PROSE
Measuring & Testing

Bericht 2-179

RhB Lärmsanierung

SWISS TESTING
STS 409

Wirkung von Radschallabsorbern

– Abschlussbericht –

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	André Rohrbeck	22.06.2005	
	Roland Benz	22.06.2005	
Geprüft	Stefan Bühler	22.06.2005	
Freigegeben	André Rohrbeck	22.06.2005	

Verteiler

Firma	Abteilung	Name	Kopien	Bemerkungen
Rjhätische Bahn		R. Paravicini	2	vorab via e-Mail
PROSE AG	M&T	A. Rohrbeck	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 2-179	A. Rohrbeck, S. Bühler, A.Rohrbeck	22.06.2005

Änderungen

Revision	Seite	Abschnitt	Beschreibung

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 5

2 Einleitung 6

2.1 Konfiguration des Messzugs 6

2.2 Radschallabsorber 7

2.3 Radlaufflächen 7

3 Messungen 8

3.1 Lärmmessstellen 8

3.2 Messaufbau 8

3.3 Durchführung der Messung 8

4 Auswertung 9

4.1 Vorgehen bei der Auswertung 9

4.1.1 Pegelberechnung 9

4.1.2 Abschnittsweise Äquivalente Dauerschalldruckpegel 9

4.2 Auswertungsergebnisse 9

4.3 Interpretation der Ergebnisse 10

4.3.1 Bergfahrten 10

4.3.2 Talfahrten 11

5 Fazit 12

Anhang (Inhaltsverzeichnis im Anhang)

1 Zusammenfassung

Im Sommer 2005 wurden im Rahmen der Validierungsmessungen der neuen eigenspannungsarmen Räder auch Messungen zur Beurteilung der Wirksamkeit eines neu entwickelten Radschallabsorbers durchgeführt.

Die Messungen wurden auf der Bernina-Südrampe zwischen Poschiavo und Alp Grüm durchgeführt.

Die Wirksamkeit der eingesetzten Radschallabsorber gegen das Kurvenkreischen konnte klar nachgewiesen werden. Das Kurvenkreischen wirksam unterdrückt werden, was eine Pegelreduktion von ca. 20 dB(A) bewirkt.

Weiterhin konnte auch eine Wirksamkeit der Radschallabsorber bei Talfahrten mit angelegter Bremse festgestellt werden, wo der Lärmpegel um etwa 7 dB(A) gesenkt wird. Im Falle eines Bremsquietschens konnte dieses ebenso wirksam wie das Kurvenquietschen verhindert werden.

2 Einleitung

Im Zuge der Lärmsanierung des Rollmaterials hat die Rhätische Bahn (RhB) neue eigenspannungsarme Radsätze für den Einsatz von K-Bremsklötzen entwickelt. Diese neuen Radsätze ermöglichen durch eine vorhandene Nut auch den Einsatz von Radschallabsorbern (RSA).

Um eine Entscheidungsgrundlage für den Einsatz der RSA liefern zu können, wurden die hier dokumentierten Messungen durchgeführt, mit denen die Wirksamkeit der RSA qualitativ und wenn möglich quantitativ beurteilt werden sollte.

Zu diesem Zweck wurden im Rahmen der Bremsmessungen zur Zulassung der neuen eigenspannungsarmen Räder akustische Messungen zur Beurteilung der RSA-Wirkung durchgeführt. Die Messungen fanden in der Nacht vom 9. auf den 10.6.2005 auf der Bernina-Südrampe statt.

2.1 Konfiguration des Messzugs

Die Konfiguration des Messwagengruppe ist aus Abbildung 2-1 ersichtlich. Da die Messungen zur Wirksamkeit der Radschallabsorber im Zusammenhang mit anderen Messung stattfanden, war der Messzug deutlich länger. Hier ist nur der für die Messung zur Wirksamkeit der Radschallabsorber wesentliche Teil dargestellt.

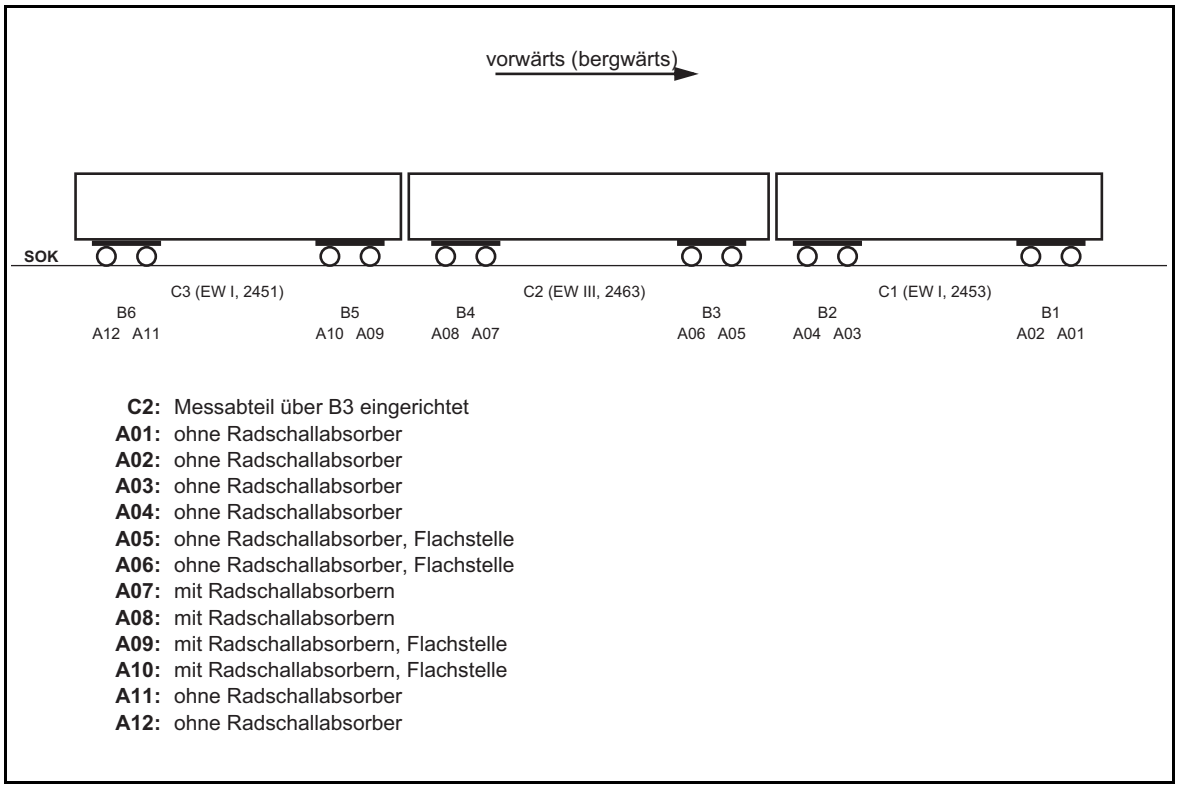


Abbildung 2-1: Konfiguration der Messwagengruppe

Der gesamte Messzug bestand aus einer Wagengruppe mit drei „normalen“ Wagen, dem RhB-Messwagenpaar und der in der Abbildung dargestellten Wagengruppe (im

Folgenden „Testwagengruppe“ genannt. Die Traktion erfolgte durch die Bernina-Triebwagen 52 und 56.
Die Testwagengruppe war am talseitigen Ende des Wagenzuges eingereiht, so dass sie bei Bergfahrt am Ende des Zuges und bei Talfahrt direkt hinter den beiden Triebwagen eingereiht waren.

2.2 Radschallabsorber

Die Achsen 7, 8, 9 und 10 waren mit Radschallabsorbern ausgestatten (siehe Abbildung 2-1). Diese Ringabsorber bestehen aus einem Sandwich-Ring (Stahl-Gummi-Stahl), der durch Federkraft in der Radscheibe hält.

2.3 Radlaufflächen

Die Achsen 5, 6, 9 und 10 hatten durch die Bremsversuche leichte Flachstellen. Ansonsten gab es keine Auffälligkeiten an den Radlaufflächen.

3 Messungen

3.1 Lärmmessstellen

Ziel der Messungen war die Beurteilung der Wirksamkeit der Radschallabsorber. Um einen Einfluss der oben erwähnten Flachstellen auf die Messung möglichst niedrig zu halten, wurden die beiden Messmikrofone an den Achsen 4 (P_norm) und 8 (P_RSA) befestigt.
Damit war sichergestellt, dass

- die Messungen an der Achsgruppe mit Radschallabsorbern und der Achsgruppe ohne Radschallabsorber sich möglichst wenig gegenseitig beeinflussen und
- dass der Einfluss der Flachstellen an den Achsen 5, 6, 9 und 10 minimiert wurde.

Die Mikrofone wurden zwischen den Rädern der jeweiligen Achsen platziert. Die genaue Positionierung kann **Anhang B.2** entnommen werden.

3.2 Messaufbau

Der vollständige Messaufbau ist in **Anhang B** dargestellt. Zusätzlich zu den beiden Mikrofon-Messstellen wurden die Geschwindigkeit VC und die Wagenkastenrotationsgeschwindigkeit WZC im Wagen 2 gemessen. Aus VC und WZC lässt sich später die Streckenkrümmung KC bestimmen.
Das Geschwindigkeitssignal wurde von der Messgruppe der DB-Systemtechnik, die die thermischen Messungen durchführte, als Analogsignal übernommen. Die Skalierung wurde uns nicht zuverlässig mitgeteilt. Daher wurde die Skalierung des Geschwindigkeitssignals nachträglich anhand der bekannten Entfernung zwischen Alp Grüm und Poschiavo nachkalibriert. Auf eine Online-Berechnung der Streckenkrümmung wurde aus diesem Grund verzichtet.

3.3 Durchführung der Messung

Die Messungen fanden in der Nacht vom 9. auf den 10.6. auf der Bernina-Südrampe zwischen Poschiavo und Alp Grüm statt. Die Messungen zur Wirksamkeit der Radschallabsorber wurde dabei während den Bergfahrten durchgeführt. Die Talfahrten dienten primär den gleichzeitig stattfindenden Bremsmessungen. Dennoch wurden auch diese teilweise aufgezeichnet.
Das Messprotokoll mit der detaillierten Dokumentation der Messung kann **Anhang A** entnommen werden.

4 Auswertung

Ziel der Auswertung war die qualitative und wenn möglich quantitative Beurteilung der Wirksamkeit der Radschallabsorber auf das Kurvenkreischen. Durch die gleichzeitige Messung an beiden Drehgestellen kann ein Vergleich der beiden Messstellen innerhalb einer Messfahrt gut durchgeführt werden.

4.1 Vorgehen bei der Auswertung

4.1.1 Pegelberechnung

Aus den gemessenen Drucksignalen wurde der A-bewertete Schalldruckpegel (fast-bewertet) berechnet.

4.1.2 Abschnittsweise Äquivalente Dauerschalldruckpegel

Die Strecke wurde mittels des Geschwindigkeitssignals in jeweils 5-m-lange Abschnitte unterteilt. Für jeden dieser Abschnitte wurde der äquivalente Dauerschalldruckpegel für beide Messstellen ermittelt.
Die so ermittelten äquivalenten Dauerschalldruckpegel wurden dann über dem jeweiligen mittleren Radius jedes Abschnitts aufgetragen. Die zeitliche Verschiebung der Signale auf Grund der unterschiedlichen Positionierung der Mikrofone im Zugverband wurde dabei berücksichtigt.

4.2 Auswertungsergebnisse

Die Auswertungsergebnisse können **Anhang C** entnommen werden.
Es wurde jeweils eine komplette Tal- bzw. Bergfahrt in einem Stück ausgewertet. Wenn eine Fahrt aus mehreren Stücken bestand, dann wurden diese Stücken in einem ersten Schritt zusammengesetzt. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die durchgeführten Auswertungen.

Auswertung	Laufnummern	Fahrrichtung	Bemerkungen
Tal 1	A004	talwärts	---
Tal 2	A010	talwärts	---
Berg 1	A005, A007, A009	bergwärts	---
Berg 2	A011, A013, A015	bergwärts	---

4.3 Interpretation der Ergebnisse

4.3.1 Bergfahrten

Durch die Ergebnisse der Bergfahrten (Seiten C-3 und C-4) konnte der erste subjektive Eindruck einer deutlichen Verbesserung des Kurvenkreischverhaltens bestätigt werden.

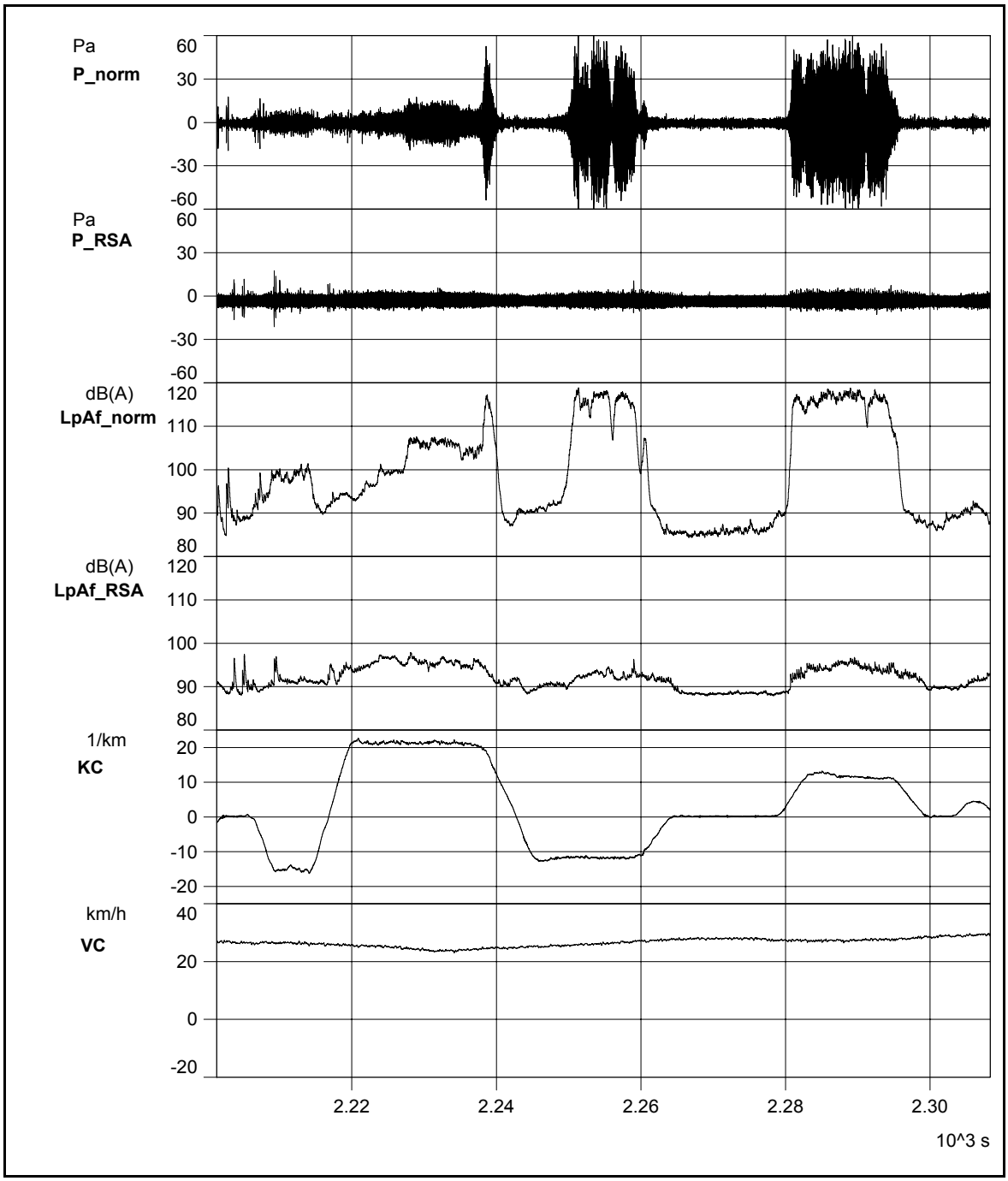


Abbildung 4-1: Vergleich der Schalldrücke und Schalldruckpegel in einem typischen Bogen bei einer Bergfahrt (Auswertung Berg 1, Bogen kurz vor Alp Grüm)

Das Kurvenkreischen ist in den im Anhang C dargestellten Diagrammen gut zu identifizieren. Es taucht nur in Bögen auf, deren Radius kleiner als 200 m ist. Der Pegel des

Kreischens ist dabei weitgehend unabhängig vom Bogenradius und beträgt bis zu 120 dB(A). Durch die RSA konnte das Kurvenkreischen nahezu vermieden werden. Der maximal auftretende über 5 m gemittelte Schalldruckpegel beträgt nun 100 dB(A) im Bogen unter 200 m Radius[1].

Abbildung 4-1 zeigt einen typische Bogenfolge, in der das Kurvenkreischen aufgetreten ist. Der qualitative und quantitative Unterschied des Signalverlaufs in den beiden Druck bzw. den daraus berechneten Pegelsignalen ist klar ersichtlich.

4.3.2 Talfahrten

Grundsätzlich war nur die Messung der Bergfahrten geplant, da erwartet wurde, dass es bei der Talfahrt nicht zum Kurvenquietschen kommt, weil die Bremsklötze die Radschwingung im angelegten Zustand dämpfen würden.
Interessehalber wurden jedoch auch zwei Talfahrten gemessen. Dabei fiel auf, dass es auch durch die angelegten Bremsen zu einer Anregung der Räder kam, die in der Folge zu einem dem Kurvenquietschen sehr ähnlichen Geräusch führte. Subjektiv konnte hier durch die RSA auch eine Verringerung des Bremsquietschens festgestellt werden.

Die Ergebnisse im Anhang C bestätigen beide Tatsachen. Es ist klar zu erkennen, dass das Kurvenkreischen — im Vergleich zu den Bergfahrten — nur noch vereinzelt auftritt (siehe Seite C2). Dies bestätigt die Hypothese der Bedämpfung des Rades durch die angelegten Bremsklötze.
Insgesamt zeigt sich, dass der Lärmpegel bei der Talfahrt — abgesehen vom Kurvenkreischen — deutlich höher liegt als bei Talfahrt, was durch die Schleifgeräusche der Bremsklötze erklärt werden kann.

Weiterhin ist aus den Diagrammen klar ersichtlich, dass der Lärmpegel bei Talfahrt durch die RSA ebenfalls klar gesenkt werden konnte. Wenn man das vereinzelte Auftreten eines Kurvenkreischens (Auswertung Tal 2) unberücksichtigt lässt, so konnte der Pegel von maximal 110 dB(A) ohne RSA auf maximal 103 dB(A) mit RSA gesenkt werden.

[1] Im nahezu geraden Gleis treten auch mit RSA noch leicht höhere Pegel von bis zu 102 dB(A) auf. An dieser Stelle ist jedoch auf Grund der tieferen Frequenzen auch keine Verbesserung durch die RSA zu erwarten.

5 Fazit

Die Wirksamkeit der eingesetzen Radschallabsorber (RSA) konnte im Versuch klar bestätigt werden. Das primäre Ziel, die Vemeidung des Kurvenkreischens, wird durch die RSA erreicht. Es kommt zu einer subjektiv nahezu vollständigen Verhinderung des Kurvenkreischens. Objektiv wird der Lärmpegel im Fall des Kurvenkreischens um 20 dB(A) verringert.
Im geraden Gleis bei Bergfahrt haben die Radschallabsorber keinen zweifelsfrei nachweisbaren Einfluss auf den Lärmpegel des Rollgeräuschs.

Als positiver Nebeneffekt kann festgestellt werden, dass der Lärmpegel bei Talfahrt durch den Einsatz der RSA ebenfalls deutlich um ca. 7 dB(A) gesenkt wird. Insbesondere das teilweise auftretende „Bremsquietschen“ wird durch die RSA weitestgehend verhindert.

Anhang – Inhaltsverzeichnis

A Messprotokolle A-1

B Messausrüstung B-1

B.1 Signallaufplan B-2

B.2 Sensoren B-3

B.2.1 Mikrofone B-3

B.2.2 Kreisel B-5

B.2.3 Geschwindigkeitsmessung B-5

B.3 Verstärker B-6

B.4 Konfiguration des Aufzeichnungssystems B-7

C Auswertungsergebnisse C-1

A Messprotokolle

Datum	Thema	Seite
9./10.6.2005	Wirksamkeit der Radschallabsorber gegen ...	A-2

Wirksamkeit Radschallabsorber RhB

Projektnummer: 05.086.00

Datum: 09./10.06.2005 **Thema:** Wirksamkeit der Radschallabsorber gegen das Kurvenkreischen

Beladungszustand: tara

Zeit	1:00	2:10	2:55	
Windgeschwindigkeit	---	---	---	
Windrichtung	---	---	---	
Lufttemperatur	-1 °C	8 °C	1 °C	
Luftfeuchtigkeit	---	---	---	
Niederschlag	trocken	trocken	trocken	

Laufkilometer	---
Versuchsstrecke	Poschiavo – Alp-Grüm
Zugsausrichtung	vorwärts = bergwärts
Hilfsbetriebe	---

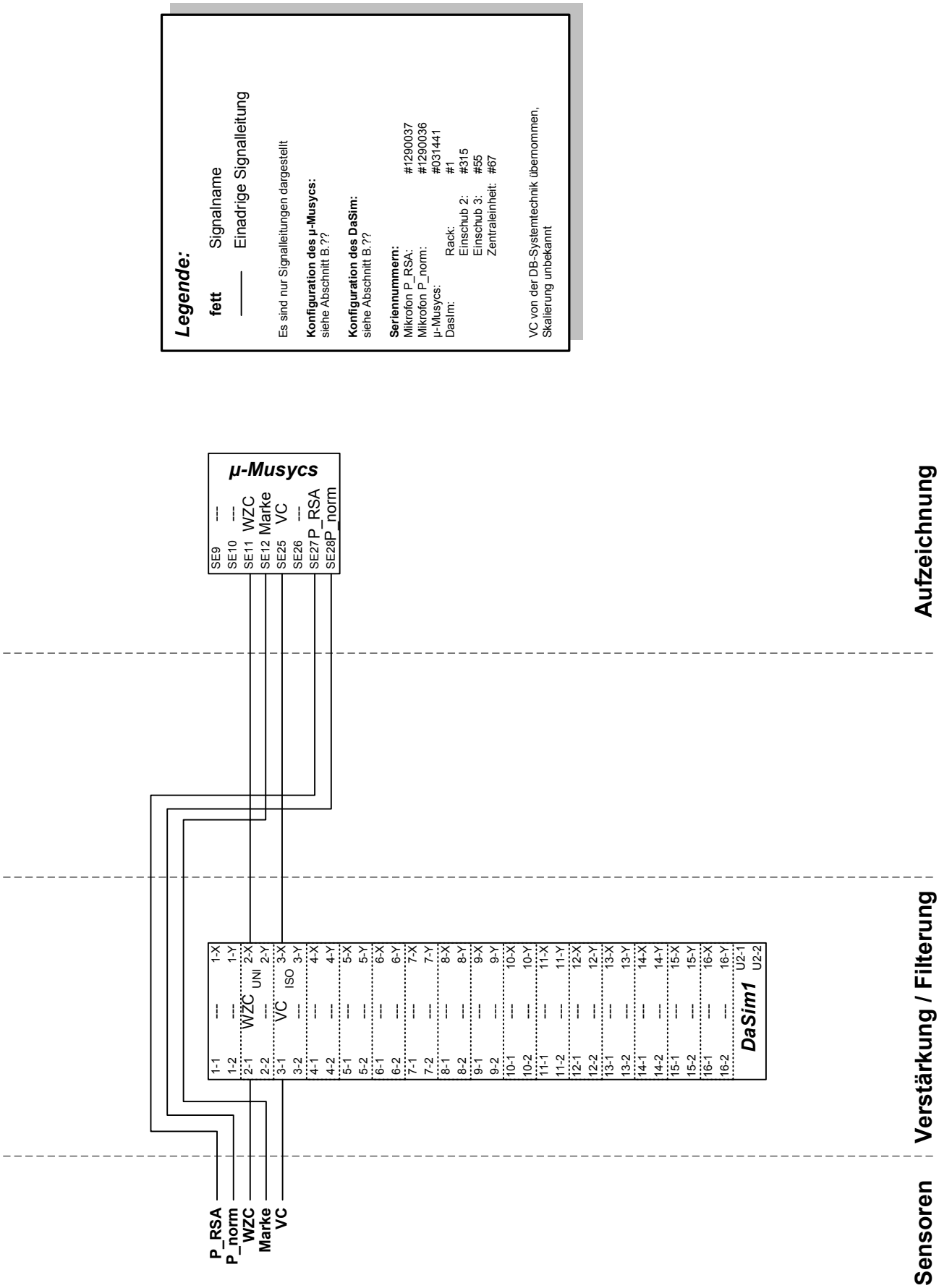
Teilnehmer	
PROSE	Ro
RhB	Paravicini, Kalbfuss, Lf
sonst.	Messteam DB, Liengme (BUWAL)

LNr.	Zeit	Fahr-richtung	v	Strecke von	Strecke bis									Bemerkungen (Bemerkungen ohne Laufnummer sind allgemeine Bemerkungen)
A001	21:01	vorwärts	Strecke	Poschiavo	Cadera									VC falsch skaliert (35.1 km/h/V), P_norm nicht aufgezeichnet
A003	21:16	vorwärts	Strecke	Cadera	Alp Grüm									VC umskaliert (10 km/h / V), immer noch ca. 30% zu hoch
														WZC1: zeitweise Signalstörungen durch Funk
														P_norm nicht aufgezeichnet, Aufzeichnung nach Ankunft abgestürzt
VC neu in V/V skaliert														
A004	22.18	rückwärts	Strecke	Alp Grüm	Poschiavo									Schnellbremsung kurz vor Poschiavo
A005	23:30	vorwärts	Strecke	Poschiavo	Cadera									
A007	23:44	vorwärts	Strecke	Cadera	Cavaglia									
A009	23:55	vorwärts	Strecke	Cavaglia	Alp Grüm									
A010	1:09	rückwärts	Strecke	Alp Grüm	Poschiavo									Schnellbremsung kurz vor Poschiavo
A011	2:13	vorwärts	Strecke	Poschiavo	Cadera									
A013	2:26	vorwärts	Strecke	Cadera	Cavaglia									
A015	2:38	vorwärts	Strecke	Cavaglia	Alp Grüm									
ENDE DER MESSKAMPAGNE														

B Messausrüstung

Im folgenden Abschnitt wird die Messausrüstung vollständig beschrieben. Der Signallaufplan (Anhang B.1) zeigt die komplette Signalverdrahtung, wie sie für die Messungen verwendet wurde.
Weitere Informationen zur Konfiguration der einzelnen Geräte können den Anhängen B.3 und B.4 entnommen werden.

B.1 Signallaufplan



B.2 Sensoren

B.2.1 Mikrofone

Es kamen zwei Mikrofone des Typs B&K 4006 zum Einsatz. Diese wurden über Batterien mit der Phantomspeisung von 48 V versorgt und direkt an das µ-Musycs angeschlossen.
Die Platzierung der Mikrofone im Drehgestell erfolgte so, dass die beiden Mikrofone an ähnlichen Positionen im Drehgestell sitzen. Auf Grund der Abstrahlcharakteristik des Radsatzes (Dipol) wurden beide Mikrofone zwischen den Rädern der Achsen 4 und 8 platziert.
Da das eine Drehgestell (B2, ohne RSA) im Gegensatz zu dem anderen Drehgestell (B4, mit RSA) zwei Bremsgestänge hatten, bestand die Überlegung, alle Messstellen an einem Wagen einzurichten (z. B. Wagen 2, Drehgestelle 3 und 4). Dies war jedoch auf Grund von Flachstellen an den Achsen 5, 6, 9 und 10 nicht sinnvoll. Daher wurde an den Achsen 4 und 8 gemessen.

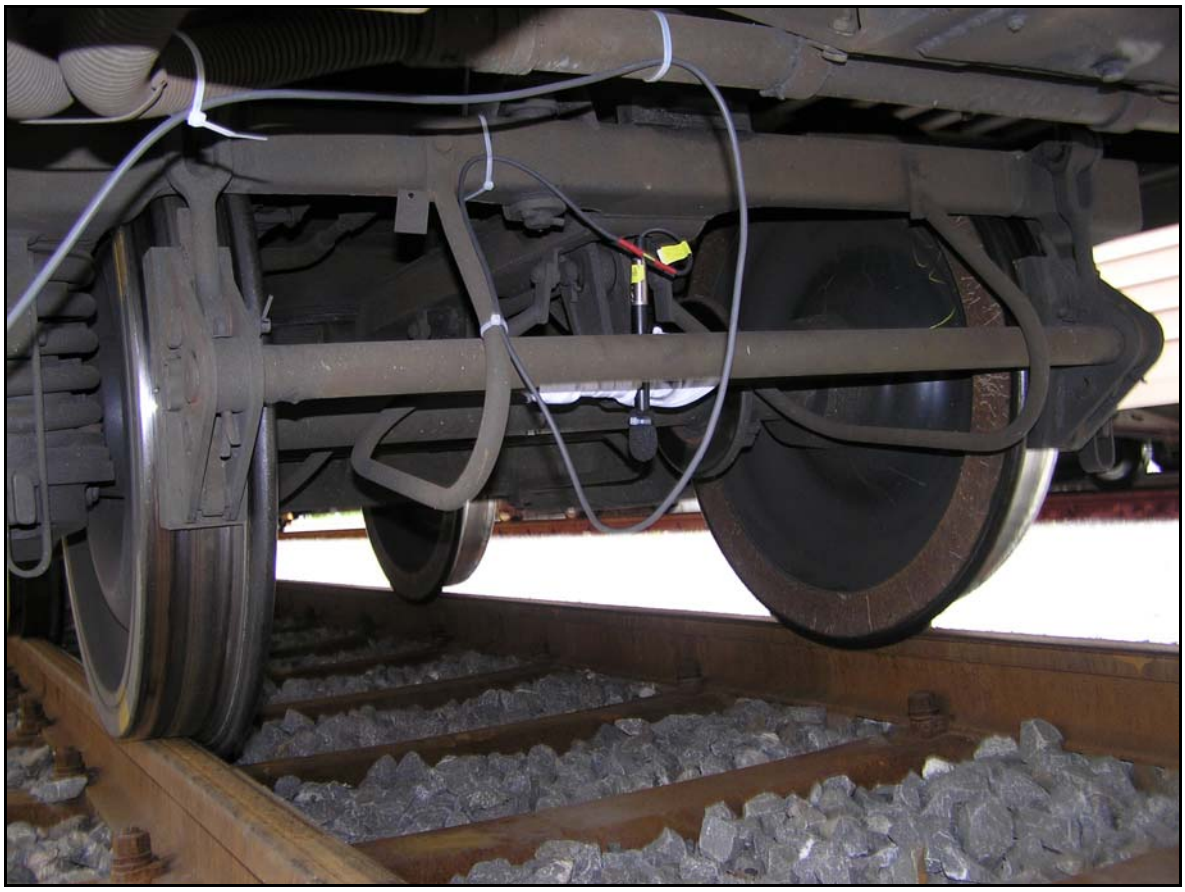


Abbildung C-1: Messstelle P_norm, Blick auf Drehgestell 2, Achse 4, rechtes Rad im Hintergrund

Abbildung C-2: Messstelle P_RSA, Blick auf Drehgestell 4, Achse 8, rechtes Rad im Hintergrund

B.2.2 Kreisel

Die Rotationsgeschwindigkeit des Wagenkastens wurde mittels eines piezoelektrischen Kreisels gemessen. Der Kreisel wurde — zur Schonung der Messfahrzeuge — mit Lumpen hinter einem Haltegriff im Messabteil (Wagen 2) befestigt (siehe auch **Abbildung C-3**)

Abbildung C-3: Messstelle WZC; der Kreisel befand sich im Messabteil oberhalb Drehgestell 3 an der Stirnwand des Fahrgastraums.

B.2.3 Geschwindigkeitsmessung

Die Fahrgeschwindigkeit wurde nicht direkt von uns gemessen. Ein Analogsignal wurde von DB-Systemtechnik übernommen. Die Skalierung dieses Signals war jedoch nicht bekannt. Daher wurde das Signal in [V/V] aufgezeichnet. Die Skalierung erfolgte später basierend auf der bekannten Entfernung zwischen den beiden Endpunkten jeder Fahrt, Alp Grüm und Poschiavo.

B.3 Verstärker

Zur Verstärkung und zur Filterung von Signalen wurde ein Verstärker des Typs DaSim verwendet. Es kamen Einschüber der Typen UNI und ISO zur Anwendung. Die genaue Konfiguration des Verstärkers kann der folgenden Aufstellung entnommen werden.

```
Parametrierung der MV  1 bis 16    /    Datum: 06-14-2005  --- Uhrzeit:  08:53:30

Dateiname: STDKONF.KFW
-------------------------------------------------------------------------------------------------------
Kan Name     Verst.-Typ     HB/ Messber.  F a k t o r   K o m p a r a t o r   Fil. A C O BNCX BNCY  Taster
                            Sens            U1     U2  on Lim1   Lim2 Hld/EWM
-------------------------------------------------------------------------------------------------------

[...]

> 3 WZC      U DC-S.Kistler   0  2V        1.000  1.570  0 10.00 -10.00 0/0  30 Hz 1 0 0 U2_A U2_B  frei
> 4 Reserve  U DC-S. +0,5V    0  100V      1.000  1.000  0 10.00 -10.00 0/0    off 1 0 0 U2_A U2_B  frei

> 5 VC       I DC-Spannung    0  10V       1.000  1.000  0 10.00 -10.00 0/0    off 1 0 0 U2_A U2_B  frei
[...]


Legende: U: UNI-Verstärker / I: ISO-Verstärker / T: TF-Verstärker // >: markiert
         A: Autoabgl.   / C: CAL / O: OVL
```

B.4 Konfiguration des Aufzeichnungssystems

Die Messsignale wurden digital auf einen System des Typs µ-Musycs aufgezeichnet. Die Konfiguration des µ-Musycs kann der folgenden Aufstellung entnommen werden.

Scannerkanäle:

Kanal:	WZC
Status:	aktiv
Klemme:	I11
Schaltung:	single end
Meßwerte:	unbegrenzt
Abtastzeit:	5.0 ms
Meßbereich	1 rad/s
Skalierung:	0.1 rad/s / V
Vorverarbeitung:	keine
Offset:	0 rad/s
Speicherung:	Übertragung zum PC
Starttrigger:	Trigger_48
Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte
Skalierung im Kurvenfenster:	auto

Kanal:	Marke
Status:	aktiv
Klemme:	I12
Schaltung:	single end
Meßwerte:	unbegrenzt
Abtastzeit:	5.0 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

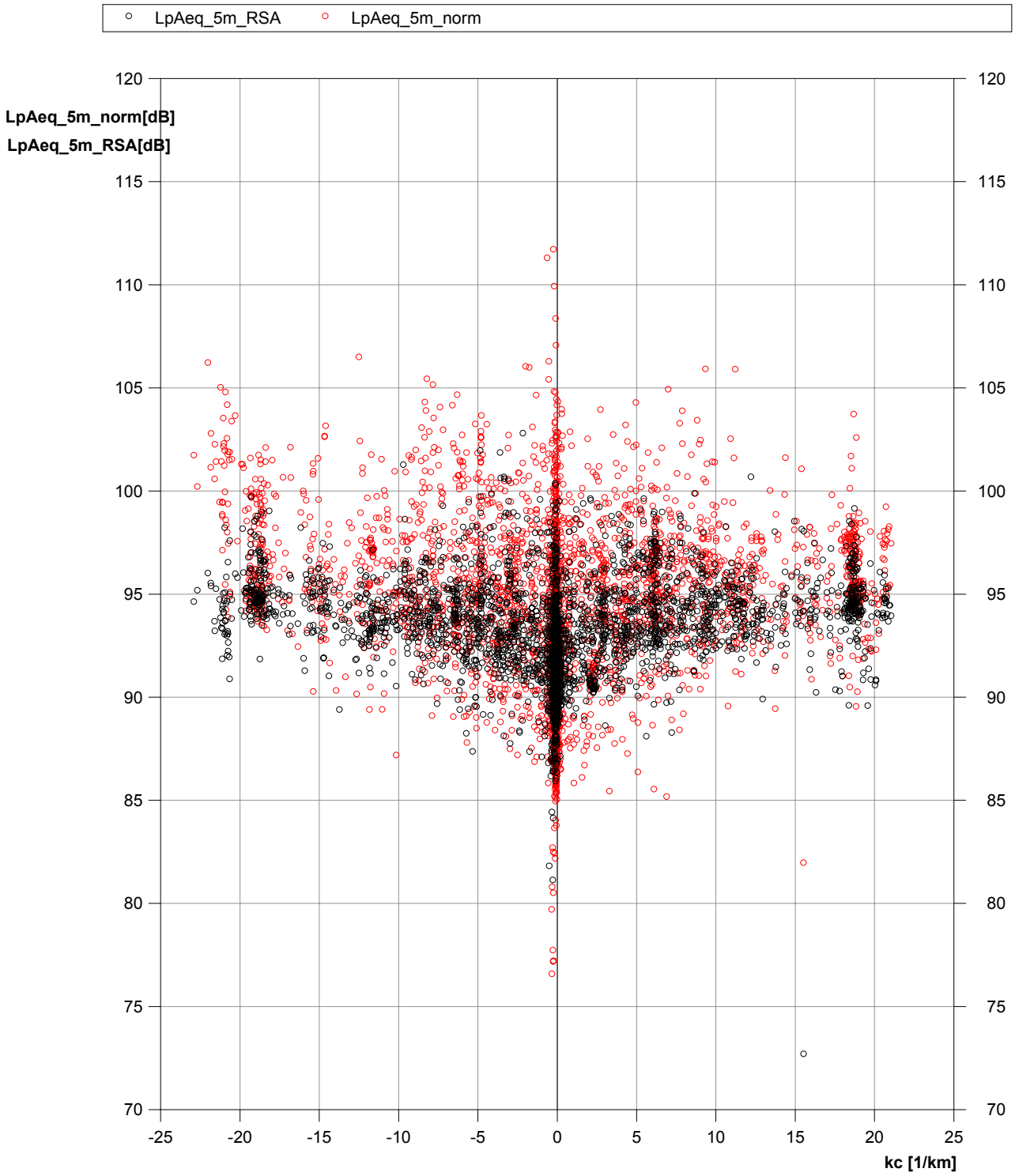
Kanal:	VC
Status:	aktiv
Klemme:	I25
Schaltung:	single end
Meßwerte:	unbegrenzt
Abtastzeit:	5.0 ms
Meßbereich	10 V
Skalierung:	1 V / V
Vorverarbeitung:	keine
Offset:	0 V
Speicherung:	Übertragung zum PC
Starttrigger:	Trigger_48
Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte
Skalierung im Kurvenfenster:	auto

Kanal:	P_RSA
Status:	aktiv
Klemme:	I27
Schaltung:	single end
Meßwerte:	unbegrenzt
Abtastzeit:	50.0 µs
Meßbereich	1.0417 kPa
Skalierung:	104.17 Pa / V
Vorverarbeitung:	keine
Offset:	0 Pa
Speicherung:	Übertragung zum PC
Starttrigger:	Trigger_48
Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte
Skalierung im Kurvenfenster:	auto

Kanal:	P_norm
Status:	aktiv
Klemme:	I28
Schaltung:	single end
Meßwerte:	unbegrenzt
Abtastzeit:	50.0 µs
Meßbereich	1.0989 kPa
Skalierung:	109.89 Pa / V
Vorverarbeitung:	keine
Offset:	0 Pa
Speicherung:	Übertragung zum PC
Starttrigger:	Trigger_48
Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte
Skalierung im Kurvenfenster:	auto

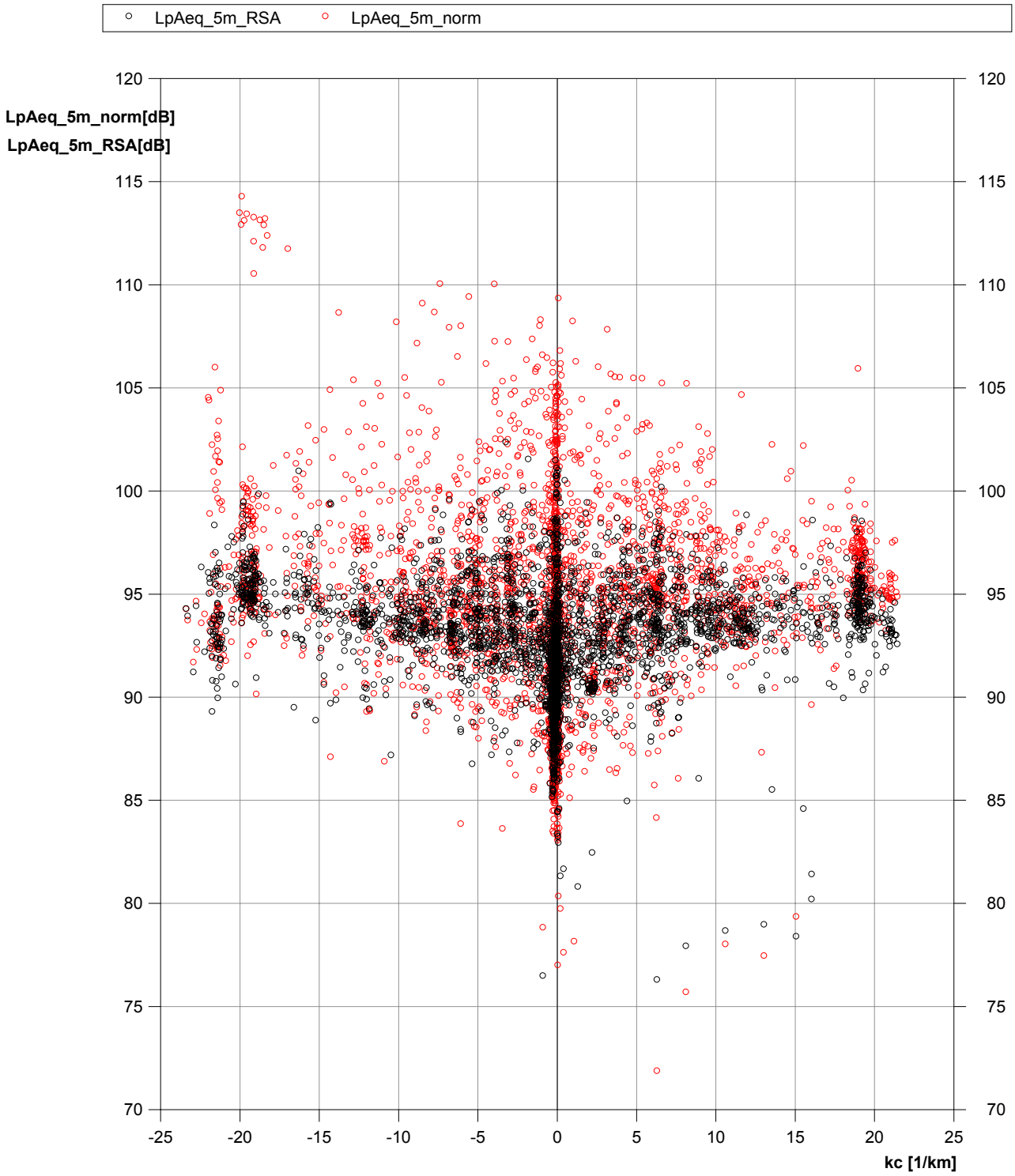
Schalldruckpegel in Funktion der Krümmung

Laufnummer	A004
Datum	09./10.06.2005
Strecke	Alp Grüm - Poschiavo
Fahrtrichtung	Tal



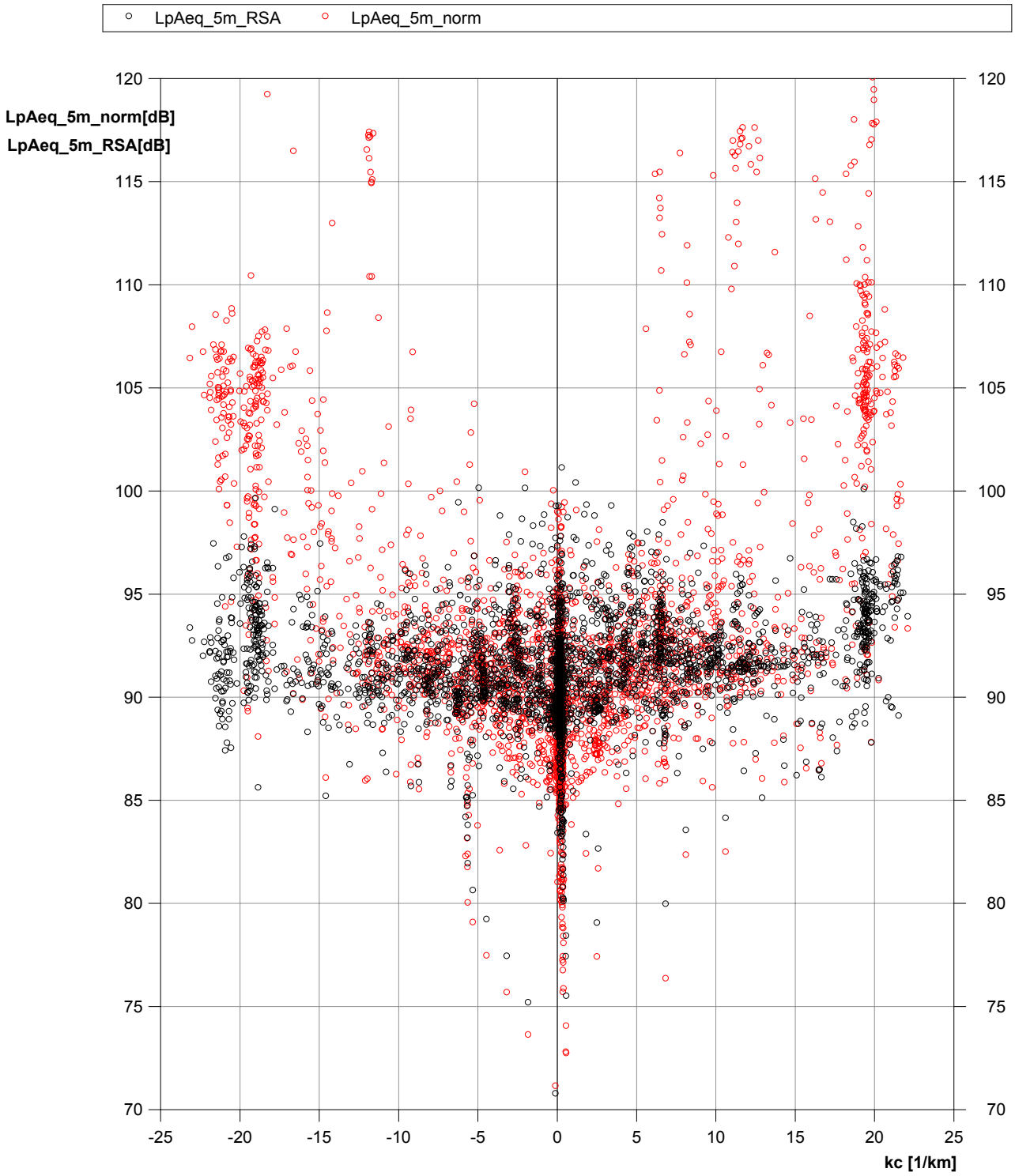
Schalldruckpegel in Funktion der Krümmung

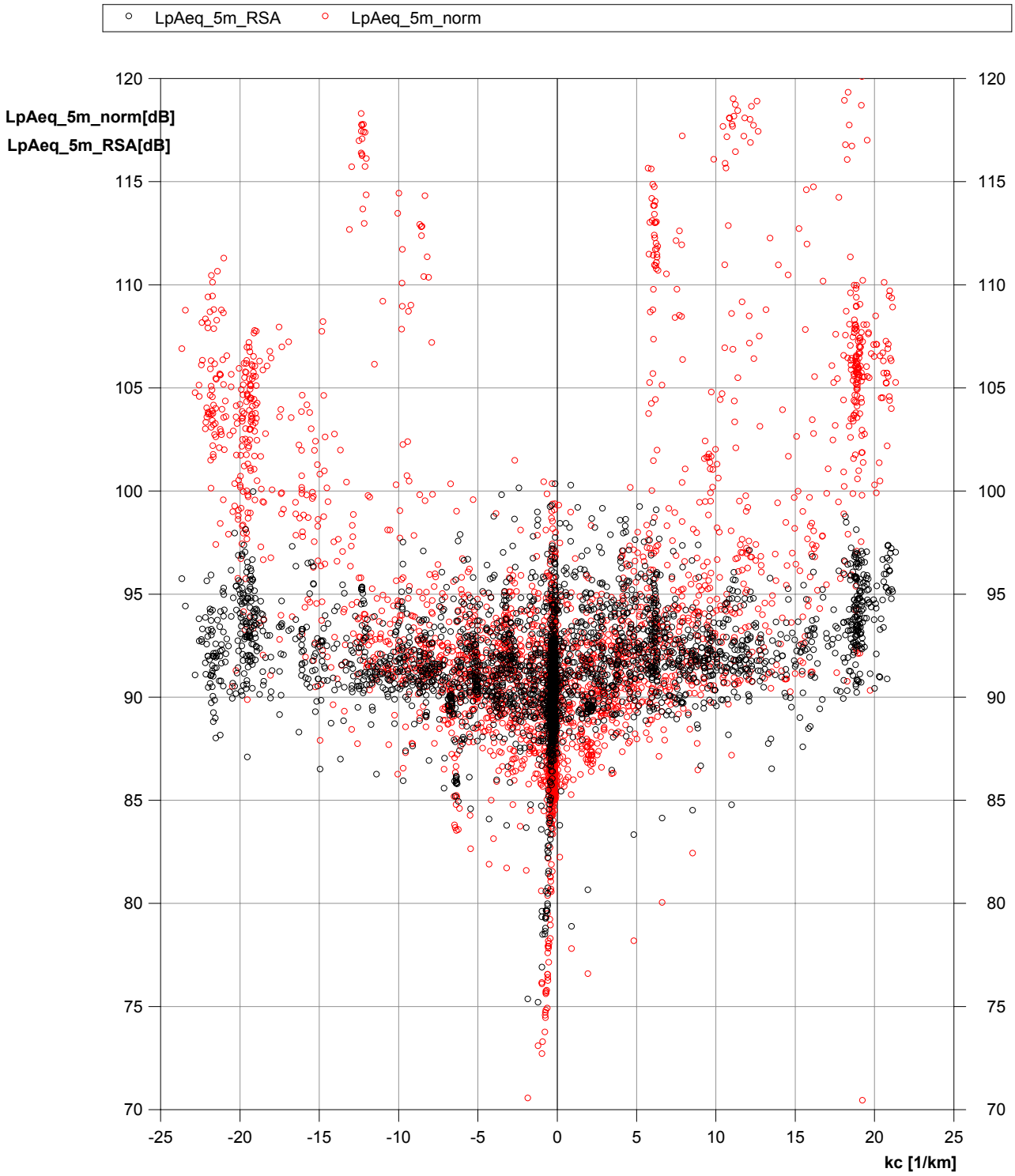
Laufnummer	A010
Datum	09./10.06.2005
Strecke	Alp Grüm - Poschiavo
Fahrtrichtung	Tal



Schalldruckpegel in Funktion der Krümmung

Laufnummer	A005/A007/A009
Datum	09./10.06.2005
Strecke	Poschiavo - Alp Grüm
Fahrtrichtung	Berg



Schalldruckpegel in Funktion der Krümmung

Laufnummer	A011/A013/A015
Datum	09./10.06.2005
Strecke	Poschiavo - Alp Grüm
Fahrtrichtung	Berg