

Bericht Rev. .0 .

BAFU - Messung Schienenrauheiten ZIM 2013

Projekt-Nr.: 13.094.00



Erfassung Indirekter Schienenrauheiten Dokumentation PROSE Messradsatz System Messfahrten

	Name	Datum	
Erstellt	C. Czolbe	03.09.2013	
Geprüft	R. Sieglitz	08.10.2013	
Freigegeben	P. Huber	08.10.2013	

Verteiler

Firma / Abteilung / Name	Bemerkungen

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.

Dieses Schreiben wurde maschinell erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.

Revisionsindex

	Erstellt	Geprüft	Freigegeben	Datum
04-03-00774	C. Czolbe	R. Sieglitz	P. Huber	08.10.2013
Rev.				

Modifikationen

Revision	Beschreibung

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Methode der indirekten Schienenrauheitserfassung	6
3	Messfahrten	8
4	Radrauheiten	9
5	Referenzmessstellen	11
5.1	BAV Messstelle in Wichtrach	11
5.2	Referenzmessstrecke zwischen Biel und Solothurn	12
6	Kalibration des Messsystems	13
7	Schienerauheiten	14
8	Schallmessungen	16
9	Anhang	17
9.1	Cronos 1 Konfiguration	17
9.2	Cronos 3 Konfiguration	19
9.3	Messsignale	21
9.4	Messprotokolle	22
9.5	Radrauheiten	27
9.6	Schienerauheiten	31

1 Zusammenfassung

Im Juli 2013 wurde ein neues System bestehend aus Messradsätzen mit geradem Radsteg und Messradsatzrechner der PROSE Berlin GmbH in Fahrversuchen im Raum Bern erprobt. Während dieser Messfahrten mit neuen Rädern wurden die Achslagerbeschleunigungen erfasst, um später daraus indirekt die Schienenrauheiten zu berechnen. Zur Kalibration des Messsystems ist stets eine Referenzmessstelle mit bekannter Schienenrauheit notwendig. Eine Messstelle war die BAV Messstelle in Oberwischtrach zwischen Gümlingen und Thun, eine weitere befand sich in Pieterlen zwischen Biel und Solothurn.

Auf der BAV Messstelle wurden mit vier Geschwindigkeiten beidseitig die Achslagerbeschleunigungen erfasst: 80, 100, 120 und 130 km/h. Die Beschleunigungssensoren decken einen Frequenzbereich bis 10 kHz ab und die Samplingfrequenz lag bei 50 kHz, sodass damit bei 130 km/h theoretisch Wellenlängen zwischen 50cm und 0.5cm berechnet werden können.

Die Daten wurden anschliessend auf Plausibilität geprüft und die relevante Radsatzübertragungsfunktion H2(f) in einem ersten Schritt berechnet. Bei 80 km/h ergeben sich sehr gute Übereinstimmungen mit den direkt gemessenen Schienenrauheiten an der Strecke. Bei höheren Geschwindigkeiten wurden Unterschiede in der Übertragungsfunktion festgestellt. Anscheinend müssen für jede Geschwindigkeit entsprechende Übertragungsfunktionen ermittelt werden.

Neben den Schienenrauheiten wurden auch Schallmessungen durchgeführt, es gab eine Messstelle im Innenraum des Messwagens und eine weitere aussen über dem Drehgestell. Daraus kann ein Zusammenhang zwischen Schienenrauheitspegel und Schall-emission abgeleitet werden können.

Es wurden insgesamt 230 km Streckennetz beidseitig und zum Teil mit Wiederholungen erfasst, sodass insgesamt 690 km Gleislänge gemessen wurden. Dabei sind 74 GB Messdaten aufgezeichnet worden, wovon die Hälfte allein auf die Achslagerbeschleunigungs- und Akustikmessungen abfallen. Die Daten sind vollständig und gesichert und stehen für weitere Auswertungen zur Verfügung. Neben den gefahrenen Strecken soll in erster Linie die Frage geklärt werden, bis zu welcher Geschwindigkeit das Verfahren funktioniert, bzw. mit welchen Einschränkungen zu rechnen ist.

2 Methode der indirekten Schienenrauheitserfassung

Das Rollgeräusch wird durch die Summenrauheit von Rad und Schiene generiert. Abbildung 2-1. Die Summenrauheit lässt sich aus Beschleunigungsmessungen an Schienenfuss oder Achslagergehäuse ermitteln. Ist die Radrauheit bekannt, kann aus der Summenrauheit die Schienenrauheit berechnet werden. Zur Kalibration des Messsystems ist stets eine Referenzmessstelle mit bekannter Schienenrauheit notwendig. Eine Messstelle war die BAV Messstelle in Oberwichtach zwischen Gümlingen und Thun, eine weitere befand sich in Pieterlen zwischen Biel und Solothurn.

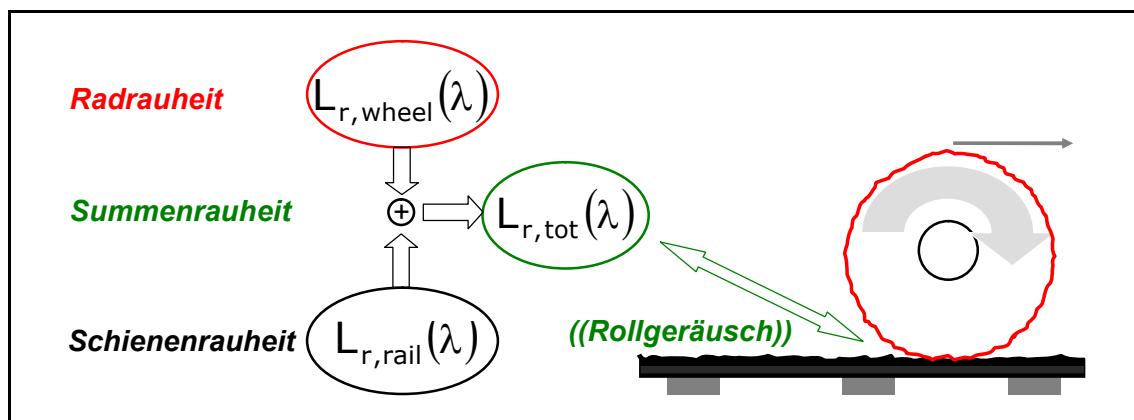


Abbildung 2-1: Rollgeräusch und Rauheiten

Im folgender Abbildung 2-2 ist das Berechnungsschema zur Schienenrauheit abgebildet. Bei Messung der Achslagerbeschleunigungen sowie der Radrauheit ist die einzige Unbekannte in der Berechnung die Radsatzübertragungsfunktion $H_2(f)$, welche die frequenzabhängige Dämpfung vom Radaufstandspunkt zum Achslagergehäuse beschreibt.

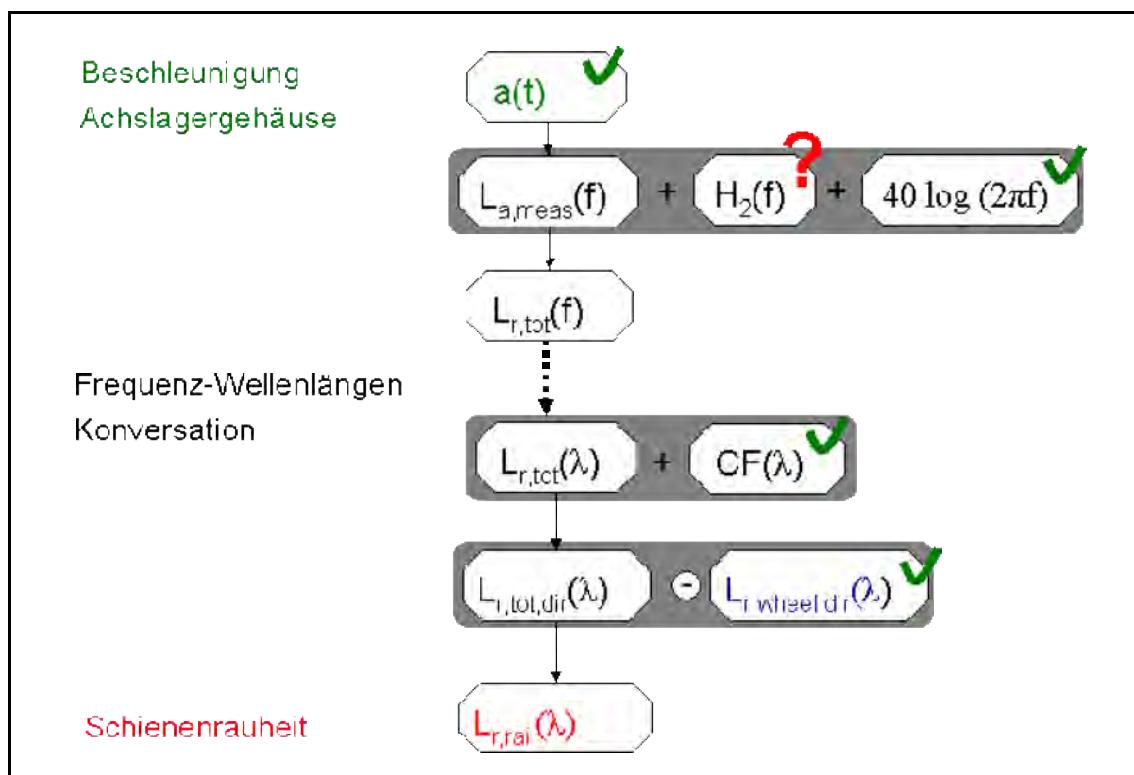


Abbildung 2-2: Berechnungsalgorithmus für indirekte Schienenrauheiten

Die PROSE Messradsätze 2013 bestanden aus neuen Rädern mit 920mm Durchmesser und verfügten über einen geraden Radsteg Abbildung 2-3. In einer ähnlichen Messkampagne von PROSE 2009 wurden Güterwagenräder mit gewellter Radscheibe verwendet.

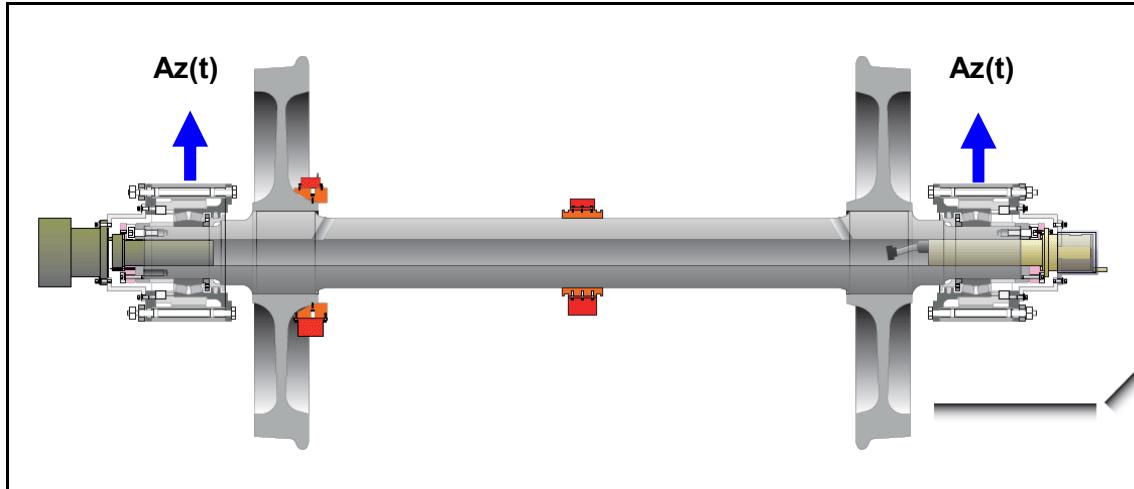


Abbildung 2-3: Zeichnung des Messradsatzes und Positionen der Beschleunigungsaufnehmer (blaue Pfeile)

Für die Transfereigenschaft vom Radaufstandspunkt zum Achslager können gerade Radstege durchaus vorteilhaft sein, da diese die vertikalen Beschleunigungen besser übertragen. Gewellte Radstege weisen in z-Richtung eine andere Nachgiebigkeit und Dämpfung insbesondere im hochfrequenten Bereich auf. Bei Schienenrauheitsmessungen mit hoher Geschwindigkeit werden hochfrequente Beschleunigungen benötigt, Nachgiebigkeiten oder Dämpfungen wirken sich nachteilig aus.



Abbildung 2-4: Messradsatz im Einsatz, Position eines Beschleunigungsaufnehmers am Achslagergehäuse (blau)

3 Messfahrten

Die Messfahrten fanden zwischen 14.07. und 18.07.2013 statt. Als Versuchsfahrzeug diente der PROSE-Messwagen **Abbildung 3-1**, an dem die Achslagerbeschleunigungen an einem gesamten Drehgestell (vier Achslager) aufgezeichnet wurden.



Abbildung 3-1: PROSE Messwagen 2013 mit Versuchsdrehgestell

Die Strecken in **Abbildung 3-2** wurden in der Messkampagne 2013 befahren:

- 1x Spiez - Oberwichtach* – Bern
- 3x Bern – Romont - Puidoux-Chexbres und zurück
- 3x Gümlingen – Oberwichtach* – Thun und zurück
- 1x Bern – Biel – Pieterlen* – Solothurn und zurück
- 1x Bern - Oberwichtach* – Spiez

* Referenzmessstellen mit direkt gemessener Schienenrauheit

In nachfolgender Abbildung sind die erfassten Strecken 2013 neben denen von 2009 in der Schweizer Netzkarte abgebildet. Details zu den Messfahrten siehe Messprotokolle im Anhang 9.1

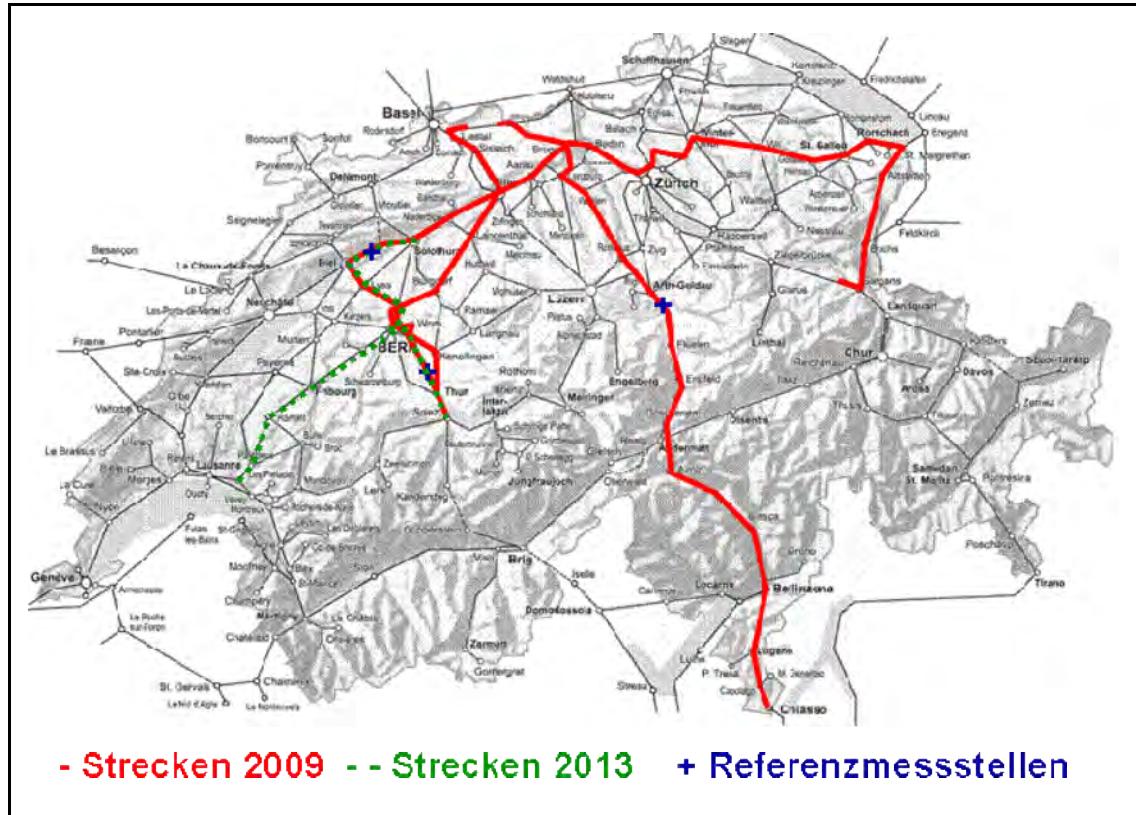


Abbildung 3-2: Strecken der indirekten Rauheitsmessungen

4 Radrauheiten

Die Radrauheiten wurden im Anschluss an die Messfahrten mit Hilfe direkter Abtastung bestimmt, siehe Abbildung 4-1. Da die Räder neu, ungebremst und nicht angetrieben waren, wiesen sie eine sehr glatte Lauffläche auf und die Radrauheiten lagen deutlich unterhalb der TSI Noise Grenzkurve. Die Resultate der vier gemessenen Räder des Messdrehgestells sind in Abbildung 4-2 dargestellt.

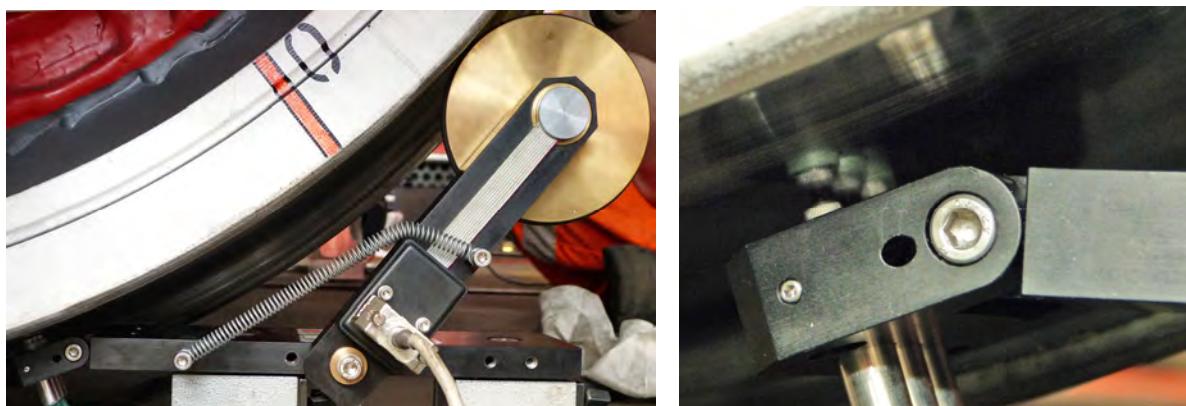


Abbildung 4-1: Direkte Erfassung der Radrauheit

Bei der Kampagne von 2009 wichen die Radrauheiten an den Güterwagenrädern vor und nach den Messfahrten stark voneinander ab, was vermutlich einerseits auf die höhere Radlast und andererseits auf die Bauart bzw. Qualität zurückzuführen ist. Es kann angenommen werden, dass sich die Radrauheiten bei diesen Messfahrten weniger stark verändert haben, nicht zuletzt auch wegen der kürzeren Gesamtstrecke.

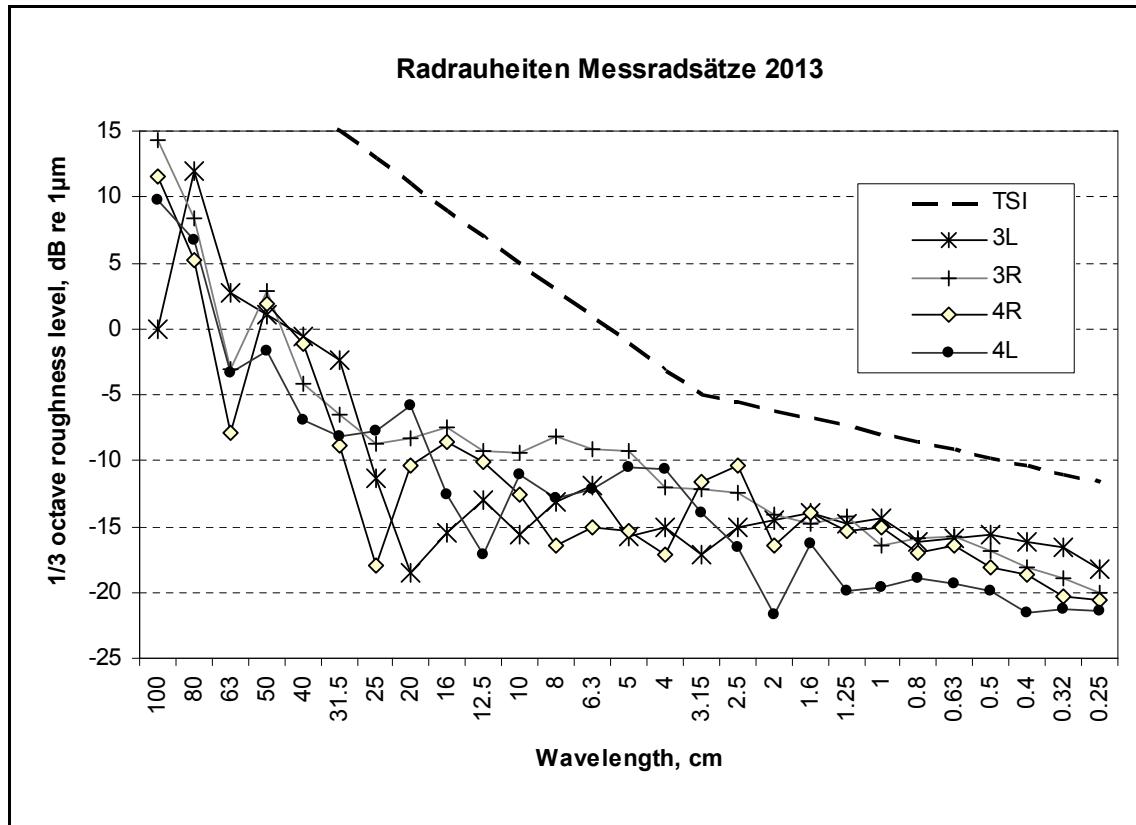


Abbildung 4-2: Radrauheiten des Messfahrzeugs

5 Referenzmessstellen

5.1 BAV Messstelle in Wichtrach

In Oberwichtrach zwischen Gümligen und Thun befindet sich eine Lärmessstelle vom BAV. Hier werden seit 2003 Rauheiten im jährlichen Turnus gemessen und archiviert. Die Messung von 2013 fand wenige Tage vor der Messkampagne statt und war daher als Referenzmessung repräsentativ.

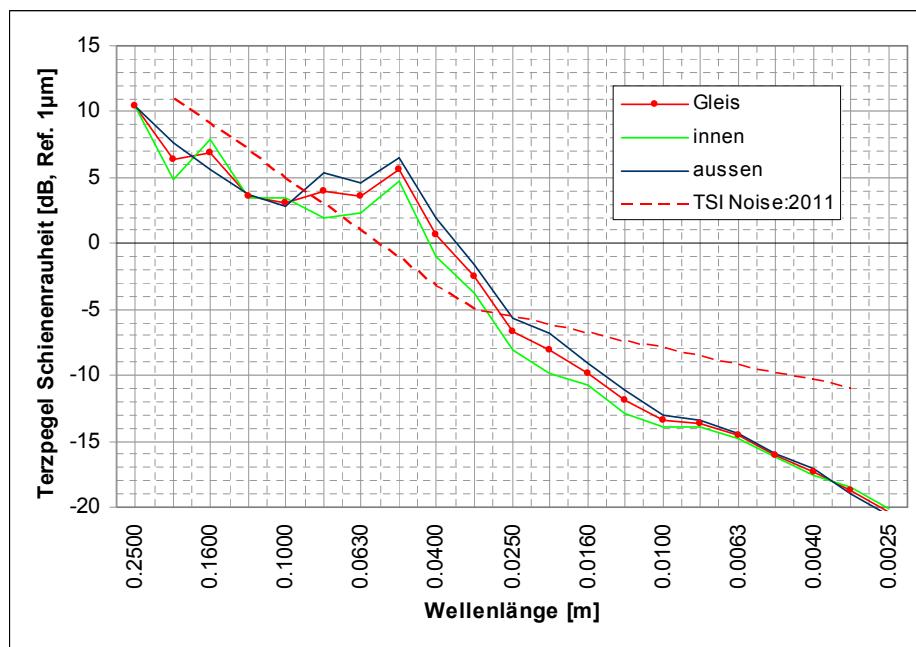


Abbildung 5-1: Oberwichtrach östliches Gleis Richtung Thun (innere / äussere Schiene)
Einzahlwert Schienenrauheit vom Mittelwert: $L_{ca} = 7.1 \text{ dB}$

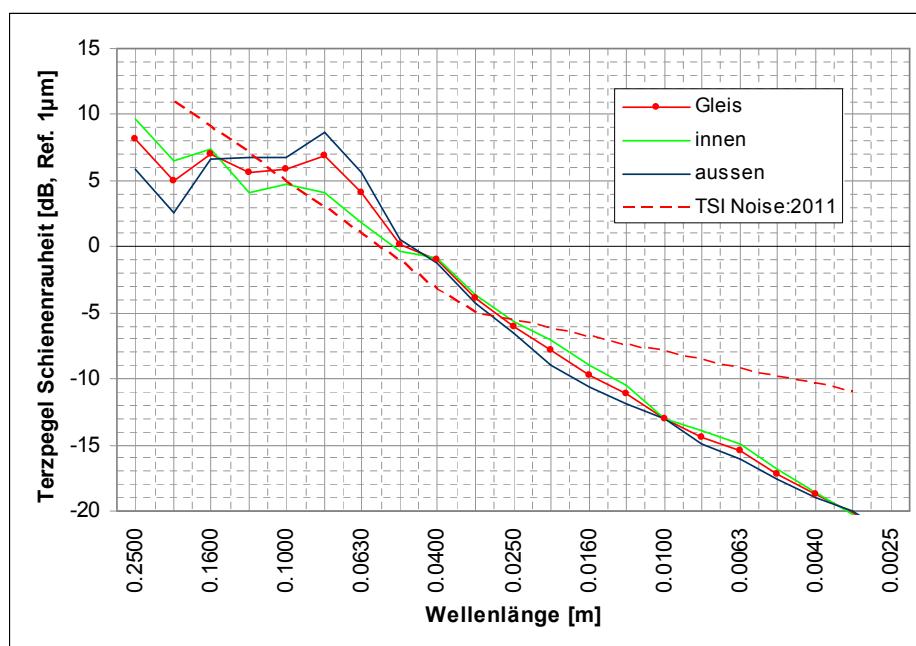


Abbildung 5-2: Oberwichtrach westliches Gleis Richtung Gümlingen (innere / äussere Schiene)
Einzahlwert Schienenrauheit vom Mittelwert: $L_{ca} = 6.2 \text{ dB}$

Die Schienenrauheit in Oberwichtstrach überschritt wie auch in den vorangegangenen Jahren teilweise deutlich die TSI-Referenzkurve. Im langwelligen Bereich sind Anteile von Riffeln zu erkennen, beim östlichen Gleis **Abbildung 5-1** bei ca. 5 cm und beim westlichen Gleis **Abbildung 5-2** bei ca. 8 cm.

5.2 Referenzmesstrecke zwischen Biel und Solothurn

Zwischen Biel und Solothurn befinden sich in Pieterlen Messstellen der SBB, von denen die Schienenrauheiten über 100 m gemessen wurden. Die Daten lagen für diesen Bericht noch nicht vor, werden aber für Auswertungen zur Verfügung gestellt.

6 Kalibration des Messsystems

Die Sensoren wurden gemäss ihrer Kalibrationszertifikate im Messsystem konfiguriert. Vor und nach der Messung fanden Kalibrierungen der Mikrofone und Beschleunigungssensoren statt. Über die Referenzmessstelle wurde iterativ die Radsatzübertragungsfunktion $H_2(f)$ bestimmt **Abbildung 6-1**. Aus unserer Erfahrung ist es dabei sinnvoll, für jedes Rad eine eigene Funktion zu erstellen. Die $H_2(f)$ Funktion ist frequenzabhängig und theoretisch geschwindigkeitsunabhängig. Dennoch existieren bei jeder Geschwindigkeit spezifische Resonanzen und Störungen, welche es erfordern, weitere Radsatzübertragungsfunktionen für höhere Geschwindigkeiten wie 120 km/h **Abbildung 6-2** zu berechnen.

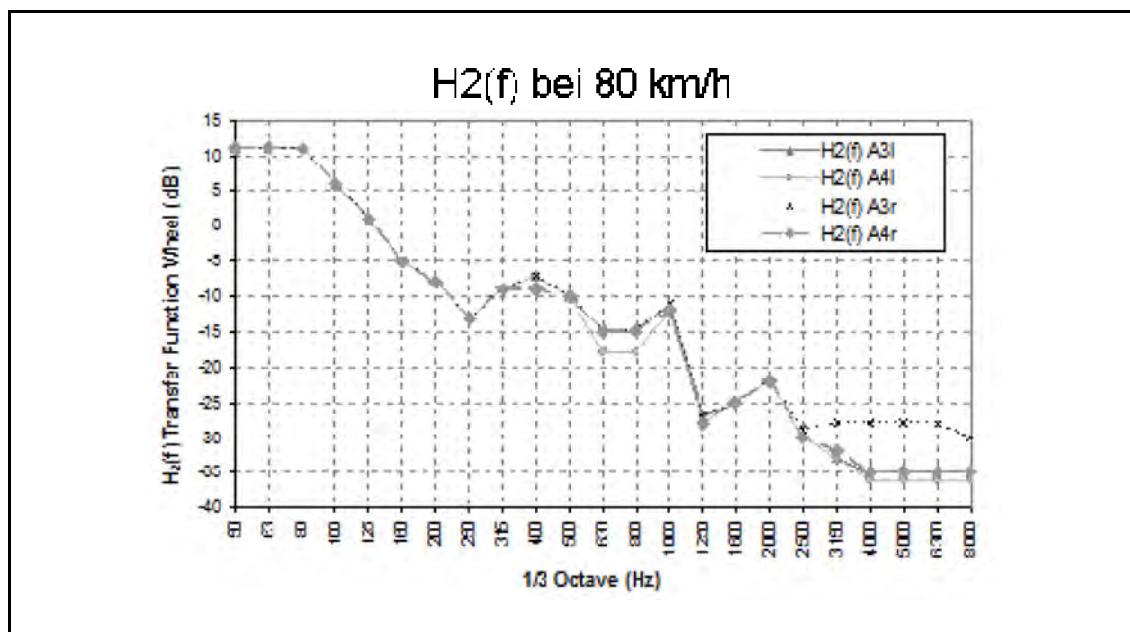


Abbildung 6-1: Radsatzübertragung bei 80 km/h

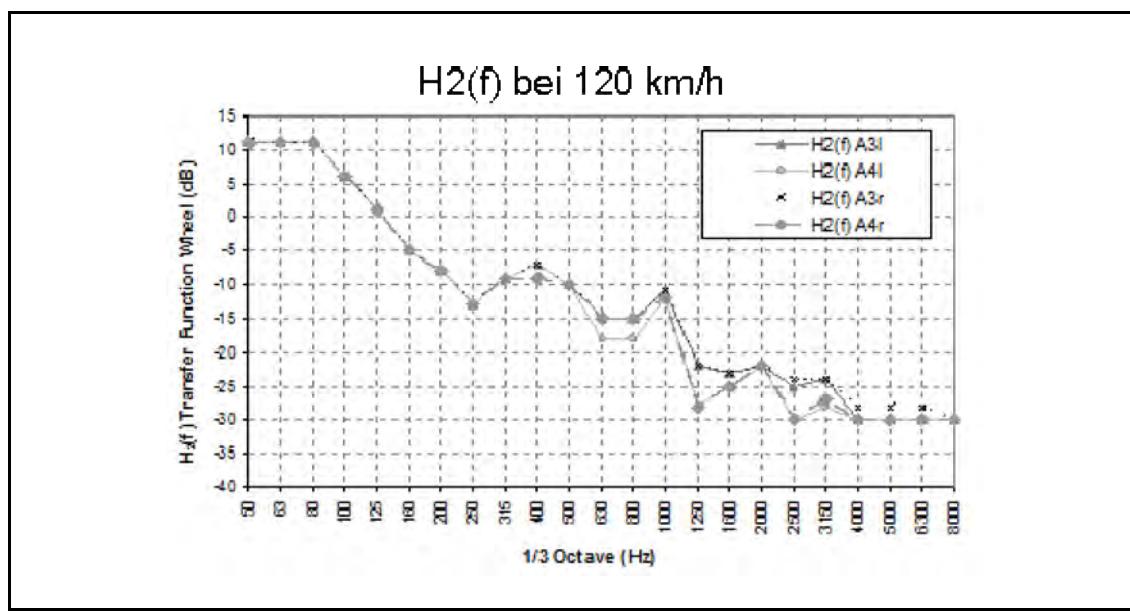


Abbildung 6-2: Radsatzübertragung bei 120 km/h

7 Schienerauheiten

Die ersten Auswertungen der Schienerauheiten an den Referenzmessstellen in Wichtrach bei 80 km/h, siehe **Abbildung 7-1** und **Abbildung 7-2**, ergeben eine hohe Übereinstimmung der Rauheitsspektren. Je nach Kurvenanpassung von $H_2(f)$ auf die Schienerauheitspektren Wichtrach Ost oder West liegen die indirekten Rauheitsspektren noch nicht genau auf den direkt gemessenen Rauheiten. Dies kann an der Fahrtrichtung liegen, da sich die Achslagerbeschleunigungen von vor- und nachlaufendem Rad- satz geringfügig unterscheiden. Hier müssen noch Feinabstimmungen erfolgen.

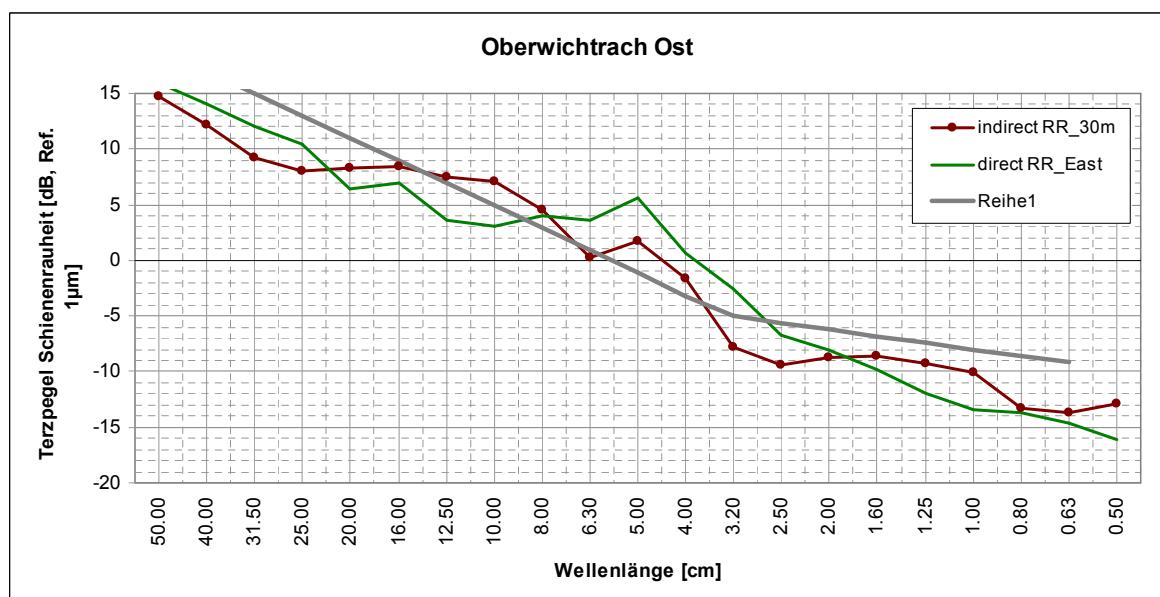


Abbildung 7-1: Vergleich direkter und indirekter (Achse 03 links) Schienerauheit

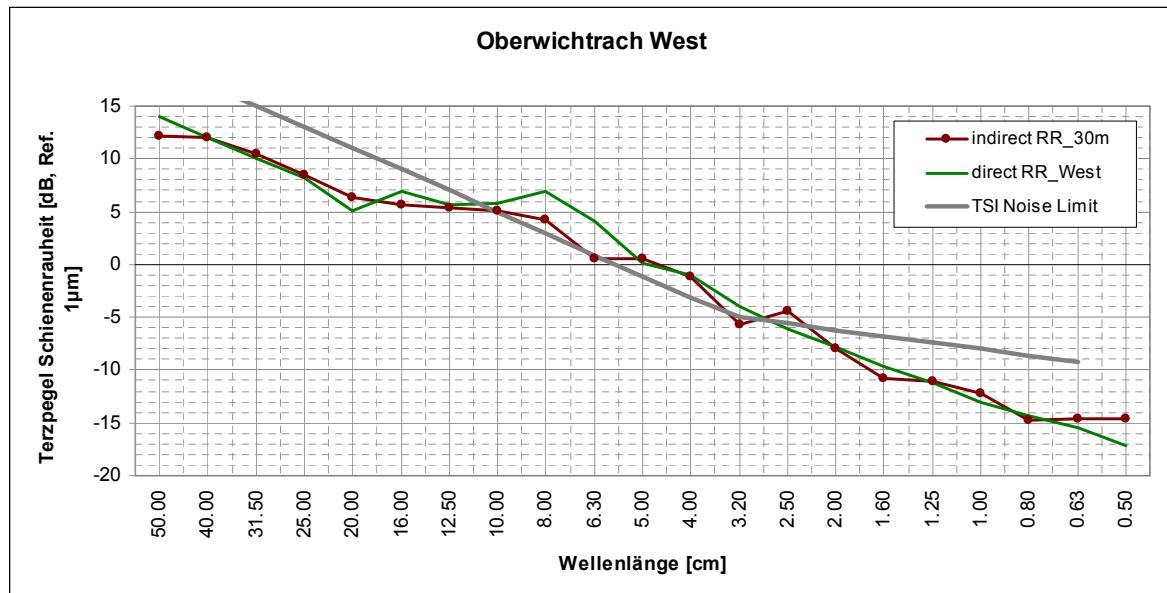


Abbildung 7-2: Vergleich direkter und indirekter (Achse 03 links) Schienerauheit

Auch eine Betrachtung der Einzahlwerte je 25m Strecke über einen längeren Streckenabschnitt zwischen Thun und Gümlingen in **Abbildung 7-3** liefert für die Messstelle in Wichtrach plausible Einzahlwerte zwischen 6 und 8 dB. Theoretische sollten sich die indirekt ermittelten Schienenrauhheiten zwischen Achse 03 und 04 nicht gross unterscheiden, sie tun es an einigen Stellen allerdings doch geringfügig. Ob dies ein Phänomen der Kalibration oder der Position bei der Messfahrt ist, muss noch geklärt werden.

In **Abbildung 7-3** korrelieren die Resultate der rechten Seite (R03R und R04R) über die gesamte Strecke recht gut, jedoch die der linken Seite (R03L und R04L) weniger gut. Diese Abweichungen sind zurzeit noch nicht geklärt. Zur Selektivität zwischen linker und rechter Schiene kann daher bis dato noch nichts gesagt werden. Vermutlich gelangen dominante Beschleunigungen von der rechten Schiene über die Achse auf das linke Achslager und umgekehrt. Damit befinden sich Beschleunigungsanteile von der jeweils gegenüberliegenden Schiene im Signal der Achslagerbeschleunigungen, sodass keine scharfe Trennung bei der Auswertung mehr möglich ist.

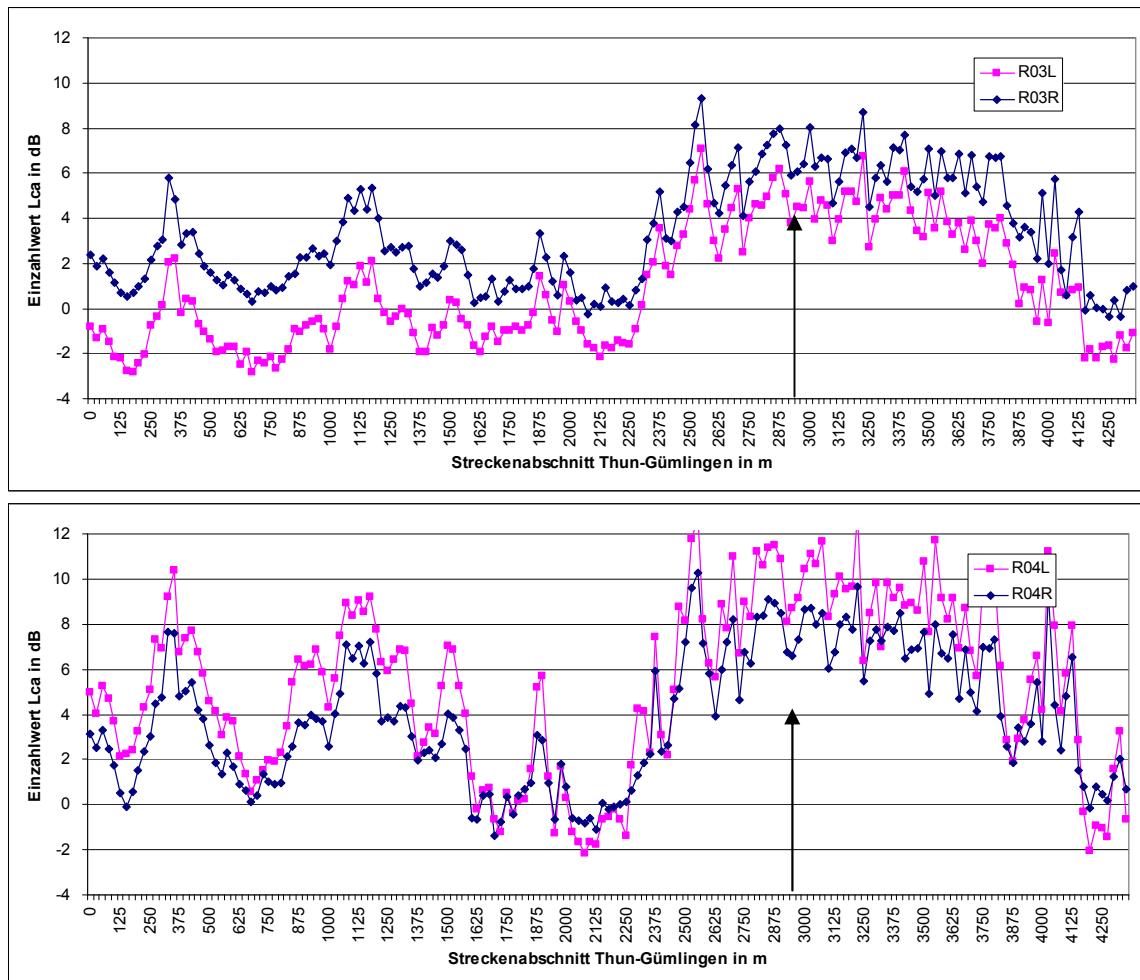


Abbildung 7-3: Verlauf des Einzahlwertes von Thun nach Gümlingen (BAV Messstelle bei Pfeil)

Es ist zu überlegen, wie ein Mittelwert vom Schienenrauheitsspektrum schlussendlich gebildet wird, aus den Resultaten der vier Achslagersensoren oder nur von einer Achse (vor- oder nachlaufend).

8 Schallmessungen

Während der gesamten Messfahrt wurde der Aussenschall direkt über dem Drehgestell sowie der Innenschall im geschlossenen Abteil des Messwagens aufgezeichnet.

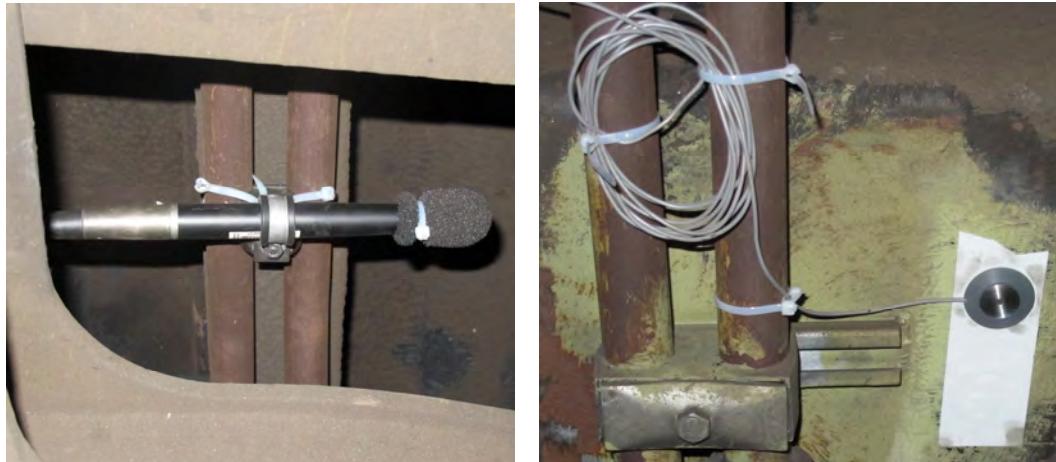


Abbildung 8-1: Mikrofone über dem Drehgestell: Messmikrofon (links), Grenzflächenmikrofon (rechts)

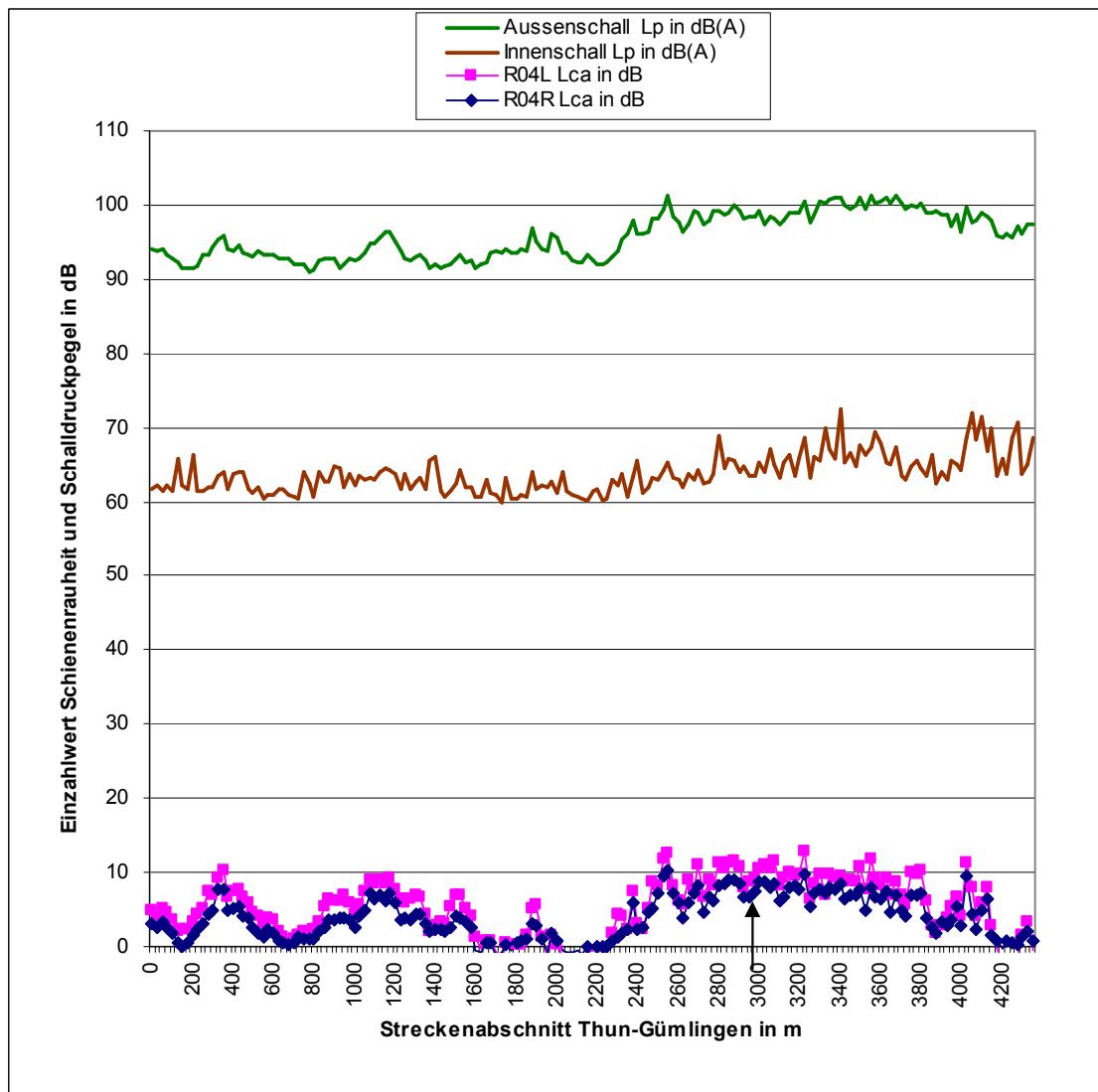


Abbildung 8-2: Verlauf des Einzahlwertes von Gümlingen nach Thun (BAV Messstelle bei Pfeil)

9 Anhang

9.1 Cronos 1 Konfiguration

07/17/13

16:38:03

Listing der Gerätekonfiguration

Konfiguration:

C:\IMC\imc Devices\Experiments\130709_ZIM_MWSC_Erprobung

Geräteliste:

4	Ink_Geber
2	DIO_Port
32	Ether_Bit
4	DAC
14	Feldbus-Kanal
1	Feldbus Steckplätze
24	Differenzverstärker "LV2-8"
4	Inkrementalgeber "DIOINC"

Globale Einstellungen:

Interface:	Ethernet, < imcDev__08123651 >	Abtastzeit:	20.0 µs
Autoveruche:	-	Kennlinie:	linear
Autosichern:	-	Meßbereich:	±2492.54 m/s2
Automatische Dateinamen:	x	Skalierung:	997.016 m/s2 / V
uDisk-Sicherungsintervall:	Ende d. Messung	Vorverarbeitung:	keine
Zeitstart:	x	Offset:	0 m/s2
Zeitkorrektur:	x	Speicherung:	Übertragung zum PC
Monitorkanäle aktivieren:	x	Starttrigger:	Trigger_48_CSeriel_CL1224_123651
Monitoring aktivieren:	-	Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte
Registriername für Monitoring:		Skalierung im Kurvenfenster:	auto
		Abgleich:	Tarierung
		Kanal:	AZA04li
		Status:	aktiv

Analoge Kanäle:

Kanal:	AZA03li	Abtastzeit:	20.0 µs																																						
Status:	aktiv	Kennlinie:	linear																																						
Klemme:	I03	Meßbereich:	±2459.05 m/s2																																						
Verstärkertyp:	Differenzverstärker "LV2-8"	Skalierung:	983.62 m/s2 / V																																						
Kommentar:	C193456	Vorverarbeitung:	keine																																						
Schaltung:	differentiell	Offset:	0 m/s2																																						
Kopplung:	DC	Speicherung:	Übertragung zum PC																																						
Filter: AAF		Starttrigger:	Trigger_48_CSeriel_CL1224_123651																																						
Meßwerte:	unbegrenzt	Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte																																						
Abtastzeit:	20.0 µs	Skalierung im Kurvenfenster:	auto																																						
Kennlinie:	linear	Abgleich:	Tarierung																																						
Meßbereich:	±2456.57 m/s2	Kanal:	AZA04re																																						
Skalierung:	982.63 m/s2 / V	Status:	aktiv																																						
Vorverarbeitung:	keine	Klemme:	I04																																						
Offset:	0 m/s2	Verstärkertyp:	Differenzverstärker "LV2-8"																																						
Speicherung:	Übertragung zum PC	Kommentar:	C192253																																						
Starttrigger:	Trigger_48_CSeriel_CL1224_123651	Schaltung:	differentiell																																						
Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte	Kopplung:	DC																																						
Skalierung im Kurvenfenster:	auto	Abgleich:	Tarierung	Filter: AAF		Kanal:	AZA03re	Meßwerte:	unbegrenzt	Status:	aktiv	Abtastzeit:	20.0 µs	Klemme:	I02	Kennlinie:	linear	Verstärkertyp:	Differenzverstärker "LV2-8"	Meßbereich:	±2422.6 m/s2	Kommentar:	C192255			Schaltung:	differentiell			Kopplung:	DC			Filter: AAF				Meßwerte:	unbegrenzt		
Abgleich:	Tarierung	Filter: AAF																																							
Kanal:	AZA03re	Meßwerte:	unbegrenzt																																						
Status:	aktiv	Abtastzeit:	20.0 µs																																						
Klemme:	I02	Kennlinie:	linear																																						
Verstärkertyp:	Differenzverstärker "LV2-8"	Meßbereich:	±2422.6 m/s2																																						
Kommentar:	C192255																																								
Schaltung:	differentiell																																								
Kopplung:	DC																																								
Filter: AAF																																									
Meßwerte:	unbegrenzt																																								

Skalierung:	969.04 m/s ² / V	Abgleich:	Werkskalibrierung
Vorverarbeitung:	keine	Kanal:	MicYC1e_out
Offset:	0 m/s ²	Status:	aktiv
Speicherung:	Übertragung zum PC	Klemme:	I09
Starttrigger:	Trigger_48_CSerie1_CL1224_123651	Verstärkertyp:	Differenzverstärker "LV2-8"
Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte	Kommentar:	1290037
Skalierung im Kurvenfenster:	auto	Schaltung:	differentiell
Abgleich:	Tarierung	Kopplung:	DC
Kanal:	MicZC1e_G	Filter: AAF	
Status:	aktiv	Meßwerte:	unbegrenzt
Klemme:	I05	Abtastzeit:	20.0 µs
Verstärkertyp:	Differenzverstärker "LV2-8"	Kennlinie:	linear
Schaltung:	differentiell	Meßbereich:	±52.31 Pa
Kopplung:	DC	Skalierung:	104.62 Pa / V
Filter: AAF		Vorverarbeitung:	keine
Meßwerte:	unbegrenzt	Offset:	0 Pa
Abtastzeit:	20.0 µs	Speicherung:	Übertragung zum PC
Kennlinie:	linear	Starttrigger:	Trigger_48_CSerie1_CL1224_123651
Meßbereich:	±76.2175 Pa	Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte
Skalierung:	30.487 Pa / V	Skalierung im Kurvenfenster:	auto
Vorverarbeitung:	keine	Abgleich:	Tarierung
Offset:	0 Pa	Kanal:	MicYC1e_in
Speicherung:	Übertragung zum PC	Status:	aktiv
Starttrigger:	Trigger_48_CSerie1_CL1224_123651	Klemme:	I10
Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte	Verstärkertyp:	Differenzverstärker "LV2-8"
Skalierung im Kurvenfenster:	auto	Kommentar:	1290036
Abgleich:	Tarierung	Schaltung:	differentiell
Kanal:	Dummy_GPS	Kopplung:	DC
Status:	aktiv	Filter: AAF	
Klemme:	I06	Meßwerte:	unbegrenzt
Verstärkertyp:	Differenzverstärker "LV2-8"	Abtastzeit:	20.0 µs
Schaltung:	differentiell	Kennlinie:	linear
Kopplung:	DC	Meßbereich:	±54.945 Pa
Filter: AAF		Skalierung:	109.89 Pa / V
Meßwerte:	unbegrenzt	Vorverarbeitung:	keine
Abtastzeit:	100.0 ms	Offset:	0 Pa
Kennlinie:	linear	Speicherung:	Übertragung zum PC
Meßbereich:	±10 V	Starttrigger:	Trigger_48_CSerie1_CL1224_123651
Skalierung:	1 V / V	Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte
Vorverarbeitung:	keine	Skalierung im Kurvenfenster:	auto
Offset:	0 V	Abgleich:	Tarierung
Speicherung:	Übertragung zum PC		
Starttrigger:	Trigger_48_CSerie1_CL1224_123651		
Aufnahmen im Kurvenfenster:	letzte		
Skalierung im Kurvenfenster:	auto		

9.2 Cronos 3 Konfiguration

07/17/13

16:38:03

Listing der Gerätekonfiguration



Konfiguration:

C:\IMC\imc Devices\Experiments\130709_ZIM_MWSC_Erprobung

Geräteliste:

4	DIO_Port
32	Ether_Bit
8	DAC
14	Feldbus-Kanal
6	LED
1	Beep
96	Differenzverstärker "LV2-8"

Analoge Kanäle:

Globale Einstellungen:

Interface:	Ethernet, <imcDev__05121550>
Autoveruche:	-
Autosichern:	-
Automatische Dateinamen:	x
uDisk-Sicherungsintervall:	Ende d. Messung
Zeitstart:	x
Zeitkorrektur:	x
Monitorkanäle aktivieren:	x
Monitoring aktivieren:	-
Registriername für Monitoring:	-

Analoge Kanäle MRS ohne Details:

WA1_0_A3_SW12A	Y3R_SW12A
WA2_0_A3_SW12A	DBA3L_SW12A
WA3_0_A3_SW12A	DBA3R_SW12A
WA1_45_A3_SW12A	WA1_0_A4_SW12A
WA2_45_A3_SW12A	WA2_0_A4_SW12A
WA3_45_A3_SW12A	WA3_0_A4_SW12A
WA1_90_A3_SW12A	WA1_45_A4_SW12A
WA2_90_A3_SW12A	WA2_45_A4_SW12A
WA3_90_A3_SW12A	WA3_45_A4_SW12A
WA1_135_A3_SW12A	WA1_90_A4_SW12A
WA2_135_A3_SW12A	WA2_90_A4_SW12A
WA3_135_A3_SW12A	WA3_90_A4_SW12A
WB1_0_A3_SW12A	WA1_135_A4_SW12A
WB2_0_A3_SW12A	WA2_135_A4_SW12A
WB3_0_A3_SW12A	WA3_135_A4_SW12A
WB1_45_A3_SW12A	WB1_0_A4_SW12A
WB2_45_A3_SW12A	WB2_0_A4_SW12A
WB3_45_A3_SW12A	WB3_0_A4_SW12A
WB1_90_A3_SW12A	WB1_45_A4_SW12A
WB2_90_A3_SW12A	WB2_45_A4_SW12A
WB3_90_A3_SW12A	WB3_45_A4_SW12A
WB1_135_A3_SW12A	WB1_90_A4_SW12A
WB2_135_A3_SW12A	WB2_90_A4_SW12A
WB3_135_A3_SW12A	WB3_90_A4_SW12A
SinA3_SW12A	WB1_135_A4_SW12A
CosA3_SW12A	WB2_135_A4_SW12A
Q3L_SW12A	WB3_135_A4_SW12A
Q3R_SW12A	SinA4_SW12A
Y3L_SW12A	CosA4_SW12A
	Q4L_SW12A
	Q4R_SW12A
	Y4L_SW12A
	Y4R_SW12A
	DBA4L_SW12A
	DBA4R_SW12A
	SinA3_C6A
	CosA3_C6A
	Q3L_C6A
	Q3R_C6A
	Y3L_C6A
	Y3R_C6A
	DBA3L_C6A
	DBA3R_C6A

SinA4_C6A	Filter: Tiefpass
CosA4_C6A	Frequenz 1: 10 Hz
Q4L_C6A	Meßwerte: unbegrenzt
Q4R_C6A	Abtastzeit: 1.0 ms
Y4L_C6A	Kennlinie: linear
Y4R_C6A	Meßbereich: ±400 km/h
DBA4L_C6A	Skalierung: 40 km/h / V
DBA4R_C6A	Vorverarbeitung: keine
	Offset: 0 km/h
	Speicherung: Übertragung zum PC
	Starttrigger: Trigger_48_imcCronosPL_121550
Analoge Kanäle für Rauheitsmessung:	Aufnahmen im Kurvenfenster: letzte
	Skalierung im Kurvenfenster: auto
Kanal: AQA04	Kanal: Richtung
Status: aktiv	Status: aktiv
Klemme: I81	Klemme: I84
Verstärkertyp: Differenzverstärker "LV2-8"	Verstärkertyp: Differenzverstärker "LV2-8"
Schaltung: differentiell	Schaltung: differentiell
Kopplung: DC	Kopplung: DC
Filter: Tiefpass	Filter: Tiefpass
Frequenz 1: 10 Hz	Frequenz 1: 10 Hz
Meßwerte: unbegrenzt	Meßwerte: unbegrenzt
Abtastzeit: 1.0 ms	Abtastzeit: 50.0 ms
Kennlinie: linear	Kennlinie: linear
Meßbereich: -10.6..2.39 m/s ²	Meßbereich: ±10 V
Skalierung: 1.3 m/s ² / V	Skalierung: 1 V / V
Vorverarbeitung: keine	Vorverarbeitung: keine
Offset: -4.105 m/s ²	Offset: 0 V
Speicherung: Übertragung zum PC	Speicherung: Übertragung zum PC
Starttrigger: Trigger_48_imcCronosPL_121550	Starttrigger: Trigger_48_imcCronosPL_121550
Aufnahmen im Kurvenfenster: letzte	Aufnahmen im Kurvenfenster: letzte
Skalierung im Kurvenfenster: auto	Skalierung im Kurvenfenster: auto
Abgleich: Tarierung	Abgleich: Werkskalibrierung
Kanal: WZC01	Kanal: Eventmarke
Status: aktiv	Status: aktiv
Klemme: I82	Klemme: I85
Verstärkertyp: Differenzverstärker "LV2-8"	Verstärkertyp: Differenzverstärker "LV2-8"
Schaltung: differentiell	Schaltung: differentiell
Kopplung: DC	Kopplung: DC
Filter: Tiefpass	Filter: Tiefpass
Frequenz 1: 10 Hz	Frequenz 1: 10 Hz
Meßwerte: unbegrenzt	Meßwerte: unbegrenzt
Abtastzeit: 1.0 ms	Abtastzeit: 50.0 ms
Kennlinie: linear	Kennlinie: linear
Meßbereich: -1958..5896 mrad/s	Meßbereich: ±10 V
Skalierung: 785.4 mrad/s / V	Skalierung: 1 V / V
Vorverarbeitung: keine	Vorverarbeitung: keine
Offset: 1969 mrad/s	Offset: 0 V
Speicherung: Übertragung zum PC	Speicherung: Übertragung zum PC
Starttrigger: Trigger_48_imcCronosPL_121550	Starttrigger: Trigger_48_imcCronosPL_121550
Aufnahmen im Kurvenfenster: letzte	Aufnahmen im Kurvenfenster: letzte
Skalierung im Kurvenfenster: auto	Skalierung im Kurvenfenster: auto
Abgleich: Tarierung	Abgleich: Werkskalibrierung
Kanal: VXC01	
Status: aktiv	
Klemme: I83	
Verstärkertyp: Differenzverstärker "LV2-8"	
Kommentar: 086-11022	
Schaltung: differentiell	
Kopplung: DC	

9.3 Messsignale

Signalname	Beschreibung	Position	Samplefreq in kHz	Sensoren und Seriennummern
VC01	Geschwindigkeit über Grund	Wagenkasten	1	Datron
WZC01	Rotationsgeschwindigkeit des Fahrzeugkastens um die Hochachse	Wagenkasten	1	Midori Inklinometer PMP-15TA-VO7SW
GPS	Ortsbestimmung	Wagenkasten	0.02	n.n.
Richtung	Analoge Richtungsmarke	Wagenkasten	0.02	Dig
AYA	Unausgeglichene Querbeschleunigung auf Gleisebene	Achslager	1	n.n.
AZA03li	Beschleunigung am Achslager in Z Richtung	Achse 3 Links	50	Kistler 8207B500 C193456
AZA03re	Beschleunigung am Achslager in Z Richtung	Achse 3 Rechts	50	Kistler 8207B500 192255C
AZA04li	Beschleunigung am Achslager in Z Richtung	Achse 4 Links	50	Kistler 8207B500 C149071
AZA04re	Beschleunigung am Achslager in Z Richtung	Achse 4 Rechts	50	Kistler 8207B500 C192253
MicYC1e_in	Innenmikrofon Messwagenabteil	Grossraumabteil ohne Rechner	50	B&K 4006 1290036
MicYC1e_out	Aussenmikrofon über Messdreghestell	DG Mitte	50	B&K 4006 1290037
MicZC1e_GF	Grenzflächenmikrofon über Messdreghestell	DG Mitte	50	iSEMcon Grenzflächen Mikrofon EMM18D003 2513001

Abbildung 9-1: Relevante Signale für die Bestimmung und Verortung der indirekten Schienenrauheiten

9.4 Messprotokolle

ZIM - MRS gerade Radscheibe								
Neuer Messradsatzzieher								
Indirekte Messung der Schienenrauheiten								
Datum:	10.7.2013	Thema:						
Zeit	11:00							
Wetter								
Lufttemperatur	~22°C							
Luftfeuchtigkeit								
Schienenzustand	trocken							
Schienentemp.								

Messprotokoll: ZIM - MRS gerade Radscheibe
Neuer Messradsatzrechner
Indirekte Messung der Schienenrauheiten

Datum: 15.7.2013 Thema: Erprobung gerade Radscheibe, MRS-Rechner-Inbetriebnahme

Laufkilometer	(Re 456) – EW IV – («Bern») – (Re 456)
Versuchskomposition	
Versuchsstrecke	Bern – Lausanne
Fahrzeugorientierung	EW IV Seite Lausanne, Bern Seite 1 Seite Lausanne
vorwärts	Lok stets führend
Softwareversion	MRS-Rechner Version 0.1.0

Zustanc normal

Teilnehmer	
PROSE Berlin	André Röhrbeck
PROSE Berlin	Christian Hertzler
PROSE Berlin	Benjamin Schinke
PROSE AG	Christian Czolbe
BahnSupport	n.n.

Projekt: PDE.007.00
Projekt: PDE.010.00
Projekt: 13.094.00

Messprotokoll: ZIM - MRS gerade Radscheibe
Neuer Messradsatzrechner
Indirekte Messung der Schienenrauheiten

datum: 16.07.2013

heit	
eit	
Ueiter	
Aufltemperatur	
Auffeuchtigkeit	
schienenzustand	
chienentemp.	

Lauftafel	
Versuchskomposition	(Re 456) – EW IV – «Bern» – (Re 456)
Versuchsstrecke	(Bern) – Gümligen – Thun
Fahrzeugorientierung	EW IV Seite Bern, Elimi Seite 1 Seite Bern
vorwärts	Lok steigt führend
Softwareversion	MRS-Rechner: diverse

Thema: Akustik (indirekte Rauheitsmessung), Messradsatzrechner-Inbetriebnahme und Softwareverbesserung
Zustand:

Teilnehmer	
PROSE Berlin	André Rohrbeck
PROSE Berlin	Christian Heitzer
PROSE Berlin	Benjamin Schmitke
PROSE AG	Christian Czolbe
Bahnsupport	n.n.

ZIM - MRS gerade Radscheibe
Neuer Messradsatzrechner
Indirekte Messung der Schienenrauhigkeit

Projekt: PDE.007.00
Projekt: PDE.010.00
Projekt: 13.094.00

Thema: Eprobung gerade Radscheibe, Eprobung MRS-Rechner, Akustik (indirekte Rauheitsmessung)

Zeit	08:30	10:20	
Weiter			
Lufttemperatur	ca. 20 °C	ca. 25 °C	
Lufteuchtigkeit			
Schienezustand	nass	trocken	
Schieneintern.			
Laufkilometer			
Versuchskomposition			(Re 456) – EW IV – Berni – (Re 456)
Versuchsstrecke			Lausanne – Bern – Biel – Solothurn
Fahrzeugorientierung			EW IV Seite 1 lausanne, Berni Seite 1 Seite Lausau
vorwärts			Loh stets führend
Softwareversion			MRS-Rechner: Softwareversion 0.1.1

Teilnehmer	
PROSE Berlin	André Rohrbeck
PROSE Berlin	Christian Heitzer
PROSE Berlin	Benjamin Schmitke
PROSE AG	Christian Czolbe
Bahnsupport	n.n.

Messprotokoll:
ZIM - MRS gerade Radscheibe
Neuer Messradsatzrechner
Indirekte Messung der Schienenrauheiten

datum: 18.07.2013

Zeit	09:00		
Lufttemperatur	~20°		
Luftfeuchtigkeit			
Scheinwetterzustand			trocken
Wetterentwicklung			gleichbleiben

Thema: Eprobung gerade Radscheibe, Akustik (indirekte Rauheitsmessung)

Aufkilometer	(Re456) – Berni
Ufersuchskomposition	Bern – Spiez
Fahrzeugs	Lok stets führend
Fahrzieldorientierung	
Vorwärts	
Softwareversion	

Zustand:

Teilnehmer
PROSE Berlin
André Rohrbeck
PROSE Berlin
Christian Herzer
PROSE Berlin
Benjamin Schnitke
PROSE AG
Christian Czobé
Bahnsupport
n.n.

Projekt: PDE.007.00
Projekt: PDE.010.00
Projekt: 13.094.00

atum: 18.07.2013		Thema: Eprobung gerade Radscheibe, Akustik (indirekte Rauheitsmessung)	
Zustand:		Teilnehmer	
eil	09:00	Laufkilometer	PROSE Berlin
/etter		Versuchskomposition	André Rohrbeck
		Versuchsstrecke	Christian Hertzer
		Fahrzeugorientierung	PROSE Berlin
		vorwärts	Benjamin Schmitz
		Softwareversion	PROSE AG
			Christian Czolbe
			Bahnspurort
			n.n.

9.5 Radrauheiten

Radrauheitsmessungen Achse 4 links

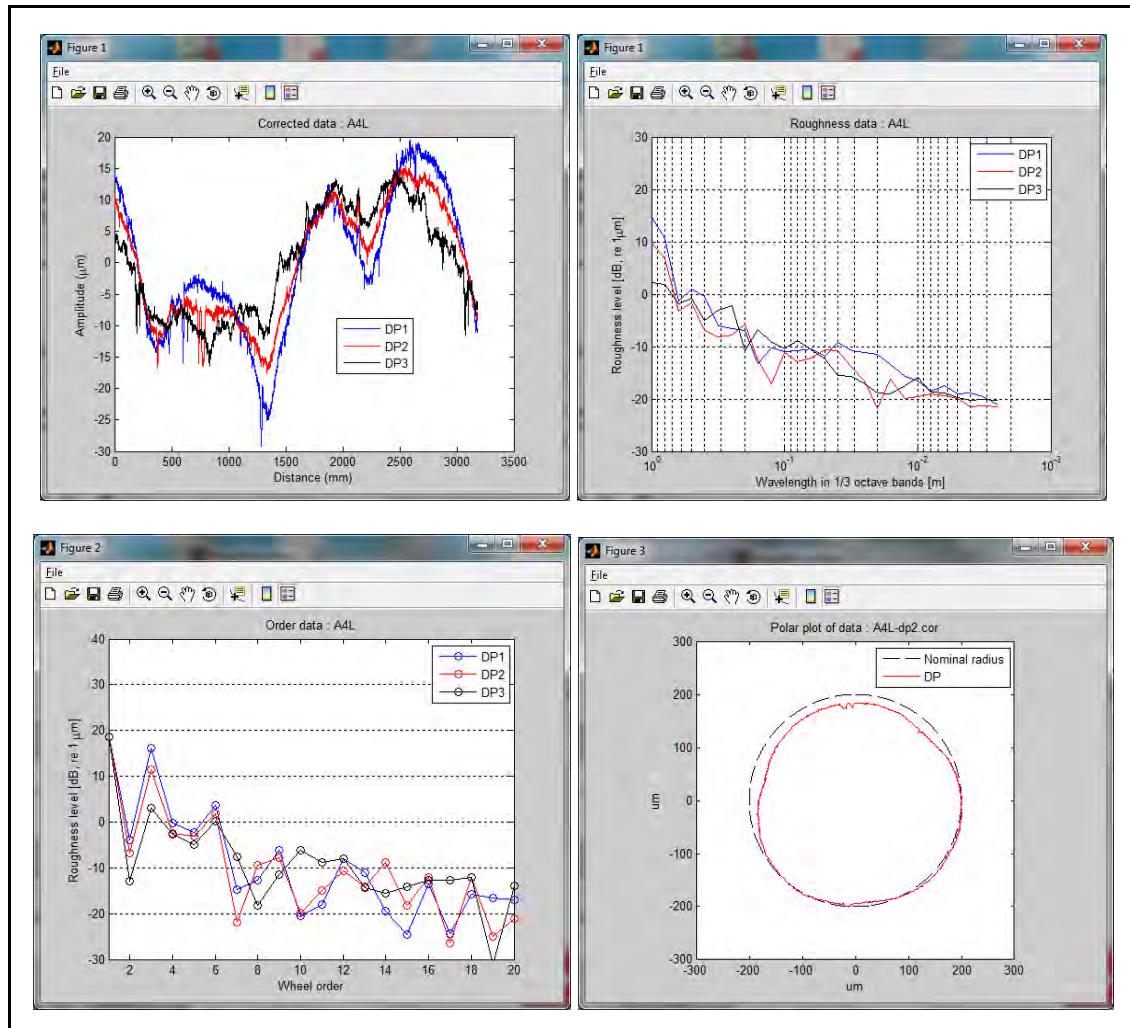


Abbildung 9-2: Radrauheiten Rad 4L

Radrauheitsmessungen Achse 4 rechts

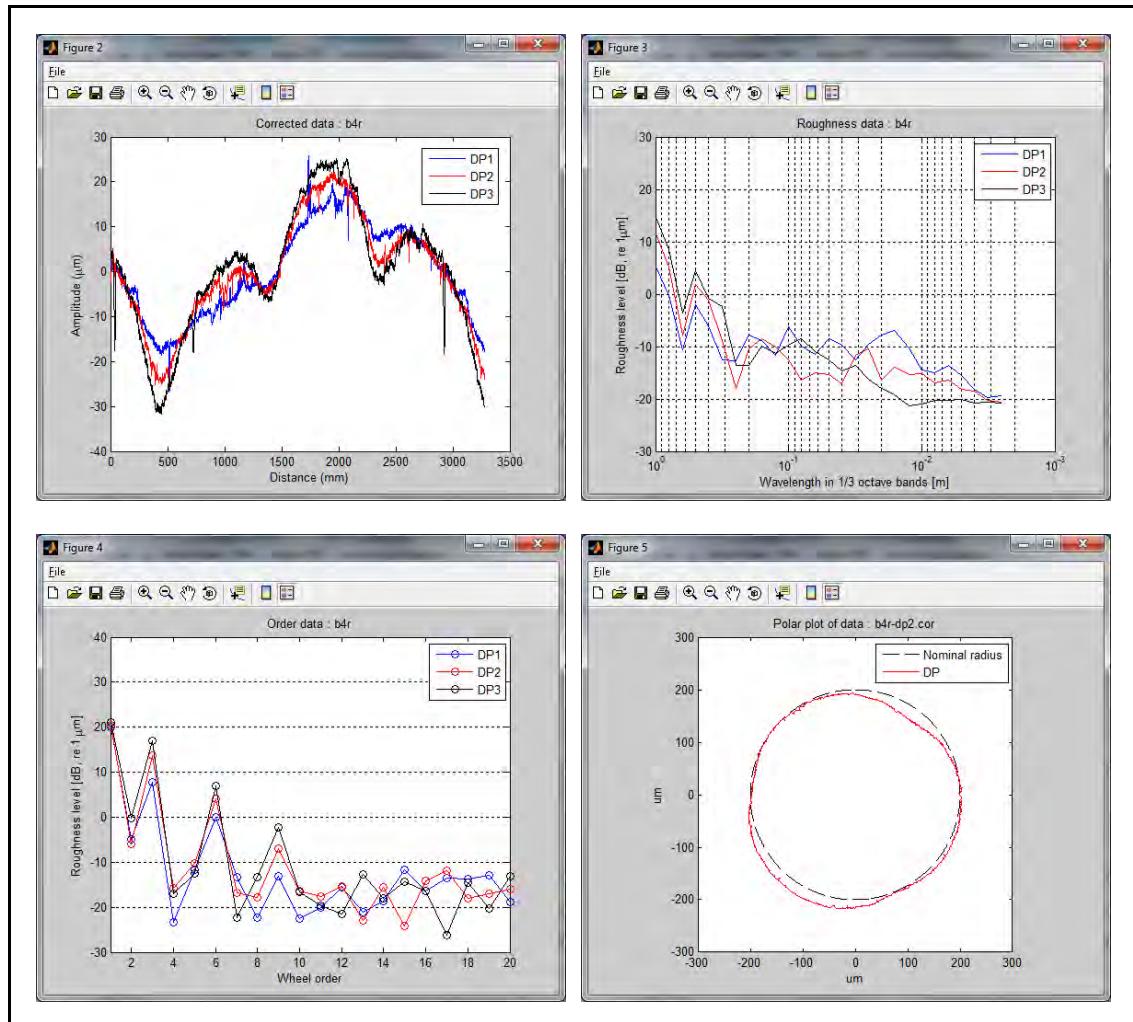


Abbildung 9-3: Radrauheiten Rad 4R

Radrauheitsmessungen Achse 3 links

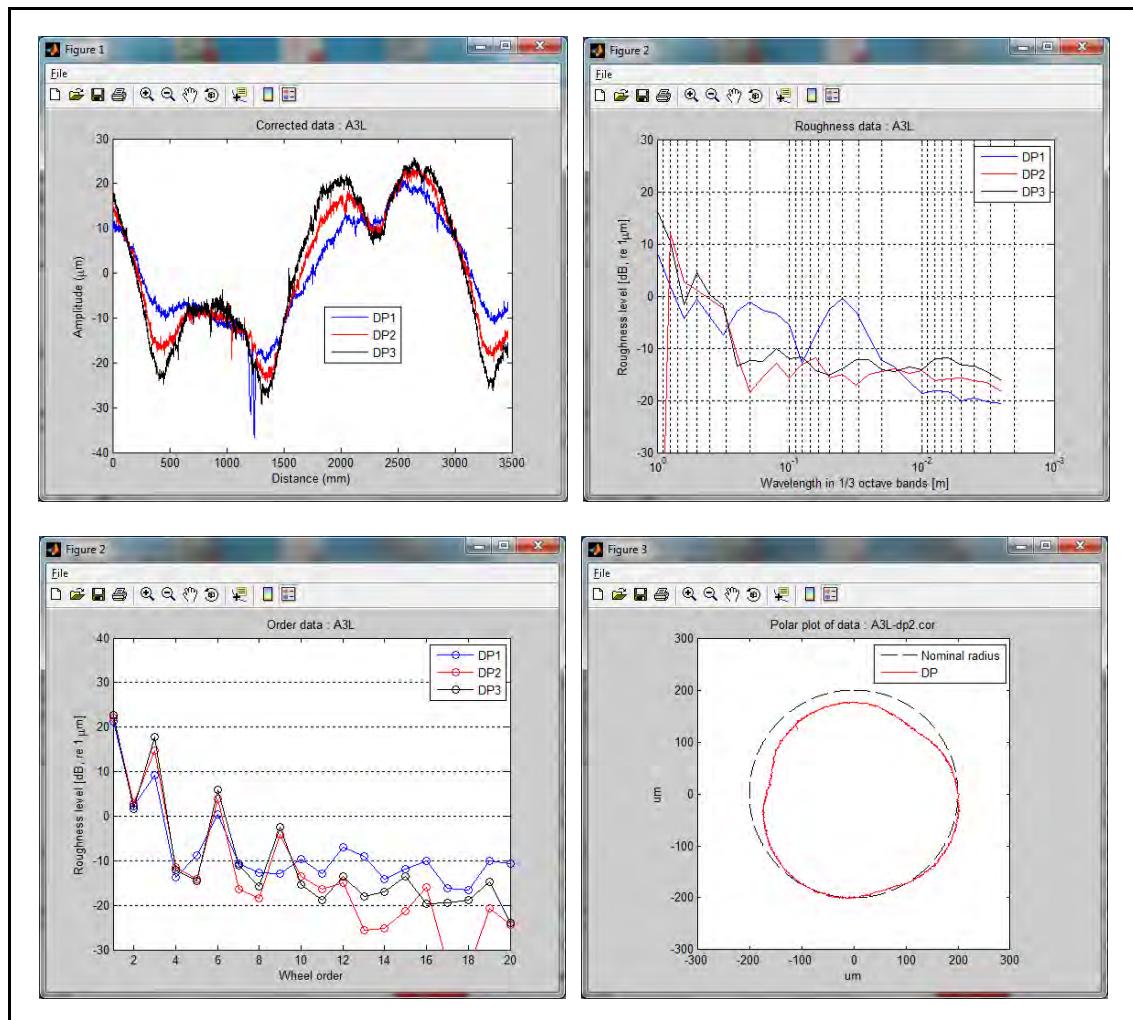


Abbildung 9-4: Radrauheiten Rad 3L

Radrauheitsmessungen Achse 3 rechts

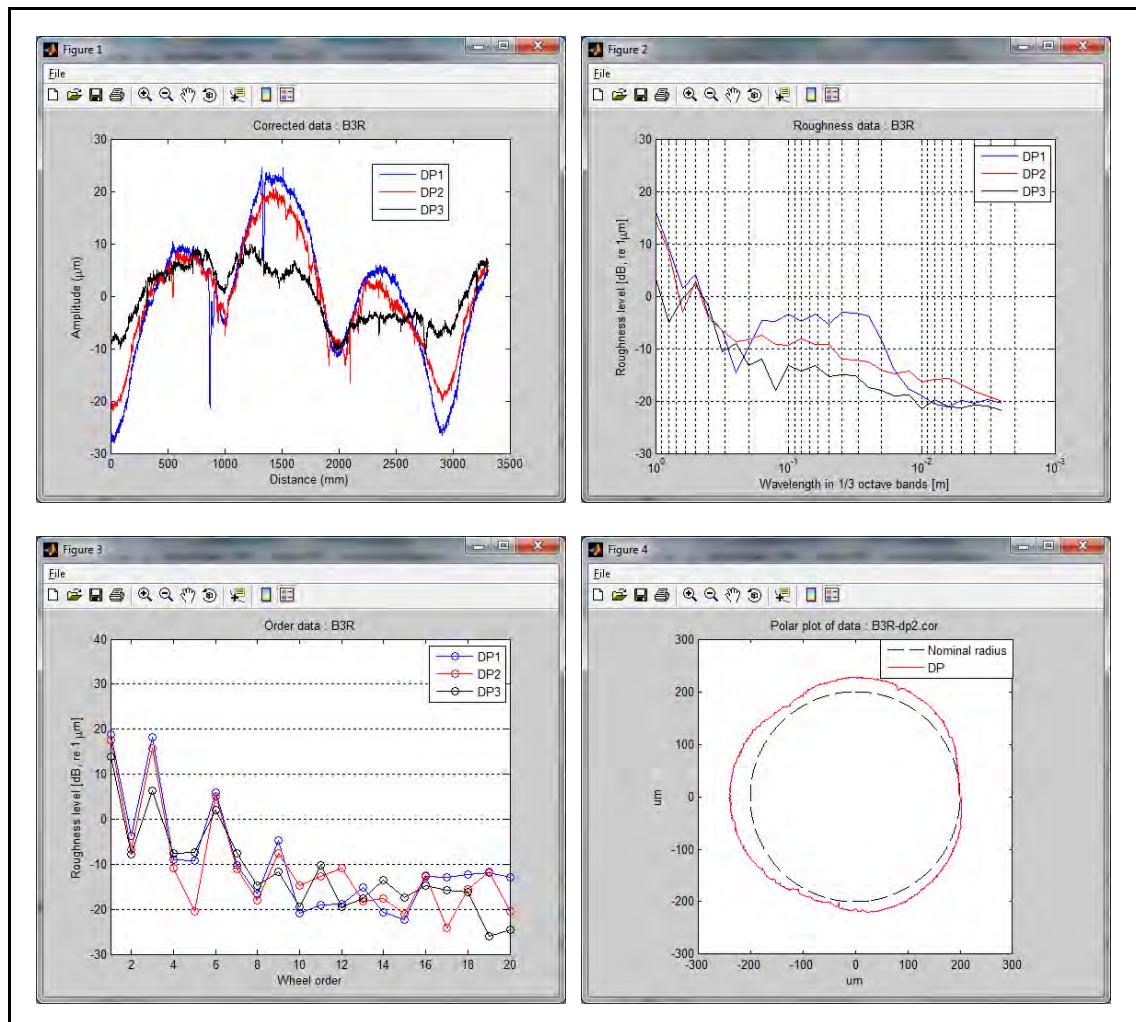
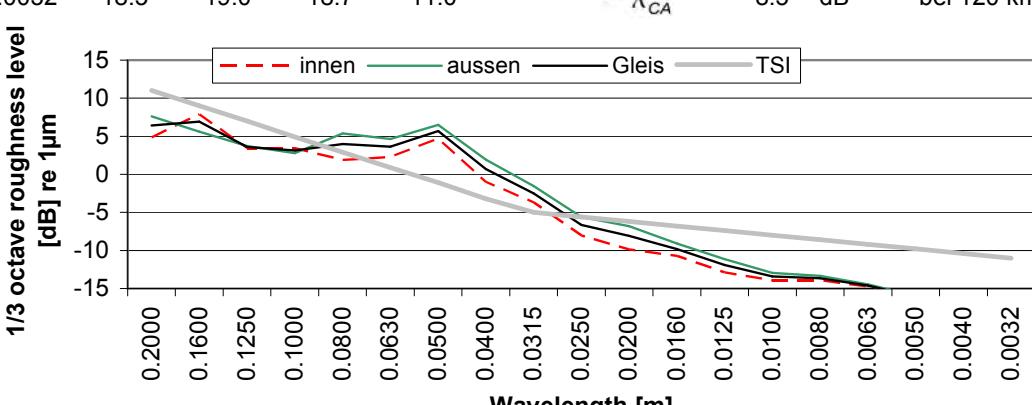


Abbildung 9-5: Radrauheiten Rad 3R

9.6 Schienenrauheiten

TSI Noise – Schienenrauheit des Referenzgleises						 PROSE																																																																																																									
Messung der Schienenrauheit gemäss EN 15610																																																																																																															
$L_r = 10 \log \frac{r_{RMS}^2}{r_0^2} [dB]$						Zertifikatsnummer:	Dok ins DVS																																																																																																								
						Streckenabschnitt:	Oberwitztrach - östlich																																																																																																								
						Streckenkilometer:																																																																																																									
Messwerte: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>innen</th> <th>aussen</th> <th>Gleis</th> <th></th> </tr> <tr> <th>λ [m]</th> <th>L_r [dB]</th> <th>L_r [dB]</th> <th>L_r [dB]</th> <th>TSI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.2000</td><td>4.8</td><td>7.6</td><td>6.4</td><td>11.0</td></tr> <tr><td>0.1600</td><td>7.9</td><td>5.6</td><td>6.9</td><td>9.0</td></tr> <tr><td>0.1250</td><td>3.4</td><td>3.7</td><td>3.6</td><td>7.0</td></tr> <tr><td>0.1000</td><td>3.4</td><td>2.8</td><td>3.1</td><td>4.9</td></tr> <tr><td>0.0800</td><td>1.9</td><td>5.4</td><td>4.0</td><td>2.9</td></tr> <tr><td>0.0630</td><td>2.3</td><td>4.7</td><td>3.6</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>0.0500</td><td>4.7</td><td>6.5</td><td>5.7</td><td>-1.1</td></tr> <tr><td>0.0400</td><td>-1.0</td><td>1.9</td><td>0.7</td><td>-3.2</td></tr> <tr><td>0.0315</td><td>-3.7</td><td>-1.6</td><td>-2.5</td><td>-5.0</td></tr> <tr><td>0.0250</td><td>-8.0</td><td>-5.6</td><td>-6.7</td><td>-5.6</td></tr> <tr><td>0.0200</td><td>-9.9</td><td>-6.8</td><td>-8.1</td><td>-6.2</td></tr> <tr><td>0.0160</td><td>-10.7</td><td>-9.1</td><td>-9.8</td><td>-6.8</td></tr> <tr><td>0.0125</td><td>-12.9</td><td>-11.1</td><td>-11.9</td><td>-7.4</td></tr> <tr><td>0.0100</td><td>-13.9</td><td>-13.0</td><td>-13.4</td><td>-8.0</td></tr> <tr><td>0.0080</td><td>-13.9</td><td>-13.4</td><td>-13.6</td><td>-8.6</td></tr> <tr><td>0.0063</td><td>-14.7</td><td>-14.5</td><td>-14.6</td><td>-9.2</td></tr> <tr><td>0.0050</td><td>-16.2</td><td>-16.0</td><td>-16.1</td><td>-9.8</td></tr> <tr><td>0.0040</td><td>-17.5</td><td>-17.1</td><td>-17.3</td><td>-10.4</td></tr> <tr><td>0.0032</td><td>-18.5</td><td>-19.0</td><td>-18.7</td><td>-11.0</td></tr> </tbody> </table>							innen	aussen	Gleis		λ [m]	L_r [dB]	L_r [dB]	L_r [dB]	TSI	0.2000	4.8	7.6	6.4	11.0	0.1600	7.9	5.6	6.9	9.0	0.1250	3.4	3.7	3.6	7.0	0.1000	3.4	2.8	3.1	4.9	0.0800	1.9	5.4	4.0	2.9	0.0630	2.3	4.7	3.6	0.9	0.0500	4.7	6.5	5.7	-1.1	0.0400	-1.0	1.9	0.7	-3.2	0.0315	-3.7	-1.6	-2.5	-5.0	0.0250	-8.0	-5.6	-6.7	-5.6	0.0200	-9.9	-6.8	-8.1	-6.2	0.0160	-10.7	-9.1	-9.8	-6.8	0.0125	-12.9	-11.1	-11.9	-7.4	0.0100	-13.9	-13.0	-13.4	-8.0	0.0080	-13.9	-13.4	-13.6	-8.6	0.0063	-14.7	-14.5	-14.6	-9.2	0.0050	-16.2	-16.0	-16.1	-9.8	0.0040	-17.5	-17.1	-17.3	-10.4	0.0032	-18.5	-19.0	-18.7	-11.0	Ødegaard & Danneskiold-Samsøe TRM04
	innen	aussen	Gleis																																																																																																												
λ [m]	L_r [dB]	L_r [dB]	L_r [dB]	TSI																																																																																																											
0.2000	4.8	7.6	6.4	11.0																																																																																																											
0.1600	7.9	5.6	6.9	9.0																																																																																																											
0.1250	3.4	3.7	3.6	7.0																																																																																																											
0.1000	3.4	2.8	3.1	4.9																																																																																																											
0.0800	1.9	5.4	4.0	2.9																																																																																																											
0.0630	2.3	4.7	3.6	0.9																																																																																																											
0.0500	4.7	6.5	5.7	-1.1																																																																																																											
0.0400	-1.0	1.9	0.7	-3.2																																																																																																											
0.0315	-3.7	-1.6	-2.5	-5.0																																																																																																											
0.0250	-8.0	-5.6	-6.7	-5.6																																																																																																											
0.0200	-9.9	-6.8	-8.1	-6.2																																																																																																											
0.0160	-10.7	-9.1	-9.8	-6.8																																																																																																											
0.0125	-12.9	-11.1	-11.9	-7.4																																																																																																											
0.0100	-13.9	-13.0	-13.4	-8.0																																																																																																											
0.0080	-13.9	-13.4	-13.6	-8.6																																																																																																											
0.0063	-14.7	-14.5	-14.6	-9.2																																																																																																											
0.0050	-16.2	-16.0	-16.1	-9.8																																																																																																											
0.0040	-17.5	-17.1	-17.3	-10.4																																																																																																											
0.0032	-18.5	-19.0	-18.7	-11.0																																																																																																											
						λ Messbereich:	0,0016 - 0,25 m																																																																																																								
						Prüfnorm:	EN 15610:2009																																																																																																								
						Verfahren:	Direkte Rauheitsmessung																																																																																																								
Messgerät: Ødegaard & Danneskiold-Samsøe TRM04 Messpunkte: Anzahl: 12 gemäss DIN EN ISO 3095:2005 und prEN ISO 3095:2001																																																																																																															
Gleis Schienentyp: UIC60E2, UIC60E1 Schwellentyp: B70 Beton Oberbau: Schotter																																																																																																															
Wetterbedingungen: Temperatur: 26 °C Luftfeuchtigkeit: 52%																																																																																																															
Einzahlwert der Rauheit: $L_{\lambda_{CA}}$ 7.1 dB bei 80 km/h $L_{\lambda_{CA}}$ 8.5 dB bei 120 km/h																																																																																																															
																																																																																																															
Die mittlere Schienenrauheit liegt in jedem Terzband unterhalb des TSI Noise Grenzwertspektrums für ein Referenzgleis, damit ist dieser Gleisabschnitt bezüglich der Schienenrauheit für akustische Messungen von Fahrgeräuschen geeignet.																																																																																																															
Prüfdatum:	11.07.2013	geprüft:	freigegeben:																																																																																																												
Prüfingenieur:	ins DVS legen																																																																																																														

TSI Noise – Schienenrauheit des Referenzgleises

Messung der Schienenrauheit gemäss EN 15610



$$L_r = 10 \log \frac{r_{RMS}^2}{r_0^2} [dB]$$

Zertifikatsnummer: Dok ins DVS**Streckenabschnitt:** Oberwitztrach - westlich
Streckenkilometer:**Messwerte:**

λ [m]	innen [dB]	aussen [dB]	Gleis [dB]	TSI
0.2000	6.5	2.6	5.0	11.0
0.1600	7.4	6.6	7.0	9.0
0.1250	4.1	6.8	5.7	7.0
0.1000	4.7	6.8	5.9	4.9
0.0800	4.1	8.6	6.9	2.9
0.0630	1.8	5.6	4.1	0.9
0.0500	-0.3	0.5	0.1	-1.1
0.0400	-0.9	-1.2	-1.0	-3.2
0.0315	-3.6	-4.3	-3.9	-5.0
0.0250	-5.6	-6.6	-6.1	-5.6
0.0200	-7.0	-8.9	-7.9	-6.2
0.0160	-8.9	-10.6	-9.7	-6.8
0.0125	-10.5	-11.9	-11.1	-7.4
0.0100	-13.0	-13.0	-13.0	-8.0
0.0080	-14.0	-14.9	-14.4	-8.6
0.0063	-14.9	-16.0	-15.4	-9.2
0.0050	-16.9	-17.5	-17.2	-9.8
0.0040	-18.6	-19.0	-18.8	-10.4
0.0032	-20.3	-20.0	-20.1	-11.0

Messgerät:

Ødegaard & Danneskiold-Samsøe TRM04

 λ Messbereich: 0,0016 - 0,25 m

Prüfnorm: EN 15610:2009

Verfahren: Direkte Rauheitsmessung

Messpunkte:Anzahl: 12
gemäss DIN EN ISO 3095:2005
und prEN ISO 3095:2001**Gleis**

Schienentyp: UIC 60E2

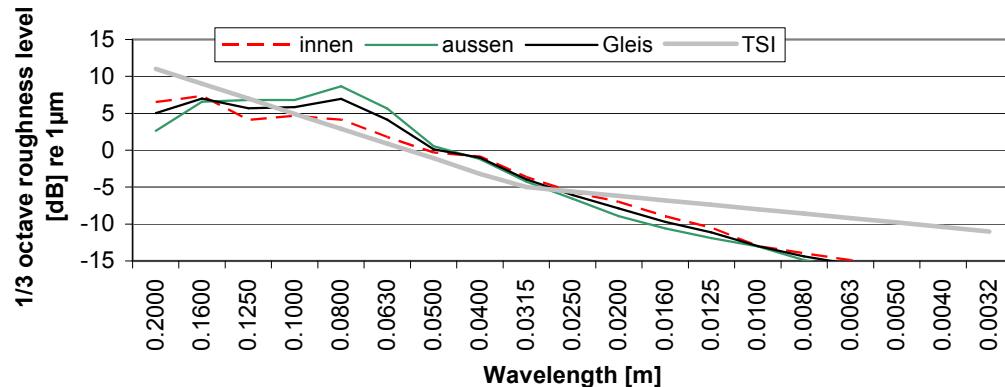
Schwellentyp: B91 Beton

Oberbau: Schotter

Wetterbedingungen:

Temperatur: 26 °C

Luftfeuchtigkeit: 52%

Einzahlwert der Rauheit:
 $L_{\lambda_{CA}}$ 6.2 dB bei 80 km/h
 $L_{\lambda_{CA}}$ 7.6 dB bei 120 km/h


Die mittlere Schienenrauheit liegt in jedem Terzband unterhalb des TSI Noise Grenzwertspektrums für ein Referenzgleis, damit ist dieser Gleisabschnitt bezüglich der Schienenrauheit für akustische Messungen von Fahrgeräuschen geeignet.

Prüfdatum: 11.07.2013

geprüft:

freigegeben:

Prüfingenieur: ins DVS legen