PROSE
Measuring & Testing

# Bericht 2-171

# Lärmsanierung Rollmaterial, RhB

SWISS TESTING
STS 409

# Lärmmessungen

***– Messbericht –***

PROSE AG
Zürcherstrasse 41
CH-8400 Winterthur
Schweiz
Tel: +41 52 262 74 00
Fax: +41 52 262 74 01
email: info@prose.ch

| | Name | Datum | Unterschrift |
|---|---|---|---|
| **Erstellt** | Bernhard Thallemer | 31.05.2005 | |
| **Geprüft** | André Rohrbeck | 31.05.2005 | |
| **Freigegeben** | Bernhard Thallemer | 31.05.2005 | |

# Verteiler

| Firma | Abteilung | Name | Kopien | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Rhätische Bahn | Rollmaterial | Roberto Paravicini | 2 | + elektronisch per mail |
| PROSE AG | M&T | Projektleiter | 1 | |
| PROSE AG | M&T | Archiv | 1 | |

Dieses Dokument gibt Kenntnis von Gegenständen, an denen die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz), Eigentumsrechte hat. Weder Erhalt noch Besitz dieses Dokuments verleihen oder übertragen das Recht, seinen Inhalt als Ganzes, einen Teil davon, eine darin enthaltene Information, oder irgendwelche Gegenstände oder Vorrichtungen zu kopieren oder bekannt zu machen oder irgendwelche Methoden oder Prozesse anzuwenden, ausser nach schriftlicher Genehmigung durch die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz) oder schriftlicher Vereinbarung mit dieser Firma.

# Revisionsindex

| | Erstellt, Geprüft, Freigegeben | Datum |
|---|---|---|
| **Bericht 2-171** | Bernhard Thallemer, André Rohrbeck, Bernhard Thallemer | 31.05.2005 |
| | | |
| | | |

# Änderungen

| Revision | Seite | Abschnitt | Beschreibung |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

# Inhaltsverzeichnis


**1 Lärmmessung Rollgeräusch 5**

**1.1 Zielsetzung Lärmmessung 5**

**1.2 Versuchsbedingungen 5**
1.2.1 Versuchszug 5
1.2.2 Messort, Messstelle und Messumgebung 5
1.2.3 Meteorologische Bedingungen 6
1.2.4 Hintergrundschalldruckpegel 6
1.2.5 Fahrzeugzustand 7

**1.3 Messgrössen 7**

**1.4 Messpunkt 7**

**1.5 Durchführung 7**
1.5.1 Messverfahren 8
1.5.2 Messungen bei konstanter Fahrzeuggeschwindigkeit 8

**2 Ergebnisse 8**

**2.1 Vorgehen 8**

**2.2 Ergebnisse 8**

**2.3 Vergleich mit dem Sanierungswert 9**

**3 Literatur 9**

**Anhang (Inhaltsverzeichnis im Anhang)**

# 1 Lärmmessung Rollgeräusch

## 1.1 Zielsetzung Lärmmessung

Ziel des hier beschriebenen Versuchs ist es, den Nachweis zu erbringen, dass die sanierten Wagen mit eigenspannungsarmen Radsätzen und Komposit-Bremsklötzen im Rollgeräusch die Sanierungswerte der Lärmschutzverordnung [1] einhalten.

## 1.2 Versuchsbedingungen

### 1.2.1 Versuchszug

Der Nachweis ist für EW I, EW II und EW III zu erbringen, EW II und EW III unterscheiden sich aus akustischer Sicht jedoch nicht voneinander. Auch die Drehgestellbauart hat keinen Einfluss auf den Lärm und wird daher nicht berücksichtigt. Für die Lärmmessung wurde daher ein Zug, aus einer Wagengruppe mit drei sanierten EW I und einer Wagengruppe mit drei sanierten EW III, zusammengestellt. An jedem Ende war für eine betrieblich effiziente Abwicklung eine Ge4/4$^{III}$ mit einem leisen Trennwagen (sanierter EW II-STN) vorhanden, siehe Abbildung 1.
Alle 6 Messwagen sind B-Wagen (2.Klasse Wagen). Der Zustand aller Wagen war einwandfrei (keine Flachstellen) und die Reibpartner eingeschliffen.

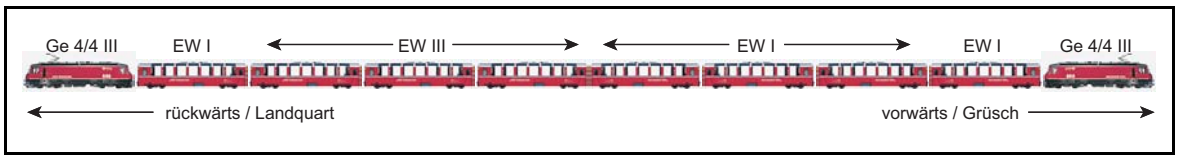


**Abbildung 1:** Zusammenstellung Versuchszug Lärmmessung Rollgeräusch

Komposition und Orientierung gemäss obiger Abbildung:

Ge4/4$^{III}$-645 B2363 B2466 B2465 B2463 B2455 B2453 B2451 B2368 Ge4/4$^{III}$-652

### 1.2.2 Messort, Messstelle und Messumgebung

#### Messort

Der Messort ist östlich von Malans km 3,051. Die Messstelle wurde aufgrund der Vormessung (siehe *Bestimmung der Messstelle* Abschnitt 2 in [3]) und anhand des Ergebnisses der Schienenrauheitsmessung ausgewählt, in [4].

#### Messstelle

Das Messgleis ist ein gut unterhaltenes Gleis in offenem Gelände, das den Vorgaben in prEN ISO 3095 [2], soweit es für eine Schmalspurbahn möglich ist, entspricht:

a) frei von einer zusätzlichen schallabsorbierenden Bedeckung
b) üblicher Oberbau

(a) Schiene SBB-I D94 '95
(b) Betonschwellen B 97 Tr '95
(c) Schotteroberbau
(d) normaler Unterbau

c) gerades Gleis
d) nahezu horizontal (14 ‰)[1]
e) im Bereich der Messstelle lückenlos verschweisst
f) Schienenoberfläche entsprechend [2] Abschnitt 6.4.2:
Die Schienenrauheit wurde am 19.04.2005 durch eine direkte Rauheitsmessung festgestellt. Sie ist im Mittel um ca. 5dB[re 1µm] besser, als es die prEN 3095 vorsieht.

**Messumgebung**

Der Messort ist südlich des Gleises und ist so beschaffen, dass eine freie Schallausbreitung möglich ist, d.h. dass er den Vorgaben in prEN ISO 3095 [2] entspricht:

- Untergrund im Wesentlichen eben
- Umgebung nicht höher als Gleis, insbesondere keine ansteigenden Böschungen (Umgebung ist auf der Messseite ca. 170cm unter SOK)
- im Bereich um das Mikrofon mit einem Radius der dreifachen Messentfernung (d.h. ca. 25 m) frei von grossen reflektierenden Objekten (Felsen, Bauwerke)
- zwischen Fahrzeug und Mikrofon frei von schallabsorbierender Bedeckung (Schnee, Gras, andere Gleise) und Objekten (insb. Gebäuden und Personen)

Fotos der Messstelle und Umgebung, siehe Anhang C.

### 1.2.3 Meteorologische Bedingungen

Die meteorologischen Bedingungen entsprachen den Vorgaben in prEN ISO 3095 [2]:

- Windgeschwindigkeit in Mikrofonhöhe war stets kleiner als 5 m/s
- kein Niederschlag (Schnee, Regen, ...)
- Der Boden war frostfrei.
- Windgeschwindigkeit, Temperatur, Luftdruck und sind im Messbericht festgehalten.

### 1.2.4 Hintergrundschalldruckpegel

Der A-bewertete Hintergrundschalldruckpegel war stets 10 dB kleiner als der A-bewertete Schalldruckpegel des Fahrzeugs. Meistens lag der Hintergrundschalldruckpegel an der unteren Messschwelle von 40dB(A).

[1] Dies spielt für antriebslose Fahrzeuge keine Rolle, solange stabiler Lauf und reguläre Kupplungsverhältnisse vorliegen, da das Rollgeräusch unabhängig von den Längskräften innerhalb eines Zugverbandes ist.

### 1.2.5 Fahrzeugzustand

Das Fahrzeug befand sich im normalen Betriebszustand (leeres Fahrzeug, Innenraum im regulären Einsatzzustand), wobei die Räder seit der letzten Bearbeitung eine gewisse Laufleistung erbracht haben und weitestgehend frei von Unregelmässigkeiten wie Flachstellen waren.
Die Türen (sowohl Aussentüren als auch Türen zwischen den Wagen oder Abteilen) und Fenster des Fahrzeugs waren geschlossen.

## 1.3 Messgrössen

- Schalldruck
- Schalldruckpegel ($L_{pAF}$)
- Geschwindigkeit mittels Lichtschranke an der Schiene (Radimpulse)
- Windgeschwindigkeit und Temperatur sind im Messprotokoll aufgeführt, der Luftdruck betrug 960 +- 2 hPa

Im Anhang B sind die verwendeten Messgeräte und deren Einstellungen dokumentiert.

## 1.4 Messpunkt

Die Messung des Schalldrucks erfolgte auf einer Fahrzeugseite an einer Messposition in 7.5 m Abstand zur Gleismitte. Das Mikrofon befindet sich wie in der Abbildung 2 dargestellt in 1.2 ±0.2 m Höhe über Schienenoberkante.

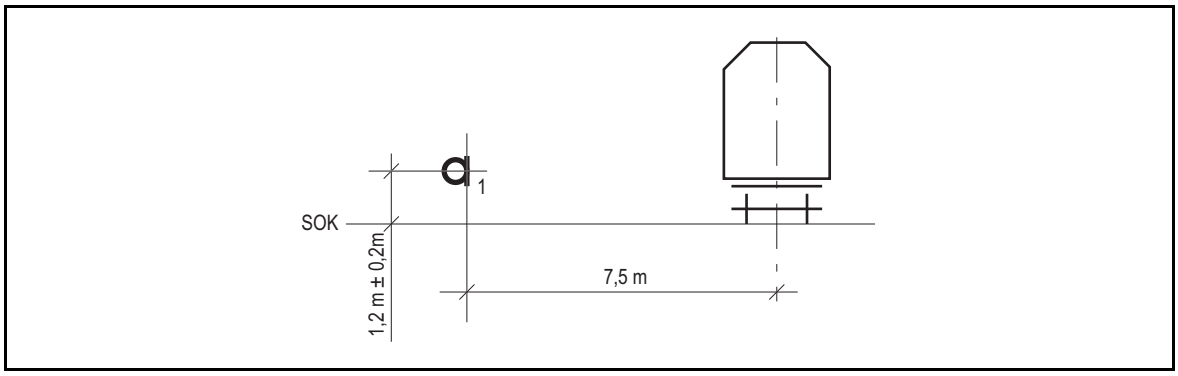


**Abbildung 2:** Mikrofonposition

Fotos des Messpunktes und der messtechnischen Installationen, siehe Anhang C.

## 1.5 Durchführung

Die Lärmmessungen wurden am Dienstag den 24.05.2005 durchgeführt. Es wurden alle Zugsdurchfahrten gemessen und protokolliert.[2] Es fanden Messfahrten in beiden Richtungen statt[3], der Messzug wurde von Landquart nach Grüsch und zurück geführt; siehe Protokoll Anhang A.

[2] Es wurden also neben den Messfahrten auch die Regelzüge erfasst, jedoch nicht in die Auswertung mit einbezogen.
[3] Da die Wagen symmetrisch aufgebaut sind erübrigt sich eine Messung der anderen Seite und es kann in beliebiger Richtung gemessen werden.

### 1.5.1 Messverfahren

Jede Messung wurde mindestens drei Mal durchgeführt. Zur Beurteilung der Gültigkeit der Messung nach prEN ISO 3095 [2], wurde das provisorisches Messergebnis herangezogen. Dieses wurde, auf das nächste ganze Dezibel gerundet, aus dem Messschrieb ermittelt. Falls die Werte in einem Satz von drei Messungen um mehr als 3 dB voneinander abweichen, muss ein neuer Satz von Messungen durchgeführt werden, dieser Fall kam nicht vor, siehe Protokoll Anhang A letzte Spalte *Vergleichspegel*.

### 1.5.2 Messungen bei konstanter Fahrzeuggeschwindigkeit

Die Messung erfolgten wie oben beschrieben mindestens je drei mal bei 60 km/h, 80 km/h und bei 90 km/h, wobei die Geschwindigkeiten mit einer Genauigkeit von ±5% eingehalten worden sind.

# 2 Ergebnisse

## 2.1 Vorgehen

Der TEL = $L_{pAeq,T}$ (da T = $T_p$) wurde gemäss prEN ISO 3095 ausgewertet. Die benötigten Zeiten wurden aus den Lichtschrankensignalen der Radsätze und der Kenntnis der Fahrzeugabmessungen berechnet, siehe Abbildung 3.

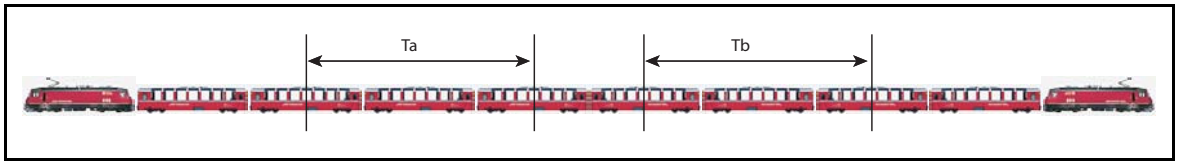


**Abbildung 3:** **B**estimmung relevanter Abschnitte $T_i$ zur Bestimmung des $\mathbf{L_{pAeq,T}}$

Die Geschwindigkeit wird aus den Lichtschrankensignalen der Radsätze und der Kenntnis der Radsatzabstände der Ge4/4$^{III}$ berechnet.

## 2.2 Ergebnisse

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammenfassend aufgeführt, detaillierte Ergebnisse finden sich im Anhang D.

| | Geschwindigkeit [km/h] | Schalldruckpegel EW I $L_{pAeq,T}$ [dB] | Schalldruckpegel EW III $L_{pAeq,T}$ [dB] |
|---|---|---|---|
| **Mittelwert** | **61,0** | **75,1** | **76,0** |
| **Mittelwert** | **79,8** | **78,7** | **79,2** |
| **Mittelwert** | **90,3** | **80,7** | **81,1** |

**Tabelle 4:** äquivalente Schalldruckpegel

Gerundet erhält man für EW I und EW III dasselbe Ergebniss von 79 dB(A) für 80 km/h. Die Ergebnisse bestätigen die allgemeine Abhängigkeit des Rollgeräuschs mit der Formel

$$Lp(v) = Lp(80km/h) * 30 * \log_{10}(v/80km/h)$$ **Gleichung 2-1**

## 2.3 Vergleich mit dem Sanierungswert

Der Sanierungswert beträgt für Reisezugwagen TEL = $L_{pAeq,T}$ = 84 dB(A).
Der Versuch wurde entsprechend prEN ISO 3095 [2] durchgeführt.

Die sanierten Wagen unterschreiten den Grenzwert mit einem Rollgeräusch von TEL = $L_{pAeq,T}$ = 79 dB(A) deutlich.

# 3 Literatur

[1] *Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (VLE), {742.144.1}* vom 14. November 2001; Anhang 1, zu (Art. 8, 16 Abs. 2 und 37 Abs. 2)

[2] *prEN ISO 3095: Bahnanwendungen – Akustik – Messung der Geräuschemission von spurgebunden Fahrzeugen*
Europäisches Komitee für Normung, Januar 2001

[3] *Lärmsanierung Rollmaterial RhB, Lärmmessungen - Spezifikation*; PROSE AG Bericht 2-153 vom 23. Februar 2005

[4] *Lärmsanierung Rollmaterial RhB, Lärmmessungen - Ortsbestimmung durch Vorversuche*; PROSE AG Bericht 2-170 vom xx. yy 2005

# Anhang – Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---|---|---|
| **A** | **Messprotokoll** | **A-1** |
| **A.1** | **Messprotokoll vom 24.05.2005** | **A-1** |
| **B** | **Messausrüstung** | **B-1** |
| **B.1** | **Schalldruckpegelmesser** | **B-1** |
| **B.2** | **Schalldruckpegel Kalibrator** | **B-1** |
| **B.3** | **µMusycs** | **B-1** |
| **B.4** | **Gould** | **B-3** |
| **C** | **Dokumentation Messstelle und Messaufbau** | **C-1** |
| **C.1** | **Messstelle** | **C-1** |
| **C.2** | **Messaufbau** | **C-3** |
| **D** | **Auswertung** | **D-1** |
| **D.1** | **Kalibration** | **D-1** |
| **D.2** | **äquivalenter Schalldruckpegel $L_{pAeq,T}$** | **D-2** |
| **D.3** | **Überprüfung der Geschwindigkeitsabhängigkeit des Pegels** | **D-3** |

# Messprotokoll: Validierung Lärmsanierung Wagen RhB

**Projektnummer:** 05.053.03

**Datum:** 24.05.2005 **Thema:** Lärmmessung

| **Zeit** | **9:45** | **10:30** | | |
|---|---|---|---|---|
| Wetterbedingungen | bedeckt | l. bewölkt | | |
| Lufttemperatur [°C] | 14 | 14 | | |
| Luftfeuchtigkeit | trocken | trocken | | |
| Schienenzustand | trocken | trocken | | |
| Wind [m/s] | 1,4 | 1,8 | | |

| **Laufkilometer** | |
|---|---|
| **Versuchszug** | gem. Spec |
| **Versuchsstrecke** | Malans - Grüsch |
| **Zugsausrichtung** | vorwärts = Richtung Grüsch |
| **Konfiguration** | gem. Spec |
| **Aufzeichnungssystem** | µMusycs (HDD); Gould (10mm/s) |

| **Teilnehmer** | |
|---|---|
| **PROSE** | Thallemer, Mischler |
| **RhB** | Paravicini |
| **BUWAL** | Liengme |
| | |
| | |

| **Laufnr.** | **Zeit** | **Zug-Nr.** | **Fahrt-richtung** | **Ort von** | **Ort bis** | **v [km/h]** | **File-Nr** | **Bemerkungen** | | **RhB Zug-Nr** | **Vergleichs-Pegel** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L001 | 8:32 | 9023 | v | L | G | 80 | 1 | | Messzug ; noch nicht kalibriert | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | Kalibration Schallpegelmesser, Übertragungsfaktor initial: -30.7dB; alt: -30,5dB; neu: -31.1 | | | |
| L002 | 8:35 | - | - | - | - | - | 2 | Aufzeichnung Kalibration (Anzeige SPM: Lpa,inst. = 93.6dB, Lpa,eq = 93.5dB, Lpa,max = 93.6, t = 17sec, µMusycs = 93.5dB | | | |
| L003 | 8:43 | R 1525 | r | G | L | | 3 | Regelzug, Triebwagen, 2 Personenwagen, Steuerwagen | | | |
| L004 | 8:52 | RE 1027 | v | L | G | | 4 | Regelzug, Ge 4/4 III (Glacier Express ?), Personenwagen, Steuerwagen, Personenwagen | | 1025 | |
| L005 | 8:55 | RE 1225 | v | L | G | | 5 | Regelzug, Ge 6/6 II , 4 Personenwagen, Packwagen, 2 1-achsige Güterwagen | | | |
| - | - | 9018 | - | - | - | - | - | | Messzug verpasst | | |
| L006 | 9:07 | RE 1220 | r | G | L | | 6 | Regelzug, Ge 6/6 II (706 Disentis/Mustér), Packwagen, 4 Personenwagen | | | |
| L007 | 9:11 | RE 1022 | r | G | L | | 7 | Regelzug, Steuerwagen, 4 Personenwagen; GE 4/4 III (641 Maienfeld; Coop) | | 1020 | |
| L008 | 9:19 | R 1522 | v | L | G | | 8 | Regelzug, Triebwagen, 3 Personenwagen | | | |
| L009 | 9:22 | 9027 | v | L | G | 80 | 9 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 79 |
| L010 | 9:42 | R 1529 | r | G | L | | 10 | Regelzug, Triebwagen, 2 Personenwagen, Triebwagen (Via Raetica ?) | | | |
| L011 | 9:50 | RE 1031 | v | L | G | | 11 | Regelzug, Personenwagen; GE 4/4 III (641 Maienfeld; Coop), letzer Wagen: 4-achsiger Containertragwagen | | 1029 | |
| L012 | 9:45 | RE 1229 | v | L | G | | 12 | Regelzug, Personenwagen; GE 4/4 II (612) , letzer Wagen: 4-achsiger Containertragwagen | | | |
| L013 | 10:03 | 9022 | r | G | L | 80 | 13 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 79 |
| L014 | 10:07 | RE 1224 | r | G | L | | 14 | Regelzug | | | |
| L015 | 10:09 | RE 1026 | r | G | L | | 15 | Regelzug, 5 Personenwagen; GE 4/4 III (644) , Steuerwagen (tief?) | | 1024 | |
| L016 | 10:17 | R 1526 | v | L | G | | 16 | Regelzug | | | |
| L017 | 10:21 | 9031 | v | L | G | 80 | 17 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 79 |
| L018 | 10:24 | Versuch | v | L | G | | 18 | 2 Triebwagen | | - | |
| L019 | 10:26 | - | - | - | - | - | 19 | Kalibrationskontrolle: (Anzeige SPM: Lpa,inst. = 93.5dB, Lpa,eq = 93.4dB, Lpa,max = 93.5, t = 11sec, µMusycs = 93.4dB | | | |
| L020 | 10:40 | ? | r | G | L | | 20 | Güterzug, letzter Wagen läuft instabil: 4-achsiger Tankwagen (gelb) | | 1533 | |
| | | * entnommen aus HAFASWIN-SBB 2005 16.11.04 / 12.12.2004 - 10.12.2005 | | | | | | | | *Bildfahrplan | |

# Messprotokoll: Validierung Lärmsanierung Wagen RhB

**Projektnummer:** 05.053.03

**Datum:** 24.05.2005 **Thema:** Lärmmessung

| **Zeit** | **13:20** | **14:15** | | |
|---|---|---|---|---|
| Wetterbedingungen | sonnig | sonnig | | |
| Lufttemperatur [°C] | 17,7 | | | |
| Luftfeuchtigkeit | trocken | trocken | | |
| Schienenzustand | trocken | trocken | | |
| Wind [m/s] | 1,6 | <3 | | |

| | |
|---|---|
| **Laufkilometer** | |
| **Versuchszug** | gem. Spec |
| **Versuchsstrecke** | Malans - Grüsch |
| **Zugsausrichtung** | vorwärts = Richtung Grüsch |
| **Konfiguration** | gem. Spec |
| **Aufzeichnungssystem** | µMusycs (HDD); Gould (10mm/s) |

| **Teilnehmer** | |
|---|---|
| **PROSE** | Thallemer, Mischler |
| **RhB** | Paravicini |
| **BUWAL** | Liengme |
| | |
| | |

| **Laufnr.** | **Zeit** | **Zug-Nr.** | **Fahrt-richtung** | **Ort von** | **Ort bis** | **v [km/h]** | **File-Ext.** | **Bemerkungen** | | **RhB Zug-Nr** | **Vergleichs-Pegel** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L021 | 10:51 | RE 1035 | v | L | G | | 21 | Regelzug | | 1033 | |
| L022 | 10:54 | RE 1233 | v | L | G | | 22 | Regelzug | Gould S. 186 | | |
| L023 | 11:03 | 9026 | r | G | L | 60 | 23 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 76 |
| L024 | 11:06 | RE 1228 | r | G | L | | 24 | Regelzug | | | |
| L025 | 11:11 | RE 1030 | r | G | L | | 25 | Regelzug (kein Foto) | | 1028 | |
| L026 | 11:20 | R 1530 | v | L | G | 79 | 26 | Regelzug, Triebwagen, 2 Personenwagen, Steuerwagen | | | |
| L027 | 11:25 | 9035 | v | L | G | 60 | 27 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | 1333 | 76 |
| L028 | 11:35 | 9030 | r | G | L | 60 | 28 | | Messzug frühzeitig; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 77 |
| L029 | 11:41 | R 1537 | r | G | L | | 29 | Regelzug, Triewagen, 2 Personenwagen, Steuerwagen | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | Mittagspause (Geräte ausgeschaltet) | | | |
| L030 | 13:20 | - | - | - | - | - | 1 | Kalibrationskontrolle: (Anzeige SPM: Lpa,inst. = 93.6dB, Lpa,eq = 93.5dB, Lpa,max = 93.6, t = 11sec, µMusycs = 93.5dB | | | |
| L031 | 13:26 | 9043 | v | L | G | 60 | 2 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | 1538 | 75 |
| L032 | 13:31 | 5043 | v | L | G | | 3 | Güterzug, Ge 6/6 I - 414 (RhB- Krokodil) 3 Rungenflachwagen | | | |
| L033 | 13:44 | R 1545 | r | G | L | | 4 | Regelzug | | | |
| L034 | 13:51 | RE 1047 | v | L | G | | 5 | Regelzug, Ge 4/4 III - 644 am Schluss Steuerwagen, Gepäckwagen | | 1045 | |
| - | 13:52 | - | - | - | - | - | 6 | Fehlaufzeichnung (doppelklick stop-start) | | | |
| L035 | 13:55 | RE 1245 | v | L | G | | 7 | Ge 6/6 II - 706; am Schluss "Messwagen" ? | | | |
| L036 | 14:03 | 9038 | r | G | L | 60 | 8 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 77 |
| L037 | 14:08 | RE 1240 | r | G | L | | 9 | Regelzug, Gepäckwagen, 4 Personenwagen, 1 Güterwagen | | | |
| L038 | 14:10 | RE 1042 | r | G | L | | 10 | Regelzug, Steuerwagen, Personenwagen, GE 4/4 III - 651 (Fideris; Glacier Express) | | 1040 | |
| L039 | 14:12 | - | v | L | G | | 11 | Güterzug, Ge 4/4 II - 624, 2x 4-achsige Wagen, 3x 2-achsige Zisternenwagen | | | |
| L040 | 14:18 | RE 1542 | v | L | G | | 12 | Regelzug, Triebwagen, 2 Personenwagen, Steuerwagen | | | |
| | | * entnommen aus HAFASWIN-SBB 2005 16.11.04 / 12.12.2004 - 10.12.2005 | | | | | | | | *Bildfahrplan | |

# Messprotokoll: Validierung Lärmsanierung Wagen RhB

**Projektnummer:** 05.053.03

**Datum:** 24.05.2005 **Thema:** Lärmmessung

| **Zeit** | **14:35** | **15:15** | | |
|---|---|---|---|---|
| Wetterbedingungen | sonnig | sonnig | | |
| Lufttemperatur [°C] | 18,6 | | | |
| Luftfeuchtigkeit | trocken | trocken | | |
| Schienenzustand | trocken | trocken | | |
| Wind [m/s] | <3,5 | <4 | | |

| **Laufkilometer** | |
|---|---|
| **Versuchszug** | gem. Spec |
| **Versuchsstrecke** | Malans - Grüsch |
| **Zugsausrichtung** | vorwärts = Richtung Grüsch |
| **Konfiguration** | gem. Spec |
| **Aufzeichnungssystem** | µMusycs (HDD); Gould (10mm/s) |

| **Teilnehmer** | |
|---|---|
| **PROSE** | Thallemer, Mischler |
| **RhB** | Paravicini |
| **BUWAL** | Liengme |
| | |
| | |

| **Laufnr.** | **Zeit** | **Zug-Nr.** | **Fahrt-richtung** | **Ort von** | **Ort bis** | **v [km/h]** | **File-Ext.** | **Bemerkungen** | | **RhB Zug-Nr** | **Vergleichs-Pegel** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L041 | 14:25 | 9047 | v | L | G | 90 | 13 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 82 |
| L042 | 14:41 | R 1549 | r | G | L | | 14 | Regelzug, Steuerwagen, Personenwagen, Triebwagen Be 4/4 - 513 | | | |
| L043 | 14:48 | 9042 | r | G | L | 90 | 15 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | 5042 | 83 |
| L044 | 14:51 | RE 1051 | v | L | G | | 16 | Regelzug | | 1049 | |
| L045 | 14:54 | RE 1249 | v | L | G | | 17 | Regelzug, Ge 4/4 II - 615 | | | |
| L046 | 15:06 | - | - | - | - | - | 18 | Kalibrationskontrolle: (Anzeige SPM: Lpa,inst. = 94.2dB, Lpa,eq = 94.1dB, Lpa,max = 92.2, µMusycs = 94.1dB; identisch zu Kalibrator BUWAL | | | |
| L047 | 15:08 | RE 1244 | r | G | L | | 19 | Regelzug | | | |
| L048 | 15:12 | RE 1046 | r | G | L | | 20 | Regelzug | | 1044 | |
| L049 | 15:21 | R 1546 | v | L | G | | 21 | Regelzug | | | |
| L050 | 15:30 | - | r | G | L | | 22 | Güterzug, Ge 6/6 I - 414 (RhB- Krokodil) 3 Rungenflachwagen mit Holz, "Huckepack"wagen | | | |
| L051 | 15:33 | 9051 | v | L | G | 90 | 23 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 83 |
| L052 | 15:44 | R 1553 | r | G | L | | 24 | Regelzug | Gould S. 153 | | |
| L053 | 15:51 | RE 1055 | v | L | G | | 25 | Regelzug | | 1053 | |
| L054 | 15:55 | RE 1253 | v | L | G | | 26 | Regelzug | | | |
| L055 | 16:04 | 9046 | r | G | L | 80 | 27 | | Messzug; für die zu messenden Wagen mittlerer Schallpegel abgelesen ab Gould in dB | | 80 |
| L056 | 16:18 | - | - | - | - | - | 28 | Kalibrationskontrolle: (Anzeige SPM: Lpa,inst. = 94.1dB, Lpa,eq = 94.1dB, Lpa,max = 92.2, µMusycs = 94.1dB; Kalibrator PROSE (eckig) | | | |
| L057 | 16:23 | - | - | - | - | - | 29 | Kalibrationskontrolle: (Anzeige SPM: Lpa,inst. = 93.8dB, Lpa,eq = 93.81dB, Lpa,max = 94.0, µMusycs = 93.8dB; Kalibrator BUWAL (rund) | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| - | - | - | - | - | - | - | - | ENDE Messung | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | * entnommen aus HAFASWIN-SBB 2005 16.11.04 / 12.12.2004 - 10.12.2005 | | | | | | | | *Bildfahrplan | |

# B Messausrüstung

Im folgenden wird die Messausrüstung beschrieben.

Die Messkette bestand aus einem *Schalldruckpegelmesser* dessen Mikrofon über ein ca. 90 m langes Verlängerungskabel angeschlossen war. Die Signale wurden mit einem Datenaufzeichnungssystem *µMusycs* digital gespeichert. Parallel dazu wurden Schalldruckpegel und Radmarken auf einem Linienschreiber *Gould* zur Kontrolle und Ad-Hoc-Auswertung ausgegeben. Die Konfigurationen der Geräte ist im folgenden dokumentiert:

## B.1 Schalldruckpegelmesser

Brüel & Kjaer Schallpegelmesser Typ 2238
Basis SPM BZ7126 ver. 1.1.0
Einstellungen:

| | |
|---|---|
| Seriennr: | 2381539 |
| Bereich: | 40.0 - 120.0 dB |
| Detektor 1 (Eff) | |
| Bandbreite: | BB/F |
| Freq.bew.: | A |
| Detektor 2 (Br.band) | |
| Bewertung: | Peak/L |
| Schallfeld: | Frei |
| Windschirm- korrektur: | Ein |

Kalibrierhistorie:

| Datum | Zeit | →.faktor | Mikr. |
|---|---|---|---|
| INITIAL: | | | |
| 2003 Jan 28 | 09:30:50 | -30.7 dB | 2372305 |
| HISTORIE: | | | |
| 2005 Mai 25 | 11:13:56 | -30.5 dB | 2372305 |
| 2005 Mai 24 | 08:36:11 | -31.1 dB | 2372305 |
| 2005 Mai 19 | 19:01:22 | -30.5 dB | 2372305 |

## B.2 Schalldruckpegel Kalibrator

Brüel & Kjaer Akustischer Kalibrator Typ 4231

Kalibrator des BUWAL:
Brüel & Kjaer Akustischer Kalibrator Typ 4230

## B.3 µMusycs

05/24/05 16:30:37 Listing der µMUSYCS - Konfiguration
Konfiguration: C:\IMC DEVICES\Experiments\RhB_Laermmessung

| | |
|---|---|
| Interface: | Ethernet, < u-Musycs00031441 > |

Scannerkanäle:
Kanal: p1_V

| | |
|---|---|
| Status: | aktiv |
| Klemme: | I13 |
| Verstärkertyp: | Festverstärker "Buffer", Universalfilter "UNF 8" |
| Schaltung: | single ended |
| Kopplung: | DC |
| Filter: | Tiefpaß |
| Frequenz 1: | 10 kHz |
| Meßwerte: | unbegrenzt |
| Abtastzeit: | 50.0 µs |
| Meßbereich | ±10 V |

Skalierung: 1 V / V
Vorverarbeitung: keine
Offset: 0 V
Speicherung: Übertragung zum PC
Starttrigger: Trigger_48
Aufnahmen im Kurvenfenster: letzte
Skalierung im Kurvenfenster: auto
Abgleich: Offset

Kanal: Lp1_V
Status: aktiv
Klemme: I14
Verstärkertyp: Festverstärker "Buffer", Universalfilter "UNF 8"
Schaltung: single ended
Kopplung: DC
Filter: Tiefpaß
Frequenz 1: 200 Hz
Meßwerte: unbegrenzt
Abtastzeit: 1.0 ms
Meßbereich ±10 V
Skalierung: 1 V / V
Vorverarbeitung: keine
Offset: 0 V
Speicherung: Übertragung zum PC
Starttrigger: Trigger_48
Aufnahmen im Kurvenfenster: letzte
Skalierung im Kurvenfenster: auto
Abgleich: Offset

Kanal: Radmark
Status: aktiv
Klemme: I15
Verstärkertyp: Festverstärker "Buffer", Universalfilter "UNF 8"
Schaltung: single ended
Kopplung: DC
Filter: Tiefpaß
Frequenz 1: 200 Hz
Meßwerte: unbegrenzt
Abtastzeit: 1.0 ms
Meßbereich ±2
Skalierung: 0.2 / V
Vorverarbeitung: keine
Offset: 0
Speicherung: Übertragung zum PC
Starttrigger: Trigger_48
Aufnahmen im Kurvenfenster: letzte
Skalierung im Kurvenfenster: auto
Abgleich: Offset

Online-Programm:

```
p1 = p1_V * 20          ; 50mV/Pa = 20Pa/V
LpA1 = Lp1_V * 20 + 40   ; 50mV/dB = 20dB/V Messbereich ab 40dB
properties
yUnit( p1, "Pa" )
yUnit( LpA1, "dB(A)" )
```

# B.4 Gould

```
RhB Laermsanierung Rollmaterial Aussenmessung Malans
/
/Kanalkonfiguration
/*****************
/Syntax:  K_'Kanalnummer'_'Status'_'Skalierung'[_'rel. Position']
/
/        'Kanalnummer'  {1..24}
/        'Status'       {Y, R, Z, N}
/        'Skalierung'   {50mV/cm..10V/cm}
/        'rel.Position' {-9.9mm..+9.9mm} (optional)
/
/       1        2        3        4        5        6        7        8
/234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
TEXT
PROSE AG Mi 23.05.05                                File: RhB_M.la1




^110db

^105dB

^100dB

^95dB

^90db

^85db

^80dB

^75dB

^70dB

^65dB

^60dB

^55dB

^50dB

^45dB

^40dB          ^LpA   5dB/cm                        K_1_Y_0.25V/cm




^Radmarke                                        K_8_Y_5V/cm


ENDTEXT
/       1        2        3        4        5        6        7        8
/234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

# C Dokumentation Messstelle und Messaufbau

## C.1 Messstelle

**Abbildung 1:** Messquerschnitt in Blickrichtung Süd (Lichtschranke am Gleis, Messmikrofon, Fahrzeug mit Aufzeichnungsgeräten im Hintergrund)

**Abbildung 2:** Messstelle in Blickrichtung West (Malans)

**Abbildung 3:** Messstelle in Blickrichtung Süd-West (Landquart)

# C.2 Messaufbau

**Abbildung 4:** Messaufbau im Fahrzeug

**Abbildung 5:** Messaufbau und Protokollierung im Fahrzeug

# D Auswertung

## D.1 Kalibration

Während der Messungen wurde die Kalibration des Schalldruckpegelmessers wiederholt überprüft, siehe Messprotokoll Anhang A. Bei der Kalibrationskontrolle um 15:06 (L046) wurde eine Abweichung von 0,6 dB zur initialen Kalibration festgestellt. Um diese Abweichung zu verifizieren und Fehler auszuschliessen, wurde mit dem Kalibrator des BUWAL nachgemessen. Beide Kalibratoren lieferten denselben Wert. Die Abschlusskalibration (L056) ergab keine weitere Abweichung. Eine weitere Kontrollmessung mit dem Kalibrator des BUWAL zeigte jedoch eine geringe Abweichung um 0,3 dB. Die Ursache dafür ist unklar liegt aber im Bereich der zulässigen Abweichung für die Kalibratoren.

| Lauf-Nr. | Kalibrationsfaktor [Pa/V] | Vergleich zu nominellem Wert [dB] | |
|---|---|---|---|
| nominell | 20,00 | | |
| L001 | - | +0.6 | Veränderung durch nachfolgende Kalibration |
| L002 | 20,75 | +0,32 | Kalibration |
| L019 | 20,89 | +0,38 | |
| L030 | 20,64 | +0,28 | |
| L046 | 19,26 | -0,33 | |
| L056 | 19,33 | -0,30 | |
| L057 | 19,89 | -0,05 | Vergleich BUWAL |

**Tabelle 1:** Verlauf Kalibrationskontrolle

Nach Norm zugelassen ist eine Abweichung von nicht mehr als 0,5 dB. Damit wären die Messfahrten zu verwerfen, die zwischen den Kalibrationskontrollen stattfanden bei der die Abweichung auftrat. Unter den gegebenen Umständen betrifft dies die Laufnummern L031 – L045. Zwischen allen anderen Fahrten fand keine nennenswerte Veränderung statt. Die Fahrten L009 – L036 wurden mit dem Kalibrationsfaktor der Laufnummer L002 berechnet und die Fahrten L041 – L055 mit dem Kalibrationsfaktor der Laufnummer L046.
Wie sich bei den Ergebnissen der Auswertung der äquivalenter Schalldruckpegel zeigt (siehe Tabelle 1 und Tabelle 3), zeichnen sich die Ergebnisse durch eine sehr hohe Wiederholgenauigkeit (innerhalb ± 0,5 dB) aus.
Da die Ergebnisse deutlich (grösser als 3 dB) unterhalb des Grenzwerts liegen und die Fehlerunsicherheit dagegen klein ist (0,6 dB), wurden die Fahrten mit 90 km/h mit einem einheitlichem Kalibrationsfaktor ausgewertet. Die geringen Unterschiede zwischen den Messfahrten bestätigen dieses Vorgehen.

# D.2 äquivalenter Schalldruckpegel $L_{pAeq,T}$

## Berücksichtigte Fahrten

In der folgenden Tabelle sind die Messfahrten aufgeführt, deren Bezeichnung, Geschwindigkeit und ausgewerteter äquivalenter Schalldruckpegel $L_{pAeq,T}$

| Lauf-Nr. | Fahrt-Nr. | Geschwindigkeit [km/h] | Schalldruckpegel EW I $L_{pAeq,T}$ [dB] | Schalldruckpegel EW III $L_{pAeq,T}$ [dB] |
|---|---|---|---|---|
| | | soll = 80 | | |
| L009 | 9027 | 80,50 | 78,9 | 79,3 |
| L013 | 9022 | 78,13 | 78,2 | 78,9 |
| L017 | 9031 | 80,80 | 79,1 | 79,3 |
| **Mittelwert** | | **79,8** | **78,7** | **79,2** |
| | | soll = 60 | | |
| L023 | 9026 | 61,09 | 75,1 | 76,1 |
| L027 | 9035 | 60,38 | 75,0 | 75,5 |
| L028 | 9030 | 61,59 | 75,3 | 76,3 |
| **Mittelwert** | | **61,0** | **75,1** | **76,0** |
| | | soll = 90 | | |
| L041 | 9047 | 89,98 | 80,7 | 80,7 |
| L043 | 9042 | 90,90 | 80,7 | 81.6 |
| L051 | 9051 | 90,13 | 80,7 | 81,0 |
| **Mittelwert** | | **90,3** | **80,7** | **81,1** |

**Tabelle 2:** äquivalente Schalldruckpegel der Messfahrten

## Nicht berücksichtigte Fahrten

Folgende Fahrten waren überzählig und wurden wegen der Kalibrationsunsicherheit nicht in die Mittelung mit einbezogen. Ein Vergleich der Werte mit den Mittelwerten aus Tabelle 2 ergibt aber eine hohe Übereinstimmung.

| Lauf-Nr. | Fahrt-Nr. | Geschwindigkeit [km/h] | Schalldruckpegel EW I $L_{pAeq,T}$ [dB] | Schalldruckpegel EW III $L_{pAeq,T}$ [dB] |
|---|---|---|---|---|
| L001 | 9023 | 80,14 | 78,5 + 0,6 = 79,1 | 78,6 + 0,6 = 79,2 |
| | | | | |
| L031 | 9043 | 60,30 | 74,7 | 75,7 |
| L036 | 9038 | 60,97 | 75,5 | 76,9 |
| | | | | |
| L055 | 9046 | 80,57 | 79,1 | 79,9 |

**Tabelle 3:** äquivalente Schalldruckpegel der überzähligen Fahrten

# D.3 Überprüfung der Geschwindigkeitsabhängigkeit des Pegels

Anhand linearer Regression wurden die Parameter für die Formel überprüft:

$$Lv = L80 + n \log(v/80)$$

Allgemein gilt für das Rollgeräusch der Wert n = 30.

Die Parameter lauten wie folgt:

| | | |
|---|---|---|
| EW-I | L80 = 78,9 dB, | n = 32,4 |
| EW-III | L80 = 79,4 dB, | n = 29,7 |

Sie stimmen einerseits mit dem Mittelwert bei 80 km/h und andererseits mit dem üblichen Wert für n überein. Berechnet man mit dem Wert n = 30 ausgehend von den Geschwindigkeiten von 60 km/h und 90 km/h zurück auf 80 km/h und mittelt, erhält man dasselbe Ergebniss wie die L80 Werte der Regression.

Rundet man auf ganze Dezibel ergibt sich für EW-I und EW-III dasselbe Ergebniss von 79 dB(A) für 80 km/h.