

# Akustische Wirkung von Betonschwellen B70 und B91

Erkenntnisstand aus Forschungsprojekten

Bericht



## 17.110.00 – BAFU Innovative Betonschwelle

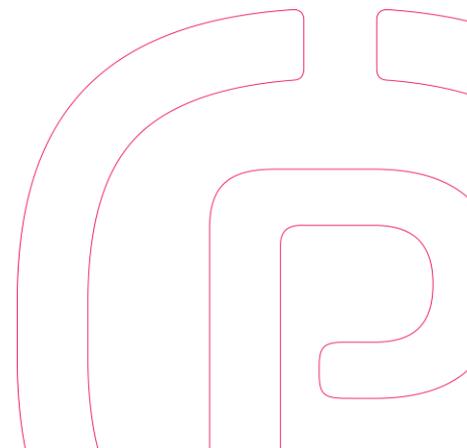
Erstellt	Geprüft	Freigegeben		
C. Czolbe	R. Sieglitz	G. Voelkening		
Dokumentnummer	Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
04-03-01718	24.05.2018	1.00	20.12.2018	Released

### PROSE AG

Zürcherstrasse 41  
8400 Winterthur  
Schweiz

[www.prose.one](http://www.prose.one)

Tel +41 52 262 74 00  
Fax +41 52 262 74 01  
[info.winterthur@prose.one](mailto:info.winterthur@prose.one)



### Verteiler

Firma/Abteilung/Name	Bemerkungen

### Revisionsindex

	Ersteller	Prüfer	Freigebender	Datum
<b>04-03-01718</b>	C. Czolbe	R. Sieglitz	G. Voelkening	24.05.2018
<b>Rev. 1.00</b>	C. Czolbe	R. Sieglitz	G. Voelkening	20.12.2018
<b>Rev.</b>				

### Modifikationen

Revision	Beschreibung
1.00	Neue Version angelegt durch 'C. Czolbe' am 01.06.2018

Dieses Dokument gibt Kenntnis von Gegenständen, an denen die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz), oder eines ihrer Tochterunternehmen 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.

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	sonRAIL Untersuchung.....	5
3	SBB Schienenstegdämpfer Untersuchung.....	13
4	Modalanalysen Betonschwellen.....	14
5	Diskussion mit Helmut Venghaus März 2018.....	15
6	Diskussion mit David Thompson per Email April 2018.....	15
7	Unterschied in der Schienenbefestigung.....	15
7.1	Zwischenlagenalterung.....	15
7.2	Schienenbefestigung.....	15
7.3	Andere Alterungseinflüsse.....	17
8	Erkenntnisse aus aktuellen Messungen.....	17
9	Schlussfolgerungen.....	18
10	Literatur.....	18
A	Anhang.....	19
A.1	Herstellungsverfahren und Anforderungen B91.....	19
A.2	Herstellungsverfahren und Anforderungen B70.....	20
A.3	Email David Tompson.....	21
A.4	sonRAIL Messtellen Übersicht aus Projektdokumentation 1.....	23
A.5	Stellungnahme zum Bericht SBB 18. Juli 2018.....	24
A.6	Antwort PROSE 28.08.2018.....	25
A.7	Antwort SBB 18.09.2018.....	25
A.8	Fazit BAFU:.....	26

## 1 Zusammenfassung

In den sonRAIL Messungen zwischen 2007 und 2008 wurden Oberbautypen mit B70 Schwellen und UIC54 Schienen sowie B91 Schwellen und UIC60 Schienen untersucht. Die Transferfunktionen zweier in den Rahmenbedingungen vergleichbarer Messstellen 04 und 34 zeigen kaum Unterschiede im Frequenzgang. Dennoch wurde auf den Oberbautypen mit B70 und UIC54 anscheinend geringere Vorbeifahrpegel als bei B91 / UIC60 gemessen. Die ermittelten Transferfunktionen gingen dann in das sonRAIL Emissionsmodell bzw. Webtool online Anwendung als „Schotteroberbau mit B70 Schwellen und UIC54“ und „Schotteroberbau mit B91 Schwellen und UIC60“ ein. Ein Vergleich hinsichtlich des Einflusses der Betonschwellen ist aus den sonRAIL Daten aufgrund der Datenbasis nicht möglich.

In neueren Untersuchungen der SBB zu Schienenstegdämpfern zwischen 2013 und 2016 wurden u.a. an Abschnitten gemessen, an denen ein Umbau von alten Oberbauten mit B70 Schwellen und UIC60 Schienen auf B91 Schwellen und UIC60 Schienen stattgefunden hat. Die Vorbeifahrpegel am erneuerten Gleis mit B91 Schwellen und UIC60 Schienen fielen dabei geringer aus als beim alten. Die Erkenntnis hierzu wurde vor allem aus dem Unterprojekt "Faktor X" gewonnen, bei dem man versucht hat, die Einflüsse der Oberbaukomponenten am Vorbeifahrgeräusch zu ermitteln.

Aus dem direkten Vergleich der Betonschwellen B70 und B91 in Bezug auf Geometrie, Masse und modalem Schwingungsverhalten lassen sich keine Vor- oder Nachteile hinsichtlich Schallabstrahlung des Gleises ableiten, da beide Schwellen nahezu die gleichen Eigenschaften aufweisen. Die einzigen markanten Unterschiede sind die Fertigungstechnologien von B70/B91 Schwellen (Trockenformverfahren/Flüssiggussverfahren) und die Vorspannung (zwei nachträglich verschraubte Stahldrähte/14 vorgespannte Armierungsdrähte). PROSE hat 2018 hierzu experimentelle Modalanalysen an frei gelagerten B70 und B91 Schwellen und an Schwellen im Schotterbett durchgeführt. Beide Schwellen wiesen dabei ähnliche Schwingungsmoden und -Frequenzen auf.

Die Untersuchungen in sonRAIL ergaben zwei unterschiedliche Oberbautypen für Betonschwellen, welche sich in Schwellenart und Schiene unterscheiden, Rückschlüsse über den Einfluss der Betonschwellen sind daraus kaum möglich. Bei den SBB Untersuchungen wurden Oberbauten mit B70/B91 Schwellen aber gleichem Schienentyp UIC60 verglichen. Beide Untersuchungen weisen jedoch nicht die Betonschwelle B70 oder B91 als Ursache hierfür aus, da die geringen Unterschiede in Geometrie und Masse einen solchen Einfluss nicht plausibel erscheinen lassen.

In beiden Untersuchungen wird die TDR als wesentlicher und messbarer Parameter verwendet, welcher die Dämpfung der Schiene beschreibt und mit dem Schallanteil der Schiene umgekehrt proportional zusammenhängt (geringe TDR = hoher Schienenschall).

Nach Einschätzung von Experten wird der Schienenschall im Wesentlichen durch die TDR und Schienenrauheiten verursacht. Die Zwischenlage und die Klemmkraft sind massgeblich für die TDR verantwortlich, diese kann bei beiden Gleisarten mit B70 und B91 variieren. Abhängig vom Alter, den Achslasten oder dem letzten Wartungsintervall des Oberbaus werden bei älteren Oberbauten die Zwischenlagen komprimiert und die Klemmkraft der Schienenbefestigung lässt nach. Dies führt zur Entkopplung der Schiene und zu geringer TDR, bzw. höherem Schienenschall.

Die unterschiedlichen Schienenrauheiten lassen einen direkten Vergleich der Vorbeifahrgeräusche zweier Abschnitte kaum zu.

Durch Messungen an 6m langen Testgleisen mit B70 und B91 Schwellen bei Schrey&Veit und Vigier Rail konnte der Schienenschall zwischen 315 Hz und 2000 Hz zwar eindeutig identifiziert werden, die Schallabstrahlung der Schwellen war hingegen nicht sicher messbar – siehe [11][12]. Eine Optimierung des Schallanteils vom Gleis ist danach eher mit einer besseren Schienendämpfung, z.B. durch härtere Kopplung über entsprechende Zwischenlagen oder Schienenbefestigungen zu erreichen.

Abgesehen davon müssen alte Oberbautypen bei Erreichen der Verschleissgrenze ausgetauscht werden, dann sollte nach Neuinstallation mit B91 Schwellen der Vorbeifahrpegel i.d.R. auch sinken oder zumindest gleichwertig bleiben.

## 2 sonRAIL Untersuchung

Für das sonRAIL Lärmberechnung Eisenbahn Berechnungsmodell wurden in den Jahren 2007 – 2009 Messungen der Gleisparameter von verschiedenen Oberbautypen durchgeführt, auf denen dann die Vorbeifahrgeräusche des Schweizer Rollmaterials gemessen wurde. Folgende Gleisabschnitte wurden für die Messungen qualifiziert.

Tabelle 1: Lage der Messstellen, Jahr der Messungen, Gerade/Bogen, Geschwindigkeit aus sonRAIL Projektdokumentation Teil 1

Messabschnitt Lausanne-Freiburg (2007)							
MS	Kilometer	Landeskoordinaten		Gerade/Bogen	$v_{max}$	Messkonfiguration	Messteam
01	15.178	550300	151650	Bogen <sup>a</sup>	110-115	Basis	TU Berlin
02	16.550	551225	151875	Bogen <sup>b</sup>	110-115	Basis	TU Berlin
03	16.825	551600	152175	Gerade	110-115	Basis, Array	Sulzer
04	17.150	551725	152350	Gerade	110-115	Basis, Intensität	EMPA
05	20.2-20.3	553825	154400	Weiche <sup>c</sup>	60-115	Weiche	Sulzer
06	25.940	553500	159600	Gerade	85	Basis	PSIA consult
07	26.880	553650	160300	Gerade	85	Basis	PROSE
08	42.150	561125	172800	Gerade	140	Basis	PROSE
09	43.520	562275	173600	Gerade	140	Basis	EMPA
10	45.4-45.5	563625	174825	LSW	130	LSW	EMPA
11	49.000	566100	177475	Weiche	130	Weiche	TU Berlin
12	49.100	566095	177467	Gerade	130	Basis	TU Berlin
Messabschnitt Mattstetten-Rothrist, Olten-Burgdorf (2007)							
13	38.734 (NBS)	621450	228050	Gerade	160	Basis	TU Berlin
14	64.225 (Stamm.)	621450	228050	Gerade	140	2 Mikros	TU Berlin
15	45.816 (NBS)	627025	231975	Gerade	160	Array, Intensität, Basis	EMPA, Sulzer
Messabschnitt Mattstetten-Rothrist, Olten-Burgdorf (2008)							
33	38.734 (NBS)	621450	228050	Gerade	200	Basis	TU Berlin
34	64.225 (Stamm.)	621450	228050	Gerade	140	2 Mikros	TU Berlin
35	45.816 (NBS)	627025	231975	Gerade	200	Array, Intensität, Basis	EMPA, Sulzer

<sup>a</sup>Bogenradius: 830 m

<sup>b</sup>Bogenradius: 460 m

<sup>c</sup>Weichen 7a (Ablenkung 1:12) und 8b (Ablenkung 1:9) im Bahnhof Palezieux-Gare

Es haben sowohl Messungen an Gleisen mit B70 UIC54, als auch B91 UIC60 stattgefunden. Ein Vergleich sollte an solchen Messstellen erfolgen, an denen die Zwischenlage und Klemmung gleichwertig sind und auf denen ähnliche Fahrzeuge mit gleicher Geschwindigkeit verkehren – siehe Tabelle 2.

- B70 UIC54 E2 Messstellen 01 und 02 (Bogen), 03 und 04 (Geraden) zwischen Lausanne-Freiburg
- B91 UIC60 E1 Messstelle 14 und 34 (Geraden) auf der Stammstrecke zwischen Mattstetten-Rothrist. Auf 14 und 34 verkehren z.T. andere Fahrzeuge mit etwas höherer Geschwindigkeit, was einen Vergleich mit den Messstellen 03 und 04 erschwert. (Bei 08 und 09 wurden keine TDR gemessen).

Tabelle 2: Übersicht der Oberbautypen, Schwellenart, Schienentyp und durchgeführten Messungen an den Messstellen aus sonRAIL  
Projektdokumentation Teil 1

Mess-stelle	Kilome-ter	Gleis	Oberbautyp <sup>†</sup>	Schwellen-typ	Schienentyp	Verle-geart	Verle-gejahr	Zwischen-lage	Rauheits-messung	Decay Rate Messung	Datum	Zwischen-lagentemp.
01	15.178	Nord	Stahl	SBBI	UIC 54 E2	AeK	1976	ISOL 87*	×		30.07.07	
01	15.178	Süd	Beton Monob.	B70	UIC 54 E2	W	1988	Zw664a**	×	×	30.07.07	29.0°C
02	16.550	Nord	Stahl	SBBI	UIC 54 E2	AeK	1976	ISOL 87*	×		31.07.07	
02	16.550	Süd	Beton Monob.	B70	UIC 54 E2	W	1988	Zw664a	×	×	31.07.07	33.3°C
03	16.825	Nord	Stahl	SBBI	UIC 54 E2	AeK	1976	ISOL 87*	×		03.08.07	
03	16.825	Süd	Beton Monob.	B70	UIC 54 E2	W	1988	Zw664a	×	×	03.08.07	18.7°C
04	17.150	Nord	Stahl	SBBI	UIC 54 E2	AeK	1976	ISOL 87*	×		02.08.07	
04	17.150	Süd	Beton Monob.	B70	UIC 54 E2	W	1988	Zw664a	×	×	02.08.07	15.5°C
06	25.940	Nord	Beton Bi-Block	SL 73	UIC 54 E2	Bi	1973	?	×		04.08.07	
06	25.940	Süd	Stahl	SBBI	UIC 54 E2	Aek	1999	ISOL 87*	×	×	04.08.07	33.0°C
07	26.880	Nord	Beton Bi-Block	SL 73	UIC 54 E2	Bi	1973	?	×	×	06.08.07	30.2°C
07	26.880	Süd	Stahl	SBBI	UIC 54 E2	Aek	1999	ISOL 87*	×	×	06.08.07	30.4°C
08	42.150	Nord	Beton Bi-Block	SL 73	UIC 54 E2	Bi	1972	?	×		07.08.07	
08	42.150	Süd	Beton Monob.	B91	UIC 60 E1	W	1994	Zw687a**	×		07.08.07	
09	43.520	Nord	Beton Bi-Block	SL 73	UIC 54 E2	Bi	1972	?	×	×	07.08.07	30.2°C
09	43.520	Süd	Beton Monob.	B91	UIC 60 E1	W	1994	Zw687a**	×		07.08.07	
12	49.100	Nord	Holz	-	UIC 54 E2	K	1976	keine	×	×	10.08.07	20.2°C
12	49.100	Süd	Holz	-	UIC 60 E1	Ke	1998	Zw664a**	×	×	10.08.07	20.1°C
13	38.734	Nord	Beton Monob. <sup>§</sup>	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	×	×	22.05.07	16.2°C
13	38.734	Süd	Beton Monob. <sup>§</sup>	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	×	×	22.05.07	16.1°C
14	64.225	Süd	Beton Monob. <sup>¶</sup>	B91	UIC 60 E1	W	2002	Zw687a**	×	×	21.05.07	18.7°C
15	45.816	Nord	Beton Monob. <sup>§</sup>	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	×	×	23.05.07	15.0°C
15	45.816	Süd	Beton Monob. <sup>§</sup>	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	×	×	23.05.07	15.1°C
33	38.734	Nord	Beton Monob. <sup>§</sup>	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	×	×	28.05.08	14.0°C
33	38.734	Süd	Beton Monob. <sup>§</sup>	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	×	×	26.05.08	14.0°C
34	64.225	Süd	Beton Monob. <sup>¶</sup>	B91	UIC 60 E1	W	2002	Zw687a**	×	×	26.05.08	18.3°C
35	45.816	Nord	Beton Monob. <sup>§</sup>	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	×	×	27.05.08	20.2°C
35	45.816	Süd	Beton Monob. <sup>§</sup>	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	×	×	27.05.08	20.1°C

Von den 6 Messstellen mit B70/B91 Betonschwellen sind nachfolgend die gemessenen TDR in lateraler und vertikaler Richtung aufgeführt.

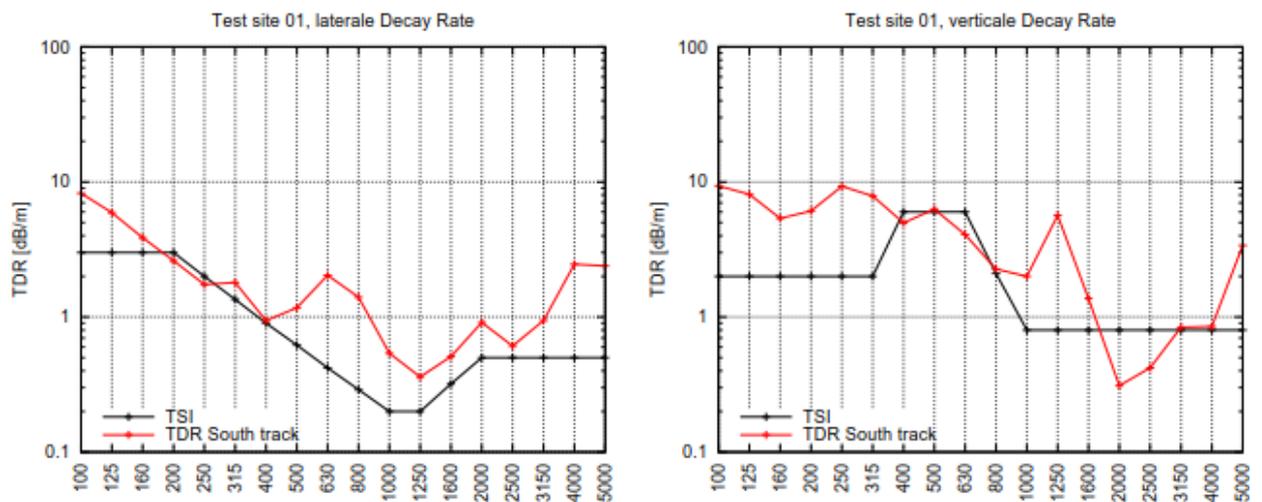


Abbildung 2-1: TDR von Messstellen 01 (Bogen) mit B70 und UIC54 Oberbau, Quelle: sonRAIL Projektdokumentation Teil 2

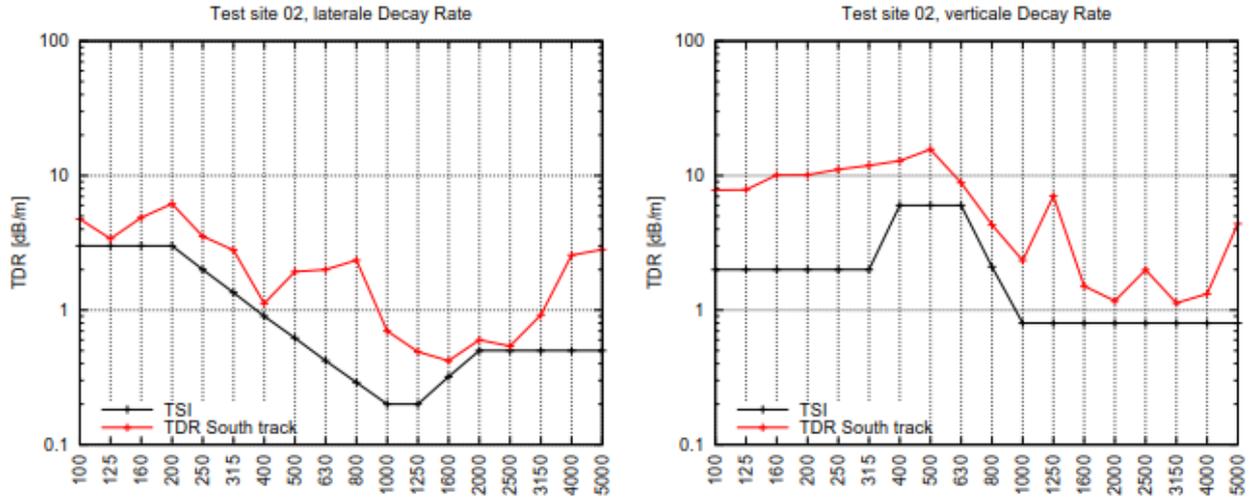


Abbildung 2-2: TDR von Messstelle 02 (Bogen) mit B70 und UIC54 Oberbau, Quelle: sonRAIL Projektdokumentation Teil 2

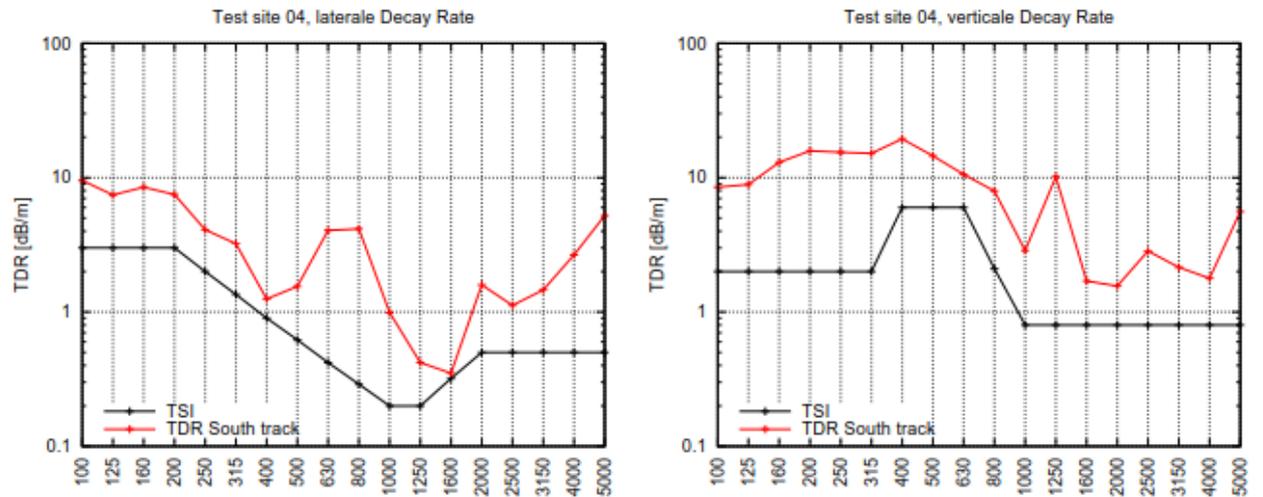
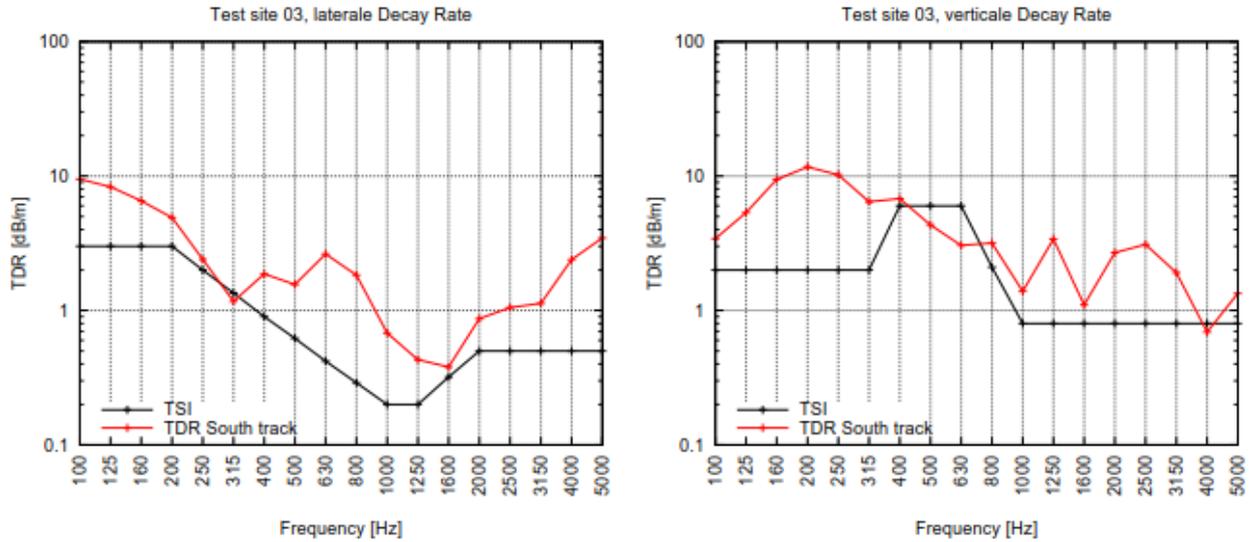


Abbildung 2-3: TDR von Messstellen 03 und 04 (Gerade) mit B70 und UIC54 Oberbau, Quelle: sonRAIL Projektdokumentation Teil 2



Abbildung 2-4: TDR von Messstelle 14 und 34 (Gerade) mit B91 und UIC60 Oberbau, Quelle: sonRAIL Projektdokumentation Teil 2

Messstelle 02 (Bogen), sowie 04, 14 und 34 (Gerade) weisen hohe TDRs auf, die auch die Anforderungen an ein Referenzgleis der TSI Noise erfüllen. Messstelle 03 weist im mittleren Frequenzbereich Einbrüche in der Dämpfung auf.

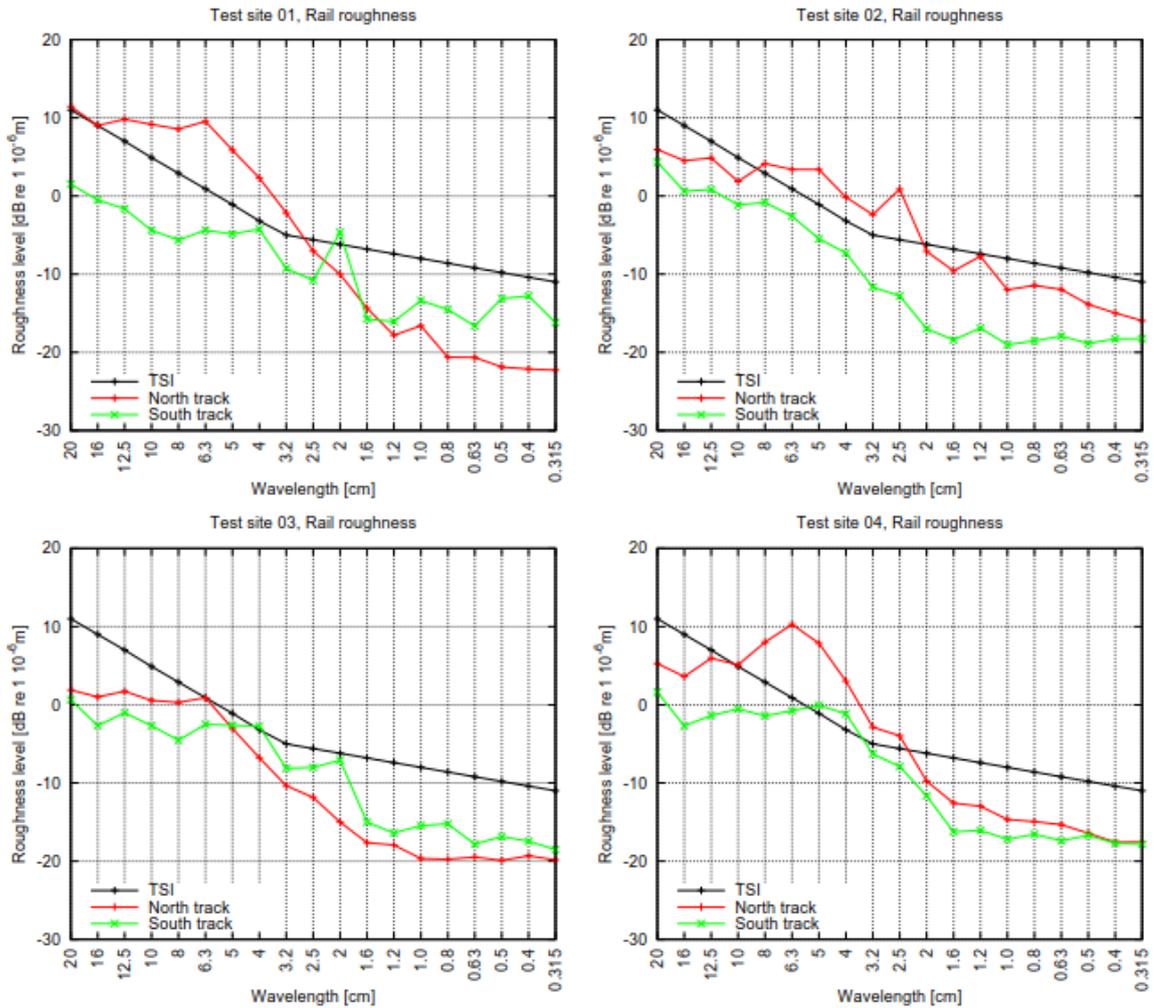


Abbildung 2-5: Schienenrauheit von Messstellen 01, 02, 03, 04 mit B70 und UIC54 Oberbau

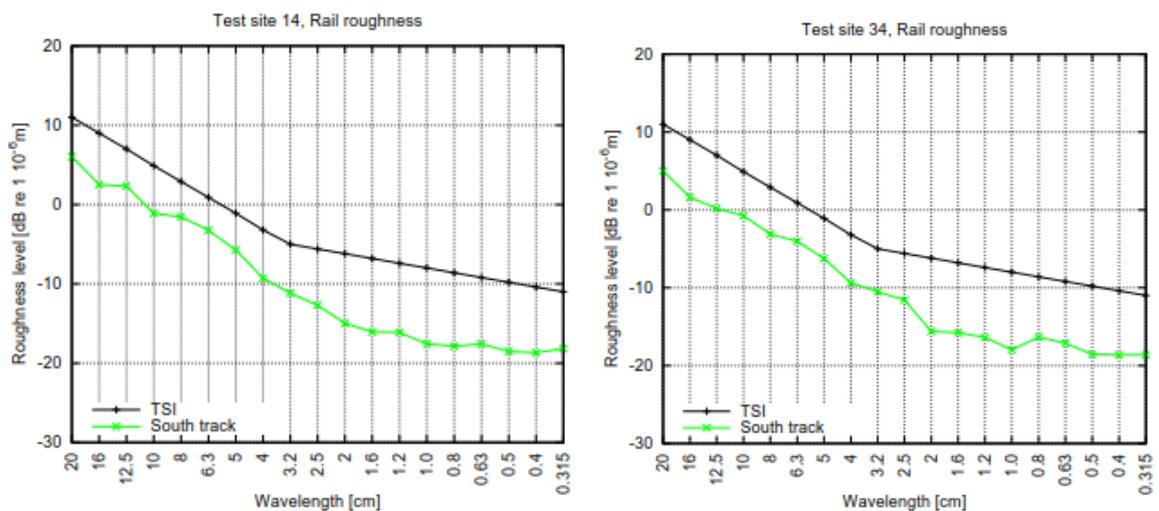


Abbildung 2-6: Schienenrauheit von Messstellen 14 und 34 mit B91 und UIC60 Oberbau, Quelle: sonRAIL Projektdokumentation 2

Die Schienenrauheiten waren auf den Messstellen 03, 04, 14 und 34 (Gerade) jeweils auf dem südlichen Gleis vergleichbar gering.

Würde Messstelle 03 aufgrund der geringeren TDR Werte herausfallen, dann bleiben für einen Vergleich der Vorbeifahrpegel bzw. Schallabstrahlung auf der Geraden die Messstellen 04, 14 und 34 übrig. Dies bildet keine Basis für statistische Auswertungen und ein Unterscheid kann auch andere Ursachen als die Betonschwellen haben.

Zunächst werden die Gleistransferfunktionen von den Oberbautypen mit gemessener TDR verglichen. Höhere Pegelwerte bei den Gleistransferfunktionen bedeuten mehr Schienenschall bei einer kontinuierlichen mechanischen Anregung durch den Rollvorgang.

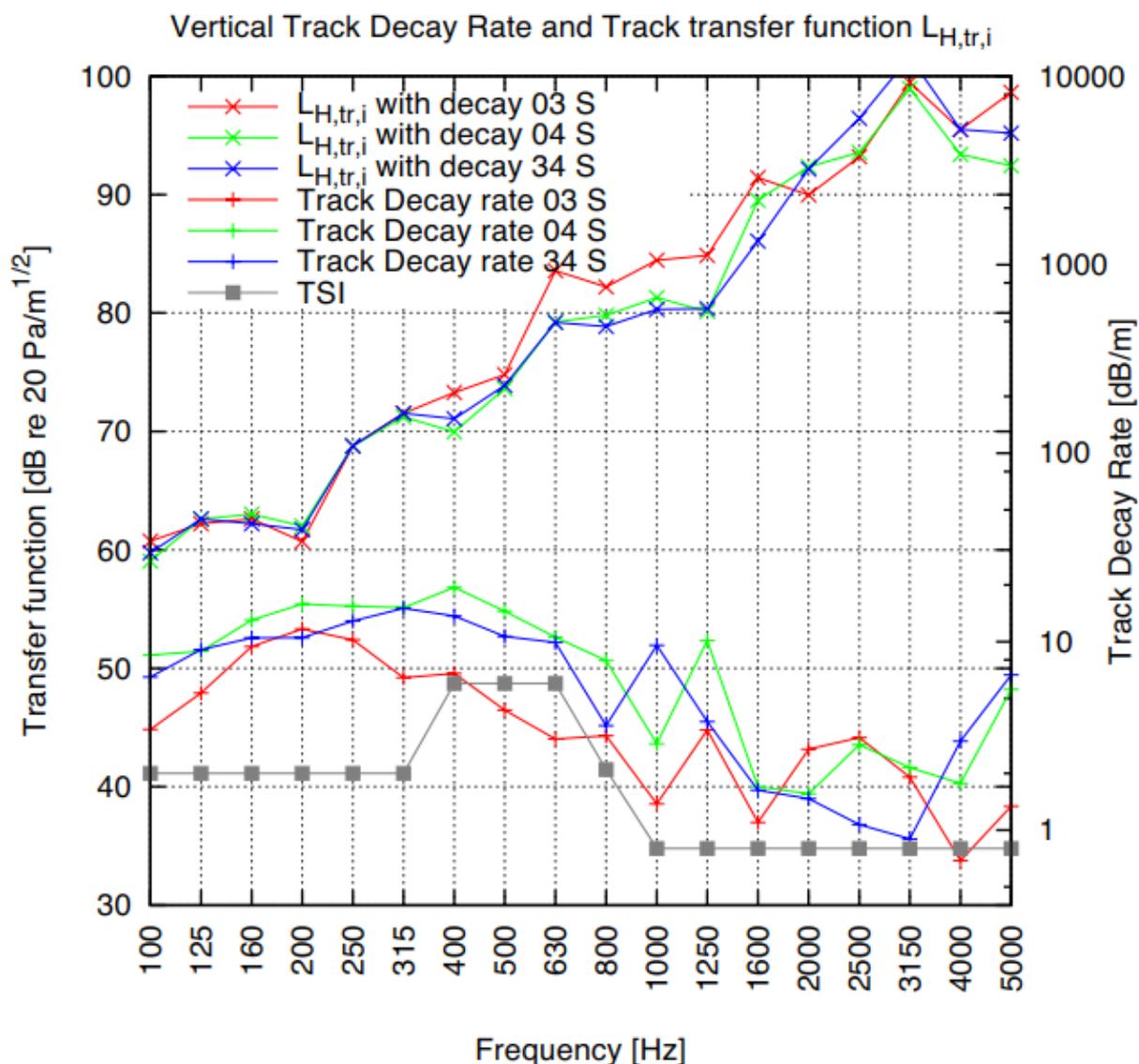


Abbildung 2-7: vertikale TDR und Track Transfer Funktionen von Oberbauten mit B70/B91 Schwellen, Quelle: Abbildung 5.36 sonRAIL Projektdokumentation 1

Beim Vergleich der Transferfunktionen von Messstelle 04 (B70, UIC54) und 34 (B91, UIC60) liegen die Oberbautypen mit B70 und B91 Betonschwellen sehr dicht beieinander. Der unterschiedliche Schienentyp ist zwar in den TDR Kurven durch die Lage der pin-pin Frequenz erkennbar, welche bei UIC54 bei 1250 Hz und bei UIC60 bei ca. 1100 Hz liegt, nicht aber in den Transferfunktionen wiederzufinden.

Messstelle 03 zeigt plausibel höhere Transferwerte im Frequenzbereich der TDR Einbrüche – zwischen 400 Hz und 1600 Hz.

Eine andere Mittelung der Gleistransferfunktionen aus den sonRAIL Messstellen ergibt folgendes Bild:

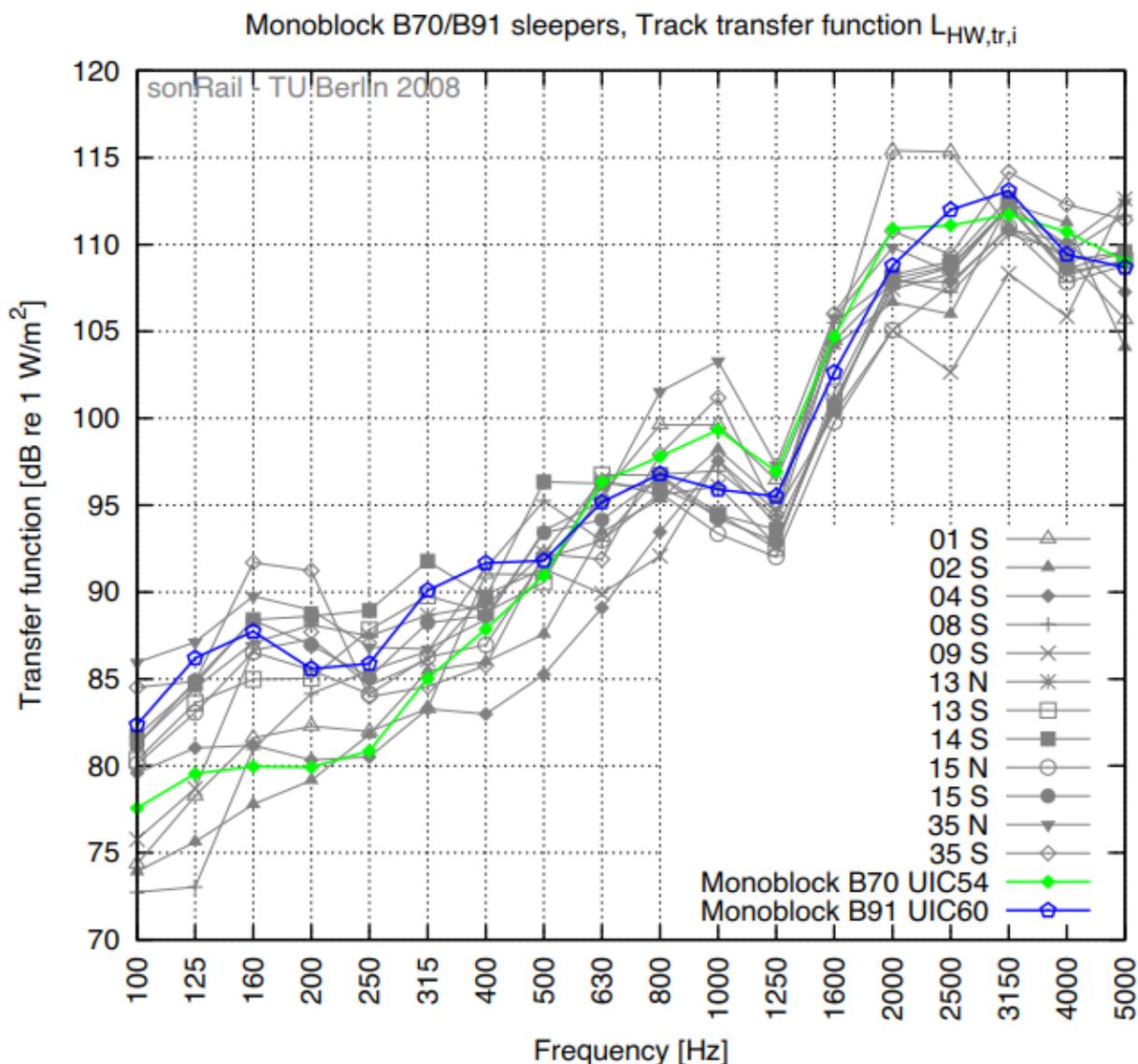


Abbildung 2-8: Track Transfer Funktionen von Oberbauten mit B70/B91 Schwellen, Quelle: sonRAIL Projektdokumentation Teil 1

Die gemittelten Gleistransferfunktionen für B70 UIC54 und B91 UIC 60 in Abbildung 2-8 unterscheiden sich voneinander, so strahlt der Oberbau mit B91 und UIC60 im unteren Frequenzbereich zwischen 100 und 400 Hz um bis zu 7 dB mehr ab, während der Oberbau mit B70 und UIC54 im Frequenzbereich zwischen 630 und 2000 Hz etwa 2-3 dB mehr Schall abstrahlt. Die Basis für die Mittelung der Transferkurven ist jedoch unklar, so haben z.B. Messstelle 14, 15 und 35 zwar B91 Schwellen und UIC60 Schienen, jedoch unterschiedliche harte Zwischenlagen (15 und 35 haben weiche Zw).

Der Schallanteil von Schwelle und Schiene ist bis etwa 1600 Hz relevant, danach dominiert der Radschall das Rollgeräusch.

Das Unterschiedliche Schallabstrahlverhalten der Fahrzeuge kann in den oberbauspezifischen Fahrzeugtransferfunktionen dargestellt werden.

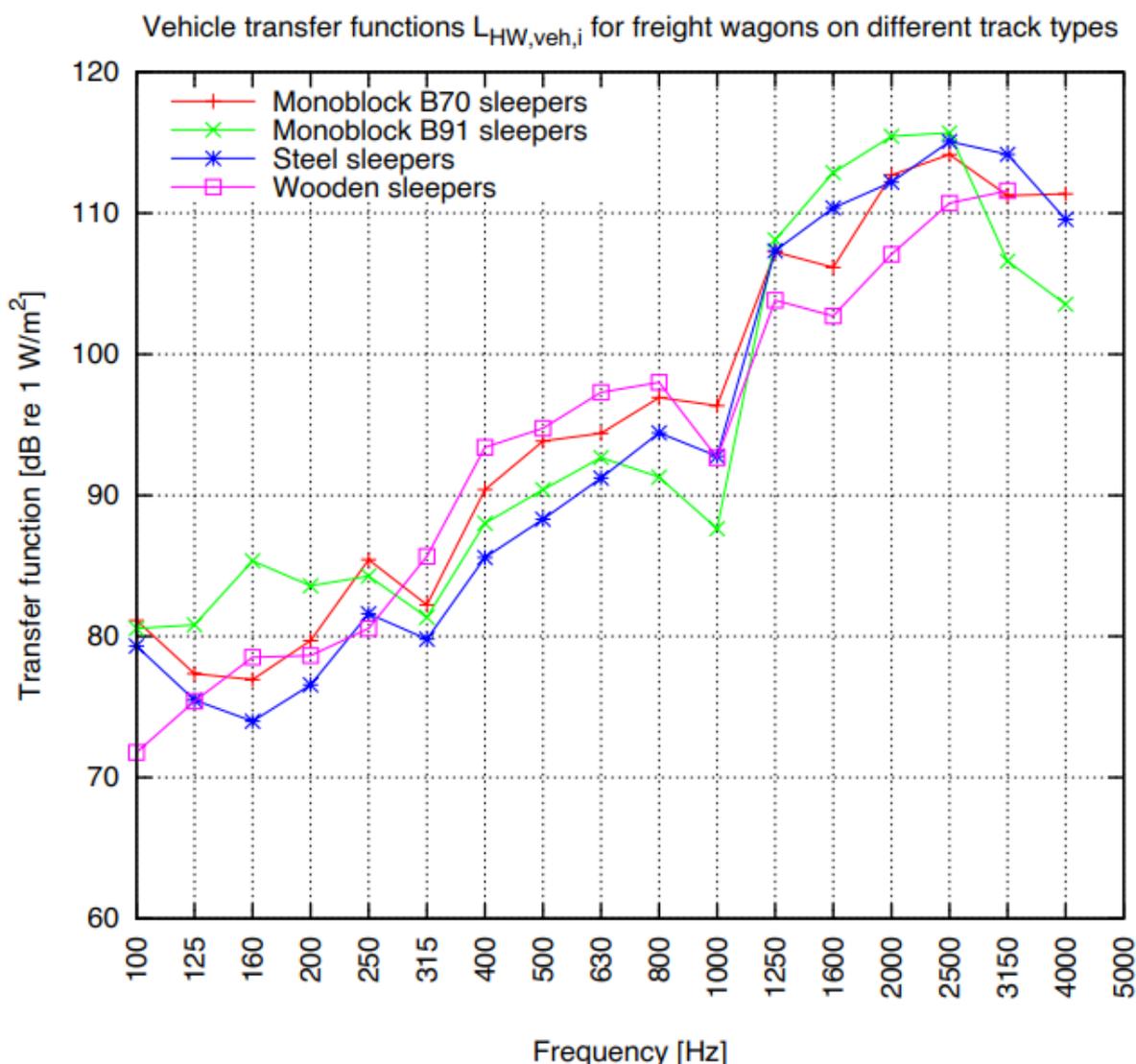


Abbildung 2-9: Fahrzeug Transfer Funktionen auf verschiedenen Oberbauten, Quelle: sonRAIL Projektdokumentation 1

Es zeigt sich, dass die Schallabstrahlung des Fahrzeugs auch vom jeweiligen Oberbau abhängt. Im direkten Vergleich von Oberbautypen mit B70 und B91 Schwellen wechseln sich die Transferwerte über den dargestellten Frequenzbereich ab. Im Bereich zwischen 125 Hz und 200 Hz sind die höheren Werte bei dem Oberbau mit B91 Schwellen, im Bereich zwischen 400 Hz und 1000 Hz sind die höheren Werte bei dem Oberbau mit B70 Schwellen und im Bereich zwischen 1600 Hz und 2500 Hz sind die höheren Werte bei dem Oberbau mit B91 Schwellen erkennbar.

Die Schienenrauheit hat einen großen Einfluss auf das Rollgeräusch und die Rauheiten zweier Messstellen sind nie identisch im Frequenzbereich. Daher ist ein Vergleich aus lediglich drei Messstellen nur schwer durchzuführen. Die Auswertungen in sonRAIL haben zwar Unterschiede zwischen beiden Oberbauten mit B70/B91 gezeigt, allerdings ist dies kaum den Betonschwellen zuzuführen. Es wurde bereits damals vermutet, dass dies nicht auf die Betonschwellen zurückführbar sei, da diese nahezu die gleichen physikalischen Eigenschaften besitzen, sondern auf andere Parameter.

### 3 SBB Schienenstegdämpfer Untersuchung

Für die Erkenntnis der SBB wesentlich scheint der Bericht Nr 24 von Accon zu sein.

Er kommt zu folgenden Schlüssen:

*Schwellenbauarten – ein (möglicher) Indikator für Faktor X*

Es wurden jedoch wesentliche Unterschiede im Schwingungsverhalten der Schiene bei beiden Schwellentypen festgestellt.

Die Ursache ist jedoch in der Studie nicht eindeutig auf die Schwelle zurückzuführen.

*Alterung der Zwischenlagen durch Achslasten – ein weiterer Indikator Faktor X*

Die Oberbautypen mit B70 Schwellen sind teilweise 30 Jahre und älter. Je nach Wartung und Schienentausch sind die Zwischenlagen verhärtet oder in der Höhe verringert.

*Schwankende Befestigungskräfte der Schienenklammern entlang der Streck durch Abnutzung der Zw – der dritte Indikator für Faktor X*

Bei gleichzeitigem Rückgang der Schienenklemmkraft wird die Schiene z.T. weniger an die Schwelle gekoppelt, was zu einer geringeren Dämpfung TDR führt und somit zu höherem Luftschall.

Beurteilung der Studie:

Aus dem Vergleich des Schwingungsverhaltens und der TDR der ausgewählten Abschnitte ergibt sich ein besseres Verhalten bezüglich Schienenschall bei den Oberbautypen mit B91 und UIC60. Dies lässt sich in erster Linie auf unterschiedliche TDR bzw. Schienendämpfung zurückführen, für die i.d.R. die Zwischenlage und Klemmkraft verantwortlich ist.

## 4 Modalanalysen Betonschwellen

Die beiden Betonschwellen B70 und B91 wurden 2018 frei gelagert und im eingebauten Zustand im Schotterbett modalanalysiert.

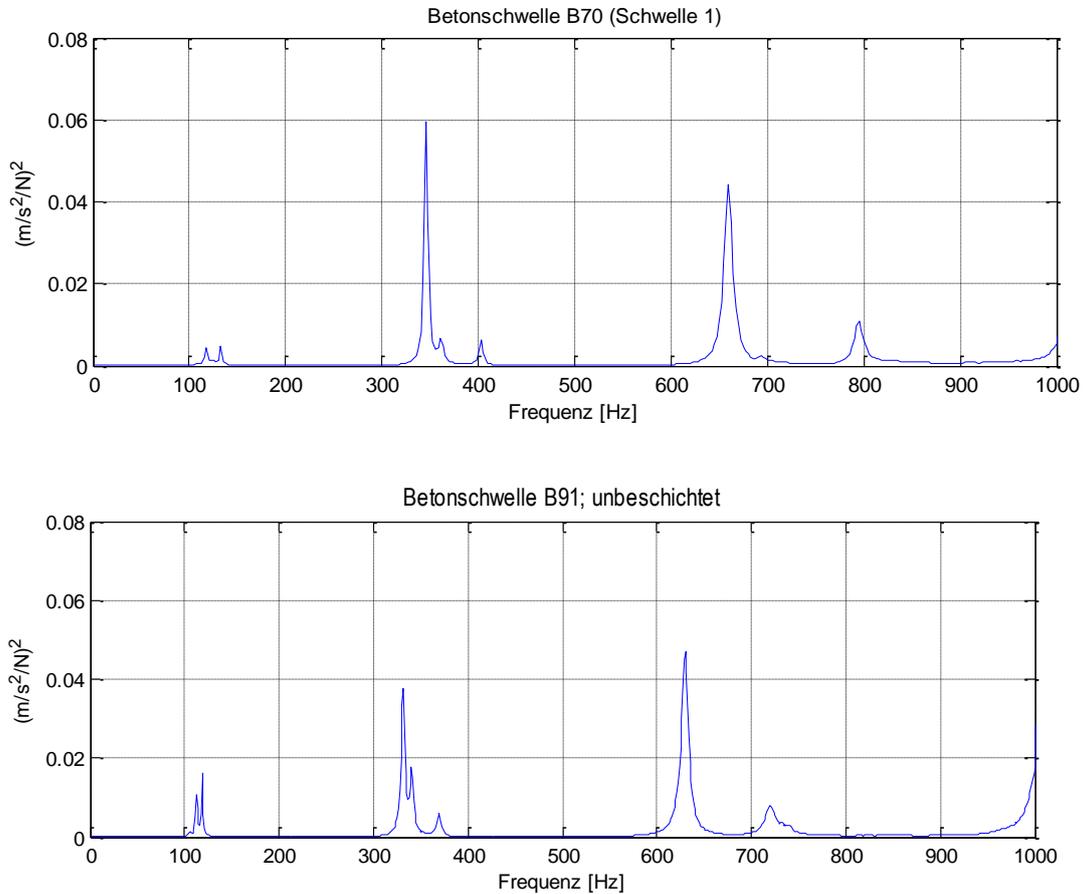


Abbildung 4-1: Globale Transferfunktionen von B70 und B91 Betonschwellen, frei gelagert, PROSE Messungen 2018

B70_1 frei		B70_2 frei		B70 Schotter + Schiene		B70 Schotter	
f [Hz]	D [%]	f [Hz]	D [%]	f [Hz]	D [%]	f [Hz]	D [%]
132.24	1.03	128.5	1.05	182.22	14.18	130.03	14.88
402.69	0.57	388.15	0.6	422.13	8.37	392.06	9.35
659.68	0.77	647.28	0.98	575.80	6.37	768.12	3.85
793.28	0.68	787.1	1.47	777.63	2.35	1024.65	2.55
1243.98	0.61	1212.63	0.83	1179.91	2.87	1141.3	3.58

B91 frei		B91.beschlft frei		B91 Schotter + Schiene		B91 Schotter	
f [Hz]	D [%]	f [Hz]	D [%]	f [Hz]	D [%]	f [Hz]	D [%]
118.42	1.6	122.48	2.09	186.55	14.46	122.88	23.37
369.92	0.61	378.21	1.02	406.19	10.11	399.44	12.7
720.07	1.33	741.82	0.96	644.83	3.91	694.1	6.59
734.45	1.38	798.81	1.53	815.36	8.85	948.34	4.08
1141.37	0.68	1159.04	0.54	1140.61	4.04	1052.09	3.73

Abbildung 4-2: Ergebnisse aus Modalanalyse: Eigenfrequenzen und modale Dämpfungen B70 und B91 frei-frei und im Schotter

Es zeigt sich, dass die modalen Eigenschaften der Betonschwellen B70 und B91 in Modentyp und Frequenz sehr ähnlich ausfallen. Abweichungen erklären nicht den Unterschied im Schienenschall.

## 5 Diskussion mit Helmut Venghaus März 2018

Der Autor des SBB Berichts Faktor X konnte bestätigen, dass die Lagerung der Schiene an den Messstellen unterschiedlich ausfiel. Bei den älteren Gleisen mit B70 Schwellen waren die Zw oft verschlissen, komprimiert und die Klemmkräfte weniger stark bzw. unregelmässig angezogen. Dies führt in der Summe zu einer höheren Entkoppelung der Schiene, damit weniger Dämpfung TDR und zu höherem Luftschall.

## 6 Diskussion mit David Thompson per Email April 2018

Auf Anfrage bei Prof. David Thompson vom ISVR Southampton bezüglich Unterschied B70 und B91 antwortet diese wie folgt (siehe Anlage A.3).

- Er vermutet keinen Einfluss der Betonschwellentypen B70 und B91, da ihr modales Verhalten sehr ähnlich ist
- Die Zwischenlage und die vorherrschende Klemmkraft hält er für den wichtigsten Einfluss auf die Schallabstrahlung des Gleises.
- Die elektrischen Isolatoren können u.U. auch zur Erhöhung der Steifigkeit bei der Kopplung von Schiene-Schwelle beitragen
- Zudem trägt die Schienenrauheit immer einen wesentlichen Anteil am vorherrschenden Vorbeifahrpegel, dies ist beim Vergleich von unterschiedlichen Gleisabschnitten immer zu beachten.

## 7 Unterschied in der Schienenbefestigung

Es ist aus technischer Sicht unklar, warum Schwellen mit B70 und B91 Betonschwellen unterschiedlich hohen Schienenlärm verursachen, da die Betonschwellen geometrische gleich und mechanisch nahezu identisch im Gleisbett agieren, bzw. schwingen und somit Schall abstrahlen. Die Hauptanteile des Rollgeräuschs sind Schallanteile von Schwellen, Schiene und Rädern.

Eine prinzipielle Erklärung für höheren Schienenschall bei gleicher Fahrzeugflotte ist die Lagerung der Schiene auf den Betonschwellen. Weich gelagerte Schienen sind geringer gedämpft und strahlen mehr Luftschall ab als hart gelagerte Schienen.

Eine weiche Lagerung kann einerseits durch entsprechende Materialien erreicht werden, z.B. weiche elastische Zwischenlage, andererseits auch durch die verwendete Schienenbefestigung bzw. die wirkende Klemmkraft.

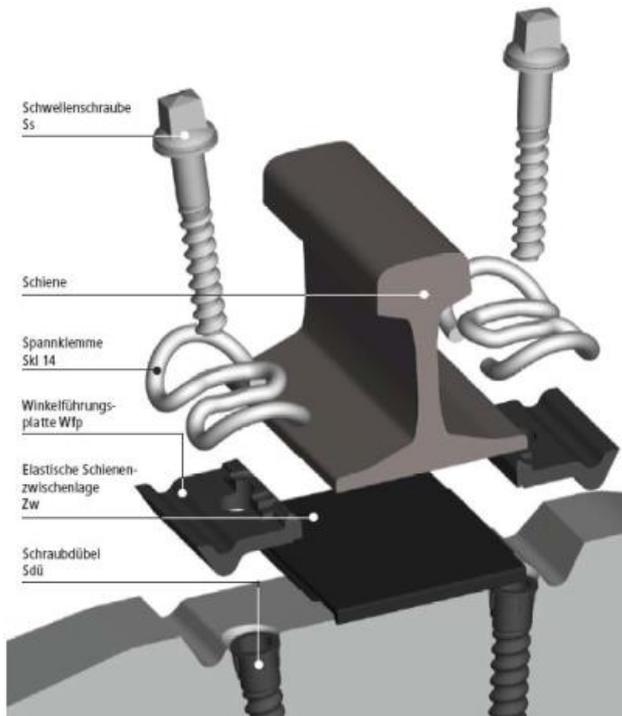
Es werden folgende Erkenntnisse in den Fachkreisen diskutiert, welche in dieser Form nicht in dem Faktor\_X Bericht und das SBB Projekt Erprobung der Schienendämpfer eingeflossen sind.

### 7.1 Zwischenlagenalterung

Die Zw661a (harte Zw mit  $\sim 700$  kN/mm) altert und wird dabei über die Jahre immer weicher. Dieses wurde sowohl beim ISVR durch Messungen von Martin Toward an deren speziellen Prüfstand gemessen und mit Hilfe des von Giacomo Squicarrini (ISVR) entwickelten rekursiven Berechnungsverfahrens mittels TWINS nachgewiesen.

### 7.2 Schienenbefestigung

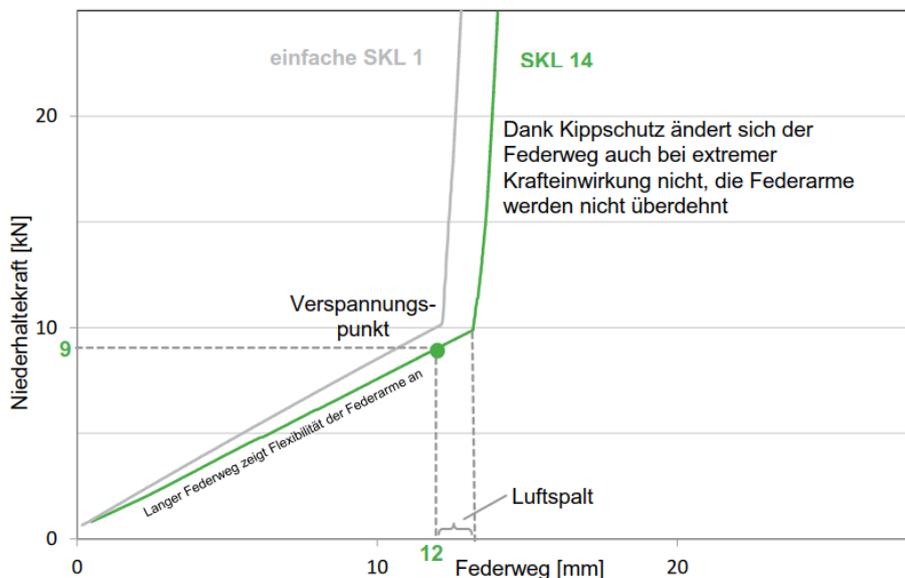
Die B70-Schwellen wurden ausschliesslich mit dem W14-Befestigungssatz montiert, während die B91-Schwellen entweder mit W14 oder W3 oder W30 montiert werden können (siehe Spezifikation von Vigier Rail).



Der W14-Befestigungssatz von Vossloh ist hochelastisch und für den leichten / schnellen Personenverkehr z.B. auf der NBS geeignet, während der W30-Satz standardmässig eher hart ist und häufig auf Strecken mit kombiniertem Verkehr mit hohen Achslasten verbaut wird.

Für die B91 Betonschwelle von VigierRail wird bei der SBB eine W3 Klemmung in der Spezifikation genannt. Die W3-Befestigung besteht aus der Wfp 3b und der SKL 1. Die Klemmwirkung von SKL 1 und SKL 14 ist ziemlich ähnlich, daher ist die SKL 1 auch eher als weich einzustufen. Auf dem Kraft-Federweg-Diagramm im Vossloh-Dokument zur W14 sind beide SKL-Kurven abgebildet.

Laut Aussage von Herrn Hafner von der SBB wurden beide Oberbautypen bis 2016 mit W3 (SKL 1) Klemmung standardmässig ausgerüstet (siehe Anhang A.7).



Laut Aussage von Herrn Schnüriger von VigierRail wurden bis vor kurzem die Schwellen für die SBB mit der Befestigung W3 bestückt. Mit der W3 wurden sowohl die B91 wie früher teilweise auch die B70 ausgerüstet. Erst jetzt hat die SBB auch auf die W14 umgestellt.

Im Gleisbau wurde gemäss VigierRail früher eher mit einem Drehmoment von 200 Nm angezogen. Dies ergibt dann eine Klemmkraft von ca. 10 kN je Klemme. Seit ca. 5-10 Jahren wird nun mit 250 Nm angezogen, um die Klemmkraft je Klemme auf 12.5 kN zu erhöhen und damit etwas Reserve nach unten zu haben. Ob dies dann aber auch so ausgeführt wird, ist nicht immer dokumentiert. Bei einigen Kontrollen hat man festgestellt, dass nach einer gewissen Zeit dieses Drehmoment nachgelassen hat.

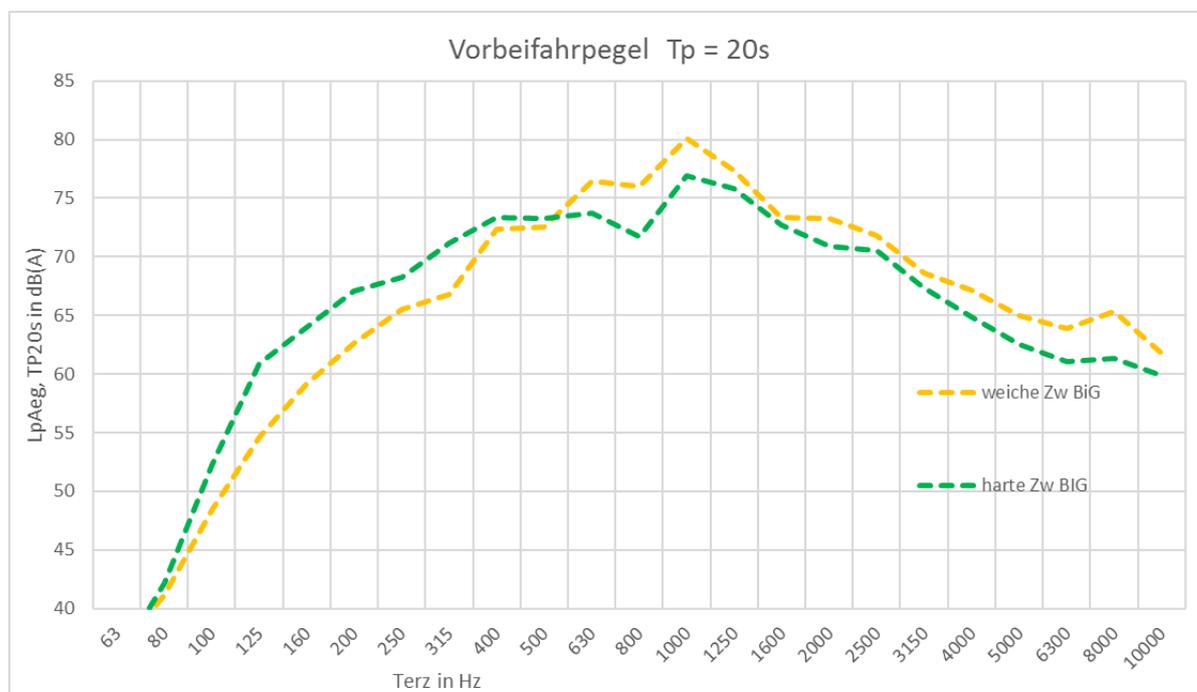
Auf dem alten SBB-Gleisoberbau mit B70-Schwellen und dem W14-Satz waren die Schienen weicher an die Schwellen gekoppelt, was zu höherem Schienenschall führte. Demgegenüber waren an den gemessenen Streckenabschnitten im Faktor\_X Projekt mit neuwertigen B91-Schwellen wahrscheinlich eher härtere Schienenbefestigungen montiert, entweder W3-Klemmungen mit 250 Nm oder 12.5 kN Klemmkraft oder die harten W30-Sätze.

### 7.3 Andere Alterungseinflüsse

Gleise mit B70-Schwellen wurden seit den 1970iger Jahren verbaut und liegen teilweise und bei guter Wartung 30 Jahre und länger. Neben der Zwischenlage verändern auch andere Elemente ihre Eigenschaften, so verliert der Schotter Dämpfung, die Befestigung wird weicher und damit der Schienenschall höher. Diese Parameter, wenn auch mit geringerem Einfluss, wurden in der Einschätzung der SBB ebenso wenig berücksichtigt.

## 8 Erkenntnisse aus aktuellen Messungen

PROSE hat im Jahr 2015 Messungen an Abschnitten mit weicher und harter Zw in Kerzers durchgeführt. In einem laufenden Projekt der BLS wurde gerade der Effekt beim Austausch von weichen Zw auf harte Zw untersucht. Wie erwartet, reduzieren harte Zw den A-bewerteten Vorbeifahrpegel um 1-2 dB, je nach Fahrzeugtyp und Ausgangslage. Dabei geht der Schienenschallanteil vor allem im Frequenzbereich oberhalb von 630 Hz zurück. Im tieffrequenten Bereich zwischen 100 und 315 Hz nimmt der Schallanteil der Betonschwellen bei harten Zw zu, da die Schwingungsenergie im gesamten ja konstant bleibt.



## 9 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen in sonRAIL aus den Jahren 2007 und 2008 kommen bezüglich Oberbautypen mit B70/B91 Schwellen zu einem anderen Ergebnis als die Untersuchungen der SBB aus 2016.

Beide Untersuchungen weisen jedoch nicht nach, dass die Betonschwelle B70 oder B91 hierfür Ursache ist, da die geringen Unterschiede in Geometrie und Masse (siehe auch A.1 und A.2) einen solchen Einfluss nicht vermuten lassen.

In beiden Untersuchungen wird die TDR als wesentlicher und messbarer Parameter verwendet, welcher die Dämpfung der Schiene beschreibt und mit dem Schallanteil der Schiene umgekehrt proportional zusammenhängt (geringe TDR = hoher Schienenschall).

Nach Einschätzung von Experten ist die Zwischenlage und die Klemmkraft massgeblich für die TDR verantwortlich, diese kann bei beiden Gleisarten mit B70 und B91 variieren.

Soweit Betonschwellen durch die Übertragung von Schienenschwingungen überhaupt zur Schallabstrahlung beitragen, äussert sich dies z.B. beim Umbau von weicher auf harter Zw durch einen höheren Anteil tieffrequentem Schall, also in einem für den A-Pegel weniger kritischen Bereich.

Die Ursache für das unterschiedlich hohe Rollgeräusch auf den betrachteten Oberbautypen mit B70 und B91 Betonschwellen liegt, wie bereits im letzten PROSE Bericht dargestellt, in der Gesamtsteifigkeit der Schienenbefestigung. Diese setzt sich aus Zwischenlage, Befestigung, Klemmkraft, Unterlegplatte und Alterungszuständen zusammen. Der Schienenschall wird zudem in einem höheren Frequenzbereich zwischen 630 und 1600 Hz abgestrahlt.

## 10 Literatur

- [1] *sonRAIL Projektdokumentation Teil 1-8 (Messkampagnen 2007 – 2009), BAFU, 2010*
- [2] *Oberbautypen mit Betonmonoblockschwellen B91/B70, PROSE Bericht 04-03-00753, 2013*
- [3] *Schlussbericht Schienenabsorber SBB, 2016*
- [4] Helmut Venghaus, SBB Bericht Nr. 24 – Accon – Faktor X, 2015
- [5] David Thompson – Railway Noise and Vibration, Handbuch, Elsevier 2009
- [6] Memo 04-04-01390 PROSE; Schienenbefestigung Betonschwellen B70 und B91, vom 28.08.2018
- [7] Vossloh Spezifikation W14 und W30HH
- [8] LeonardMoll B70 UIC60, UIC54\_2 und UIC 54
- [9] Vigier Rail B91 Spezifikation
- [10] SBB 5443 Wfp 3b, 6013 Skl
- [11] *PROSE 04-03-01718, Messung Schallabstrahlung B70 Betonschwellen, 03.12.2018*
- [12] *PROSE 04-03-01718, Zwischenbericht Meilenstein 3, Optimierte Betonschwelle, 12.12.2018*

## A Anhang

### A.1 Herstellungsverfahren und Anforderungen B91

#### B91/B06 FS

Betonsorte: Vibrier Beton, C 60/75

Herstellverfahren Abetong Langbett, Spätentschalung nach ca. 15 – 18h

Vorspannung: B91: 14 Spanndrähte d 5mm mit Direktverbund  
Vorspannung nach ca. 15 h eingeleitet  
Vorspannkraft: 340kN  
B06 FS: 16 Spanndrähte d 5mm mit Direktverbund  
Vorspannung nach ca. 15 h eingeleitet  
Vorspannkraft: 425kN

Anforderungen: 225 kN Achslasten  
200 km/h Geschwindigkeit  
Bemessungsmomente: +20 kNm (Schienenaufleger)  
-14 kNm und +11 kNm (Schwellenmitte)

Anforderungen: 225 kN Achslasten  
200 km/h Geschwindigkeit  
Bemessungsmomente: +20 kNm (Schienenaufleger)  
-14 kNm und +11 kNm (Schwellenmitte)

Prüfungen für Zulassungsprüfungen (Ausschnitt aus Tech. Spez SBB):

Obwohl in der EN-Normenreihe 13230 als obligatorisch bezeichnet, verzichten die SBB ausdrücklich auf die Durchführung der dynamischen Prüfung des positiven Biegemomentes im Querschnitt unter der Schiene. Im Gegenzug wird dafür die Anzahl der zu prüfenden Schwellen für das positive und das negative Biegemoment in Schwellenmitte zur Verbesserung der statistischen Aussagekraft angemessen erhöht.

Somit sind im Zulassungsverfahren nachfolgende Produktprüfungen durchzuführen:

- Statischer Versuch / Querschnitt unter der Schiene / Prüfung des positiven Bemessungsbiegemomentes an 6 Schwellen
- Statischer Versuch / Querschnitt in Schwellenmitte / Prüfung des negativen Bemessungsbiegemomentes an 6 Schwellen
- Statischer Versuch / Querschnitt in Schwellenmitte / Prüfung des positiven Bemessungsbiegemomentes an 6 Schwellen
- Statischer Versuch / Querschnitt unter der Schiene / Positives Bemessungsbiegemomente / Prüfung des Haftverbundes bei Laststufe "Fr" an 6 Schwellen (gleiche Schwellen wie bei Prüfung Bemessungsbiegemoment)

Prüflasten für Zulassungsprüfungen (Ausschnitt aus Tech. Spez SBB):

	Querschnitt	M	Prüfkraft	Kriterien	n
Statische Prüfung	unter Schiene	$M_{drt}$	$F_{r0} = 8 \times M_{drt} = 160 \text{ kN}$	$F_r > F_{r0} > 160 \text{ kN}$ Prüfung des Haftverbundes bei $F_r$	6
				$F_{r0,05} > k_{1S} \times F_{r0} > 288 \text{ kN}$	
				$F_{rB} > k_{2S} \times F_{r0} > 400 \text{ kN}$	
	Schwellenmitte	$M_{dc-}$	$F_{C0n} = 4 \times M_{dc-} / 1,4 = 40 \text{ kN}$	$F_{Crn} > F_{C0n} > 40 \text{ kN}$	3
				$F_{CBn} > k_{2S} \times F_{C0n} > 100 \text{ kN}$	
		$M_{dct}$	$F_{C0} = 4 \times M_{dct} / 1,4 = 31 \text{ kN}$	$F_{Cr} > F_{C0} > 31 \text{ kN}$	3
			$F_{CB} > k_{2S} \times F_{C0} > 78 \text{ kN}$		

Rissprüfungen bei Produktionskontrolle:

## A.2 Herstellungsverfahren und Anforderungen B70

Betonsorte:	Erdfeuchter Beton, C 60/75		
Herstellverfahren	Kippformfertiger, Sofortentschalung auf Brett		
Vorspannung:	4 x Spannstab d 9.4mm Vorspannung nach ca. 2 bis 7 Tagen Vorspannung mit Endverankerung (Haarnadel und Mutter/Glocke) Vorspannkraft: 320kN nachträgliche Initiierung von Mörtel um die Spannstäbe und stirnseitige Versiegelung mit Bitumen		
Anforderungen:	225 kN Achslasten ?? km/h Geschwindigkeit Zulassungsbedingungen aus Tech. Lieferbedingungen SBB von 1986:		
	Schienenaufleger: Anrissmoment		+21 kNm
	Moment bei Rissbreite 0.05mm	+34 kNm	
	Bruchmoment		+48 kNm
	Schwellenmitte: Anrissmoment		-13 kNm
	Moment bei Rissbreite 0.05mm	-17 kNm	
	Bruchmoment		-26 kNm

### A.3 Email David Tompson

Von: Thompson D.J. <djt@isvr.soton.ac.uk>  
Gesendet: Mittwoch, 4. April 2018 15:41An: Christian Czolbe Christian.Czolbe@prose.one  
Cc: 'Helmut Venghaus - S&V (helmut.venghaus@accon.de)' helmut.venghaus@accon.de  
Betreff: RE: sleeper depending track noise radiation - B70 B91

Dear Christian

Thanks for your email. I would not expect any noticeable difference in rolling noise due to sleeper type and certainly if the modal response is similar that suggests negligible effect on rolling noise.

The rail pad stiffness and its effect on TDR is likely to be the most important parameter. The preload from the rail fastener can affect this significantly and wear of pad or fastener can affect the preload.

The electrical insulators between the side of the rail fastener and the rail foot can also act as an extra stiffness in the system depending on whether the rail is in contact with them.

I would expect that the ballast stiffness can have some effect at low frequencies (e.g. differences between newly tamped track and heavily trafficked track) but I do not have any conclusive data on this effect.

In addition small differences in rail roughness (which are nothing to do with rail or sleeper type or fasteners) can lead to differences in noise between different sites. The lateral position of the contact patch on the rail head (affected by wear of the profiles) can also affect levels a little.

Our test section has UIC60 rails with Pandrol Fastclip fasteners. The sleepers are G44. It has a length of 33 m.

Best regards  
David

---

From: Christian Czolbe [Christian.Czolbe@prose.one]  
Sent: 04 April 2018 13:36  
To: Thompson D.J.  
Cc: 'Helmut Venghaus - S&V (helmut.venghaus@accon.de)'  
Subject: sleeper depending track noise radiation - B70 B91

Dear David,

Once we met on IWRN or CEN/TC 256 Meeting concerning railway noise.

Currently I'm working on one investigation regarding monobloc sleeper depending track noise radiation. The question is whether tracks with type B70 leads to more or less noise than the modern tracks with B91 sleeper?

As you may already know, both sleepers are similar in geometry, material and weight (~300kg) - they only differ in reinforcement type and preload.

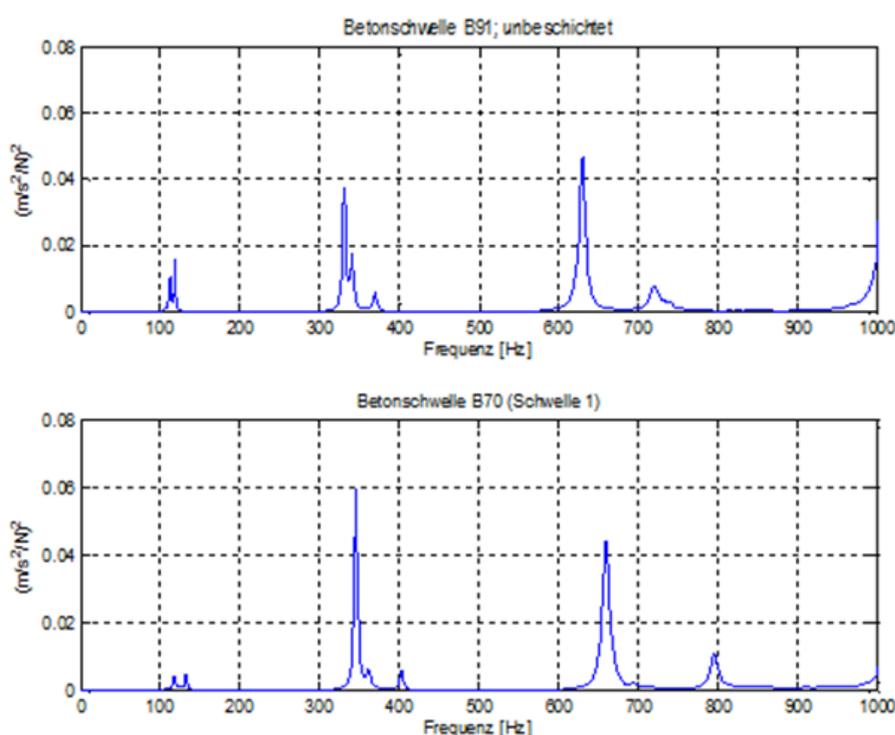
Ask different people and you may get different answers...

In the Swiss sonRAIL investigation (2007-2010) tracks with B70 and UIC54 were tested and to be found quieter than tracks with B91 and UIC60. I assume in this case the bigger rail web of UIC60 has a major impact on the higher track noise and not the sleeper type.

In the SBB investigation regarding rail dampers tracks with B70 and B91 sleepers were investigated in Factor X project of Helmut Venghaus. They found out that old tracks with B70 and UIC60 are 2-3 dB noisier than new tracks with B91 and UIC60. According to Helmut, this behaviour is controlled by the TDR and may have a number of different causes:

- Rail pad stiffness
- Rail pad thickness
- Preload
- Rail fastening system
- Sleeper dowels
- Ballast wear / ballast damping
- Sleeper type

Within a research project of Swiss FOEN we have measured the modal response of concrete sleepers in free-free situation some weeks ago. It's not surprising that the first 5 nodes of B70 and B91 are quite the same in frequency and damping loss – see picture below.



Hence, in my opinion we cannot blame the B70 sleeper for the higher track noise. I assume that the different TDR caused by the rail fastening system has mayor impact to the track noise. The monobloc sleepers and the ballast damping of older tracks my have a small influence on low frequencies.

May I ask you for your opinion on this issue?

Martin Toward just tested some rail pads regarding high frequency response in your test rig and he told me about your TDR section. What kind of sleepers do you have on your TDR test section?

Best regards

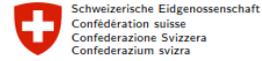
**Dr. Christian Czolbe**

Senior Engineer Acoustics & Fire Safety

## A.4 sonRAIL Messtellen Übersicht aus Projektdokumentation 1

**sonRAIL**

Lärmberechnung Eisenbahn



**Tabelle 3.2:** Zusammenstellung der Oberbauparameter der Rauheits- und Track Decay Rate Messungen

Randparameter der Messtellen										für Messung der Schienenrauheiten und Track Decay Rate									
Messstelle	Kilometer	Gleis	Oberbauart <sup>‡</sup>	Schwellentyp	Schienenart	Verlegeteart	Verlegeteart	Zwischenlage	Rauheitsmessung	Decay Rate Messung	Datum	Zwischenlagentemp.							
01	15.178	Nord	Stahl	SBB1	UIC 54 E2	AeK	1976	ISOL 87*	x		30.07.07	29.0°C							
01	15.178	Süd	Beton Monob.	B70	UIC 54 E2	W	1988	Zw664a**	x	x	30.07.07	29.0°C							
02	16.550	Nord	Stahl	SBB1	UIC 54 E2	AeK	1976	ISOL 87*	x		31.07.07	33.3°C							
02	16.550	Süd	Beton Monob.	B70	UIC 54 E2	W	1988	Zw664a	x	x	31.07.07	33.3°C							
03	16.825	Nord	Stahl	SBB1	UIC 54 E2	AeK	1976	ISOL 87*	x		03.08.07	18.7°C							
03	16.825	Süd	Beton Monob.	B70	UIC 54 E2	W	1988	Zw664a	x	x	03.08.07	18.7°C							
04	17.150	Nord	Stahl	SBB1	UIC 54 E2	AeK	1976	ISOL 87*	x		02.08.07	15.5°C							
04	17.150	Süd	Beton Monob.	B70	UIC 54 E2	W	1988	Zw664a	x	x	02.08.07	15.5°C							
06	25.940	Nord	Beton Bi-Block	SL 73	UIC 54 E2	Bi	1973	?	x		04.08.07	33.0°C							
06	25.940	Süd	Stahl	SBB1	UIC 54 E2	AeK	1999	ISOL 87*	x	x	04.08.07	33.0°C							
07	26.880	Nord	Beton Bi-Block	SL 73	UIC 54 E2	Bi	1973	?	x		06.08.07	30.2°C							
07	26.880	Süd	Stahl	SBB1	UIC 54 E2	AeK	1999	ISOL 87*	x	x	06.08.07	30.4°C							
08	42.150	Nord	Beton Bi-Block	SL 73	UIC 54 E2	Bi	1972	?	x		07.08.07	30.2°C							
08	42.150	Süd	Beton Monob.	B91	UIC 60 E1	W	1994	Zw687a**	x		07.08.07								
09	43.520	Nord	Beton Bi-Block	SL 73	UIC 54 E2	Bi	1972	?	x		07.08.07	30.2°C							
09	43.520	Süd	Beton Monob.	B91	UIC 60 E1	W	1994	Zw687a**	x	x	07.08.07								
12	49.100	Nord	Holz	-	UIC 54 E2	K	1976	keine	x		10.08.07	20.2°C							
12	49.100	Süd	Holz	-	UIC 60 E1	Ke	1998	Zw664a**	x	x	10.08.07	20.1°C							
13	38.734	Nord	Beton Monob.‡	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	x	x	22.05.07	16.2°C							
13	38.734	Süd	Beton Monob.§	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	x	x	22.05.07	16.1°C							
14	64.225	Süd	Beton Monob.¶	B91	UIC 60 E1	W	2002	Zw687a**	x	x	21.05.07	18.7°C							
15	45.816	Nord	Beton Monob.§	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	x	x	23.05.07	15.0°C							
15	45.816	Süd	Beton Monob.§	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	x	x	23.05.07	15.1°C							
33	38.734	Nord	Beton Monob.§	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	x	x	28.05.08	14.0°C							
33	38.734	Süd	Beton Monob.§	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	x	x	26.05.08	14.0°C							
34	64.225	Süd	Beton Monob.¶	B91	UIC 60 E1	W	2002	Zw687a**	x	x	26.05.08	18.3°C							
35	45.816	Nord	Beton Monob.§	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	x	x	27.05.08	20.2°C							
35	45.816	Süd	Beton Monob.§	B91	UIC 60 E1	Ws	2004	(weich)	x	x	27.05.08	20.1°C							
<b>Radrauhheiten</b>																			
Wagen	Wagennummer	Wagentypp	Anzahl Achsen	Position im Zugverband									Achsnr. im Zugverband	Bemerkungen					
1	473 4 115	Slimmpps	4	Wagen 8									33, 34, 35, 36	keine					
2	473 4 118	Slimmpps	4	Wagen 9									37, 38, 39, 40	keine					
3	473 4 146	Slimmpps	4	Wagen 10									41, 42, 43, 44	keine					
4	339 5 149	kps	2	Wagen 11									45, 46	Flachstelle 1. Achse, beide Räder					
5	339 5 125	kps	2	Wagen 12									47, 48	keine					
6	339 5 122	kps	2	Wagen 13									49, 50	keine					

‡ Alle Messtellen auf Schotteroberbau, ohne Schwellenbesohlung und Unterschottermatten

\* Statische Nennsteifigkeit  $\approx 200kN/mm^2$

\*\* Statische Nennsteifigkeit  $> 800kN/mm^2$

§ Unterbau: Asphalttragschicht, Schotterbettdicke  $> 35$  cm; Spannklemme: Skl 14, weiche Zwischenlage

¶ Unterbau: Asphalttragschicht, Schotterbettdicke  $> 20$  cm; Spannklemme: Skl 1, harte Zwischenlage (Hardomit)

## A.5 Stellungnahme zum Bericht SBB 18. Juli 2018

Von: Hafner Michael (I-AT-KBN-LR) <michael.hafner@sbb.ch>  
Gesendet: Mittwoch, 18. Juli 2018 13:41

Hallo Franz

Vielen Dank nochmals für deine Kommentare zu den Berichten. Wir haben diese ebenfalls (nochmals) gelesen und uns Gedanken gemacht, welche wir zur laufenden Diskussion gerne folgend beisteuern:

Der Bericht von Accon ist im Kontext der 28 Berichte zum Dämpferprojekt zu lesen. Jakob hat eine entsprechende Synthese dazu geschrieben, die ich dir nochmals beilege. Dabei wird klar, dass die Unterscheidung zwischen B70 und B91 aus den netzweiten TDR Messungen zufällig gefunden wurde. Bei den TDR Messungen durch M-BBM wurden die Standorte nur nach Beton-, Holz- und Stahlschwelle, sowie unterschiedlichen Zwischenlagenhärten unterschieden. Erst bei der späteren Analyse wurde entdeckt, dass es zwei Gruppen von TDR gibt, welche mit dem Betonschwellentyp korrelieren. Damit ist noch kein kausaler Zusammenhang bewiesen, wie du ebenfalls richtig feststellst. Vgl. p.26 Abbildung 6.2.4 und Text dazu im zusammenfassenden Bericht.

Die unterschiedlichen TDR Gruppen für B70 und B91 konnten durch die Accon-Messungen bestätigt werden. Vgl. Abb. 21 und 22 p.16. Die beiden Schwellentypen zeigen ein unterschiedliches Schwingungsverhalten auch abhängig von der Messposition auf der Schwelle.

Deine Feststellungen zu den Unsicherheiten in Bezug auf die Ursachen der Differenzen zwischen B70 und B91 (Befestigung, Klemmkräfte) teilen wir und entsprechen den Aussagen zu den Wissenslücken 9 (p.52) und 10 (p.55) im beiliegenden Synthesebericht.

Wie wir es im Moment verstehen, hat Prose eine Experimentelle Modalanalyse an zwei B70 und B91 Schwellen im Labor vorgenommen. Dabei wurden die Schwellen elastisch gelagert. Vergleichbar ist das Vorgehen etwas mit den TDR-Messungen der Schienen im Parkplatztest. Was wir aus dem kurzen Abschnitt nicht erkennen können: wo wurde die Schwelle angeregt und wo war der Schwingungsaufnehmer platziert? I.d.R. werden bei einer Modalanalyse verschiedene Positionen erfasst. Aus den Messungen von Accon kann vermutet werden, dass die Impulsantwort nahe bei der Schiene bei der B91 und B70 für die Amplituden einen markanten Unterschied zeigen sollten. Am äusseren Ende der Schiene wären die Unterschiede klein. Durch eine Modalanalyse (dies wurde auch im OST-Modell gezeigt) können die Eigenfrequenzen relativ gut diagnostiziert werden. Hingegen ist die Bestimmung der Amplituden der Transferfunktion mit grossen Unsicherheiten behaftet. Alleine aufgrund einer Modalanalyse der Schwelle scheint es uns deshalb schwierig, das unterschiedliche akustische Potential der Schwelle im Gesamtsystem zuverlässig erfassen zu können. Während in der Modaltheorie lineare Zusammenhänge genutzt werden, sind die Eigenschaften schwingungsfähiger Systeme in der Praxis darüber hinaus nichtlinear. Der Einsatz der experimentellen Modalanalyse ist demnach limitiert. Die geplanten Messungen werden hier aber sicher weitere wichtige Erkenntnisse liefern.

Die Analysen der Berichte im Zusammenhang mit dem Dämpferprojekt und auch anderer Berichte (z.B. Prose) zeigen, dass das gemeinsam nun angegangene Vorgehen einer geführten Interaktion zwischen 1) Labor mit den simulationstechnischen Möglichkeiten und 2) Messungen im realen Umfeld ein Weg sein könnte, um mit den Varianzen und Unsicherheiten besser umgehen zu können und aus den diagnostizierten Symptomen die richtigen kausalen Zusammenhänge bestimmen zu können. So wie die akustische Auswirkung des Schwellentyps nur im Gesamtsystem (z.B. Befestigung, Zwischenlage) verstanden werden kann, ist der Einfluss der USP in der Interaktion mit den anderen Parametern zu bestimmen.

Wir sind überzeugt, dass das gewählte Vorgehen und die dabei geführten Diskussion uns helfen werden, das Potential von Oberbaumassnahmen besser erkennen und bestimmen zu können.

Danke dafür und beste Grüsse  
Michi und Jakob

Michael Hafner  
Wissenschaftlicher Fachexperte  
MSc ETH Umwelt-Natw | CAS Corp Comm

## A.6 Antwort PROSE 28.08.2018

Sehr geehrter Herr Kuster,

ich habe eine kurzes MEMO [6] zu der u.g. Problematik und den neuesten Erkenntnissen verfasst. Sie haben ja den Faktor\_X Bericht sorgfältig studiert und noch ein paar Ungereimtheiten aufgedeckt. Unsere Modalanalysen haben wir sowohl an der Betonschwelle frei-frei als auch im Schotterbett mit/ohne Schiene durchgeführt. Sie dienen dem Aufbau eines gesamten Gleismodells. Es wurde immer an einer Ecke angeregt und an mindestens 22 Positionen gemessen. Wir wollen damit keine Transferfunktionen bestimmen sondern die modalen Schwingungen und Dämpfungen.

Ich bin morgen zwei Tage in Wien im Rahmen unseres Zwischenlagenprojekts. Die beiden Berichte zu sonRAIL Transferfunktionen und Oberbautypen mit USP sind noch in Arbeit, ich komme leider nicht dazu.

Viele Grüsse  
C.Czolbe

## A.7 Antwort SBB 18.09.2018

Rückmeldung M. Hafner SBB vom 18.9.2018:

Ich hab mich zum Memo von Prose bei den Spezialisten von Fahrweg erkundigt, ob diese Befestigungen sich geändert haben bei den Messorten für die TDR.

Die Antworten folgend:

- Die Aussage von Prose im Kapitel 2 bzgl. Spannklemmen ist falsch: bis 2016 war Sk11 unser Standard sowohl für B70 wie B91.
- Auch die Schienenzwischenlagen sind immer die gleichen geblieben und sind aus EVA. Die EVA-Zwischenlagen werden mit der Zeit zwar härter, jedoch werden diese im Laufe der Liegedauer der Betonschwellen mehrmals ausgewechselt.
- Auf dem SBB-Netz sind den kontaktierten Fachleuten nur die Betonschwellen B70 von Vigier Rail bekannt. Die B70 N von Leonard Mohl sind bisher in der Schweiz nicht zugelassen und sind nicht identisch zu unseren alten B70.
- Die Schwellen B91 und B70 sind unter anderem anders armiert und vorgespannt. Das Fertigungsverfahren ist auch unterschiedlich. Die mechanischen Eigenschaften wie zum Beispiel die Steifigkeiten sind deshalb unterschiedlich.

Es gibt Änderungen bei der Befestigung neueren Datums:

- Die Winkelführungsplatten waren ursprünglich aus Stahl. Zwischen der Winkelführungsplatte und die Betonschwelle ist eine dünne Zwischenlage aus Elastomere vorhanden, damit die Winkelführungsplatte den Beton nicht verletzt.
- Jetzt sind die Winkelführungsplatten aus Polyamiden.

## A.8 Fazit BAFU mit Kommentaren von PROSE:

Aussagen zu den Spannklemmen scheinen nicht korrekt zu sein.

Antwort PROSE:

*Nach unseren Informationen wurden B70 Schwellen ausschliesslich mit W14 Klemmungen ausgestattet. Nach Informationen der SBB wurden an den B70 Schwellen bis 2016 standardmässig SKL 1 Klemmungen verbaut.*

*Eine W14 und eine W3 (SKL 1) Befestigung ist nach den Informationen von Vossloh als weich einzustufen und damit sind sie bei gleichwertiger Zwischenlage hinsichtlich Ankopplung der Schiene an der Schwelle vergleichbar.*

*Es ist daher akustisch irrelevant, ob eine W14 Klemmung oder W3 (SKL 1) Klemmung verwendet wird, da beide Klemmungen ähnliche Spannkraften aufweisen.*

*Die W30 Klemmung ist hingegen eine harte Klemmung und führt zu einer besseren Ankopplung der Schiene bzw. zu geringerem Luftschall. Werden also Vorbeifahrermessungen an Oberbautypen mit unterschiedlich harter Klemmung durchgeführt, so können die Messwerte aus diesen Gründen abweichen.*

Zum Drehmoment sagt er nichts

Antwort PROSE:

*Das wird für das jeweilige System spezifiziert und kann maschinell bei einem Neubau oder Wartung hergestellt werden. Beobachtungen über die Änderung vom Drehmoment wurden bisher von Vigier Rail und einigen Fachexperten gemacht.*

B70-Schwellen scheint nicht gleich B70-Schwelle zu sein (VigierRail – Leonard Moll)

Antwort PROSE:

*Richtig, die Systeme sind nie 100% identisch, allerdings beruht der B70 Typ auf einem international entwickelten und spezifizierten Design, daher sind die Unterschiede von Geometrie, Masse und Steifigkeit zweier Betonschwellen des Typs B70 von VigierRail und Leonard Moll sehr klein, sodass auch das modale Schwingungsverhalten als gleichwertig betrachtet werden kann.*

*Die Zulassung einer Schwelle sagt nur wenig über ihre technischen Eigenschaften aus, wahrscheinlich wurden aber gleiche Prüfnormen (EN, DIN, SN) verwendet. Bei der Leonard Moll Spezifikation ging es schlussendlich nur um einen Quellennachweis einer Information, die bei Vigier Rail nicht vorhanden war.*

Alterung der Zwischenlagen mit beschränkter Bedeutung, da diese im Laufe der Zeit ersetzt werden

Antwort PROSE:

*Beim Vergleich zweier Messstandorte ist das Alter bzw. die Steifigkeit der Zwischenlage sehr wohl von Bedeutung. Eine harte Zw 687a mit 700 kN/mm wird mit zunehmendem Alter immer weicher, damit nimmt der Schienenschall nach einigen Jahren zu.*

*Die Intervalle für den Wechsel der Zwischenlagen sind uns nicht bekannt, sie hängen allerdings mit der Streckennutzung zusammen. Wenn an einer stark befahrenen Güterverkehrsstrecke Wartungsarbeiten im 5 Jahrestakt durchgeführt werden, so kann dies auf Personenverkehrsstrecken durchaus 10 Jahre und mehr betragen. Wieviel Jahre sind "im Laufe der Zeit" bei der SBB?*