (Parzelle Nr. 168).

Situation mit Mess-Standort

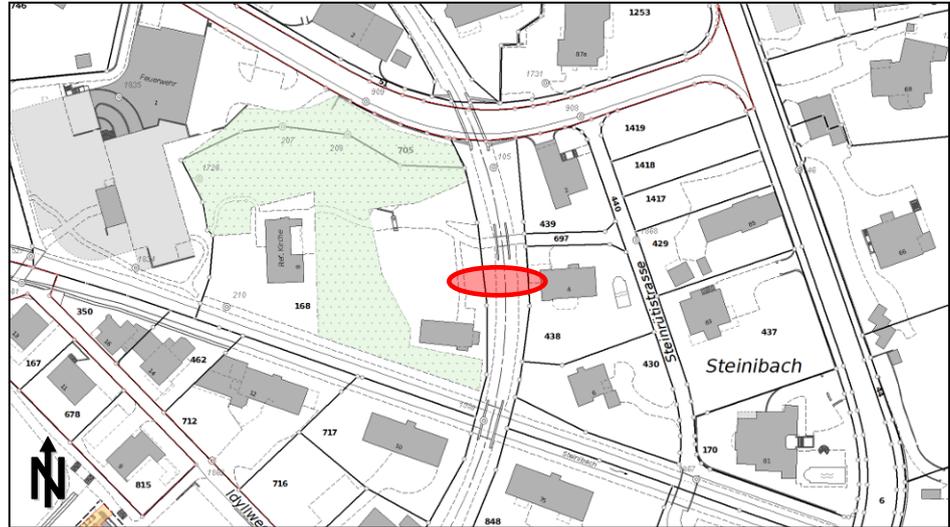


Foto Mess-Standort in Richtung Norden:



Foto Mess-Standort Richtung Süden:



Foto Mess-Standort:



Foto Eingang Gemeindehaus mit Stromanschluss:



**Orthophoto Standort
Monitoringstation**

1.3 Projektorganisation

Projektorganisation:**Auftraggeber:**

zb Zentralbahn AG, Stanserstrasse 2, 6362 Stansstad

Projektleiter: Volkmar Walz, Ingenieur Flottentechnik
Tel. 058 668 85 10 / Fax 058 668 85 26
volkmar.walz@zentralbahn.ch

Auftragnehmer:

Planteam GHS AG, Bahnhofstrasse 19a, 6203 Sempach Station

Projektleiter: Reto Hoin, Dipl. Ing. HTL Raumplaner NDS HTL
Tel: 041 469 40 40 / Fax: 041 469 40 50
reto.hoein@planteam.ch

PL.-Stv.: Markus Strobel, Dipl. Arch. FH, Akustiker SGA

Subunternehmer:

Norsonic Brechbühl AG, Rüebsaustasse 30, 3415 Rüebsauschachen

Projektleiter: Matthias Brechbühl, Dr. sc. tech. Dipl. Ing. ETH/SIA
Tel: 034 431 31 21 / Fax: 034 431 31 22
matthias.brechbuehl@norsonic.ch

2 Installation mobile Messstation

2.1 Messanordnung

Die Messanordnung entspricht den Anforderungen der massgebenden ISO-Norm (prEN ISO 3095.2). Die akustische Messung wird über die Achszähler ausgelöst. Die Geschwindigkeit und die Achszahlen der vorbeifahrenden Züge werden von den Achsaufnehmern erfasst.

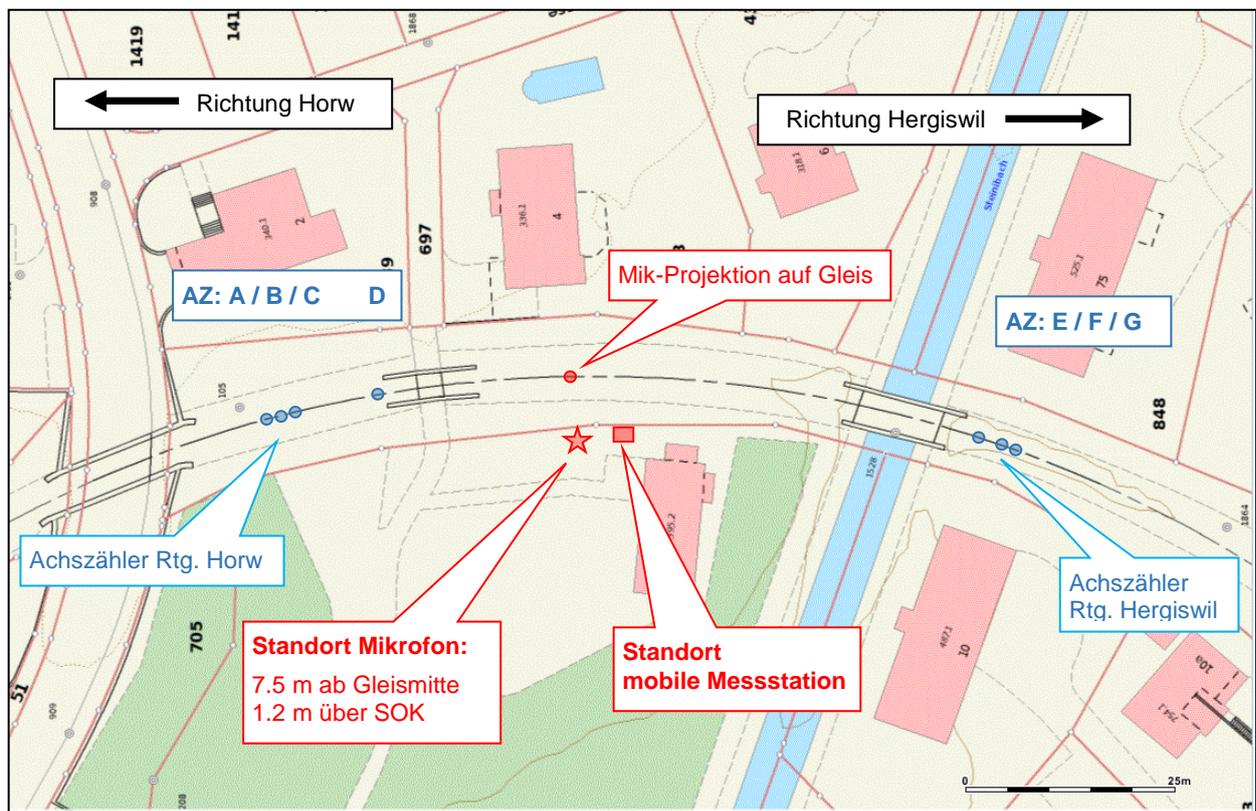
Standortvorgaben

Der Monitoring-Standort wurde nach akustischen Kriterien, unter Einbezug der Wünsche des Projektleiters der Zentralbahn (Volkmar Walz) festgelegt.

Messvorgaben Mikrophon

Distanz zu Mitte Gleis: 7.5 m
Höhe über Schienenoberkante (SOK): 1.2 m

Skizze Messaufstellung



Distanzen Achszähler (AZ) zum Mikrophon (Mikrophon-Projektion auf Gleis):

- Richtung Horw: 34.40 m (AZ = A) 33.80 m (AZ = B); 33.20 m (AZ = C); 21.85 m (AZ = D)
- Richtung Hergiswil: 48.80 m (AZ = E); 50.00 m (AZ = F); 50.60 m (AZ = G)

2.2 Installation Messstation (Fotodoku)

Messstation:



Strom-Anschluss im Gemeindehaus und Erdung Messstation an Mast:



Mast mit Aussenmikrofon:



Installation Achszähler Mit Sicherheitswärter der ZB:



Montage Achszähler:



2.1 Einsatz-Protokoll Monitoring

Der Einsatz der mobilen Messstation wurde zu Beginn durch die Tücken der Achszähler-Klebeteknik geprägt. Das heisst, die Achszähler haben sich zweimal von den Schienen gelöst. Ursache war vermutlich das Alter des Klebstoffes (6 Monate vor Ablaufdatum) und die Lagertemperatur (ca. 10-15° anstelle von «kühl»).

Die Achszähler mussten insgesamt dreimal geklebt werden (3. Klebung mit neuem Klebstoff). Geklebt wurden sicherheitshalber immer mindestens 2 Achszähler vor und nach dem Mikrofon (für die Messung wurde nur je ein Achszähler benötigt).

1. Klebung Achszähler: 19. April 2016; Messbeginn ab 15:43 Uhr
geklebt wurden die AZ: B, D, E, G
Messung erfolgte mit AZ: B und G (19.4-22.4.16)
Messung erfolgte mit AZ: D und E (22.4-03.5.16)
2. Klebung Achszähler: 03. Mai 2016; Messbeginn ab 13:07 Uhr
geklebt wurden die AZ: B, D, E, G
Messung erfolgte mit den AZ: B und E
3. Klebung Achszähler: 09. Mai 2016; Messbeginn ab 17:35 Uhr
geklebt wurden die AZ: A, B, C, E, F, G
Messung erfolgte mit den AZ: B und F

Zwischen der 1. und der 3., definitiven Klebung sind die Aufzeichnungen der Messdaten nicht vollständig. Es fehlen vereinzelt Zugs- und/oder Messdaten.

Ab dem 4. bis zum 31. Mai 2016 wurde für jede Zugsvorbeifahrt zusätzlich eine Audio-Datei aufgezeichnet. Diese Audio-Dateien füllten am 31. Mai 2016 die Speicherkarte, die darauf am 1. Juni ersetzt wurde.

Die Lärm-Messungen endeten mit der Demontage der Monitoringstation am 18. Oktober 2016.

3 Aufzeichnung der Mess-Daten

3.1 Auswertung mit «Wochenliste»

Datensatz pro Zugsvorbeifahrt

Für jede Zugsvorbeifahrt erstellte die Monitoringstation aus den Achszählerdaten und den Akustikdaten einen Datensatz. Diese Datensätze wurden in der Wochenliste chronologisch pro Tag aufgelistet.

Kreisch-Aussage

Jeder Datensatz (Zugsvorbeifahrt) wurde anschliessend ergänzt mit einer Kreisch-Aussage. Aufgrund der separat erstellten «Kreischformel» wurde berechnet, ob bei der betreffenden Zugsvorbeifahrt relevante Kreischgeräusche aufgetreten sind (Ja = 1) oder nicht aufgetreten sind (Nein = 0).

Auswertung Tagessatz

Pro 24h-Tag wurde darauf eine Auswertung für den Zeitraum tags (06:00 – 22:00 Uhr) und den Zeitraum nachts (22:00 – 06:00 Uhr) erstellt.

3.1.1 Zugvorbeifahrten: Auszug aus Tagessatz (Beispiel)**Auszug aus der Wochenliste, Tagessatz vom 10. Oktober 2016:**

Zug kreischt [1 / 0]	DATE	TIME	TRACK	SPEED [km/h]	DURATION [s]	AXLES	TEMPERATURE	HUMIDITY	RAIN	FILE NOR140	A LEQ	AF MAX	A SEL	LEQ 20 HZ	bis	LEQ 20'000 HZ	A LEQ [s] 0.1	A LEQ [s] 0.2	bis A LEQ [s] xy
0	10.10.2016	00:04:07	1: Ho	47.7	7.7	16	5.0	97.8	0	161010_0230	78.6	85.3	91.0	59.5		60.0	58.8	59.6	
0	10.10.2016	00:06:54	2: He	45.7	6.2	16	5.0	97.9	0	161010_0001	78.8	86.1	91.0	57.3		56.0	65.6	62.6	
1	10.10.2016	00:18:10	1: Ho	46.1	3.8	8	5.2	98.1	0	161010_0002	79.7	87.0	91.1	59.8		56.7	60.5	61.3	
1	10.10.2016	00:21:09	2: He	50.4	6.0	16	5.3	98.2	0	161010_0003	83.4	93.7	95.3	59.5		69.4	62.8	64.1	
0	10.10.2016	00:33:43	1: Ho	50.7	6.9	16	5.6	97.6	0	161010_0004	77.3	83.9	89.4	58.6		71.6	60.1	62.9	
0	10.10.2016	00:41:36	2: He	50.5	7.3	16	5.6	97.7	0	161010_0005	81.6	88.8	93.8	59.5		63.3	67.6	69.4	
1	10.10.2016	00:47:46	1: Ho	47.4	6.1	16	5.6	98.2	0	161010_0006	79.0	88.2	91.1	59.0		70.4	63.4	65.3	
1	10.10.2016	00:51:11	2: He	49.3	3.5	8	5.6	97.1	0	161010_0007	81.6	88.6	92.8	57.5		58.2	71.2	71.3	
0	10.10.2016	01:05:19	2: He	49.0	7.1	16	5.9	98.1	0	161010_0008	77.9	85.7	90.2	59.1		71.7	66.3	65.0	
1	10.10.2016	05:13:13	2: He	48.2	9.9	28	5.8	96.1	0	161010_0009	77.6	86.1	90.5	61.2		60.7	67.8	69.0	

Die Mobile Messstation erfasst resp. berechnet pro Zugdurchfahrt folgende Werte (Ablage im Wochenliste):

- Zug kreischt: Ja = 1 / nein = 0
- DATE: Das Datum an welchem die Messung gestartet wurde.
- TIME: Die Zeit um welche die Messung gestartet wurde.
- TRACK: Zug fährt in Richtung Horw resp. Richtung Hergiswil.
- SPEED [km/h]: Geschwindigkeit der Zugskomposition
- DURATION [s]: Mittel aus Überfahrt über Achszähler
- AXLES: Anzahl Achsen
- TEMPERATURE: Die zur Messungszeit gemessene Temperatur in °C.
- HUMIDITY: Die zur Messungszeit gemessene Luftfeuchtigkeit in %.
- RAIN: Wenn es während der Messzeit regnete „1“, wenn nicht „0“.
- FILE NOR140: Nor140 interner Pfad / Namen der gespeicherten Messung.
- A LEQ: A bewerteter Leq der Gesamtdurchfahrt (Global) in dB.
- AF MAX: A bewerteter Fast Max der Gesamtdurchfahrt (Global) in dB.
- A SEL: A bewerteter SEL der Gesamtdurchfahrt (Global) in dB.
- LEQ [20 – 20'000] HZ: Leq Spektrum der Gesamtdurchfahrt (Global) in dB.
- A LEQ [0.1 s] #0 – x: Pegelverlaufsaufzeichnung in dB(A), Auflösung von 100ms.

DURATION: Mittel aus Überfahrt über 1. Achszähler und 2. Achszähler. Eine Überfahrt ist die Zeit in s von der ersten bis zur letzten Achse.

3.1.2 Auswertung Tagessatz (Beispiel)

Die Auswertung erfolgt für die Zeiträume gemäss Anhang 4 «Belastungsgrenzwerte für Eisenbahnlärm»:

- Zeitraum Tag: 06:00 – 22:00 Uhr
- Zeitraum Nacht: 22:00 – 06:00 Uhr

logarithm. Summe SEL, 8 h	106.0	Auswertung nachts:	
SEL 1 h nachts	97.0	logarithmische Division durch 8	
Leq,h,n	61.4	Red. SEL zu Leq,h	-35.6
Anzahl Züge; Total	32.0		
Kreischzüge in %	53.1		
logarithm. Mittel AF max	88.1		
logarithm. Mittel A SEL	91.0		
Regen in %	0.0	prozentualer Anteil der Züge mit Regen	
mittlere Temperatur	5.9		
mittlere Luftfeuchtigkeit	90.1	arithmetisches Mittel	
logarithm. Summe SEL, 16 h	117.3	Auswertung tags:	
SEL 1 h tags	105.2	logarithmische Division durch 16	
Leq,h,n	69.6	Red. SEL zu Leq,h	-35.6
Anzahl Züge; Total	207.0		
Kreischzüge in %	62.3		
logarithm. Mittel AF max	90.8		
logarithm. Mittel A SEL	94.1		
Regen in %	0.0	prozentualer Anteil der Züge mit Regen	
mittlere Temperatur	7.6		
mittlere Luftfeuchtigkeit	92.8	arithmetisches Mittel	

Zugsvorbeifahrt am Messort Steinibach



3.1.3 Resultat Wochenliste (Beispiel)

Die Resultate der Tagessätze wurden in der Wochenliste zusammengefasst. Zusätzlich wurde der wöchentliche Emissions-Beurteilungspegel $L_{r,e}$ berechnet und mit dem $L_{r,e}$ aus dem Emissionsplan 2015 verglichen.

Beispiel: Auswertung Woche 23

Woche 23										Leq,h im Abstand von 7.5m ab Gleisachse				2016				Lr,e (1.0m ab Achse)			
Datum:		06.06	07.06	08.06	09.06	10.06	11.06	12.06	Mittel		K	ds	Lr,e	EK							
Bezeichnung	Tag:	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Leq,e									2015			
Nacht																					
Leq,h,n [dBA]		61.5	63.8	63.1	59.6	61.1	61.6	61.2	61.9		-8.9	8.8	61.8	46.1							
Anzahl Züge		30	33	33	33	33	29	32	31.9												
Kreischzüge [%]		56.7	39.4	42.4	48.5	54.5	41.4	43.8													
Mittel AF max [dBA]		89.1	91.1	90.4	86.0	88.3	89.3	88.9													
Mittel A SEL [dBA]		91.3	93.2	92.5	89.1	90.5	91.5	90.7													
Züge mit Regen [%]		0.0	0.0	21.2	0.0	0.0	6.9	0.0													
Ø Temperatur [°C]		16.6	17.3	15.8	14.4	14.1	15.8	14.5													
Ø Luftfeuchtigkeit		90.1	91.5	90.6	87.4	89.3	88.9	88.0													
Tag																					
Leq,h,t		69.4	71.7	70.0	68.5	71.5	68.0	70.0	70.0		-5.0	8.8	73.9	59.2							
Anzahl Züge		193	198	205	199	198	186	186	195.0												
Kreischzüge [%]		54.4	63.1	33.2	34.7	67.7	25.8	40.9													
Mittel AF max [dBA]		92.7	95.4	92.2	91.2	95.6	91.0	93.1													
Mittel A SEL [dBA]		94.2	96.3	94.4	93.1	96.1	92.9	94.9													
Züge mit Regen [%]		0.0	4.0	31.2	35.7	0.0	15.1	16.1													
Ø Temperatur [°C]		21.5	21.7	16.1	16.9	20.8	16.6	16.6													
Ø Luftfeuchtigkeit		91.7	93.9	92.1	91.2	93.3	90.1	91.9													

Legende:

- Nacht: Zeitraum nachts von 0:00 – 06:00 Uhr plus 22:00 – 24:00 Uhr (8 Stunden)
 Tag: Zeitraum tags von 06:00 bis 22:00 Uhr (16 Stunden)
 Leq,h,t: Mittelungspegel normiert auf 1 Stunde (= Mittelwert aus 16 Stunden tags)
 Leq,h,n: Mittelungspegel normiert auf 1 Stunde (= Mittelwert aus 8 Stunden nachts)
 Anzahl Züge: Anzahl Züge im Zeitraum tags / nachts
 Kreischzüge: prozentualer Anteil der erheblich (laut + lang) kreischenden Zugsvorbeifahrten
 Mittel AF max: logarithmisches Mittel aus den Lmax in dB(A)
 Mittel A SEL: logarithmisches Mittel aus den SEL in dB(A)
 Züge mit Regen: prozentueller Anteil der Zugsvorbeifahrten mit Regen
 Ø Temperatur: durchschnittliche Temperatur
 Ø Luftfeuchtigkeit: durchschnittliche Luftfeuchtigkeit

Resultat

Die Tabellen «Wochenliste» von der 19 bis zur 41 Woche sind digital als Excel-Listen erfasst. Die Abgab erfolgt auf einer Daten-CD.

Die wöchentlichen Beurteilungspegel $L_{r,e}$ und ihre Mittelung über die Wochen 19 bis 41 sind aus der Tabelle «Resultat Beurteilungspegel $L_{r,e}$ gemäss LSV» (nächste Seite) ersichtlich.

3.1.4 Schluss-Resultat Beurteilungspegel Lr,e gemäss LSV

2016 Woche	Lr,e nachts (00:00-06:00 + 22:00-24:00)					Lr,e tags (06:00-22:00)				
	Leq,h,n dB(A)	Anzahl Züge	K dB(A)	ds dB(A)	Lr,e dB(A)	Leq,h,t dB(A)	Anzahl Züge	K dB(A)	ds dB(A)	Lr,e dB(A)
19	63.0	31.7	-9.0	8.8	62.8	69.2	187.0	-5.0	8.8	73.0
20	61.9	31.7	-9.0	8.8	61.7	69.7	191.9	-5.0	8.8	73.5
21	62.1	32.7	-8.8	8.8	62.1	68.9	194.6	-5.0	8.8	72.7
22	61.1	28.8	-9.4	8.8	60.5	69.4	187.7	-5.0	8.8	73.2
23	61.9	31.9	-8.9	8.8	61.8	70.0	195.0	-5.0	8.8	73.9
24	62.9	32.6	-8.9	8.8	62.9	69.2	200.9	-5.0	8.8	73.0
25	64.2	35.3	-8.5	8.8	64.5	69.9	197.4	-5.0	8.8	73.7
26	61.6	26.3	-9.8	8.8	60.6	68.9	151.4	-5.0	8.8	72.7
27	64.8	32.7	-8.8	8.8	64.8	70.4	197.1	-5.0	8.8	74.2
28	61.0	32.7	-8.8	8.8	61.0	68.5	197.9	-5.0	8.8	72.3
29	63.8	33.0	-8.8	8.8	63.8	70.1	199.1	-5.0	8.8	73.9
30	64.9	32.9	-8.8	8.8	64.9	70.3	197.9	-5.0	8.8	74.1
31	64.6	32.9	-8.8	8.8	64.6	69.6	197.0	-5.0	8.8	73.4
32	65.3	32.4	-8.9	8.8	65.2	71.1	201.7	-5.0	8.8	74.9
33	63.9	32.7	-8.8	8.8	63.8	70.5	199.6	-5.0	8.8	74.3
34	64.3	29.3	-9.3	8.8	63.8	70.5	199.1	-5.0	8.8	74.3
35	63.0	32.1	-8.9	8.8	62.9	69.7	201.4	-5.0	8.8	73.5
36	63.8	32.4	-8.9	8.8	63.8	69.6	203.4	-5.0	8.8	73.4
37	63.0	32.6	-8.9	8.8	63.0	69.3	205.3	-5.0	8.8	73.1
38	62.1	32.9	-8.8	8.8	62.1	69.3	204.4	-5.0	8.8	73.1
39	62.5	32.6	-8.9	8.8	62.4	69.7	202.4	-5.0	8.8	73.6
40	63.6	33.6	-8.7	8.8	63.7	69.8	202.9	-5.0	8.8	73.6
41	63.7	32.4	-8.9	8.8	63.6	69.7	202.1	-5.0	8.8	73.6

Mittlung arithmetisch mit Statistik:

2016 Woche	Lr,e nachts (00:00-06:00 + 22:00-24:00)					Lr,e tags (06:00-22:00)				
	Leq,h,n dB(A)	Anzahl Züge	K dB(A)	ds dB(A)	Lr,e dB(A)	Leq,h,t dB(A)	Anzahl Züge	K dB(A)	ds dB(A)	Lr,e dB(A)
Mittelwert	63.2	32.1	-8.9		63.1	69.7	196.4	-5.0		73.5
mittl. Abw.	1.0	1.1	0.2		1.1	0.5	6.2	0.0		0.5
max. W.	65.3	35.3	-8.5		65.2	71.1	205.3	-5.0		74.9
min. W.	61.0	26.3	-9.8		60.5	68.5	151.4	-5.0		72.3

Mittlung Leq,h logarithmisch und Berechnung Lr,e:

2016 Woche	Lr,e nachts (00:00-06:00 + 22:00-24:00)					Lr,e tags (06:00-22:00)				
	Leq,h,n dB(A)	Anzahl Züge	K dB(A)	ds dB(A)	Lr,e dB(A)	Leq,h,t dB(A)	Anzahl Züge	K dB(A)	ds dB(A)	Lr,e dB(A)
19 - 41	63.3	32.1	-8.9	8.8	63.2	69.8	196.4	-5.0	8.8	73.6
Emissionsplan 2015, Nacht:					46.1	Emissionsplan 2015, Tag:				59.2
Differenz: Messung - E-Plan:					17.1					14.4

3.2 Speicherung der Frequenzen 20 Hz – 20 kHz

Die Frequenzspektren für sämtliche Zugsvorbeifahrten sind als Mittelwert pro Zugsvorbeifahrt in der Wochenliste erfasst und zusätzlich digital in einer Auflösung von 0.1 Sekunden gespeichert. Diese Daten werden gespeichert auf einer DVD abgegeben.

Aus den detaillierten Frequenzspektren lassen sich unter anderem auch gute Aussagen über das Kreischverhalten ablesen (siehe nächstes Kapitel «Auswertung Kurvenkreischen»).

4 Spezielle, verwendete Messgrössen

Bei der Lärmmessung und deren Auswertung werden verschiedene akustische Begriffe verwendet. Die wichtigsten Werte sollen nachfolgend erläutert werden:

Erläuterung von Messgrössen:

dB(A): Dezibel A-bewertet

L_{max}: A-bewerteter Maximalpegel (auch L_{A,max})

L_{eq}: A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel der Lärmemission über einen Zeitraum [t] (auch L_{A,eq}). Beim Prinzip der Energieäquivalenz geht man davon aus, dass die mittlere Schallenergie eines diskontinuierlichen Geräuschs in einem Zeitraum die gleiche Wirkung hat wie die eines kontinuierlichen Geräuschs gleicher Energie.

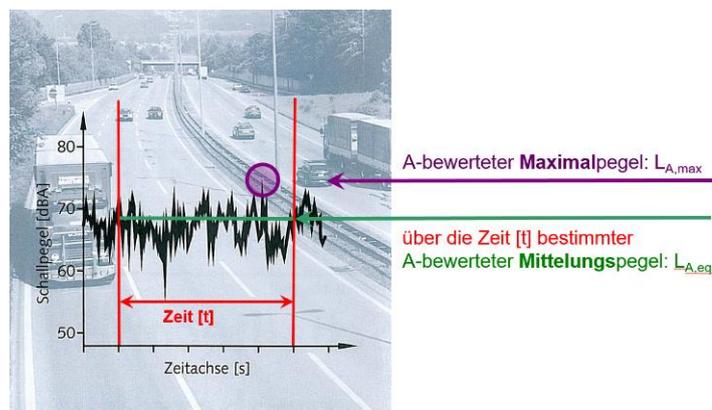
SEL: Sound-Exposure-Level: Die Schallenergie des SEL-Pegels entspricht genau der Schallenergie des L_{eq}-Pegels, allerdings wird nicht über den Messzeitraum gemittelt, sondern auf eine Einwirkungszeit von 1 Sekunde. Mit dem SEL-Pegel lassen sich die Energien von Schallerignissen vergleichen, welche unterschiedliche Zeitdauer und Intensität haben.

L_{eq,e}: A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel der Lärmemission im Abstand von 1m zur Schienenachse

L_{r,e}: Emissionsbeurteilungspegel der Lärmemission gemäss Lärmschutzverordnung (LSV), entspricht der Summe von L_{eq,e} und der Pegelkorrektur K1

Beispiel für L_{max} und L_{eq}

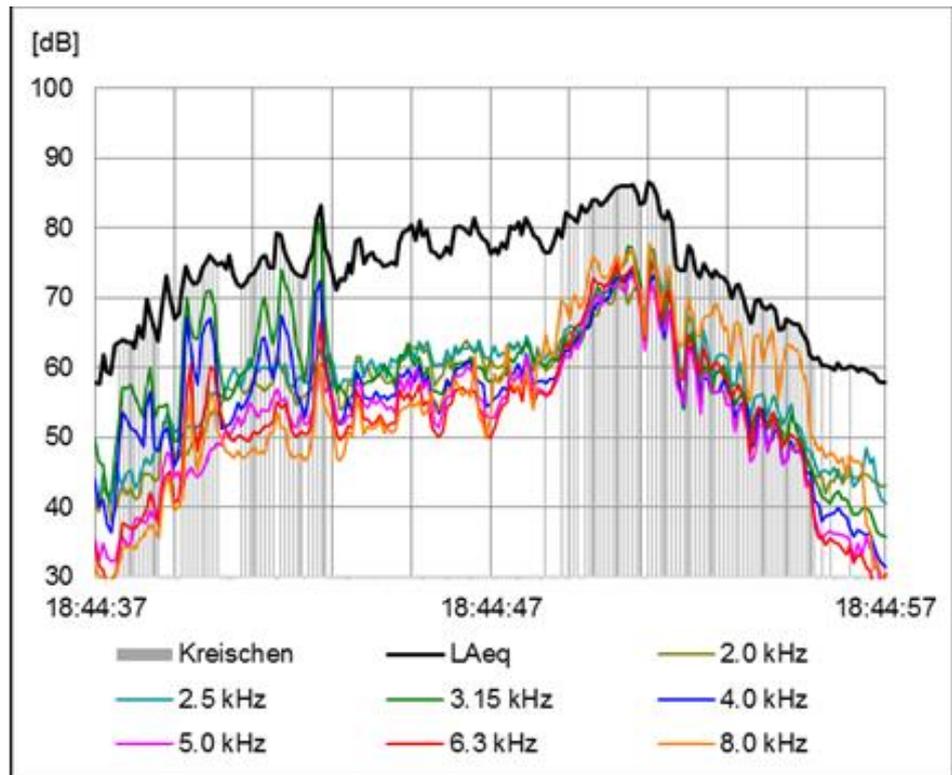
Schallpegelverlauf einer Nationalstrasse in 50m



5 Erkennung von Kreischgeräuschen

5.1 Konzept zur Erkennung von Kreischgeräuschen

Bei den Kreischgeräuschen handelt es sich um stark tonhaltige Geräusche mit einem deutlichen Anstieg der Terzbandpegel ab ca. 2 kHz und einer Annäherung der Terzbandpegel an dem Gesamtpegel (LAeq) in dBA (siehe nachstehende Abbildung).



Quelle: Messwerte Steinibachkurve 4. Mai 2016 Zugsvorbeifahrt um 18:44 Uhr

Um die Kreischgeräusche der personell unbegleiteten Monitoringmessungen nachträglich zu erkennen, haben wir über ca. eine Woche Tonaufzeichnungen gemacht und diese detailliert untersucht.

Subjektives Empfinden

Grundsätzlich ist zu beachten, dass Geräusche erst durch unsere subjektive Wahrnehmung als Kreischgeräusche empfunden werden. Die Festlegung, wann ein Geräusch als Kreischen empfunden wird, ist deshalb nicht einheitlich.

Ansatz für Kreisch-Formel

Aus unseren Erfahrungen mit ähnlichen Fragestellungen ergibt sich folgender Ansatz zur Definierung von Kurvenkreischen:

Pegeldifferenz LAeq – Terzbandpegel (2.5 kHz bis 6.3 kHz) < 10 dB

Dieser Ansatz wird nachfolgend im Detail überprüft

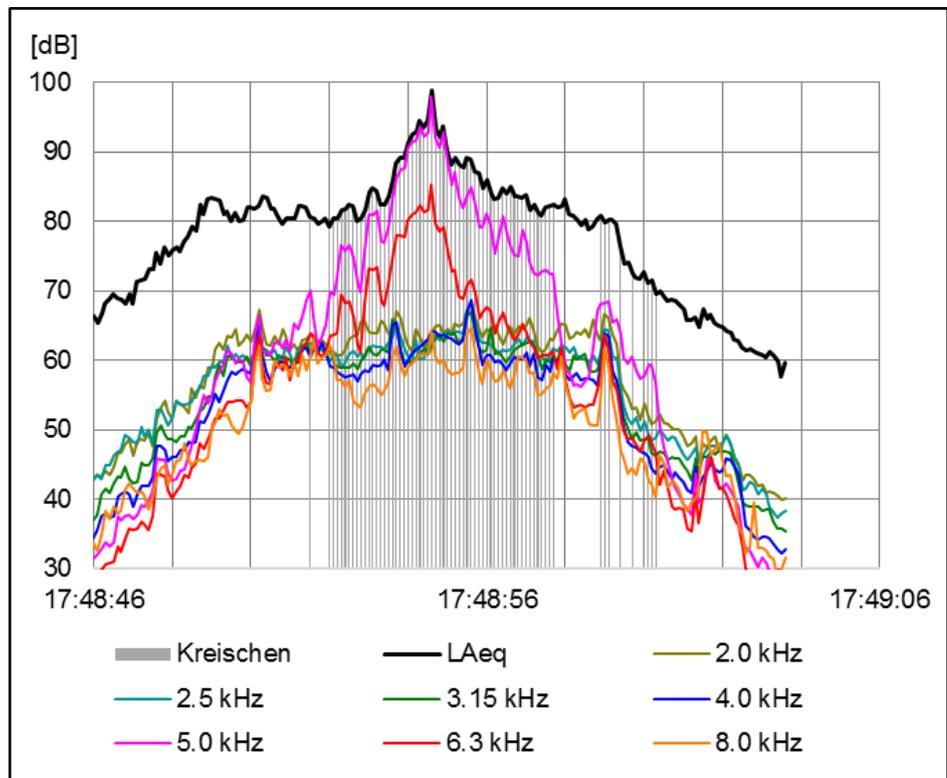
5.2 Definition der Kreisch-Formel

Die Festlegung der für die Steinibachkurve relevanten Kreisch-Formel erfolgte wie folgt:

- Schritt 1:** Auswertung von Hörproben (Audio-Aufzeichnungen vom 4. Mai 2016 von 16:44 bis 21:49 Uhr (56 Zugsvorbeifahrten) und dem 6. Mai 2016 von 05:14 bis 21:05 Uhr (42 Zugsvorbeifahrten) durch zwei Akustiker mit der Fragestellung: kreischt der Zug, ja oder nein. Dabei wurde definiert, dass das Kreischen deutlich hörbar sein muss und über einen gewissen Zeitraum auftritt. Einzelne kurzzeitige (impulsartige) Kreisch-Spitzen wurden als «Nicht-Kreischen» taxiert.
- Schritt 2:** Bezeichnung der Zugsvorbeifahrten bei denen beide Akustiker ein «Kreischen» bejaht haben.
- Schritt 3:** Feinjustierung unseres «Kreisch-Formel-Ansatzes» bei allen 98 abgehörten Zugsvorbeifahrten in der Wochenliste.
- In der Wochenliste sind die detaillierten Messdaten aus den Vorbeifahrts-Messungen zu je einem über die Vorbeifahrtszeit gemittelten Wert zusammengefasst. Pro Zeile in der Excel-Wochenliste sind somit die gemittelten L_{eq} (in dBA) sowie die gemittelten Frequenzen von 20 Hz bis 20 kHz (in dB) enthalten.
- Schritt 4:** Feinjustierung unseres «Kreisch-Formel-Ansatzes» bei allen 98 abgehörten Zugsvorbeifahrten in den Detail-Frequenz-Daten. In diesem Datensatz ist das Frequenzspektrum von 20 Hz bis 20'000 Hz im 0.1 Sekunden-Takt abgelegt. In dieser Differenzierung konnten Kreischgeräusche sehr differenziert beurteilt werden.
- Schritt 5:** Vergleich der Resultate aus den beiden Feinjustierungen und definitive Definition der zwei «Kreisch-Formeln».
- Kreisch-Formel 1:** Kreisch-Formel für die Auswertung von Detail-Frequenz-Daten:
- Pegeldifferenz L_{Aeq} – Terzbandpegel (2.0 kHz bis 8.0 kHz) < 13 dB
 - Terzbandpegel nicht A-korrigiert
 - Erfasst werden nur Pegel über 60 dB (Ausschluss Vogelgezwitscher)
- Kreisch-Formel**
- Kreisch-Formel für die Auswertung in der Wochenliste:
- Pegeldifferenz L_{Aeq} – Terzbandpegel (2.0 kHz bis 8.0 kHz) < 15 dB
 - Terzbandpegel nicht A-korrigiert
- Mit obiger Kreisch-Formel wurde jede Zugsvorbeifahrt in den Wochen 19 bis 41 beurteilt.

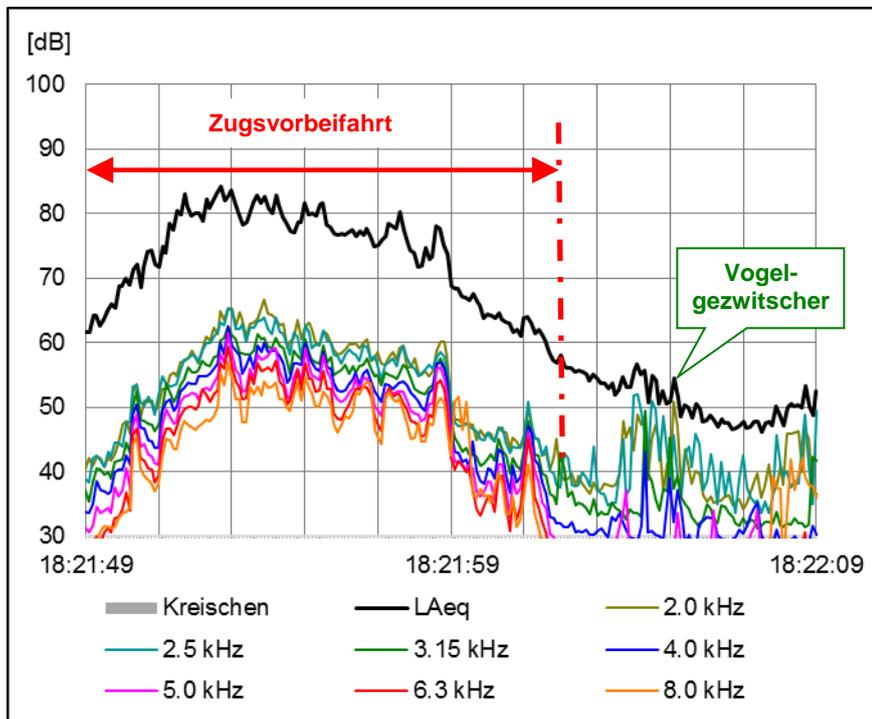
5.3 Beispiele: Frequenzspektren mit / ohne Kreischen

4. Mai 2016
Zug um 17:48 Uhr



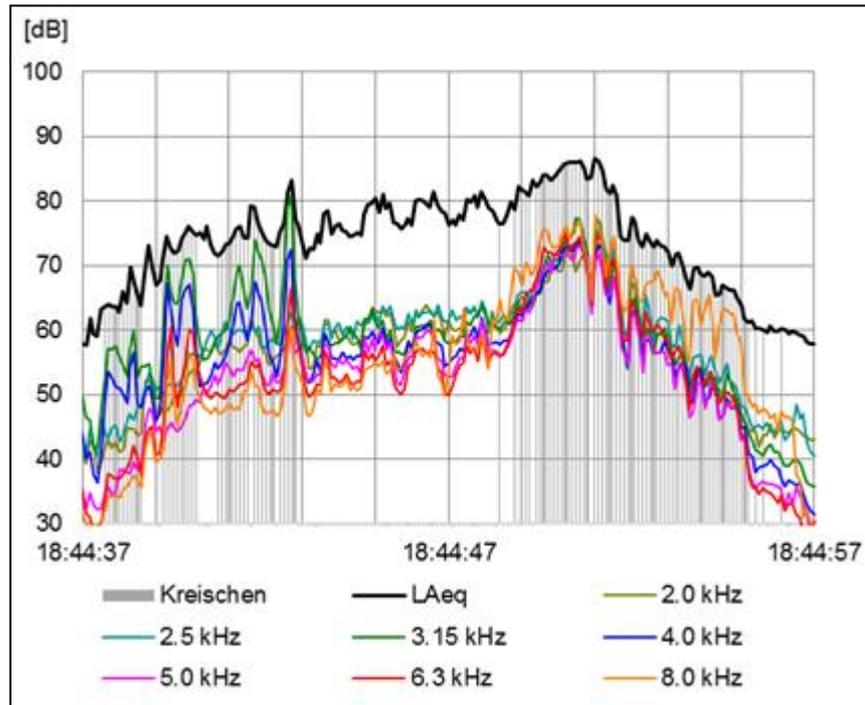
Deutlich hörbares, lautes Kreischen.

4. Mai 2016
Zug um 18:21 Uhr



Kein Kreischen hörbar. Das Vogelgezwitscher führte zur Bedingung, dass Pegel unter 60 dB nicht mehr erfasst werden

3. Kontrolle



Die hochfrequenten (8 kHz) Kreischereignisse am Schluss der Vorbeifahrt werden akustisch nur schwach wahrgenommen.

6 Konzept Schienen-Kopf-Konditionierung (SKK)

Zitate aus Mobil,
Ausgabe Nr. 18

Wenn Züge enge Kurven durchfahren, treten häufig unangenehme Kreischgeräusche auf. Ausgelöst wird dieses Kreischen durch den unterschiedlichen Weg des Rades zwischen der Innen- und Aussenschiene – den sogenannten Stick-Slip-Effekt.

Mit dem Aufspritzen eines Trennmittels erhofft sich die Zentralbahn (ZB) eine deutliche Reduzierung des Kurvenkreischens und eine Reduktion des Verschleisses zwischen den Rädern und der Schiene.

Für die Testphase (bis Herbst 2016) werden drei Triebzüge auf beiden Seiten mit je einer Spritzdüse, einer Pumpe und einem Steuergerät ausgerüstet. Die Testphase beschränkt sich am Anfang auf den kurvigen Bereich bei Hergiswil.

Während dieser Testphase löst der Lokführer den Impuls an einer klar definierten Stelle aus. Der Sprühvorgang beginnt jeweils vor dem Kurvenanfang und verteilt die vom Sprühsystem festgelegte Menge während sechs bis acht Sekunden auf dem Schienenkopf der Kurveninnenschiene. Bei einer längeren Kurve wird der Sprühvorgang wiederholt. Mit einer Steuerung, welche eine Sprühfreigabe erteilt, sind mobile Sprühsysteme effizient und betriebssicher.

Das Trennmittel besteht aus einer Flüssigkeit mit einem grossen Anteil fester Bestandteile. Das Produkt ist biologisch abbaubar und stellt somit für die Natur keine Gefährdung dar.

Foto Zentralbahn: Pumpe mit Flüssigkeitsbehälter und Spritzdüse:

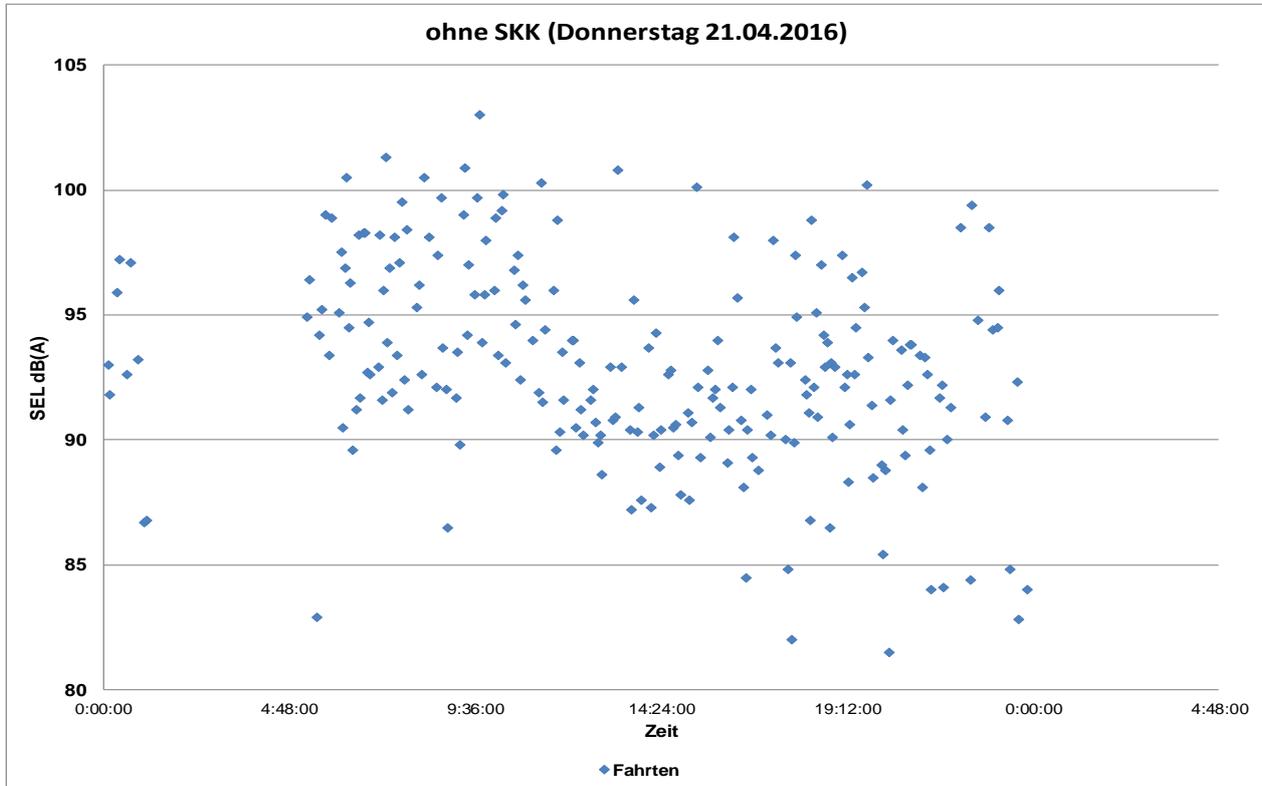


Einsatz SKK

Das SKK-System ist aktuell bei den Fahrzeugen ABe 130 001, ABe 130 002 und ABe 130 010 installiert. Jeweils vor dem 1. Radsatz und nach dem 8. Radsatz wird das SKK-Mittel auf die Schiene aufgesprüht.

7 Wirkung SKK Im Tagesverlauf

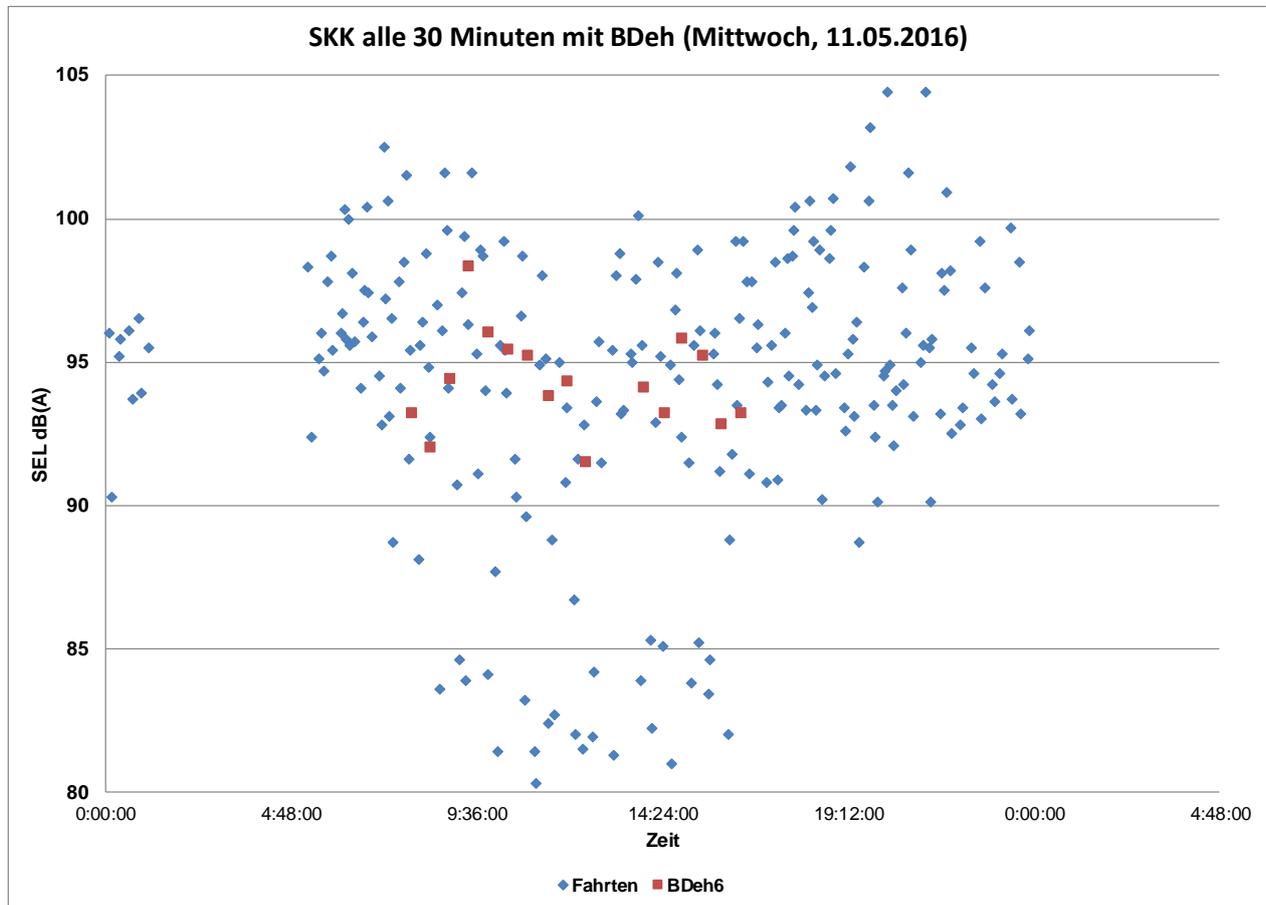
7.1 Pegelübersicht (SEL) über einen Tag ohne SKK



Mittelwerte Nacht / Tag vom Donnerstag, den 21.04.2016:

Bezeichnung	Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)		Tag (06:00 – 22:00 Uhr)	
	21.04.2016 dB(A)	Ø Wo 19-41 dB(A)	21.04.2016 dB(A)	Ø Wo 19-41 dB(A)
logarithmische Summe SEL, 8 h	109.8		117.7	
SEL pro Stunde	100.7		105.7	
Leq pro Stunde	65.2	63.3	70.1	69.8
Anzahl Züge	31.0	32.1	202.0	196.4
Kreiszüge in %	77.4		60.4	
logarithmisches Mittel Lmax	92.1		92.1	
logarithmisches Mittel SEL	94.9		94.7	
Züge mit Regen in %	0.0		0.0	
mittlere Temperatur	9.8		15.4	
mittlere Luftfeuchtigkeit	92.8		93.0	

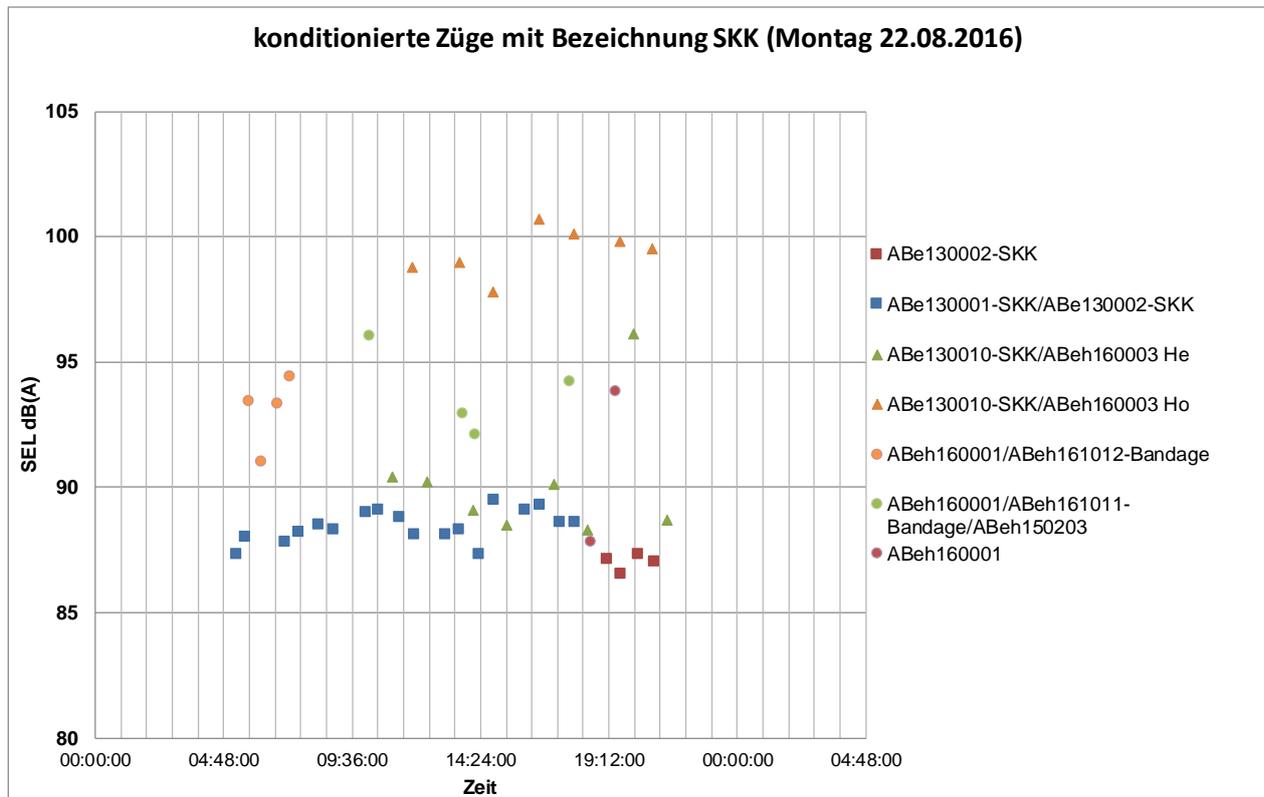
7.2 Pegelübersicht (SEL) über einen Tag mit SKK



Mittelwerte Nacht / Tag vom Mittwoch, den 11.05.2016:

Bezeichnung	Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)		Tag (06:00 – 22:00 Uhr)	
	11.05.2016 dB(A)	Ø Wo 19-41 dB(A)	11.05.2016 dB(A)	Ø Wo 19-41 dB(A)
logarithmische Summe SEL, 8 h	111.2		119.7	
SEL pro Stunde	102.1		107.6	
Leq pro Stunde	66.6	63.3	72.1	69.8
Anzahl Züge	34.0	32.1	220.0	196.4
Kreischzüge in %	79.4		50.9	
logarithmisches Mittel Lmax	92.9		93.7	
logarithmisches Mittel SEL	95.8		96.2	
Züge mit Regen in %	0.0		0.0	
mittlere Temperatur	14.4		18.9	
mittlere Luftfeuchtigkeit	96.4		93.7	

7.3 Ausgewählte Pegel (SEL) an einem Tag mit SKK



Mittelwerte (alle Züge) Nacht / Tag vom Montag, den 22.08.2016:

Bezeichnung	Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)		Tag (06:00 – 22:00 Uhr)	
	22.08.2016 dB(A)	Ø Wo 19-41 dB(A)	22.08.2016 dB(A)	Ø Wo 19-41 dB(A)
logarithmische Summe SEL, 8 h	104.3		118.4	
SEL pro Stunde	95.3		106.4	
Leq pro Stunde	59.7	63.3	70.8	69.8
Anzahl Züge	17.0	32.1	203.0	196.4
Kreischzüge in %	64.7		61.1	
logarithmisches Mittel Lmax	90.7		93.4	
logarithmisches Mittel SEL	92.0		95.4	
Züge mit Regen in %	0.0		0.0	
mittlere Temperatur	12.8		18.4	
mittlere Luftfeuchtigkeit	90.8		93.5	

7.4 Vergleich der Tageswerte mit / ohne SKK

Bezeichnung	Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)		Tag (06:00 – 22:00 Uhr)	
	21.04.2016 ohne SKK	11.05.2016 ohne SKK	21.04.2016 ohne SKK	11.05.2016 mit SKK
	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
logarithmische Summe SEL, 8 h	109.8	111.2	117.7	119.7
SEL pro Stunde	100.7	102.1	105.7	107.6
Leq pro Stunde	65.2	66.6	70.1	72.1
Anzahl Züge	31.0	34.0	202.0	220.0
Kreischzüge in %	77.4	79.4	60.4	50.9
logarithmisches Mittel Lmax	92.1	92.9	92.1	93.7
logarithmisches Mittel SEL	94.9	95.8	94.7	96.2
Züge mit Regen in %	0.0	0.0	0.0	0.0
mittlere Temperatur	9.8	14.4	15.4	18.9
mittlere Luftfeuchtigkeit	92.8	96.4	93.0	93.7

Einsatz SKK

Die Schienenkonditionierung erfolgte wie folgt:

- Die Konditionierung erfolgte zwischen 7:56 und 16:26 Uhr alle 30 Minuten mit einer Spezial-Lok (BDeh6).
- Im Zeitraum Nacht erfolgte somit keine Konditionierung.
- Im Zeitraum Tag erfolgte zwischen 06:00 und 07:56 Uhr und zwischen 16:26 bis 22:00 Uhr ebenfalls keine Konditionierung.
- Im Zeitraum Tag (06:00 – 22:00 Uhr) wurde somit von 12.0 h nur über eine Zeit von 9.30 h konditioniert.

Wirkung

Die Schienenkonditionierung ergab (im Vergleich obiger zwei Tage) folgendes Resultat:

- Die Schienenkonditionierung ergab im Vergleich der Tagwerte vom 21.04.16 (ohne SKK) und dem 11.05.16 (mit SKK) keine Reduktion der Tages-Mittelwerte. Konkret war der Tag mit SKK sogar um 2 dB(A) lauter.
- Der Anstieg um 2 dB(A) ist darauf zurückzuführen, dass einige laute Züge am Tag mit SKK noch ein wenig lauter waren.

Erklärung

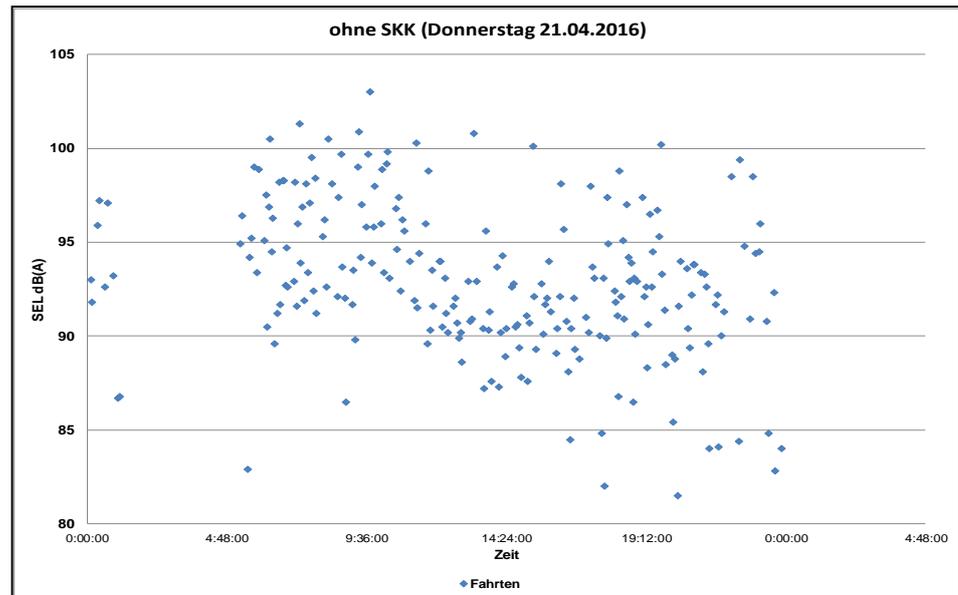
Dezibel-Werte sind logarithmische Werte Für das Rechnen mit Logarithmen gelten speziell Rechenregeln. Beispiele sind:

- $80 \text{ dB(A)} + 80 \text{ dB(A)} = 83 \text{ dB(A)}$
- $80 \text{ dB(A)} / 2 = 77 \text{ dB(A)}$
- Das Rechnen mit logarithmischen Werten (dBA) führt dazu, dass wenige hohe Schallpegel den Tagesmittelwert bestimmen können. Die 10 bis 20 dB(A) tieferen Werte vermögen diesen Tagesmittelwert nicht mehr relevant zu beeinflussen.
- In Kenntnis der logarithmischen Rechenregeln war das obige Ergebnis zu erwarten

7.5 Pegel-Veränderung am Beispiel vom 21.04.16

Am Beispiel der Messwerte vom 21. April 2016 sollen die Auswirkungen von fiktiven Pegelveränderungen aufgezeigt werden.

Schallpegel (SEL in dBA) vom 21.04.2016:



Annahme:

Alle Schallpegel unter 95.0 dB(A) werden durch die Schienenkonditionierung um 10 dB(A) reduziert.

Wirkung

Die Wirkung soll als Differenz zwischen dem effektiven Tagesmittelwert vom 12.04.2016 und dem Tagesmittelwert mit den reduzierten Zugvorbeifahrten berechnet werden.

- Der mittlere Tages-Schallpegel vom 21.04.2016 (24h) beträgt: **94.6 dB(A)**
- Es fuhren an diesem Tag 166 Züge mit Schallpegeln unter 95.0 dB(A) und 66 Züge mit Pegeln über 95.0 dB(A).
- Bei den 166 Zügen mit Pegeln unter 95.0 dB(A) wurden die Pegel um je 10 dB(A) reduziert.
- Werden die Schallpegel unter 95 dB(A) um 10 dB(A) reduziert beträgt der neue mittlere Tagespegel noch: **92.8 dB(A)**
- Die massive Reduktion um 10 dB(A) bei 166 Zügen bewirkte lediglich eine Veränderung des Tagesmittelwertes um - 1.8 dB(A).

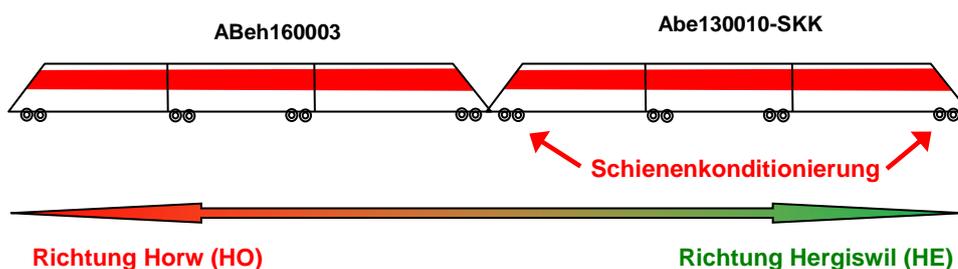
8 Wirkung SKK am Typ ABe130010-SKK/ABeh160003

8.1 Wirkung im Schallpegel-Bereich

Der Zugstyp ABe130010-SKK/ABeh160003 eignet sich besonders gut um die Wirkung der SKK aufzuzeigen. Er besteht aus je 2 dreiteiligen Triebzügen bei denen nur je 1 Triebzug mit einer Schienenkonditionierung ausgerüstet ist.

Schemaskizze

Zugs-Typ ABe130010-SKK/ABeh160003:



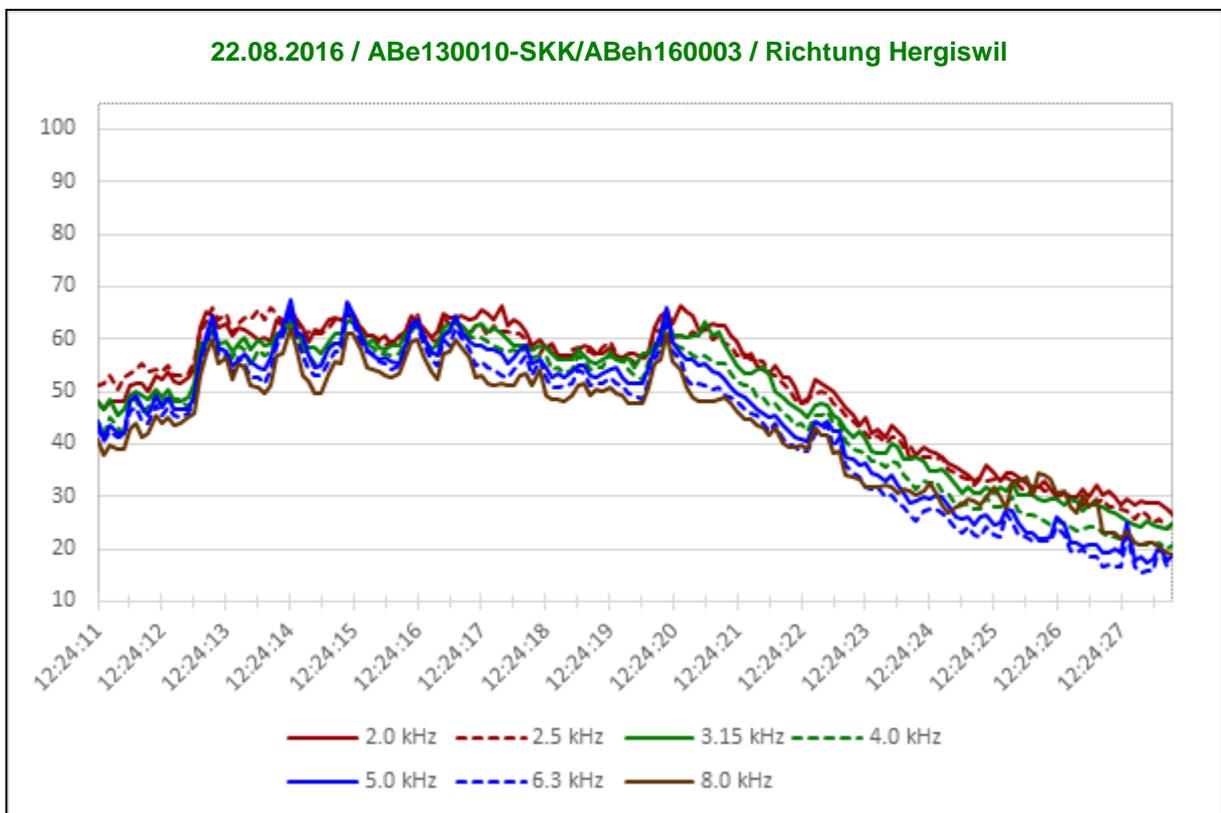
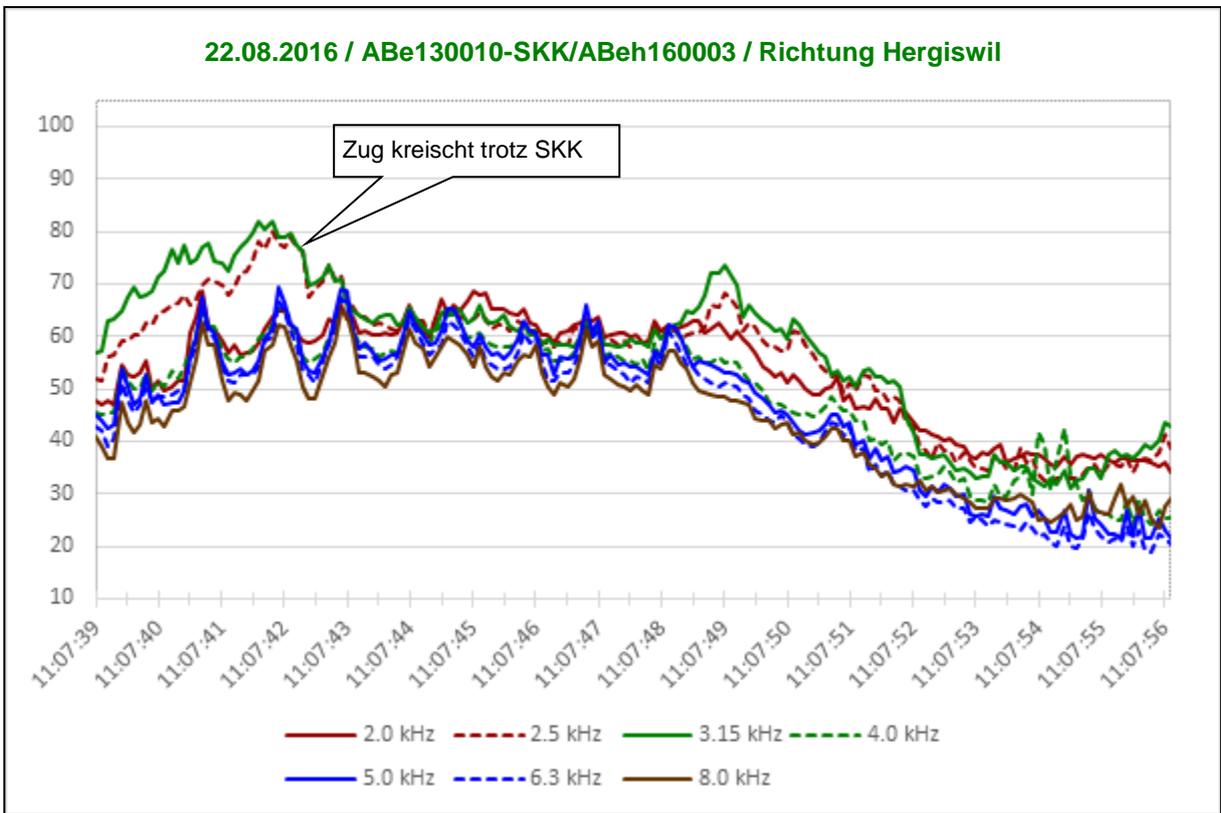
Detailwerte der Zugsvorbeifahrten, getrennt nach Fahrrichtung:

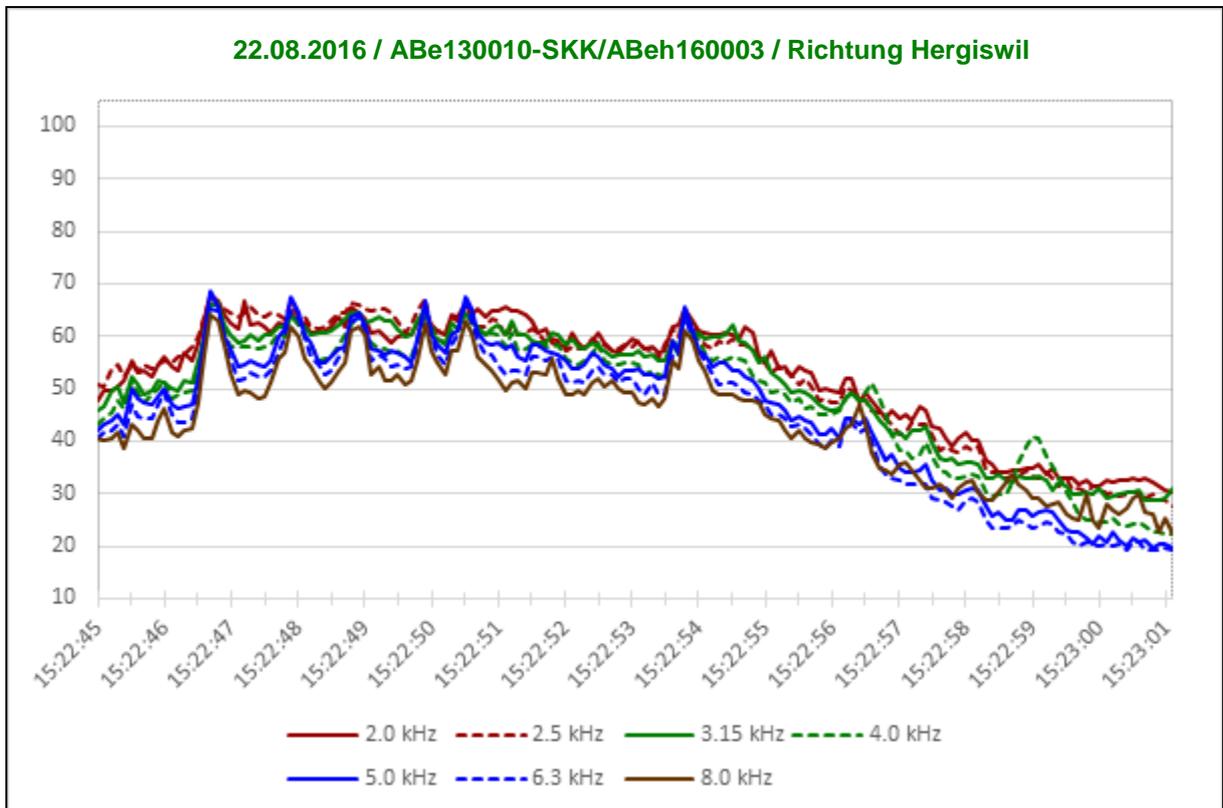
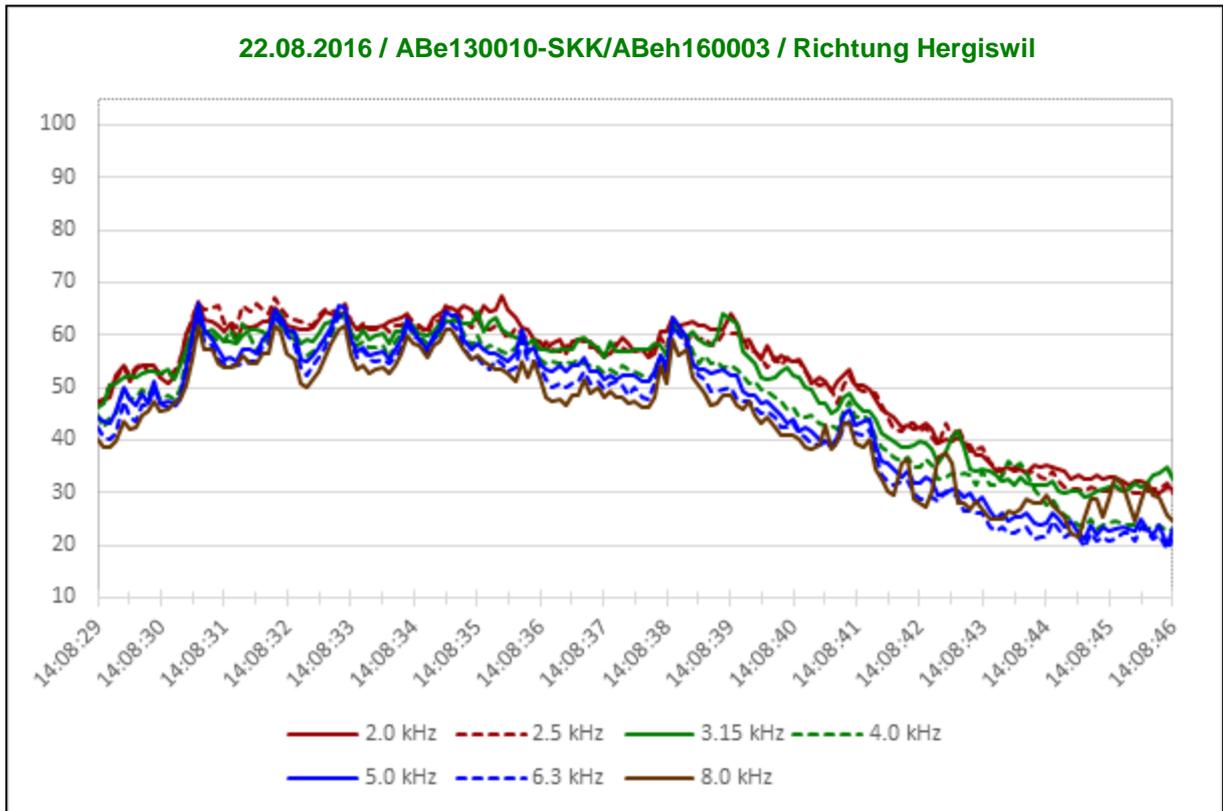
Fahrzeug	1=Zug kreischt	TIME	TRACK	SPEED [km/h]	DURATION [s]	AXLES	TEMPERATURE	HUMIDITY	RAIN	A LEQ	AF MAX	A SEL
ABe130010-SKK/ABeh160003 He	1	11:07:40	2: He	47.9	7.5	16	17.4	75.9	0	78.0	86.4	90.4
	0	12:24:12	2: He	50.4	7.2	16	21.4	58.4	0	77.9	88.4	90.2
	1	14:08:29	2: He	47.2	7.5	16	23.3	52.9	0	76.7	84.3	89.1
	0	15:22:46	2: He	50.4	7.2	16	20.8	58.9	0	76.4	85.3	88.5
	1	17:08:35	2: He	49.7	7.2	16	21.4	57.8	0	77.9	85.7	90.1
	0	18:25:41	2: He	50.4	7.2	16	21.4	55.6	0	76.1	83.1	88.3
Zug vermutlich ohne SKK!	1	20:08:02	2: He	45.4	7.9	16	17.1	76.4	0	83.6	95.6	96.1
	0	21:22:05	2: He	50.4	7.2	16	16.0	74.4	0	76.4	83.6	88.7
Logarithmisches Mittel:										77.1	85.6	89.4
ABe130010-SKK/ABeh160003 Ho	1	11:51:44	1: Ho	48.7	7.4	16	21.1	54.6	0	86.5	99.5	98.8
	1	13:35:41	1: Ho	47.7	7.5	16	23.6	52.4	0	86.6	98.5	99.0
	1	14:50:56	1: Ho	46.7	7.7	16	21.8	52.8	0	85.5	98.1	97.8
	1	16:35:57	1: Ho	47.8	7.5	16	22.0	55.2	0	88.3	100.7	100.7
	1	17:52:53	1: Ho	46.4	7.8	16	21.3	56.7	0	87.6	100.8	100.1
	1	19:36:41	1: Ho	48.9	7.5	16	17.9	75.2	0	87.6	99.7	99.8
	1	20:49:57	1: Ho	45.1	8.0	16	16.6	76.2	0	87.0	99.2	99.5
Logarithmische Mittel:										87.1	99.6	99.5
Differenz ohne / mit SKK:										10.0	14.0	10.1

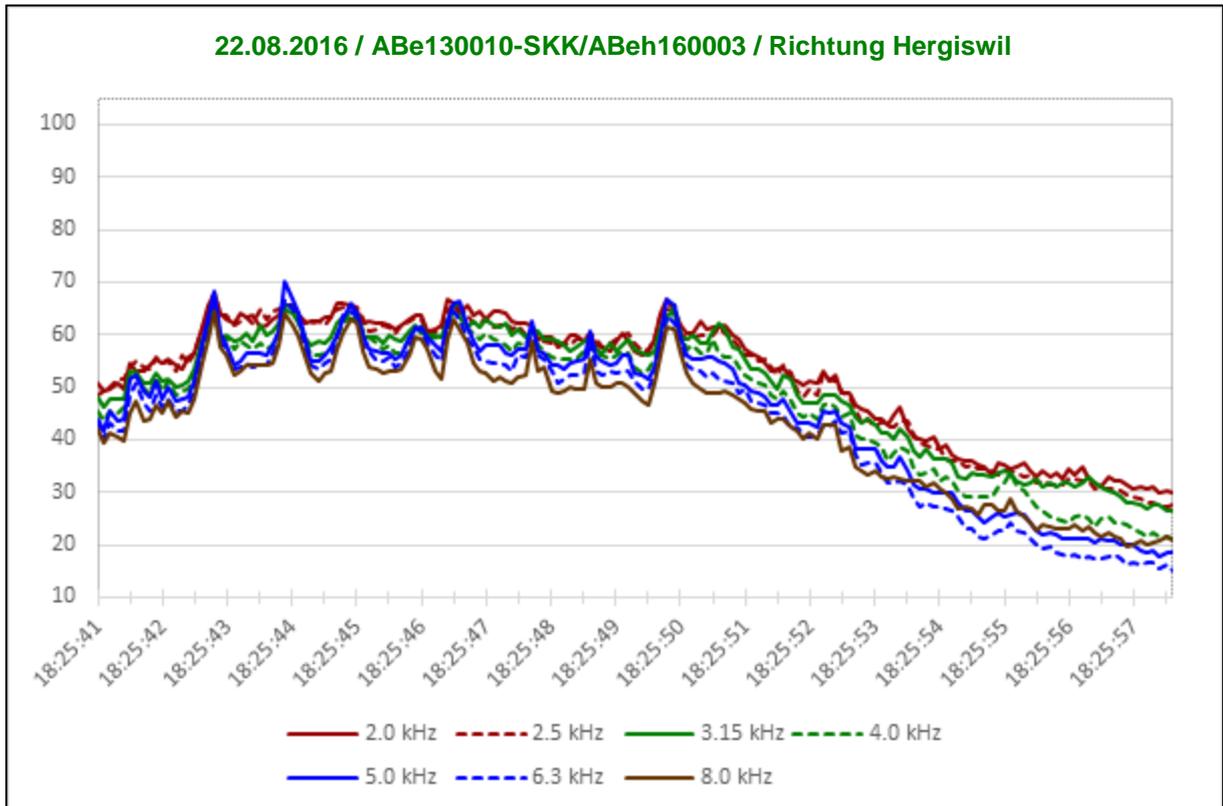
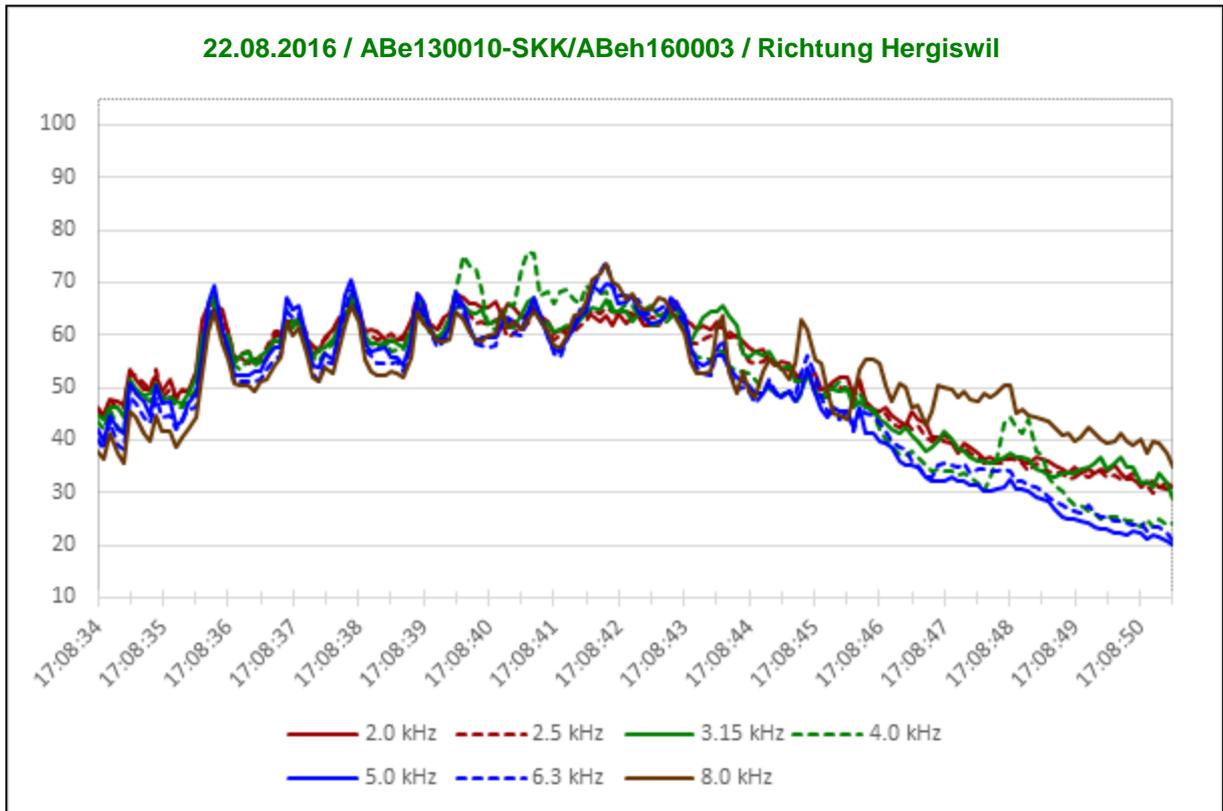
Resultat

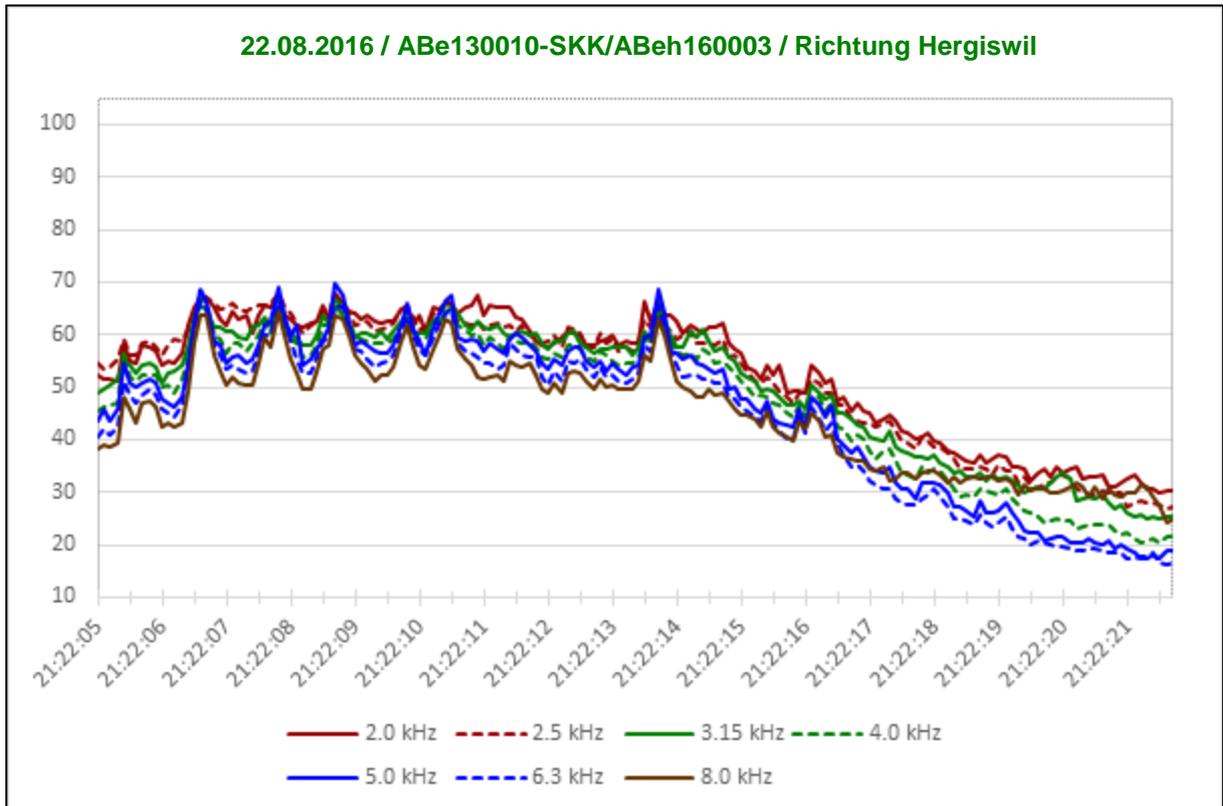
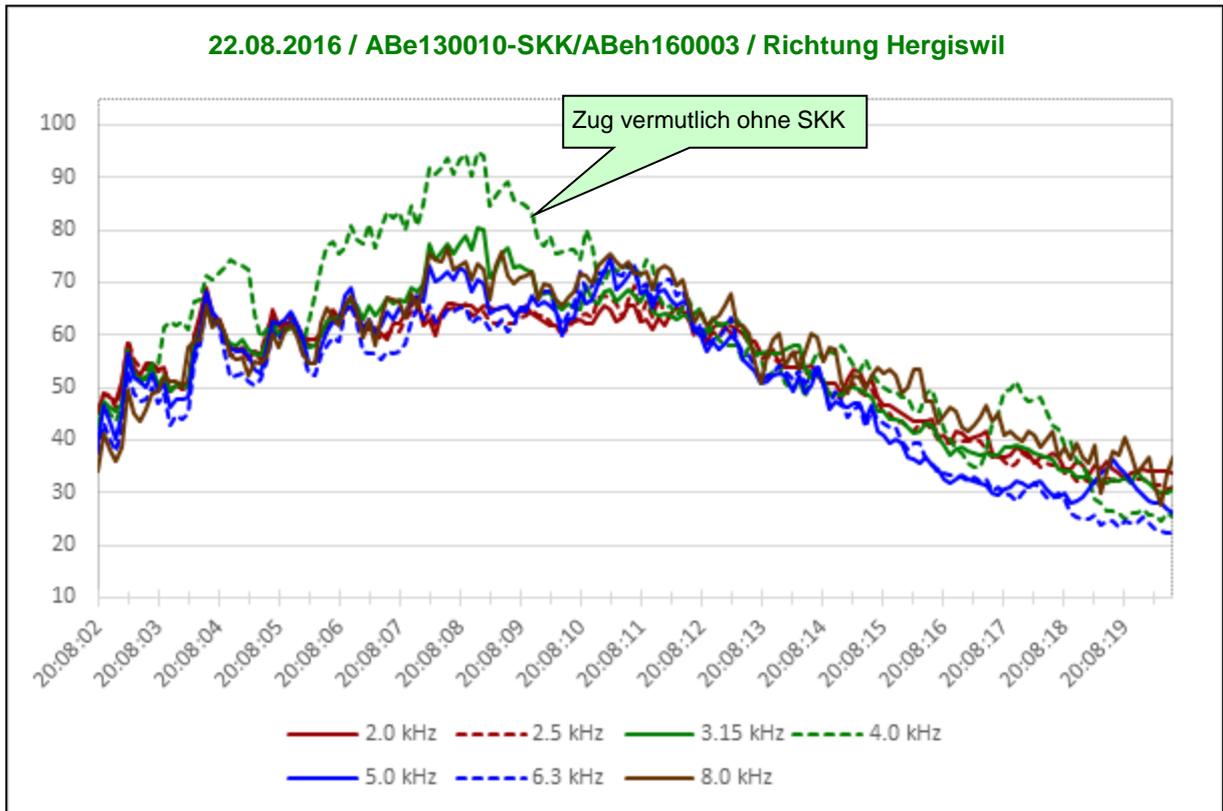
Bei der untersuchten Stichprobe kann der Lokführer nur in Fahrtrichtung Hergiswil die Schienenkonditionierung auslösen. **Die Wirkung** (ohne den Zug um 20:08:02 He) **beim Leq und SEL von 10 dB(A) und beim Lmax von 14 dB(A) ist als sehr gross einzustufen.**

8.2 Wirkung im Frequenz-Bereich (Richtung Hergiswil)

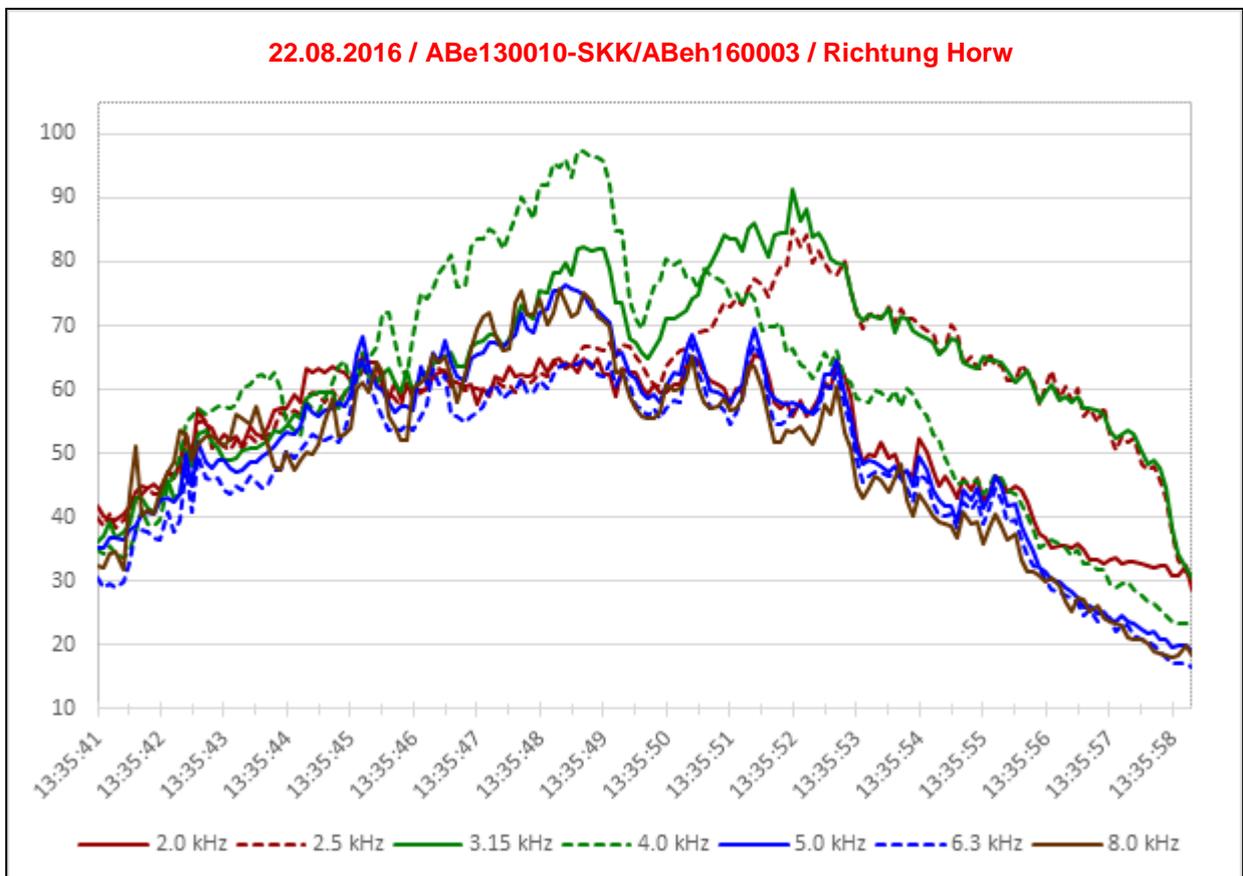
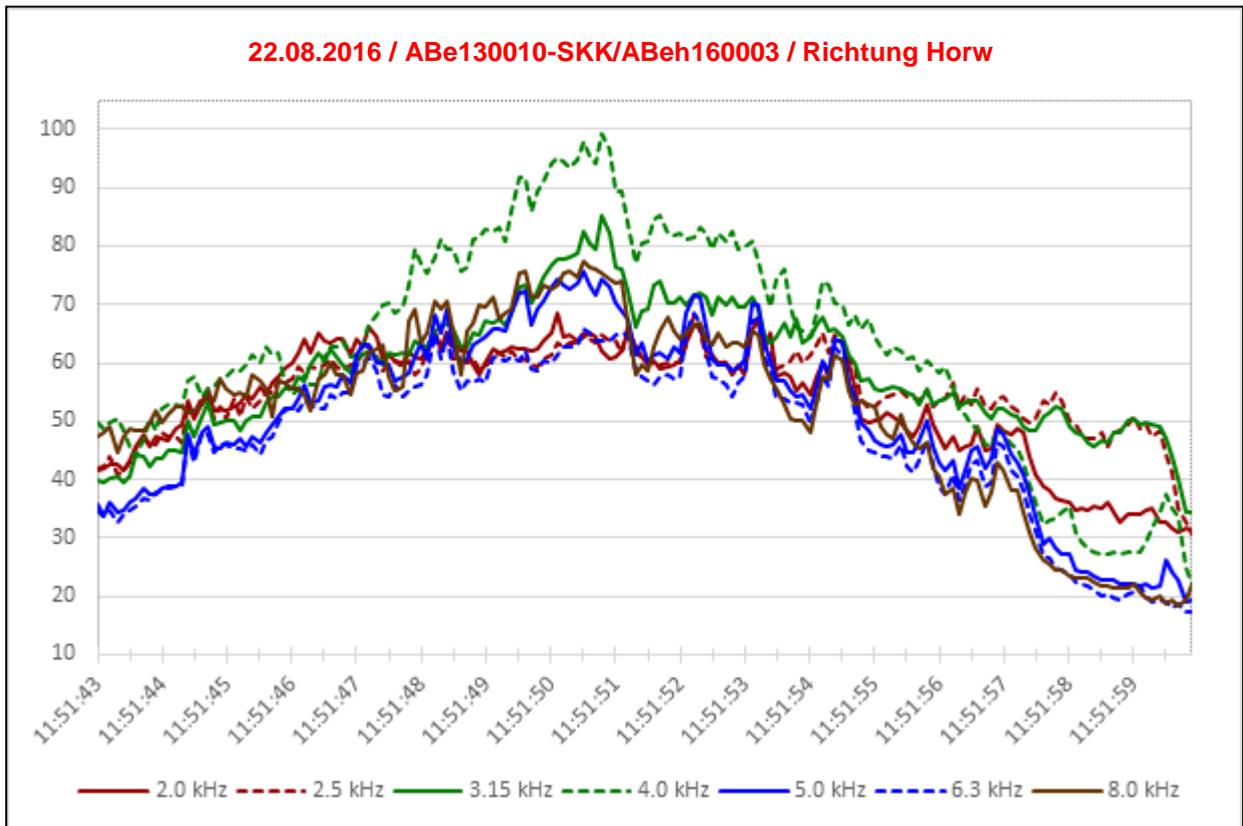


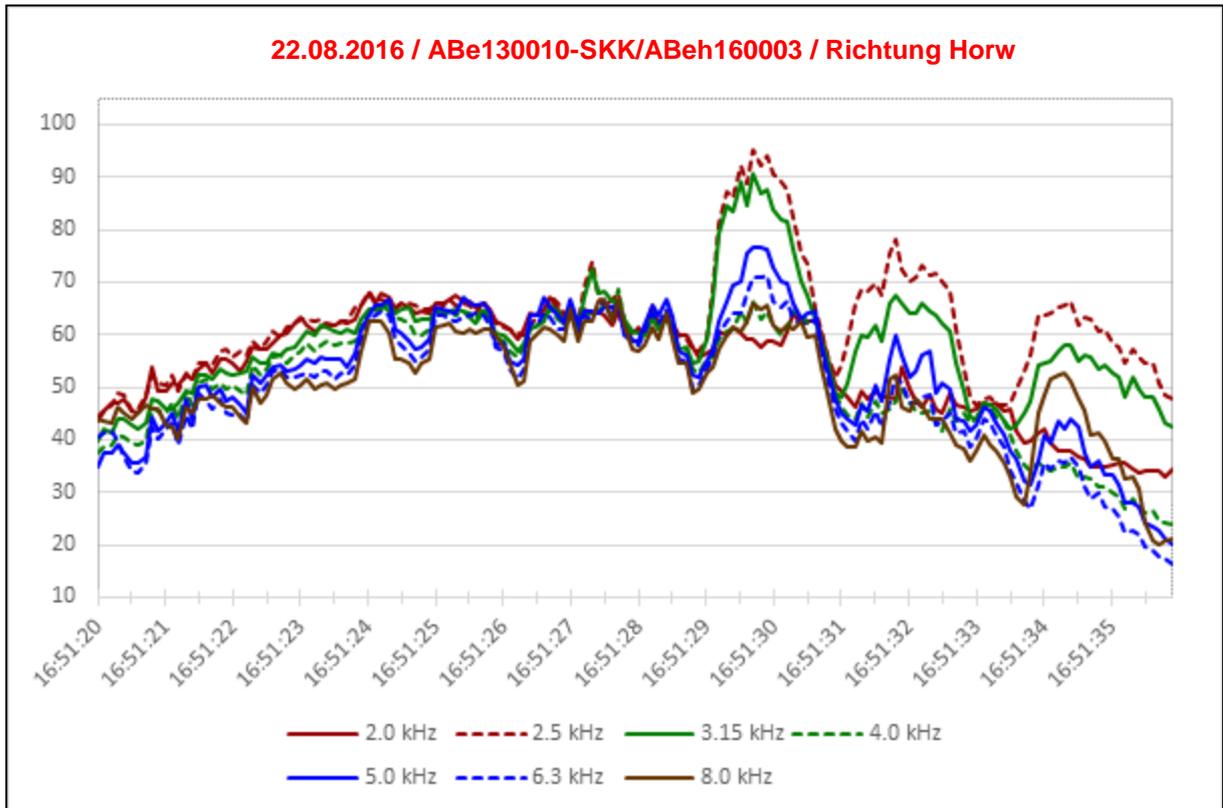
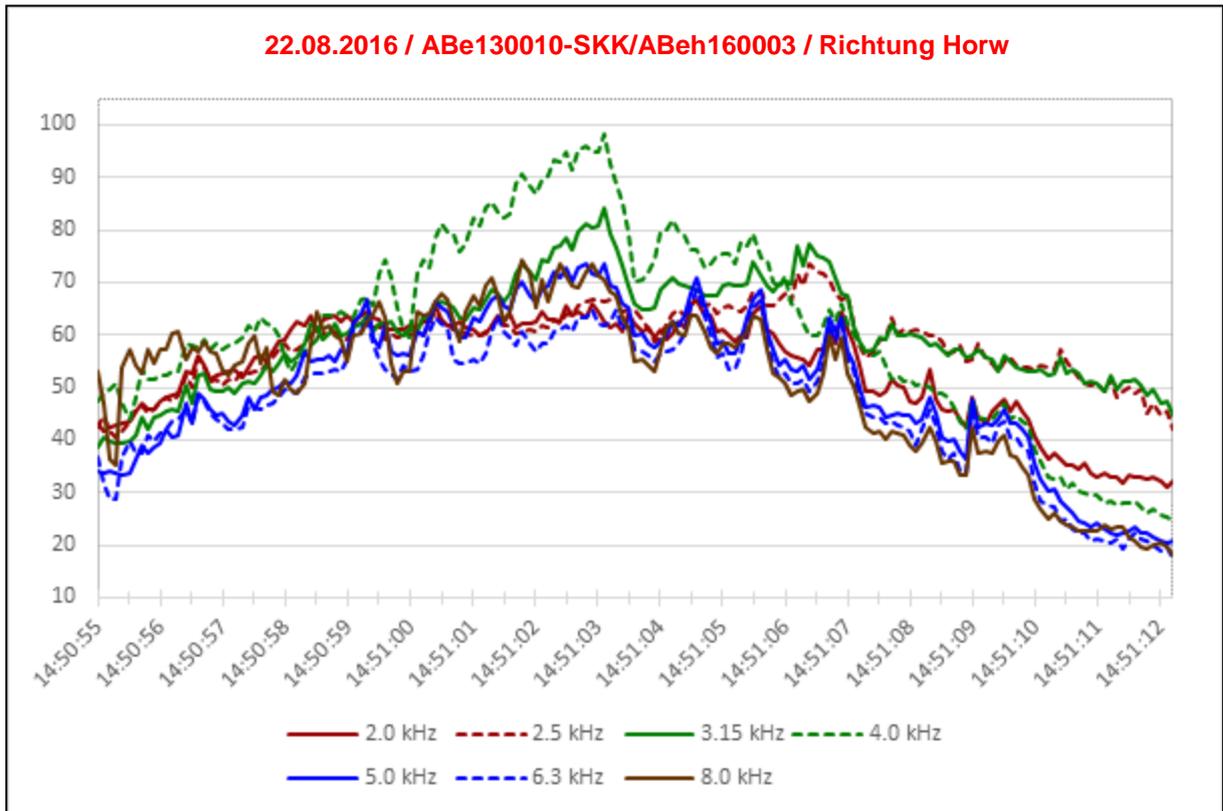


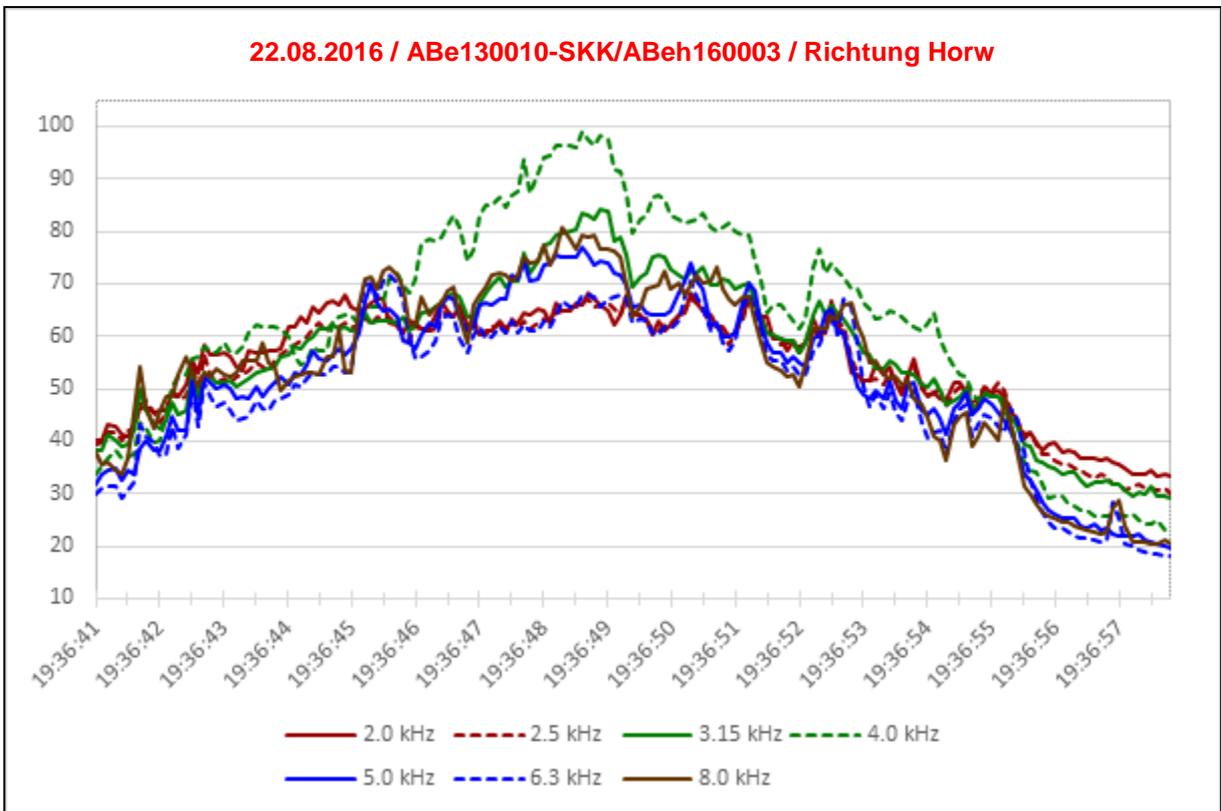
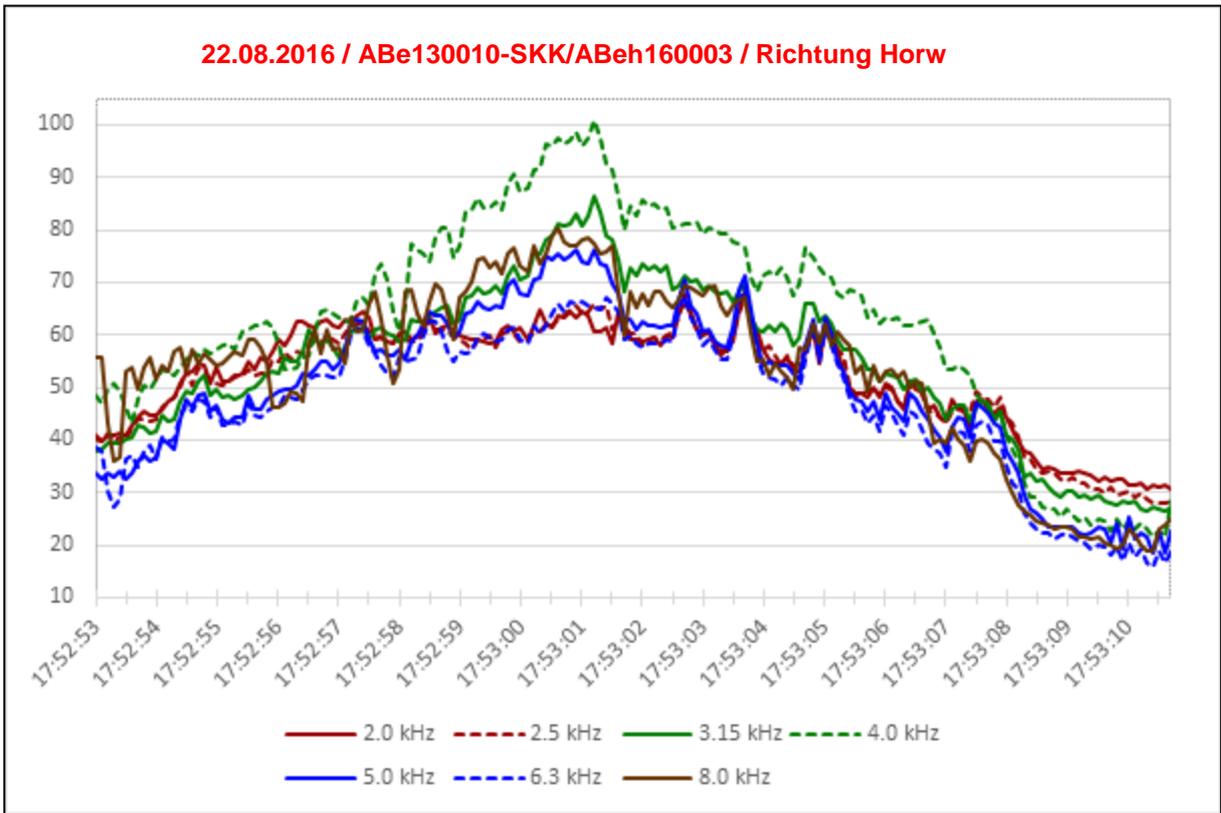


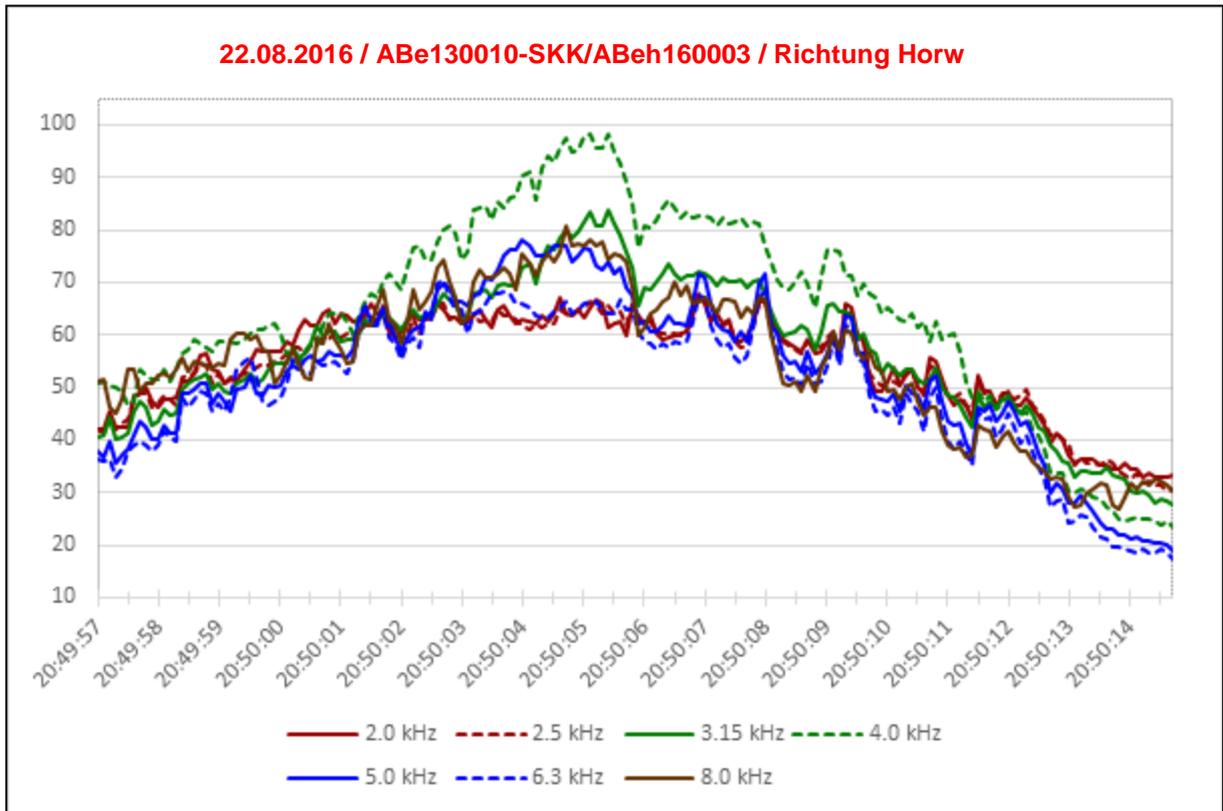


8.3 Wirkung im Frequenzbereich (Richtung Horw)









9 Zusammenfassung

9.1 Konzept Monitoring

Standort Monitoring	Mit dem Monitoring Eisenbahnlärm in Hergiswil (Steinibachkurve) verfügt die Zentralbahn am Standort Steinibach über detaillierte Mess-Daten von ca. 31'000 Zugsvorbeifahrten.
Dauer Monitoring	Der Start der Messungen erfolgte am 19. April 2016. Leider mussten, infolge eines ungenügenden Klebstoffes, die Achszähler zweimal ersetzt werden. Dies führte bis zum 8. Mai 2016 zu grösseren Messausfällen. Am 9. Mai 2016 erfolgte dann die definitive Klebung und der offizielle Start des Lärm-Monitorings. Die Messungen wurden mit der Demontage der Messstation am 18. Oktober 2016.
Messanordnung	Die Messanordnung entspricht den Anforderungen der massgebenden ISO-Norm (prEN ISO 3095.2). Das Mikrofon ist in einer Distanz von 7.5 m zur Gleismitte und 1.2 m über Schienenoberkant platziert. Die akustische Messung wird über die Achszähler ausgelöst. Die Geschwindigkeit und die Achszahlen der vorbeifahrenden Züge werden von den Achsaufnehmern erfasst.
Standortvorgaben	Der Monitoring-Standort wurde nach akustischen Kriterien, unter Einbezug der Wünsche des Projektleiters der Zentralbahn (Volkmar Walz) festgelegt.

9.2 Kreischgeräusche

Erkennung von Kreischgeräuschen	Bei den Kreischgeräuschen handelt es sich um stark tonhaltige Geräusche mit einem deutlichen Anstieg der Terzbandpegel ab ca. 2 kHz bis ca. 8 kHz und einer Annäherung der Terzbandpegel an dem Gesamtpegel (LAeq) in dBA. Um die Kreischgeräusche der personell unbegleiteten Monitoringmessungen nachträglich zu erkennen, haben wir über ca. eine Woche Tonaufzeichnungen gemacht und diese detailliert untersucht.
Kreisch-Formel	Die Auswertung der Hörproben und Frequenzaufzeichnungen ergab folgende Kreisch-Formel: <ul style="list-style-type: none">▪ Pegeldifferenz LAeq – Terzbandpegel (2.0 kHz bis 8.0 kHz) < 15 dB▪ Terzbandpegel nicht A-korrigiert Mit obiger Kreisch-Formel wurde jede Zugsvorbeifahrt in den Wochen 19 bis 41 beurteilt.
Subjektives Kreisch-Empfinden	Grundsätzlich ist zu beachten, dass Geräusche erst durch unsere subjektive Wahrnehmung als Kreischgeräusche empfunden werden. Die Festlegung, wann ein Geräusch als Kreischen empfunden wird, ist deshalb nicht einheitlich.

9.3 Auswertung Messresultate

Wochenliste	Für jede Zugsvorbeifahrt erstellte die Monitoringstation aus den Achszählerdaten und den Akustikdaten einen Datensatz. Diese Datensätze wurden in der Wochenliste chronologisch pro Tag aufgelistet. Aufgrund der separat erstellten «Kreischformel» wurde berechnet, ob bei der betreffenden Zugsvorbeifahrt
--------------------	---

relevante Kreischgeräusche aufgetreten sind (Ja = 1) oder nicht aufgetreten sind (Nein = 0). Die Datensätze (Zugsvorbeifahrten) wurden zudem, gemäss dem Anhang 4 Lärmschutz-Verordnung, unterteilt in die Zeiträume tags (06:00 – 22:00 Uhr) und nachts (22:00 – 06.00 Uhr).

Resultat Wochenliste

Das Monitoring Eisenbahnlärm ergab für den Standort Steinibach (Mikrofon-Position) über die Messdauer Woche 19 bis Woche 41 folgende Mittelwerte:

Zeitraum nachts:	Mittlerer Leq pro Stunde:	63.3 dB(A)
	Mittlere Anzahl Züge:	31.1 Züge
Zeitraum tags:	Mittlerer Leq pro Stunde:	69.8 dB(A)
	Mittlere Anzahl Züge:	196.4 Züge

Frequenzaufzeichnungen

Die Frequenzaufzeichnungen im 0.1 Sekunden-Takt aller Zugsvorbeifahrten wurden digital abgelegt.

Auswertung von Zugsvorbeifahrten

Die Züge verkehrten in unterschiedlicher Zusammensetzung. Zudem erfolgte die Konditionierung, aufgrund der wechselnden Zugfolgen, in unterschiedlichen Intervallen. Um einzelne Züge detailliert auszuwerten, müssten die Zugsvorbeifahrten mit den entsprechenden Zugstypen bezeichnet werden. Dies ist (mit entsprechendem Aufwand) grundsätzlich möglich. Mit Hilfe der Fahrpläne, der Vorbeifahrtszeiten, der Fahrtrichtung und der Achszahl lassen sich die Zugstypen nachträglich zuordnen. Die Zentralbahn hat diese Zuordnung für folgende drei Tage gemacht: 21. April 2016, 11. Mai 2016 und 22. August 2016.

9.4 Wirkung Schienenkonditionierung im Tagesverlauf

SKK Wirkung im Tagesverlauf

Die Schienenkonditionierung ergab im Vergleich der Tagwerte vom 21.04.16 (ohne SKK) und dem 11.05.16 (mit SKK) keine Reduktion der Tagesmittelwerte. Konkret war der Tag mit SKK sogar um 2 dB(A) lauter. Der Anstieg um 2 dB(A) ist darauf zurückzuführen, dass einige laute Züge am Tag mit SKK noch ein wenig lauter waren.

Die Erklärung für dieses Resultat liegt im Rechnen mit logarithmischen Werten. Diese Rechenregeln führen dazu, dass wenige hohe Schallpegel den Tagesmittelwert bestimmen können. Die durch die Schienenkonditionierung reduzierten Werte vermochten diesen Tagesmittelwert nicht mehr relevant zu beeinflussen. In Kenntnis der logarithmischen Rechenregeln war das obige Ergebnis zu erwarten

9.5 Wirkung SKK an einem ausgewählten Zugstyp

SKK Wirkungs-Berechnung an einem Zugstyp

Der Zugstyp Abe130010-SKK/Abeh160003 eignet sich besonders gut um die Wirkung der Schienen-Kopf-Konditionierung (SKK) aufzuzeigen. Der Zug besteht aus je 2 dreiteiligen Triebzügen bei denen nur je 1 Triebzug mit einer Schienenkonditionierung ausgerüstet ist. Bei der untersuchten Stichprobe kann der Lokführer nur in Fahrtrichtung Hergiswil die Schienenkonditionierung auslösen. Damit kann aus der Differenz der beiden Fahrtrichtungen auf die Wirkung der SKK für diese Zugskombination geschlossen werden.

Wirkung SKK im Detail

Die Wirkung der Schienenkopfkonditionierung beim Zugstyp Abe130010-SKK/ABeh160003 beträgt:

- beim Leq und SEL ca. 10 dB(A) und
- beim Lmax ca. 14 dB(A)

Diese Wirkung ist als sehr gross einzustufen.

Wirkung SKK im Vergleich

Für die Wahrnehmbarkeit bei Veränderungen von Momentan-Schallpegeln wie dem Lmax gilt folgende Einstufung:

<i>Schallpegel-Veränderung:</i>	<i>Wahrnehmung</i>
0 – 2 dB(A)	Kaum wahrnehmbar
2 – 5 dB(A)	Wahrnehmbare, kleine Veränderung
5 – 10 dB(A)	Deutlich wahrnehmbare Veränderung
10 – 20 dB(A)	Grosse und überzeugende Veränderung

Für die Wahrnehmbarkeit bei Veränderungen von Mittelungspegeln wie dem Leq oder SEL verweisen wir auf das Empfinden der Lärmbelastung entlang Verkehrsträgern wie der Strasse und der Bahn.

- + 3 dB(A) = Verdoppelung des Verkehrs resp. des Abstandes zur Bahn
- - 3 dB(A) = Halbierung des Verkehrs resp. des Abstandes zur Bahn

9.6 Störwirkung von Kreischgeräuschen

Die Lärmschutz-Verordnung (LSV) kennt keine Berücksichtigung von Störwirkungen durch Kurvenkreischen. Dies führte in Gstaad zu einer Klage gegen die MOB die bis vor die damals oberste Gerichtsstanz getragen wurde. Geklagt wurde auf eine störungsgerechte Beurteilung von Kreischgeräuschen (analog der Situation im Steinbach, Hergiswil).

Eidgenössische Rekurskommission für Infrastruktur und Umwelt kommt in ihrem Entscheid vom 15. Dezember 2004 (MOB Gstaad) zum Schluss, dass der störungsgerechte Beurteilungspegel Lr sich wie folgt berechnet:

$$L_r = L_{eq} + K_1 + K_2.$$

Damit wird für den Fall Gstaad eine Störungskorrektur K2, gestützt auf den Rangierlärm, empfohlen.

Das Kurvenkreischen tritt in der Steinbachkurve Hergiswil etwa bei der Hälfte der Zugsvorbeifahrten auf. Das Kreischen ist bei den betroffenen Fahrten deutlich hörbar. Diese Ausgangslage würde in der Steinbachkurve zu einer Pegelkorrektur K2 von +4-6 dB(A) führen.

Damit wurde vom Gericht festgehalten, dass Kreischgeräusche von der betroffenen Bevölkerung als sehr störend empfunden werden und ihre Störwirkung bei einer Lärmbeurteilung zu berücksichtigen ist.

Wahrnehmung von Veränderungen auf längere Zeiträume**9.7 Wahrnehmbarkeit von «schleichenden» Veränderungen**

Beim Kurvenkreischen in der Steinibachkurve Hergiswil wurden Spitzenpegel bis 107 dB(A) gemessen. Nebst diesem sehr hohen Schallpegel wirkt auch das Frequenzbild des Kreischens als sehr störend.

Jedes Kurvenkreischen das durch die Schienenkonditionierung vermieden werden kann, ist deshalb für die betroffene Bevölkerung ein Erfolg.

Dieser Teil-Erfolg wird jedoch immer an seinem Anteil an der Gesamtlärmsituation gemessen. Bei einer langjährigen stetigen Verbesserung der Kreischsituation, durch eine Zunahme der Züge mit Schienenkonditionierung, wird am Ende der Sanierung vermutlich nur noch der letzte Schritt als (kleiner) Erfolg in Erinnerung bleiben.

Könnte hingegen die heutige Kreischsituation innerhalb von Monaten saniert werden, würde dies von den Lärmbetroffenen als überzeugend grosse Veränderung wahrgenommen.

Sempach Station, 25. November 2016



Reto Hoin
dipl. Ing. HTL, Raumplaner NDS/HTL