

BAFU-Bahnlärmforschung 2016: Radschallabsorption und Entkoppelung von Wagenaufbauten Schlussbericht

Dokument Nr. 940004099



Schrey & Veit GmbH
Graf-von-Sponheim-Str. 2
D-55576 Sprendlingen

Im Auftrag der
Schweizerischen Eidgenossenschaft

Tel +49 (0)6701 205 84 - 0
Email info@sundv.de

Unter Mitwirkung von
Thomas Gerlach (GHH-Radsatz)
Christoph Becker (WASCOSA)
Marc Wiemers (AB Wiemers)

Bericht
Rev. 1
Datum

Autor
C. Gramowski
05.12.2017

Geprüft
S. Jung
06.12.2017

Freigegeben
G. Veit
06.12.2017

Revision	Datum	Name	Beschreibung
0	30.11.2017	C. Gramowski	Erstentwurf
1	06.12.2017	C. Gramowski	Titelblatt ergänzt

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	3
Abkürzungsverzeichnis.....	4
1. Zusammenfassung.....	5
2. Einleitung.....	6
3. Ausgangslage zu diesem Projekt	7
4. Projektplan	8
5. Untersuchte Radsätze, Fahrzeuge und Wagenaufbauten.....	10
5.1 Radsätze	10
5.2 Containertragwagen.....	12
5.3 E-Behälter des Wascosa flex freight system®.....	12
6. Arbeitspaket Radsätze BA 308	12
6.1 Überarbeitung des Techn. Handbuches / TSI-Konformität / Zulassung in der Schweiz....	12
6.2 Analyse ZfP-Prüfbarkeit.....	13
6.3 Produktion Radsätze.....	14
6.4 Impedanz- / Akzeleranzmessungen	15
7. Arbeitspaket Radschallabsorber (RSA) VICON RASA.....	17
8. Arbeitspaket Entkoppelung Aufbau <-> Wagen.....	17
9. Arbeitspaket Nutzenmessungen	21
9.1 Organisation	21
9.2 Fahrzeuge: Radrauheiten	23
9.3 Gleis: Schienenrauheit und TDR.....	24
9.4 Ergebnisse Vorbeifahrt Grade	26
9.5 Ergebnisse Vorbeifahrt Bogen.....	28
10. Nachbereitung.....	29
10.1 Wirtschaftlichkeit	29
10.2 Handlungsempfehlungen	31

11.	Literatur.....	32
12.	Anhang.....	33
12.1	Ansicht der Messstellen der Nutzenmessung.....	33
12.2	Impressionen der Nutzenmessungen.....	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Rad der BA 308 (CAD-Modell der GHH-Radsatz)	10
Abbildung 2:	Laufratsatz der BA 308 inkl. Radschallabsorber VICON RASA RSI und Beschichtung Relest® SA NG.....	10
Abbildung 3:	Beschichtete RS.....	14
Abbildung 4:	Beschichtete RS.....	14
Abbildung 5:	Beschichtung der RS.....	15
Abbildung 6:	Montierte RS fertig zur Auslieferung	15
Abbildung 7:	Messung der RS-Impedanz	15
Abbildung 8:	Radmessung: Akzeleranzen in axialer Richtung.....	16
Abbildung 9:	Radmessung: Akzeleranzen in radialer Richtung.....	16
Abbildung 10:	Ansicht der RSA.....	17
Abbildung 11:	E-Behälter-Impedanzmessung - Ansicht 1	17
Abbildung 12:	E-Behälter-Impedanzmessung - Ansicht 2	17
Abbildung 13:	E-Behälter-Impedanzmessung – Messorte	18
Abbildung 14:	E-Behälter-Impedanzmessung – Messaufbau	18
Abbildung 15:	Impedanzspektrum 60'-E-Behälter	18
Abbildung 16:	Impedanzspektrum 30'-E-Behälter	18
Abbildung 17:	Spuren der E-Behälter-Kontakte auf Längsträger.....	19
Abbildung 18:	Spuren der E-Behälter-Kontakte auf Längsträger.....	19
Abbildung 19:	Ansicht eines Druckversuches.....	20
Abbildung 20:	Ergebnis eines Druckversuches (Beispiel).....	20
Abbildung 21:	Einbauprobe Containerzapfen – Draufsicht.....	20
Abbildung 22:	Einbauprobe Containerzapfen – Seitenansicht.....	20
Abbildung 23:	Auslegen der Elastomerstreifen (dunkelgrün) auf den zwei CTW-Längsträgern.....	21
Abbildung 24:	Elastomerstreifen (dunkelgrün) auf CTW-Längsträgern.....	21
Abbildung 25:	Skizze des Messzuges (Messort Gerade)	22
Abbildung 26:	Anschlussgleis in Zeven (nicht für Messungen genutzt).....	22
Abbildung 27:	Gleisbogen für Kurvengeräuschmessungen im Bf. Zeven (Han).....	22
Abbildung 28:	Skizze des Messzuges (Messort Gleisbogen)	22
Abbildung 29:	Radrauheiten: Beispiel für glatte Räder.....	24
Abbildung 30:	Radrauheiten: Beispiel für raue Räder.....	24
Abbildung 31:	Ergebnis Radrauheiten (Indikator).....	24
Abbildung 32:	Schienenrauheit - Messstelle Mulmshorn	25
Abbildung 33:	Schienenrauheit - Ergebnisse Projekt sonRAIL	25
Abbildung 34:	Schienenrauheit - Messstelle Bf. Zeven (Bogen)	25

Abbildung 35: TDR an der Messstelle Mulmshorn.....	25
Abbildung 36: TDR an der Messstelle Bf. Zeven (Bogen)	25
Abbildung 37: TDR – Ergebnisse Projekt sonRAIL	26
Abbildung 38: Luftschallpegel bei 80 km/h (Gerade).....	26
Abbildung 39: Luftschallpegel bei 100 km/h (Gerade).....	26
Abbildung 40: Bogenfahrt: Schalldruckpegel-Frequenz-Zeit-Verlauf (Beispiel).....	28
Abbildung 41: Lageplan der Messstelle "Mulmshorn" (Basis: GoogleMaps).....	33
Abbildung 42: Lageplan der Messstelle "Gleisbogen" und der Ladegleise (Basis: GoogleMaps)	34
Abbildung 43: Ansicht der Messstelle Mulmshorn	35
Abbildung 44: Sichern eines Bahnüberganges	35
Abbildung 45: Elastomer unter Containerzapfen.....	35
Abbildung 46: Geladene Bestensteine - die Seitenwände werden nicht berührt	35
Abbildung 47: Bestensteine-Zwischenlager auf Ladestraße	35
Abbildung 48: Messzug im Gleisbogen	35
Abbildung 49: Umsetzen der 30'-E-Behälter	35

Die Abbildungen (Fotos) stammen auch von den Mitwirkenden an diesem Bericht

Abkürzungsverzeichnis

ABW	Akustik-Beratung Wiemers, D-Berlin
APL	Axle per length (Vergleichswert der Achsen pro Fahrzeuglänge)
BAFU	Bundesamt für Umwelt, CH-Bern
BAV	Bundesamt für Verkehr, CH-Bern
CAX	Computer Aided Technology
CTW	Container-Tragwagen, falls nicht anders angegeben: Bauart CTW light der JMR
CTW_opt	CTW mit den in diesem Projekt analysierten Maßnahmen (Kapitel 10)
ECM	Entity in Charge of Maintenance (für die Instandhaltung verantwortliche Stelle)
EIU	Eisenbahninfrastruktur-Unternehmen
EVB	Eisenbahn- und Verkehrs-Betriebe, D-Zeven (Han)
EVU	Eisenbahnverkehrs-Unternehmen
FFS	WASCOSA flex freight system
GHH-Radsatz	Gutehoffnungshütte Radsatz GmbH, D-Oberhausen
JMR	Josef Meyer, CH-Rheinfelden
NNTV	National Notifizierte Technische Vorschrift

RS	Radsatz, falls nicht anders angegeben: Bauart BA 308
RSA	Radschallabsorber, falls nicht anders angegeben: Bauart VICON RASA RSI
S&V	Schrey & Veit GmbH, D-Sprendlingen
VPI	Verband der Güterwagenhalter in Deutschland e. V.
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfung

1. Zusammenfassung

Im Rahmen der Schweizer Bahnlärmforschung 2016, ausgeschrieben durch das Bundesamt für Umwelt, wurden an einem Containertragwagen akustische Optimierungen erprobt und der Nutzen validiert. Es wurden Radsätze der Bauart BA 308 der GHH-Radsatz, mit Radschallabsorbern VICON RASA RSI der Schrey & Veit, ebenso wie eine elastische Entkoppelung des Wagenaufbaus erprobt. Der Wagenaufbau bestand aus „E-Behältern“ des WASCOSA flex freight systems®.

Das Projekt wurde durch Schrey & Veit (Projektleitung) und die Subunternehmer WASCOSA, GHH-Radsatz und Akustikberatung Wiemers im Zeitraum vom 01.09.2016 bis 31.08.2017 durchgeführt.

An den Wagen wurden statische Vormessungen zur Auslegung der elastischen Entkopplung durchgeführt. Diese wurde anschließend als Unterlage unter den aktiven Containerzapfen (konstruktiv angepasst) für zwei Wagen produziert.

Die Radsätze wurden mit der weiterentwickelten Beschichtung Relest© SA NG beschichtet. Für die beschichteten Radsätze inkl. der Radschallabsorber wurden weitere Nachweise der Zerstörungsfreien Prüffähigkeit geführt. Ebenso wurden die notwendigen Konformitätserklärungen zur TSI WAG eingeholt.

Somit wurde das Projektziel der marktfähigen Serienreife der Radsätze für Wagenneubau und -nachrüstung (in bestehende Drehgestelle) erreicht.

Zwei Containertragwagen der Bauart Sgnss wurden mit den Radsätzen BA 308 ausgestattet. Zusammen mit zwei baugleichen, unveränderten Wagen wurde ein Messzug gebildet. Auf einer Strecke der Eisenbahn- und Verkehrs-Betriebe EVB bei Mulmshorn wurden Vorbeifahrtmessungen nach DIN EN ISO 3095 durchgeführt. Die Gleisverhältnisse (Schienenrauheit und Gleis-Abklingrate) sind hier repräsentativ für Schweizer Verhältnisse.

Es zeigen sich durch die optimierten Radsätze inkl. Radschallabsorber eine Luftschall-Reduktionen um ca. 4 dB (Wagen leer) bzw. 2.5 dB (Wagen mit leerem E-Behälter beladen). Aus den vorliegenden Ergebnissen ergibt sich keine technische Begründung für diese unterschiedlichen Differenzen. Da die Messunsicherheit ca. 1 dB beträgt und (für die jeweilige Konstellation) die Vorbeifahrt-Absolutpegel nur gering variieren, ist ein akustischer Nutzen sicher nachgewiesen. Der Nutzen der E-Behälter-Entkoppelung ist nicht sicher zu quantifizieren, da die gemessenen Schallpegeldifferenzen im Bereich der Messunsicherheit liegen.

Im Gleisbogen (hier: Bogenradius ca. 220 m) zeigen sich bei keiner der geprüften Fahrgeschwindigkeiten entsprechende Bogengeräusche. Bei den im selben Zug mitgeführten, unveränderten Referenzwagen traten ab ca. 20 km/h Quietschgeräusche auf. Somit kann die Radsatz-Radschallabsorber-Kombination als Grund der Vermeidung entsprechender Geräusche angesehen werden.

Somit wurde das Projektziele aus akustischer Sicht, die Vermeidung von Bogengeräuschen, erreicht. Das weitere Projektziel, die Schallreduktion im mindestens 3 dB, ist für den unbeladenen Wagen vollständig und für den „Wagen mit leerem E-Behälter“ annähernd erreicht worden.

Durch die (bei der hier getesteten Bauform) ermittelte geringe Schallreduktion der Entkoppelung sind weitere akustisch-schwingungstechnische Entwicklungsarbeiten notwendig. Daher muss anschließend auch die Konstruktion hin zu einer seriellen Anwendung noch weiterentwickelt werden. Dieses Projektziel ist hier nicht erreicht worden.

2. Einleitung

Um die weitere Reduktion des Bahnlärms in der Schweiz zu unterstützen, hat das Bundesamt für Umweltschutz (BAFU) in 2016 entsprechende Forschungsleistungen für fahrzeug- und fahrwegseitige Maßnahmen ausgeschrieben. Im Fokus steht dabei der Güterverkehr, da diese Wagen (auch nach der Bremssohlen-Umrüstung) typischerweise höhere Schallpegel als Personenwagen aufweisen.

Die Projektergebnisse sollen daher möglichst auf dem gesamten Schweizer Bahnnetz einsetzbar sein und ihre akustische Wirkung entfalten.

Die Firma Schrey & Veit (S&V) hat sich zur praktischen Erprobung von optimierten Güterwagen-Radsätzen (RS) mit Radschallabsorbern (RSA) und elastischen Entkoppelungen von Wagenaufbauten auf diese Ausschreibung beworben. Die Entkoppelung soll dabei auf sog. „E-Behälter“ des flex freight systems © (FFS) der WASCOSA wie auch andere containerartige Aufbauten anwendbar sein.

Als Subunternehmen wurden die folgenden Partner eingebunden:

- WASCOSA (u. a. Gestellung Wagen und FFS-Behälter, Organisation Umbauten, Projektsupport)
- GHH Radsatz (u. a. RS-Produktion, Zulassung)
- AB Wiemers (u. a. Auslegung Entkopplung, Durchführung Messungen)

Die drei folgenden Oberziele wurden definiert:

- Erreichen der Anwendungsreife des kompletten RS BA 308 inkl. der RSA VICON RASA RSI
- Erreichen der Anwendungsreife einer elastischen Entkoppelung von E-Behältern des FFS
- Messtechnische Validierung des akustischen Nutzens beider Maßnahmen in Bezug auf Roll- und Kurvengeräusch zur Anrechnung z. B. in lärmabhängigen Trassenpreissystemen (laTPS)

Weitere, für die Markteinführung notwendige Unterziele, wurden wie folgt definiert:

- Beschichtung der Räder und der RS-Welle mit dem eingeführten Produkt Relest® SA NG der Fa. AkzoNobel; diese soll auch zur Reduktion der Life Cycle Costs (LCC) beitragen.
- Weiterentwicklung der RSA durch die S&V hinsichtlich der Montierbarkeit, des Korrosionsschutzes und der akustischen Wirksamkeit.
- Test der ZfP-Prüfbarkeit anhand von definierten Testfehlern ohne/mit Relest® SA NG inkl. Erstellung einer ZfP-Prüfanweisung
- TSI-Zulassung des Radsatzes BA 308 nach TSI WAG
- Überarbeitung des „Technischen Handbuchs für das Wartungspersonal“ der RS
- Nachweis des akustischen Nutzens der finalen konstruktiven Lösungen durch folgenden Vorbeifahrtmessungen:
 - o bei Gleisen mit Abklingraten, die dem Schweizer Bahnnetz entsprechen,
 - o im direkten Vergleich zum Rad BA 004 bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten nach TSI NOI,
 - o bei beladenem und leerem Fahrzeug,
 - o bei beladenem und leeren E-Behälter und
 - o bei Durchfahren von Gleisbögen (Kurvengeräusche).

Das Ziel war eine Schallpegelreduzierung von > 3 dB gegenüber baugleichen Wagen mit RS BA 004 in den jeweiligen Beladungszuständen. Das Verfahren der Entkoppelung kann grundsätzlich auch auf andere Aufbauten übertragen werden, die Validierung ist hier jedoch allein für den E-Behälter des FFS geplant.

Dieser Schlussbericht enthält zu einigen Themen eine zusammenfassende Darstellung, weitere technische und organisatorische Details können den entsprechenden Projekt-Zwischenberichten entnommen werden.

3. Ausgangslage zu diesem Projekt

Im Verbundprojekts „Leiser Zug auf realem Gleis“ (LZarG, initiierten vom Forschungsverbund Leiser Verkehr, Laufzeit Dez. 2008 – Nov. 2010, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie mit dem Förderkennzeichen 19U7020E) wurden von der GHH-Radsatz im Teilprojekt B2 „Schalltechnische Strukturoptimierung von Eisenbahnfahrwerken“ umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an einem lärmoptimierten Güterwagenrad mit RSA durchgeführt.

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten hierzu wurden von der GHH-Radsatz selbst und zum Teil von der TU Dresden im Unterauftrag für die Entwicklung des Güterwagenradsatzes, des schalltechnisch strukturoptimierten Personenfahrzeugrades sowie eines CAX Prozesses zur Entwicklung von lärmarmen Komponenten und von S&V zur Entwicklung von temperaturresistenten RSA für den Güterwagenradsatz durchgeführt.

Es wurden mit 12 Güterwagenradsätzen, ausgerüstet mit RSA von S&V, Feldversuche (Messungen der akustischen Eigenschaften bei Vorbeifahrtmessungen) im August 2010 durchgeführt. Nach weiterer Optimierung der RSA auf Basis der Ergebnisse der ersten Feldversuche erfolgte eine zweite Messkampagne zum Nachweis der akustischen Eigenschaften im April 2011.

Die Senkung des Vorbeifahrtgeräusches des entwickelten Güterwagenradsatzes mit RSA gegenüber dem Referenzradsatz (BA 318 ohne RSA) lag bei ca. 3.5 dB (gemittelt über alle Frequenzen) [1].

Für die Kombination des entwickelten Güterwagenradsatzes mit RSA mit den anderen in LZarG erarbeiteten Maßnahmen konnte für den Fall „Gedämpfte RS im Drehgestell DRRS 25L auf gedämpften Gleis“ eine Wirkung von ca. 4.5 bis 5 dB bei den Messfahrten [1] ermittelt werden.

Damit wurde das Ziel der akustischen Wirksamkeit für den Güterwagen-RS erreicht.

Die RS BA 308 mit RSA wurde nach Projektende einer mehr als 3-jährigen (Juni 2011 – Anfang 2015, Laufleistung 150 – 170 tkm) Betriebserprobung unterzogen. Die Erprobung wurde in Güterwagen der Bauart Tanoos 896 mit DRRS 25 mit LL- und K-Sohle durchgeführt. Die Wagen wurden im Pendelverkehr Zielitz – Hamburg (Ladegut: Kalisalzl) der DB Cargo (vormals DB Schenker Rail Deutschland AG), Marktbereich Chemie eingesetzt.

Die Zulassung nach TSI WAG wurde nach einem Jahr Betriebserprobung erlangt.

Innerhalb des Betriebserprobungszeitraums traten keine Schäden an den Vollrädern und ihrer Komponenten auf. Die grundsätzliche betriebliche Eignung wurde nachgewiesen.

Auf Grund des aggressiven Ladegutes (Kalisalz) trat Korrosion im Bereich der RSA-Träger selbst und auch im RSA-Montagebereich des Vollrades auf. Mittels Zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) konnte nachgewiesen werden, dass sich in diesem Bereich keine Risse entwickelt haben.

Durch die Projektpartner wurden Möglichkeiten zur Lösung der Fragen zu einem optimierten Korrosionsschutz durch zum Beispiel den Einsatz einer Dickschichtbeschichtung und einer Verbesserung der RSA selbst und der Demontierbarkeit aufgezeigt.

Diese Modifikationen / Optimierungen erfordern jedoch erneute Akustikmessungen und eine Anpassung der Dokumentation. Die Serienreife kann durch eine Wiederholung der Betriebserprobung nachgewiesen werden. Diese Tätigkeiten sollen in dem hier vorgestellten Projekt durchgeführt werden.

4. Projektplan

Ein Projektplan wurde zur Bearbeitung vereinbart und mit dem Angebot zusammen eingereicht. Entsprechende Zeitrahmen und Verantwortlichkeiten für die einzelnen Arbeitsschritte sind ebenfalls angegeben. Farblich sind die verschiedenen Arbeitsgebiete

- RS BA 308
- RSA VICON RASA
- Entkoppelung Aufbau <-> Wagen
- Nutzenmessungen

gekennzeichnet.

Die ursprüngliche Version wurde im Laufe des Projektes aus unterschiedlichen Gründen aktualisiert. Die finale Version, datiert auf den 7. Juli 2017, ist in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Projektplan in finaler Version

Nr.	Teilaufgabe / Arbeitspaket	Projektpartner	
		Projektpartner	Ort
1.	Sitzungen (Vorschläge), Meilensteine (MS)		
1.1	Telko Vorbereitung / Detailaufgabenverteilung	Alle	Telko
1.2	Sitzung "KickOff"	Alle	BAFU
1.3	Sitzung "MS1": Abschluss Entwicklung / Stand Zulassung	Alle	GHH
1.4	Sitzung "MS2": Abschluss Produktion, Stand Vorbereitung Messfahrten	Alle	BAFU
1.5	Sitzung "Projektabschluss"	Alle	BAFU
1.6	MS 1: - Entwicklung (RS, RSA, Relest, Entkoppelung) abgeschlossen - Zulassung in Arbeit, Ende bis Start Testfahrten absehbar	Alle	/
1.7	MS 2: - Produktion / Herstellung abgeschlossen - Zulassungen liegen vor - Organisation Messfahrten fortgeschritten - Messprogramm detailliert - Entkoppelung: Testeinbau bei Wagenmieter erfolgreich abgeschlossen	Alle	/
1.8	MS 3: - Einbau abgeschlossen - Messkampagne in Durchführung	Alle	/
1.9	MS 4 bei Projektabschluss: - Gesamtergebnisse liegen vor - RS+RSA-IH-Dokumente erstellt - Offene Punkte definiert	Alle	/
2.	Durchführung		
2.1	Radsätze BA308		
2.1.1	Aktualisierung Technisches Handbuch inkl. Aufarbeitungsrichtlinien/Entlackungsanweisung (Zuarbeit von BASF, Wascosa)	GHH	/
2.1.2	Verlängerung TSI-Konformität, Zulassung in der Schweiz	GHH	/
2.1.3	Analyse ZFP-Prüfbarkeit mit/ohne RSA, jeweils mit/ohne Relest, durch Einbringen von Testfehler	GHH	tdb
2.1.4	Produktion RS (Angebot GHH: Lieferzeit 7-8 Monate inkl. Relest)	GHH	GHH
2.1.5	Einbau RSA in RS (vor Aufbringen Relest)	GHH/S&V	GHH
2.1.6	Impedanzmessung RS+RSA (Abgleich mit Probemessung 11/2014)	S&V	GHH
2.1.7	Impedanzmessung RS+Relest	S&V	DB Wittenberge
2.1.8	Aufbringen Relest	GHH	GHH
2.1.9	/	/	/
2.1.10	Impedanzmessung RS+RSA+Relest vor Einbau in Wagen (Abgleich mit Probemessung 11/2014)	S&V	RailMaint
2.1.11	Transport einbaufertiger RS+RSA+Relest zu Testwagen	GHH	Ziel: RailMaint
2.2	Radschallabsorber (RSA) VICON RASA		
2.2.1	Zeichnungsänderung: Federdicke, Oberfläche	S&V	S&V
2.2.2	Anpassung Aufarbeitungsrichtlinien --> Zuarbeit GHH	S&V	S&V
2.2.3	Produktion RSA	S&V	S&V
2.3	Entkoppelung Aufbau <-> Wagen		
2.3.1	Impedanzmessungen an 60'- und 30'-Behälter, Parameterrechnung	ABW (S&V)	tdb
2.3.2	Produktrecherche	ABW/S&V	ABW/S&V
2.3.3	Konstruktion versch. Material-Alternativen	ABW/S&V	/
2.3.4	Herstellung / Einkauf versch. Material-Alternativen	ABW/S&V	/
2.3.5	Klärung von Zulassungsfragen (Testeinsatz), ggf. Sicherheitsbewertung	WASCOSA	/
2.3.6	Impedanzmessungen zur Auswahl des Materials für Testfahrten	ABW	Velim
2.4	Nutzenmessungen		
2.4.1	Organisation Messfahrten; inkl. Ent- / Beladung & Ab- / Aufsetzen des E-Behälters vor Ort	S&V	EVB
2.4.2	Wagenmiete: 2 Wagen (Test) während 20 Wochen, 2 Wagen (Ref) während 5 Wochen (jeweils Zu-/ Rückstellung und Test-/ Messfahrten)	WASCOSA	/
2.4.3	Wagenzustellung/Abholung 4 Wagen: > Werkstatt (RS-Einbau bzw. RS-Tausch) > EVB > Rückstellung	WASCOSA	div.
2.4.4	Abschreibung Referenz-Radsätze aufgrund Aufarbeitung	WASCOSA	/
2.4.5	Werkstattarbeiten Testwagen: Ein- / Ausbau Radsatz (nach Impedanzmessung 2.1.10)	WASCOSA	RailMaint
2.4.6	Werkstattarbeiten Aufarbeitung Vergleichsradsätze, Einbau	WASCOSA	RailMaint
2.4.7	Durchführung Testfahrten	Extern: Metrans/EVB	EVB
2.4.8	Durchführung Messungen inkl. Radrauheit 16 Räder inkl. Qualifizierung Messstrecke (TDR, Rauheit)	ABW	EVB
2.4.9	Rückführung Wagen inkl. E-Behälter	WASCOSA	/
2.4.10	Auswertung und Dokumentation	ABW	/
3.	Nachbereitung		
3.1	Erstellung/Anpassung LCC-Analyse bzw. Kostenzusammenstellung	S&V	/
3.2	Dokumentation	alle	/
3.3	Handlungsempfehlung	alle	/

5. Untersuchte Radsätze, Fahrzeuge und Wagenaufbauten

5.1 Radsätze

Der im Folgenden beschriebene schalltechnisch optimierte Lauf-RS BA 308 wurde durch die GHH-Radsatz als laufflächengebremster (klotzgebremster) RS für die Verwendung in Güterwagen entwickelt.

Als Gesamtkomponente besteht der RS aus zwei Vollrädern des Typs BA 308 (mit oder ohne RSA) und einer Laufradsatzwelle des Typs BA 302. Der Einsatz von RSA der S&V ist vorgesehen, eine Verwendung des RS ist aber auch ohne den RSA möglich (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).

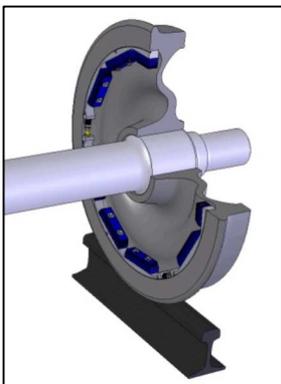


Abbildung 1: Rad der BA 308
(CAD-Modell der GHH-Radsatz)



Abbildung 2: Laufradsatz der BA 308 inkl. Radschallabsorber VICON RASA RSI und Beschichtung Relest@SA NG

Das Rad BA 308 wurde bezüglich des Gewichts, der mechanischen und thermischen Festigkeit und der Akustik optimiert. Das Schallminderungspotential wurde durch die im Projekt LZarG durchgeführten Messfahrten aufgezeigt (siehe Kapitel 3).

Das Rad bzw. der RS sind verwendbar bei der Neuausrüstung von Fahrzeugen, entweder direkt mit oder ohne RSA. Im letzteren Fall besteht für den Kunden jederzeit die Möglichkeit, den RSA bei Bedarf nachzurüsten.

In der Instandhaltung kann das Rad als Ersatz für verschlissene Güterwagenräder anderer Bauarten mit identischen Schnittstellen verwendet werden. In diesem Rahmen besteht auch die Möglichkeit zur Umrüstung von Fahrzeugen mit schallmindernden Maßnahmen als kurzfristig umsetzbare Retrofitlösung.

Durch die Kombination aller Maßnahmen (Werkstoff, Beschichtung und RSA) zeichnen sich die RS durch ein Optimum an Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit sowie Langlebigkeit aus. Dies wirkt sich positiv auf die LCC aus. Technische Daten sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Technische Daten des RS BA 308

Radsatz Typ	GHH-Bonatrans
Bauart (DB AG)	BA 308
RSA	Schrey & Veit, VICON RASA RSI, Temperaturbeständig
Verwendung	Güterwagen, Baumaschinen, weitere Anwendungen

Produktanforderung	DIN EN 13260, Kategorie 2 a
Bremsbelastung	100 % laufflächengebremst mit 1 oder 2 Bremsklötzen je Rad, mit Grauguss- oder Verbundstoffbremsklötzen
Dauerbremsleistung im Bremsprüfstandsversuch nach DIN EN 13979-1	$P_b = 50 \text{ kW}$
Max. statische Radsatzfahrmasse	25 t
Max. zul. Höchstgeschwindigkeit	120 km/h
Laufkreisdurchmesser	920 / 840 mm (neu / Betriebsgrenzmaß)
Werkstoffe Welle	EA1N gemäß DIN EN 13261
Werkstoff Vollrad	ER7 gemäß DIN EN 13262 bzw. ER7 ISG verschleißoptimiert (erfüllt alle Anforderungen des ER7 gemäß DIN EN 13262 ER7; ISG als Marke der GHH-Radsatz)
Durchmesser Radsitz	205 mm
Instandhaltungsgrenzmaß Radsitz	202 mm
Durchmesser Lagersitz	130 mm
Durchmesser Wellenschaft	173 mm
Instandhaltungsgrenzmaß Wellenschaft	171 mm
Beschichtung	Relest® SA oder SA NG (Fa. AkzoNobel), erfüllt die Anforderungen der EN 13261 und der Brandschutznorm EN 45545-2
TSI Zulassung	Nach TSI WAG, Radsatz mit und ohne Absorber

Im Rahmen dieses Projektes wurden an den RS die folgenden Optimierungen umgesetzt.

Die Räder und die RS-Welle wurden mit Relest® SA NG beschichtet, um den Korrosionsschutz, insbesondere auch im Bereich der RSA, zu optimieren. Relest® SA NG ist eine lösemittelfreie 2-Komponenten-Verschleißschutzbeschichtung der Fa. AkzoNobel. Die Beschichtung ist geeignet für den Einsatz an klotzgebremsten RS. Die Beschichtung erfüllt als Dickschichtsystem (1 - 3 mm) die Anforderungen der Korrosionsschutzgruppe 2 (für korrosive Umgebungen) der EN 13261. Somit führt das Relest® SA NG auch zu einer Optimierung der Standzeit des RS bzw. auch zu einer Verlängerung der Wartungsintervalle. Die Beschichtung mit Relest® SA NG bietet ebenso einen stark erhöhten Schutz gegen mechanische Beanspruchungen, wie z. B. aufgrund von Schotterflug.

Zusätzlich bietet die Beschichtung unter anderem einen hohen Korrosionsschutz durch Versiegelung der Fugen beidseitig zwischen den Radsatzwellensitzen der Radnabe und des Labyrinthdichtringes des Radsatzlagers.

Die längere Standzeit der RS durch die Beschichtung mit Relest® SA NG wurde bereits in verschiedenen Einsatzfällen bestätigt. Durch den Start der Anwendung in ca. 2011 liegen jedoch aktuell noch keine umfangreicheren Statistiken vor. Damit sind die RS wartungsärmer.

Für die Räder vom Typ BA 308 wurde das Material ER7 ISG (Improved Steel Grade) eingesetzt. ER7 ISG erfüllt alle Anforderungen des ER7 gemäß DIN EN 13262. ER7 ISG ist eine Marke der GHH-Radsatz. Dieser optimierte Radwerkstoff weist verbesserte mechanische Eigenschaften auf, die zu einer Verschleißminderung und Verminderung von Lauffläschenschädigungen im Vergleich zu dem bei aktuellen Standardrädern z. B. vom Typ BA 004 eingesetzten Material führen.

Der spezifische Nutzen ist momentan noch nicht genau zu quantifizieren, da er einerseits von zahlreichen Randbedingungen abhängt als auch erst nach einer gewissen Laufleistung Größenordnungen erreicht, die messbar werden.

5.2 Containertragwagen

Die in diesem Projekt genutzten Container-Tragwagen (CTW) der WASCOSA sind vom Typ JMR CTW 2004 [2] mit der Baureihenbezeichnung Sgnss. Diese 4-achsigen CTW können ISO-Behälter und Container, bis zu einem Wagen-Gesamtgewicht von 90 t, transportieren. Die zugelassene Höchstgeschwindigkeit beträgt leer oder bis max. 72 t Gesamtgewicht 120 km/h, bei höherer Zuladung 100 km/h. Ausgerüstet mit Verbundstoff-Bremssohlen erfüllt dieser CTW die Anforderungen der TSI NOI [3].

In Abbildung 48 auf Seite 35 ist ein unbeladener CTW des Versuchszuges abgebildet.

5.3 E-Behälter des WASCOSA flex freight system®

Das flex freight system® (FFS) der WASCOSA besteht aus unterschiedlichen Wechsellaufbauten, durch die Tragwagen zum Transport von nicht-containerisierten Ladungen genutzt werden können [4]. Diese werden auf die standardisierten ISO-Container-Zapfen aufgesetzt, siehe Abbildung 49 auf Seite 35.

In diesem Projekt wurden Wechselrahmen vom Typ „E-Behälter“ genutzt. Diese bilden E-Wagen (Hochbordwagen) nach, indem sie mit umlaufend geschlossenen Seitenwänden den Transport v. a. von Schüttgut ermöglichen. Zur Beladung sind sie oben offen. Sie können durch die üblichen Hebezeuge für Container / Wechselbrücken angehoben werden.

In diesem Projekt wurden zwei unterschiedliche Größen der E-Behälter genutzt, die sich auch durch ihre Entladevorrichtungen unterscheiden:

- 30'-E-Behälter: Entladung durch je drei Seitenklappen, die an einer horizontalen Achse aufgehängt sind
- 60'-E-Behälter: Entladung durch vier Seitentüren (d. h. an einer vertikalen Achse aufgehängt)

Beide E-Behälter-Bauarten zeigen glatte (60') bzw. gewellte (30') Stahl-Seitenwände, von denen eine relevante Luftschallemission erwartet wird.

6. Arbeitspaket Radsätze BA 308

Die RS-Bauart BA 308 wurde bereits im Rahmen des Projektes LZarG genutzt, siehe Kapitel 3. Sie ist nicht verändert worden, jedoch erfolgt in diesem Projekt eine Beschichtung mit einem überarbeiteten Material.

6.1 Überarbeitung des Techn. Handbuchs / TSI-Konformität / Zulassung in der Schweiz

Die Überarbeitung des Technischen Handbuchs wurde notwendig, da aus der Betriebserprobung, die dem Projekt LZarG angeschlossen war, neue Erkenntnisse für die Benutzung der RS erlangt wurden. Ergänzend wurden die Verfahrensanweisung und Reparaturanweisung zur Relest® SA NG Beschichtung mit eingearbeitet. Das überarbeitete Handbuch ist in die Verlängerung der Zulassung nach TSI WAG [5] eingeflossen.

Die Verlängerung der TSI-WAG-Zulassung wurde erfolgreich abgeschlossen.

Gemäß der vorliegenden National Notifizierten Technischen Vorschrift (NNTV) des Bundesamtes für Verkehr in der Schweiz (BAV), gültig ab 01.01.2016, in Bezug auf Anhang 7 der Verordnung über Bau und Betrieb von Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBV, SR 742.141.1; vom 23.11.83) sind keine zusätzlichen Anforderungen über die TSI WAG hinaus benannt.

Auch die Aufnahme dieser Radbauform BA 308 in den „VPI-Instandhaltungsleitfaden“, Modul 04 „Radsätze“ [6], wurde diskutiert. Es wurde vereinbart, durch WASCOSA eine Risikobewertung erstellen zu lassen. Eingangsgrößen und technische Daten werden durch GHH-Radsatz und S&V bereitgestellt.

Die Aufnahme dieser Radbauform in den bisher präferierten „VPI Instandhaltungsleitfaden 04“ ist grundsätzlich sinnvoll, jedoch nicht zwangsläufig notwendig, da zahlreiche Wagenhalter bzw. ECM auch interne Vorschriften erlassen haben.

6.2 Analyse ZfP-Prüfbarkeit

Im Projekt LZarG wurde bereits die RS-RSA-Konstellation auf ihre ZfP-Prüfbarkeit hin untersucht. Das überarbeitete Beschichtungsmaterial Relest® SA NG und die Beschichtung weiterer Flächen am RS machten jedoch weitere Prüfungen zur Ultraschallprüfbarkeit notwendig, die in dem vorliegenden Projekt durchgeführt wurden.

Die DB Systemtechnik GmbH, Fachabteilung Zerstörungsfreie Prüfung und Prüfsysteme, wurde mit den Prüfungen zur Ultraschallprüffähigkeit durch GHH-Radsatz beauftragt.

In Wittenberge wurden die ZfP-Prüfungen am automatisierten Teststand ohne Beschichtung von der DB Systemtechnik durchgeführt. Der RS wurde dann anschließend bei GHH-Radsatz zusammen mit den 8 Stück zu liefernden RS mit Relest® SA NG beschichtet. Anschließend erfolgte der Versand zur ZfP-Prüfung mit Relest® SA NG zur DB Systemtechnik GmbH, Fachabteilung Zerstörungsfreie Prüfung und Prüfsysteme, in Brandenburg-Kirchmöser.

Das Ergebnis der Ultraschallprüfbarkeit an der RS-Welle mit Prüfkopplung von außen auf der Beschichtung ergab laut DB Systemtechnik, dass das Beschichtungssystem "RELEST® Protect 356 2K-PUR Wheel SA NG in grau" für die Ultraschallprüfung nicht geeignet ist, wenn die Prüfkopfkopplung auf der Beschichtung erfolgt. Die Prüfbarkeit durch die Beschichtung hätte den Vorteil gehabt, dass die Beschichtung, wie üblicherweise, zur ZfP hätte nicht entfernt werden müssen.

Das Ergebnis der Ultraschallprüfbarkeit des Vollrades insbesondere im Bereich Radkranz / Absorbernut ist positiv.

Für den Bereich der Rad-Schallabsorber in Verbindung mit der Dickschichtbeschichtung (Relest® SA NG) wurden im Auftrag der GHH-Radsatz von der DB Systemtechnik, Fachabteilung: Zerstörungsfreie Prüfung und Prüfsysteme, Untersuchungen zur Ultraschall (UT)-Prüfbarkeit durchgeführt und im Bericht Nr. 17-51625-I.T-IVI2-BE-0010 / Datum 24.05.2017 dokumentiert.

Es wurde eine Bewertung der UT-Prüfbarkeit der klotzgebremsten Güterwagenräder der BA 308 mit RSA im Bereich der Absorberanlageflächen durchgeführt. Die Prüfbarkeit wurde bei verwendeter Relest® SA NG Beschichtung und mit montierten RSA manuell und im mechanisierten Radprüfstand nachgewiesen. Der Nachweis der Vergleichsreflektoren mit Ultraschall erfolgte in folgenden Zuständen:

Zustand 1: Rad ohne RSA, ohne Beschichtung

Zustand 2: Rad mit RSA, ohne Beschichtung

Zustand 3: Rad mit RSA, mit Beschichtung

In allen drei Zuständen wurde eine vergleichbare manuelle Ultraschallprüfung mit dem gleichen Prüfequipment durchgeführt. Zusätzlich erfolgte in den Zuständen 2 und 3 die Ultraschallprüfung im mechanisierten Prüfstand RPS 16 Wittenberge. Hier handelt es sich um einen Prüfstand mit Phased-Array-Technik, wie ihn die Deutsche Bahn AG in der Instandhaltungsprüfung von RS im ausgebauten Zustand einsetzt.

Die Ergebnisse der manuellen und mechanisierten Prüfungen zeigen, dass sich Fehler im Anlagebereich der RSA am Rad mit Ultraschall nachweisen lassen. Die Versuchsergebnisse zeigen ebenso, dass die Dickbeschichtung „Relest® SA NG“ keinen Einfluss auf die Nachweisempfindlichkeit von Fehlern mittels beschriebener Ultraschallprüfung nimmt.

Es wurde zusätzlich im Auftrag der GHH-Radsatz von der DB Systemtechnik / ZfP-Kompetenzstelle die Prüfanweisung_GHH_0411_Rev_00_01072017 vom 01.07.2017 für die „ZfP-Ultraschallprüfung an Vollrädern der BA 308 auf Querfehler im Bereich der Anlageflächen für die RSA“ erstellt.

6.3 Produktion Radsätze

Die zur Produktion notwendigen technischen Unterlagen wurden angepasst und erstellt, um die Produktionsplanung zu starten. Die Fertigstellung der RS mit der RSA-Montage, der Relest® SA NG Beschichtung und anschließender Radsatzlagermontage wurde bei GHH-Radsatz durchgeführt. S&V führte in diesem Zuge auch die vorgesehenen Impedanzmessungen durch, siehe Kapitel 6.4.



Abbildung 3: Beschichtete RS



Abbildung 4: Beschichtete RS

Als Grundierung wurde daher RELEST® Marine 377 2K-EP-Primer ZM (WG) verwendet. Fugen und Spalte, insbesondere am Labyrinthdichtring des Radsatzlagers, wurden mit RELEST® Protect Wheel SA sowie im Übergang Radsitz Welle/Innenbereich der Radscheibe und im Übergang Außenbereich der

Radscheibe/Notlaufschenkel/Labyrinth-Ring komplett abgedichtet. Hierdurch wird auch hier ein optimaler Korrosionsschutz erreicht (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4).

Die Schichtdicken wurden entsprechend der Verfahrensanweisung von AkzoNobel ausgeführt, um ein zuverlässiges Anzeigen einer thermischen Rad-Überbeanspruchung nach Herstellerangabe zu gewährleisten.

Die Beschichtung mit Relest® SA NG (siehe Abbildung 5) und anschließende Radsatzlagermontage wurde bei GHH-Radsatz durchgeführt.



Abbildung 5: Beschichtung der RS



Abbildung 6: Montierte RS fertig zur Auslieferung

Die acht RS wurden an die Fa. RailMaint in Kaiserslautern für den Einbau in die Drehgestelle geliefert (siehe Abbildung 6).

6.4 Impedanz- / Akzeleranzmessungen

Zum Vergleich mit bestehenden Ergebnissen aus dem Projekt LZarG (siehe Kapitel 3) und um einen Indikator für die schwingungstechnische Wirkung der Beschichtung Relest® SA NG zu erhalten wurde durch S&V die Punkt-Akzeleranz ermittelt. Die Akzeleranz (Verhältnis $a(f)/F(f)$) bietet eine der Impedanz (Verhältnis $F(f)/v(f)$) gleichwertige, frequenzspezifische Information zum Schwingungsverhalten des Rades im akustisch relevanten Frequenzbereich.



Abbildung 7: Messung der RS-Impedanz

Die Messungen wurden im direkten Anschluss an die RSA-Montage durchgeführt. In Abbildung 7 ist die Ausführung dargestellt.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt. Für die Schallabstrahlung ist die Höhe der positiven Peaks relevant.

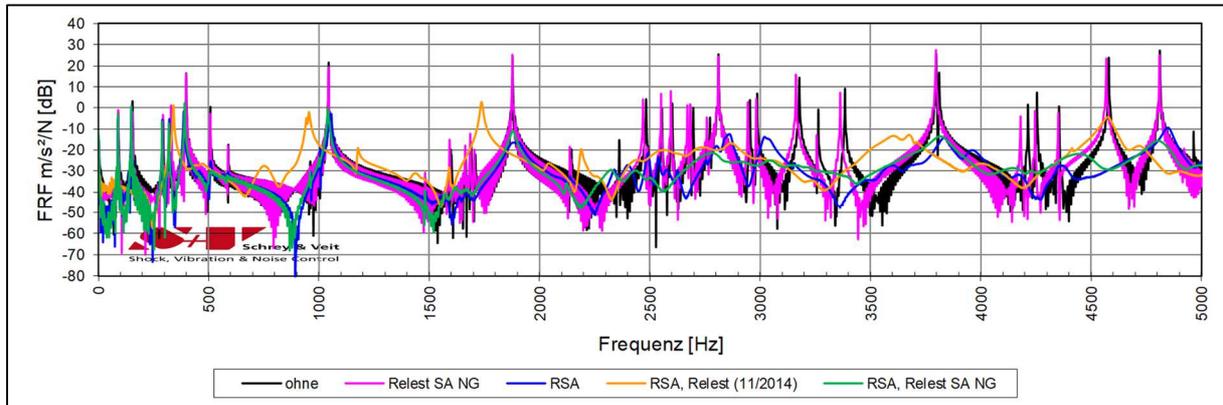


Abbildung 8: Radmessung: Akzeleranzen in axialer Richtung

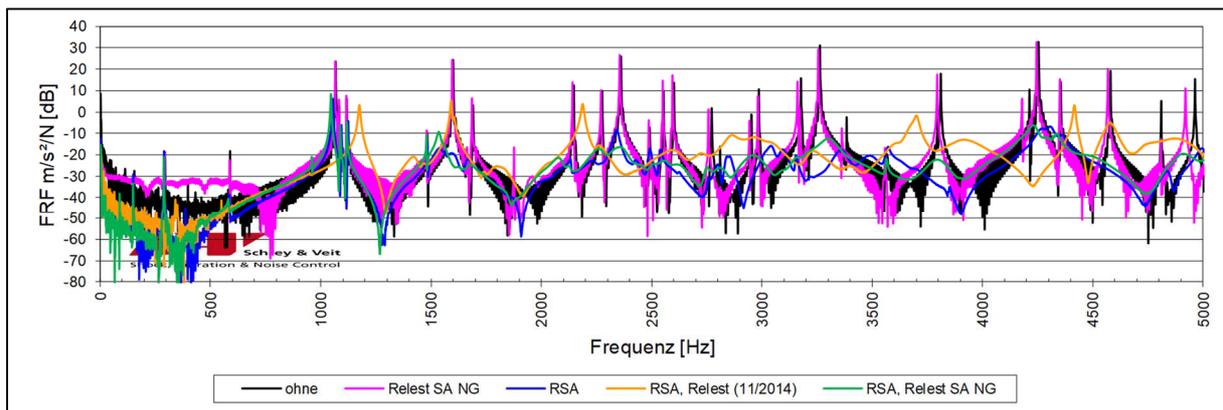


Abbildung 9: Radmessung: Akzeleranzen in radialer Richtung

Es zeigt sich durch die RSA eine signifikante Reduktion der Akzeleranz-Peaks, so dass erfahrungsgemäß eine Rollgeräuschreduktion erwartet werden kann. Durch das anschließende Aufbringen des Relest® SA NG ist jedoch keine weitere Reduktion erkennbar. Es muss somit angenommen werden, dass durch die Beschichtung keine akustische Verbesserung eintreten wird. Im Vergleich zu den LZarG-Messungen aus 11/2014 zeigt die axiale Richtung annähernd keine Änderungen, in radialer Richtung dagegen ist in den Peaks bei 1.6 und 2.2 kHz eine leicht reduzierte Akzeleranz sichtbar. Dies kann in Fertigungstoleranzen oder der Anwendung des Relest® SA NG begründet sein.

Die Akzeleranzmessung allein mit Relest® SA NG (ohne RSA) zeigt daher auch keine deutlichen Differenzen gegenüber dem Messergebnis des Rades ohne jegliche Maßnahme.

Daher wird für die Serienanwendung die Beschichtung mit Relest® SA NG allein aus Gründen des Korrosionsschutzes, nicht jedoch aus akustischen Gründen empfohlen.

7. Arbeitspaket Radschallabsorber (RSA) VICON RASA

Die RSA-Konstruktion (siehe Abbildung 10) basiert auf der im Projekt LZarG genutzten Version. Im Rahmen dieses Projekts wurde sie jedoch in zwei Punkten angepasst:

1. Hochtemperatur-Verzinkung der Ringsegmente (zusätzlicher Korrosionsschutz)
2. Reduktion der Feder-Stärke (entsprechend der Beschichtung und zur Vereinfachung der Demontage)

Die RSA-Aufarbeitungsrichtlinie mit der Wartungs- als auch der Demontage-Anweisung sind entsprechend angepasst worden.

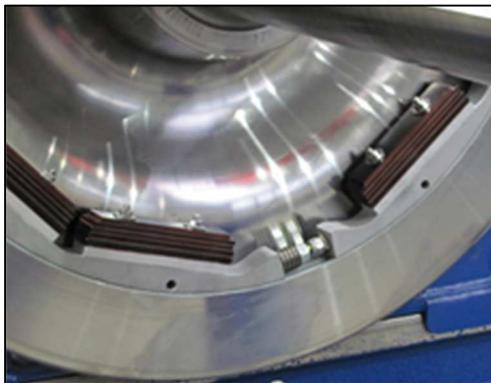


Abbildung 10: Ansicht der RSA

8. Arbeitspaket Entkoppelung Aufbau <-> Wagen

Die Entkoppelung der Wagenaufbauten von dem Wagen selbst ist die zweite angestrebte akustische Optimierung in diesem Projekt. Im Gegensatz zu den Maßnahmen am Fahrwerk (siehe Kapitel 5 bis Kapitel 7) ist jedoch keine vergleichbare bisherige Anwendung bei Güterwagen bekannt. Das Prinzip der akustischen Entkoppelung findet jedoch in der Maschinenakustik ebenso wie z. B. bei Diesellokomotiven seit längerer Zeit Anwendung.



Abbildung 11: E-Behälter-Impedanzmessung -
Ansicht 1



Abbildung 12: E-Behälter-Impedanzmessung -
Ansicht 2

Um den zu erwartenden Frequenzbereich der Schallemission der E-Behälter und des CTW zu erhalten wurden Akzeleranzmessungen durchgeführt. Sowohl der 30'-, der 60'-E-Behälter als auch der CTW wurden analysiert. Ansichten der Messungen sind in den folgenden Abbildung 13 bis Abbildung 14 gezeigt.



Abbildung 13: E-Behälter-Impedanzmessung – Messorte



Abbildung 14: E-Behälter-Impedanzmessung – Messaufbau

Es wurde vier verschiedene Konstellationen vermessen:

1. E-Behälter-Seitenwand – Behälter steht auf dem Wagen
2. E-Behälter-Boden-ISO-Ecken – Behälter steht auf dem Wagen
3. E-Behälter-Boden-ISO-Ecken – Behälter angehoben
4. Wagen-Längsträger – Wagen leer (E-Behälter abgenommen)

Diese Konstellationen wurden jeweils mit dem 60'- und einem 30'-E-Behälter gebildet. Ebenfalls wurde beide CTW in der Konstellation „leer“ vermessen.

Beispielhafte Messergebnisse sind in den Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt.

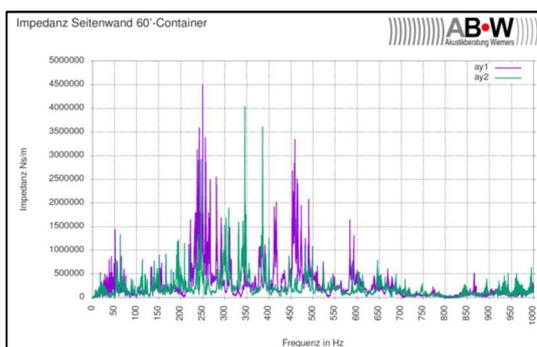


Abbildung 15: Impedanzspektrum 60'-E-Behälter

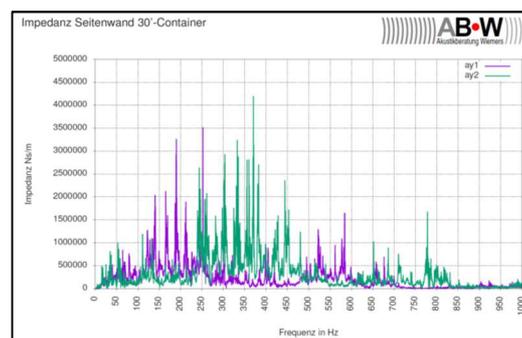


Abbildung 16: Impedanzspektrum 30'-E-Behälter

Die Messpunkte der Schwingungs-Antwort wurden auf den Seitenwänden der E-Behälter (Schwingungsrichtung daher lateral im Wagen-Koordinatensystem) platziert. Durch den oben offenen Aufbau ist (im Gegensatz zu Standard-Containern) auch ein relevanter Immissions-Anteil durch die der Empfangsposition abgewandte Behälterseite zu erwarten. Dies verstärkt die Erwartung der akustischen Relevanz der Seitenwände bei Zugvorbeifahrt.

Es zeigt sich an jeweils beiden Messpunkten ein Schwingungsverhalten mit unterschiedlichen Frequenzbereichen. Dabei wird insgesamt der Bandbereich von 100 bis ca. 600 Hz eingenommen. Mehrere schmalbandige und schwach gedämpfte Resonanzpeaks treten deutlich hervor.

Die Konstruktion scheint grundsätzlich mit einer Elastomerplatte am aussichtsreichsten zu sein, die unter den Containerzapfen eingeschoben wird. Diese kann evtl. an den Seiten leicht erhöht ausgeführt werden um ein horizontales Anliegen des Zapfens an der (wagenseitig angeschweißten) Umrandung zu verhindern (Körperschallbrücke).

Weiterhin hat sich im Verlauf der Impedanzmessungen gezeigt, dass auch die E-Behälter-Unterseite auf den CTW-Längsträgern aufliegt. Diese Kontaktflächen sind bereits bei den unbeladenen E-Behältern ausgebildet (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18), bei beladenem Zustand können sie durch die Elastizität der Behälter-Konstruktion noch ausgeprägter erwartet werden. Auch bei anderen Bauarten von Tragwagen kann dieser Zustand vorkommen. Somit musste auch diese Körperschallbrücke verhindert werden. Dazu wurden Streifen des gleichen Elastomermaterials, die auf die CTW-Längsträger aufgelegt wurden, vorgesehen.

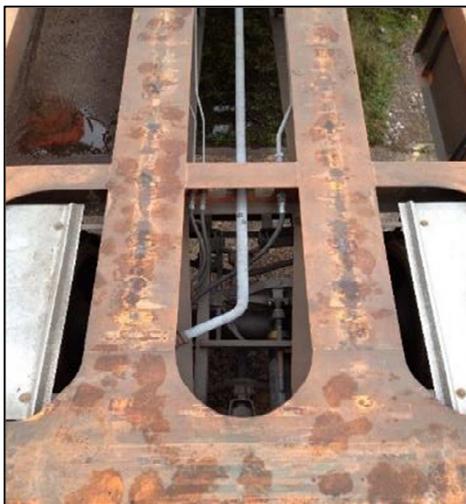


Abbildung 17: Spuren der E-Behälter-Kontakte auf Längsträger



Abbildung 18: Spuren der E-Behälter-Kontakte auf Längsträger

Für die anstehenden Versuche wurden entsprechend zugeschnittene Proben verschiedener Materialien bereitgestellt. An diesen wurde die real wirksame Steifigkeit experimentell ermittelt.

Die real wirksame Steifigkeit wurde anhand von statischen Druckversuchen mit Kraft-Weg-Aufzeichnung an einem entsprechenden Prüfstand ermittelt. Das Material war dazu in einem realistischen Breite-Längen-Verhältnis (Berücksichtigung des Formfaktors), die Kraft wurde durch einen realen Containerzapfen aufgebracht (siehe Abbildung 19).

Es wurden die Test-Kräfte entsprechend den realen (statischen) Behälter-Aufstandskräften gewählt: 30’-/60’-E-Behälter, leer/beladen, zusätzlich am 60’-E-Behälter differenziert nach Zapfen innen/außen. Dies führt zu einer maximalen Gewichtskraft entsprechend ca. 15 t.



Abbildung 19: Ansicht eines Druckversuches

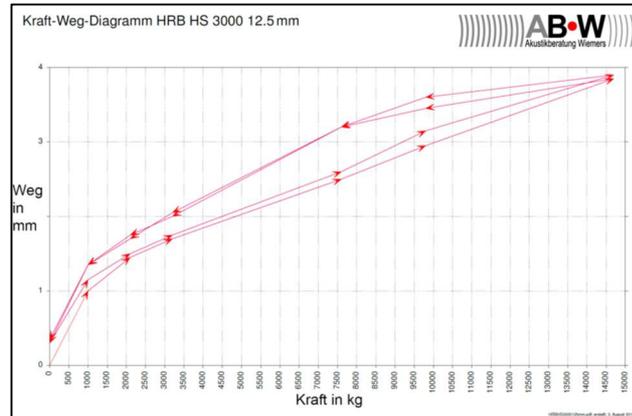


Abbildung 20: Ergebnis eines Druckversuches (Beispiel)

Überwiegend zeigt sich das erwartete degressive Verhalten auf jeweils dem Be- und Entlastungs-Weg. In einige Messungen zeigen sich ‚stagnierende‘ Zwischenstufen. Hier besteht die Vermutung, dass bei mehrfacher Belastung ein internes ‚Setzungsverhalten‘ bzw. eine Anpassung eintritt so dass sich ein ‚glatterer‘ Verlauf ergibt.

In den Analysen (siehe beispielhaftes Kraft-Weg-Diagramm in Abbildung 20) zeigt sich das Material HRB HS 3000 als einzig sinnvoll für die praktischen Messungen.

Eine wichtige Erkenntnis ist, dass die Materialanforderungen aufgrund der hohen Vorlast-Unterschiede zwischen ‚Leer‘ und ‚Beladen‘ nur von wenigen Materialein erfüllt werden können.

Eine Risikobewertung musste jedoch durchgeführt werden. Durch den erhöhten Reibkoeffizienten zwischen E-Behälter und Wagen-Längsträger (aufgrund der auch hier verwendeten Elastomerplatten) wird jedoch erwartet, dass ein Teil der Längskräfte auch hier übertragen wird, so dass die Containerzapfen entlastet werden. Zusätzlich wird durch die gewählte Konstruktion verhindert, dass die Zapfen (bei aufgesetztem E-Behälter) höher als die Umrandung stehen, so dass eine Längskraft-Übertragung durch den Formschluss gewährleistet bleibt (wie auch ohne Elastomer).



Abbildung 21: Einbauprobe Containerzapfen – Draufsicht



Abbildung 22: Einbauprobe Containerzapfen – Seitenansicht

Ebenfalls wurden 16 Containerzapfen bestellt. Die Anpassung durch das o. g. Abfräsen des Mittelteils (Abtrag 10 mm) und Erweiterung der Bolzen-Bohrungen ist bei einem Zapfen exemplarisch durchgeführt worden. Es zeigt sich, dass der Zapfen im Betrieb weiterhin nicht die Umrandung (orange) überragt (siehe Abbildung 21 und Abbildung 22, Material ist hier jedoch nicht HRB HS 3000). Zusätzlich ist es möglich, dass die Sicherungsnase des Zapfens weiterhin unter die Arretierung der Umrandung (siehe rechts in Abbildung 21) einrastet und den Zapfen somit am Aufklappen hindert.

Bei den Nutzenmessungen (siehe Kapitel 9) wurden unter jedem Containerzapfen eine Elastomerplatte und zusätzlich auf den Wagen-Längsträgern Elastomer-Streifen ausgelegt. In Abbildung 23 und Abbildung 24 ist die Lage der Elastomerstreifen (dunkelgrün) abgebildet. Die einzelnen Streifen schließen nicht direkt aneinander an; es ist jedoch nicht anzunehmen, dass die E-Behälter soweit einsinken, dass hier Körperschallbrücken erhalten bleiben werden.



Abbildung 23: Auslegen der Elastomerstreifen (dunkelgrün) auf den zwei CTW-Längsträgern



Abbildung 24: Elastomerstreifen (dunkelgrün) auf CTW-Längsträgern

9. Arbeitspaket Nutzenmessungen

Die Nutzenmessungen müssen so gestaltet sein, dass sie „für Schweizer Verhältnisse übertragbar“ sind. Für die internationale Vergleichbarkeit der Akustik-Messergebnisse ist ebenfalls die Messdurchführung entsprechend der DIN EN ISO 3095 [7] anzustreben um einen Vergleich der Messergebnisse mit den Grenzwerten der TSI NOI [3] zu ermöglichen.

9.1 Organisation

Nur wenige private EIU erfüllen die Bedingungen für Luftschallmessungen in diesem Projekt:

- a) Fahrgeschwindigkeit 120 (mind. 100) km/h
- b) TSI-gerechte Messumgebung, v. a. grade Streckenabschnitte und neuwertiger Oberbau
- c) Geringe Streckenauslastung um das Messprogramm zügig durchführen zu können
- d) Ggf. gleichzeitig Stellung der Traktion und Distanzwagen

Bei den Eisenbahn-Verkehrsbetrieben EVB konnte an der Strecke Bremervörde-Rotenburg eine Messstelle auf Höhe der Ortschaft Mulmshorn gefunden werden, die alle genannten Anforderungen erfüllt. Ein Lageplan ist im Anhang in Abbildung 41 dargestellt. Die Zugkomposition für diese Messstelle ist in Abbildung 25 abgebildet.

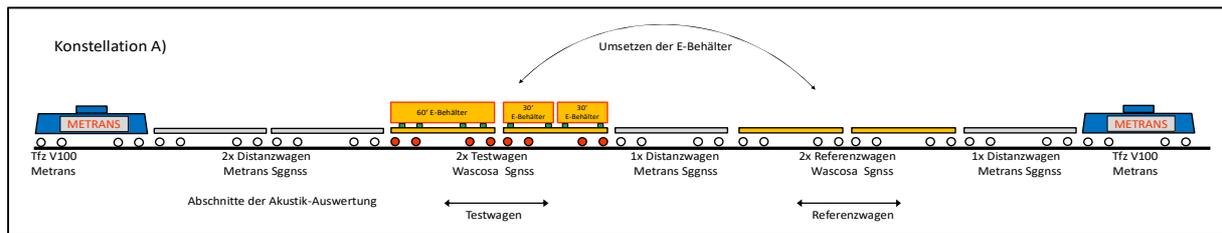


Abbildung 25: Skizze des Messzuges (Messort Gerade)

Die Messfahrten zu Kurvengeräuschen waren für einen Gleisbogen eines Industrie-Anschlussgleises in Zeven (siehe Abbildung 26) geplant. Letztendlich konnte dieser jedoch nicht genutzt werden, so dass das Verbindungsgleis zwischen den Bahnhofsteilen Zeven (Han) und Zeven-Süd ausgewählt wurde (siehe Abbildung 27). Die Bogenradien dieser ‚S-Kurve‘ betragen jeweils ca. 220 m.



Abbildung 26: Anschlussgleis in Zeven (nicht für Messungen genutzt)



Abbildung 27: Gleisbogen für Kurvengeräuschemessungen im Bf. Zeven (Han)

Die Gleisbogen-Messfahrten wurden mit einem verkürztem Messzug (weniger Distanzwagen und nur eine Lok) durchgeführt, eine Skizze ist in Abbildung 28 dargestellt.

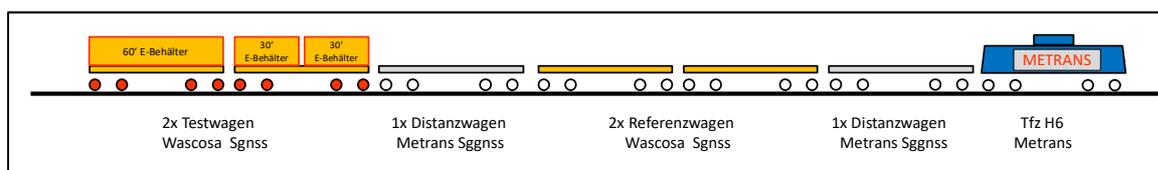


Abbildung 28: Skizze des Messzuges (Messort Gleisbogen)

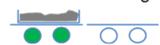
Ein Lageplan des Gleisbogens und der angrenzenden Ladegleise im Bf. Zeven (Han) ist im Anhang in Kapitel 12.1 in der Abbildung 42 dargestellt.

Alle Leistungen konnten zum frühestmöglichen Zeitraum 19.-21. Juli 2017 zusammengeführt werden. In Tabelle 3 ist der zeitliche Ablauf dargestellt.

Die Vorbeifahrten an der Messstelle „Gerade“ wurden für jede Fahrgeschwindigkeit jeweils dreifach wiederholt.

Die Vorbeifahrten an der Messstelle „Gleisbogen“ wurden mit den Fahrgeschwindigkeiten von 15, 20, 25, 30 und 40 km/h (jeweils in beiden Fahrtrichtungen) durchgeführt.

Tabelle 3: Ablauf der Nutzenmessungen

Zeit \ Tag	Mittwoch 19. Juli	Donnerstag 20. Juli	Freitag 21. Juli
0:00			
1:00			
2:00			
3:00			
4:00			
5:00	Anfahrt Messzug von HH via HH-Harburg		
6:00			
7:00	Vorbereitung Messzug Einrichten der Messstation (Sakra 1/4 h)	Vorbereitung Messzug Einrichten der Messstation (Sakra 1/4 h)	Vorbereitung Messzug Einrichten der Messstation (Sakra 1/4 h)
8:00	Einweisung BÜPs	Einweisung BÜPs	Einweisung BÜPs
9:00	Vorbeifahrtmessung Konstell. A) 	Vorbeifahrtmessung Konstell. C) 	Vorbeifahrtmessung Konstell. E) 
10:00	inkl. E-Behälter-Impedanzmessung an Messstation	inkl. E-Behälter-Impedanzmessung an Messstation	inkl. E-Behälter-Impedanzmessung an Messstation
11:00			10-12 Uhr: Abholg. restl. Ballaststeine
12:00	Fahrt nach Zeven, Gleis 103 (Ladestr.)	Fahrt nach Zeven, Gleis 103 (Ladestr.)	Fahrt nach Zeven, Gleis 103 (Ladestr.)
13:00	Messung Schienen- Beladen rauheit + TDR aus Lkw	Beladen von Ladestraße	Umsetzen Mess- Ausbau optimierter station zum Gleis- Zapfen, Umsetzen E- bogen Behälter auf Testwagen
14:00			Wenn Messstation aufgebaut: Vorbeifahrtmessung im Gleisbogen 
15:00			
16:00	Vorbeifahrtmessung Konstell. B) 	Vorbeifahrtmessung Konstell. D) 	
17:00	inkl. E-Behälter-Impedanzmessung an Messstation	inkl. E-Behälter-Impedanzmessung an Messstation	
18:00			Auflösen Messzug Abfahrt Loks & Distanzwagen
19:00	Fahrt nach Zeven, Gleis 103 (Ladestr.)	Fahrt nach Zeven, Gleis 103 (Ladestr.)	
20:00	Abbau Messstation Entladen (auf Ladestr.) Evtl. Fortsetzung Absetzen E-Behälter	Abbau Messstation Entladen (auf Lkw & Messung Schienen- Ladestr.), Umsetzen E- rauheit + TDR im Behälter auf Referenz- Geisbogen wag., ggf. Ausb. Zapfen	Messung Radrauheiten der Test- und Referenzwagen im Bf. Zeven
21:00	Messung Schienen- Einbau optim. Zapfen rauheit + TDR Aufsetzen E-Behälter		
22:00	Abstellung in Zeven	Abstellung in Zeven	
23:00			
Erklärung:	BÜP - Bahnübergangsposten	 2x Testwagen	
	SaKra - Sicherheitsaufsichtskraft	 2x Referenzwagen	

Im Anhang Kapitel 12.2 sind Impressionen der Nutzenmessungen dargestellt.

Detaillierte Ergebnisse der Nutzenmessung sind im Messbericht „Forschungsprojekt leiser Güterwagen“ Nr. P11009-2016 der ABW [8] aufgeführt. In den folgenden Kapiteln 9.2 bis 9.5 wird ein zusammenfassender Auszug wiedergegeben.

9.2 Fahrzeuge: Radrauheiten

Die Radrauheiten sind an den Test- und Referenzwagen in Anlehnung an die DIN EN 15610 [9] ‚direkt‘ ermittelt worden. Es wurden jeweils die Räder der zwei DG vermessen, über die in der Vorbeifahrt-Messung die Schalldruckauswertung erfolgte (d. h. die zwei ‚innen‘, zwischen den zwei baugleichen CTW liegenden DG). Die Messung fand nach Abschluss aller Vorbeifahrt- und Bogengeräusch-Messungen statt.

Es zeigt sich, dass an jedem Wagen Räder mit hoher als auch mit geringer Rauheit vorhanden sind. Auffällig ist dabei, dass sich dazu bei sechs von sechzehn Rädern die Rauheitsamplitude im gesamten Wellenlängenbereich relativ gleichförmig erhöht bzw. reduziert; d. h. im Wellenlängenbereich bleibt

das ‚Profil‘ relativ gleich. In Abbildung 29 und Abbildung 30 sind Beispiel für geringe bzw. hohe Radrauheiten aufgezeigt.

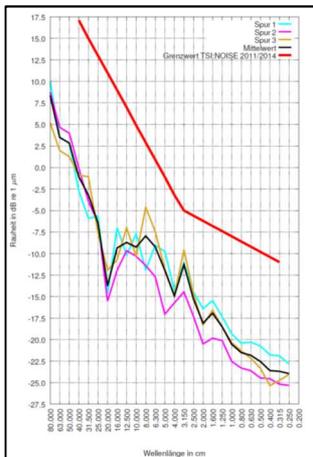


Abbildung 29: Radrauheiten:
Beispiel für glatte Räder

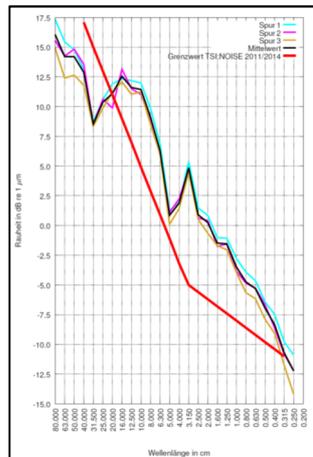


Abbildung 30: Radrauheiten:
Beispiel für raue Räder

Alle Räder sind augenscheinlich anhand der spektralen Rauheitsergebnisse nach ‚glatt‘ und ‚rau‘ eingeteilt worden. Das Ergebnis¹ ist in Abbildung 31 dargestellt.

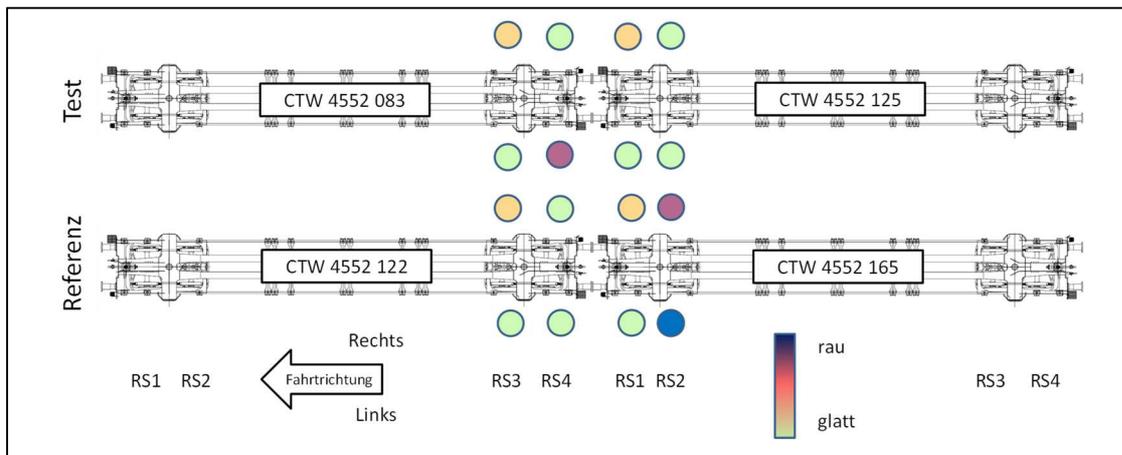


Abbildung 31: Ergebnis Radrauheiten (Indikator)

Es wird deutlich, dass die rauen Räder an allen DG zu finden waren, so dass von keiner Beeinflussung des Gesamtergebnisses ausgegangen werden kann. Obwohl die Test- als auch die Referenzwagen über K-Bremsklötze verfügen und nach den RS-Einbauten die gleiche Laufleistung (ein Zugverbund) von ca. 1000 km aufweisen, zeigen sich teilweise relativ große Unterschiede zwischen den Rädern.

9.3 Gleis: Schienenrauheit und TDR

Die Schienenrauheiten nach EN 15610 an der Messstelle „Gerade“ bei Mulmshorn (siehe Abbildung 32) zeigen für Hauptstrecken mit Mischverkehr typische Amplituden. Die Grenze der DIN EN ISO 3095

¹ Diese Analyse ist nicht Bestandteil des Messberichtes der ABW

wird überwiegend eingehalten, jedoch im Bereich des ‚Knick‘ bei 3.15 cm zeigt sich eine Überschreitung. Dies entspricht in etwa der ‚Mittleren Schweizer Schienenrauheit‘, wie sie im Projekt sonRAIL [10] ermittelt wurde (siehe blaue Kurve in Abbildung 33). Somit kann die Vorbeifahrtgeräusch-Schienenrauheit als übertragbar für Schweizer Verhältnisse angesehen werden.

Auch im Gleisbogen im Bf. Zeven wurde die Schienenrauheit gemessen (siehe Abbildung 34). Diese ist jedoch allein informativ zu betrachten, da die Bogengeräusche nicht direkt auf die Schienenrauheit nach EN 15610 zurückgeführt werden können.

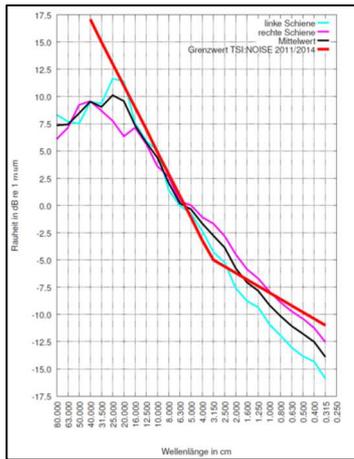


Abbildung 32: Schienenrauheit - Messstelle Mulmshorn

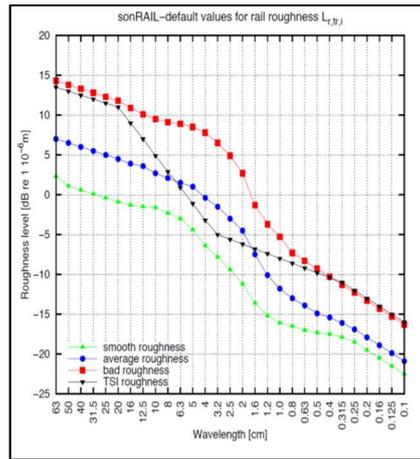


Abbildung 33: Schienenrauheit - Ergebnisse Projekt sonRAIL

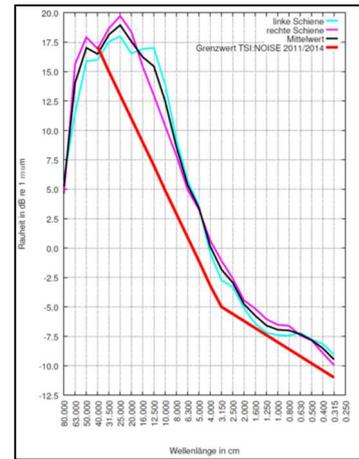


Abbildung 34: Schienenrauheit - Messstelle Bf. Zeven (Bogen)

Die Gleisabklingrate TDR wurde ebenfalls an beiden Messstellen ermittelt.

Die TDR-Werte nach EN 15461 [11] an der Messstelle Mulmshorn liegen vollständig über den Mindestwerten der DIN EN ISO 3095 (siehe Abbildung 36). Vor allem in vertikaler Richtung sind auffallend hohe Werte sichtbar, dies ist auch bei den mittleren Schweizer TDR-Werten für ein Gleis mit Betonschwelle B70 (siehe Ergebnisse sonRAIL in hellgrüner Kurve in Abbildung 37) der Fall. Ebenfalls ist das spektrale ‚Profil‘ sehr ähnlich. Daher kann auch diese TDR als übertragbar für Schweizer Verhältnisse angesehen werden.

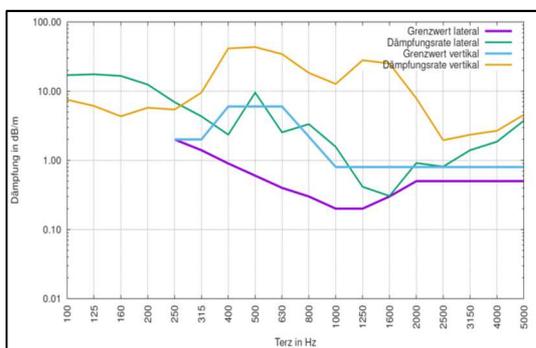


Abbildung 35: TDR an der Messstelle Mulmshorn

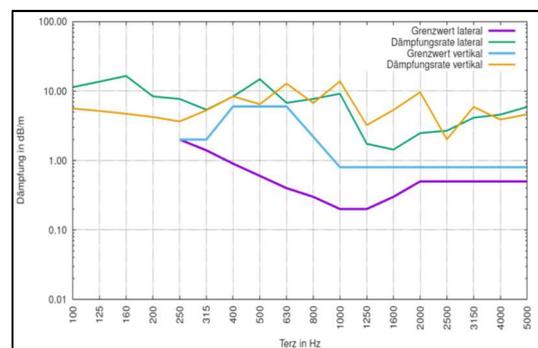


Abbildung 36: TDR an der Messstelle Bf. Zeven (Bogen)

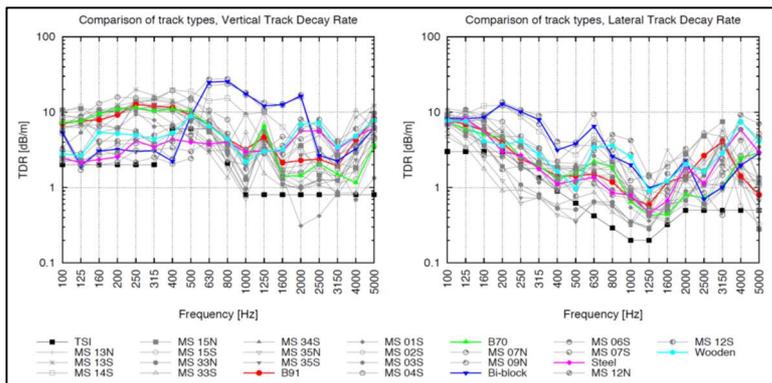


Abbildung 37: TDR – Ergebnisse Projekt sonRAIL

Für die Messung der TDR des Gleisbogens im Bf. Zeven lagen keine Gleiskonditionen entsprechend der EN 15461 vor (relativ enger Bogen, Weiche in ca. 50 m Entfernung, unterschiedlich stark abgenutzte Schienenprofile). Sie ist als rein informativ zu betrachten und kann nicht direkt mit weiteren TDR-Ergebnissen verglichen werden. Die TDR-Ergebnisse sind in Abbildung 36 dargestellt. Durch die genannten Randbedingungen können hier keine weiteren Analysen erfolgen.

9.4 Ergebnisse Vorbeifahrt Grade

Aufgrund des Messaufbaus und -umfangs, der Gleis-/Umgebungsbedingungen und der Fahrzeugbedingungen entsprechen die an der Messstelle Mulmshorn (in der Geraden) ermittelten Ergebnisse den Anforderungen der DIN EN ISO 3095 und daher auch der TSI NOI.

Insgesamt zeigt sich eine geringe Varianz der Messwerte innerhalb der jeweils drei Messfahrten gleicher Konstellation, eine Ausnahme ist unten weiter beschrieben. Auch der Anstieg der Schalldruckpegel jeder Konstellation mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit entspricht dem üblichen Zusammenhang von ca. $30 \cdot \log(v/v_0)$. Dabei konnten die Fahrgeschwindigkeiten 80 und 100 km/h in Fahrtrichtung Süden und die Fahrgeschwindigkeit 40 km/h in Fahrtrichtung Norden berücksichtigt werden.

Es wurden die in Abbildung 38 und Abbildung 39 dargestellten Schalldruckpegel L_{Aeq, T_p} gemessen. Diese sind, wie in der TSI NOI vorgeschrieben, nach APL (wagenspezifisch) und Fahrgeschwindigkeit korrigiert². Jedoch muss stets die grundsätzliche Messunsicherheit der gesamten Messkette von 1.06 dB (entsprechend Anhang E der DIN EN ISO 3095) beachtet werden.

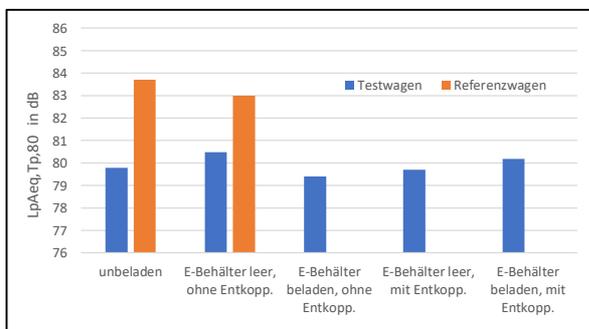


Abbildung 38: Luftschallpegel bei 80 km/h (Gerade)

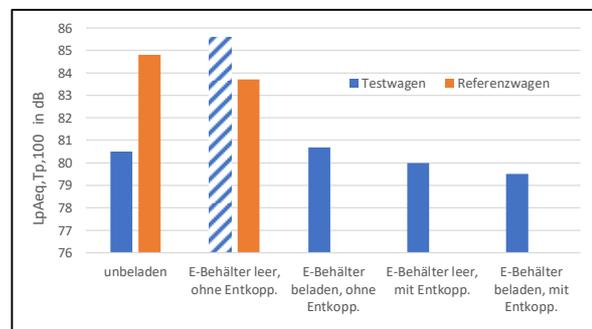


Abbildung 39: Luftschallpegel bei 100 km/h (Gerade)

² Der APL beträgt für diese CTW vom Typ Sgnss 0,2

Zusammengefasst ergeben sich die in Tabelle 4 aufgeführten Schallreduktionen³.

Tabelle 4: Zusammenfassung Schallreduktionen

Maßnahme	Änderung des $L_{Aeq,Tp,80}$	Fahrgeschwindigkeit
RS BA 308 + RSA bei Wagen ohne E-Behälter	-3.9 / -4.3 dB	80 / 100 km/h
RS BA 308 + RSA bei Wagen mit E-Behälter (leer)	-2.5 dB	80 km/h
Entkoppelung bei leerem E-Behälter	-0.8 dB	80 km/h
Entkoppelung bei beladenem E-Behälter	+0.8 / -1.2 dB	80 / 100 km/h

Da nicht alle Beladungs-Konstellationen vermessen wurden, kann nicht zu allen Fahrzeugkonstellationen eine direkte Aussage gemacht werden. Es kann jedoch angenommen werden, dass die akustisch relevante Wirkungen beider Maßnahmen (RS + RSA bzw. Entkoppelung) unbeeinflusst voneinander eintritt. Somit reicht es aus die Entkoppelung allein auf dem Testwagen zu prüfen.

Bei einer der drei Messfahrten „E-Behälter leer, ohne Entkoppelung“ mit 100 km/h zeigte sich bei dem Testwagen ein um ca. 2.5 dB auffällig erhöhter Schalldruckpegel (gegenüber den zwei weiteren Messfahrten in dieser Konstellation). Dies führt zu einer Min-Max-Differenz innerhalb der drei Messfahrten von bis zu 2.9 dB. Damit ist die Forderungen der DIN EN ISO 3095 erfüllt und das Ergebnis kann als belastbar angesehen werden. Jedoch ist die entsprechende Säule in Abbildung 39 schraffiert dargestellt, da sich bei den weiteren Fahrzeugkonstellationen deutlich geringere Min-Max-Differenzen gezeigt haben. Die Ursache ist unbekannt, jedoch ist nicht anzunehmen, dass durch die RSA das Rollgeräusch um ca. 2 dB bei 100 km/h erhöht, während es bei 80 km/h um 2.5 dB reduziert wird.

Die Kombination aus RS BA 308 und RSA zeigt bei CTW ohne E-Behälter eine Wirkung von 3.9 bzw. 4.3 dB (Fahrgeschwindigkeit von 80 bzw. 100 km/h). Bei aufgesetztem, leerem E-Behälter (ohne Entkoppelung) reduziert sich diese Wirkung auf 2.5 dB (bei 80 km/h). Naheliegende Ursache könnte sein, daß durch den E-Behälter eine zusätzliche Schallquelle vorliegt die den Radanteil (und somit auch die Rad-Minderungsmaßnahmen) überlagert. Jedoch zeigt sich bei den Referenzwagen keine Erhöhung der Absolutpegel durch den aufgesetzten (leeren) E-Behälter - vielmehr tritt hier eine Reduktion um 0.7 bzw. 1.1 dB ein (80 bzw. 100 km/h). Unter Beachtung der Messunsicherheit ergibt sich somit nur eine geringfügige Änderung der Absolutpegel durch den aufgesetzten (leeren) E-Behälter. Daher kann angenommen werden, dass auch hier durch die Kombination aus RS BA 308 und RSA ein Nutzen von mindestens ca. 2.5 dB erbracht wird.

Die Bewertung des Nutzens der Entkoppelung zeigt keine einheitliche Tendenz. Bei 80 km/h scheint die Entkoppelung bei dem *leeren* E-Behälter zu einem Nutzen von 0.8 dB zu führen, durch das o. g. Problem des auffälligen erhöhten Schalldruckpegels lässt sich dieser Effekt bei 100 km/h leider nicht validieren. Der *beladene* E-Behälter zeigt durch die Entkoppelung bei 80 km/h eine Luftschallpegel-Erhöhung von 0.8 dB, bei 100 km/h jedoch eine Luftschallreduktion von 1.2 dB. Diese Korrelation erscheint unplausibel, ebenso sind diese Pegeldifferenzen in der Größenordnung der Messunsicherheit. Daher kann hier keine abschließende Bewertung vorgenommen werden. Durch die hier angewandte Konstruktion bzw. die genutzten Materialien ist jedoch nur ein relativ kleiner Nutzen zu erwarten.

³ Da diese Differenzen selbst nicht frequenzbewertet sind werden sie in „dB“ angegeben. Sie stellen jedoch die Differenz zwischen frequenzbewerteten Absolutpegeln (hier: A-bewertet) dar.

Insgesamt zeigen diese Messergebnisse, daß das Projektziel, eine für das Schweizer Bahnnetz übertragbare Reduktion von 3 dB im Vorbeifahrt-Schalldruckpegel, bei Umsetzung dieser Maßnahmen für den unbeladenen Wagen vollständig und für den „Wagen mit leerem E-Behälter“ annähernd erreicht wird.

9.5 Ergebnisse Vorbeifahrt Bogen

Im Gleisbogen wurde der Nutzen von RS BA 308 + RSA nicht durch die Reduktion eines Schalldruckpegels, sondern durch die Reduktion des Auftretens von Bogengeräuschen bewertet. Daher wurde bei den Messfahrten der zeitliche Schalldruckpegel-Verlauf analysiert und schmalbandige Pegelspitzen in dem zu erwarteten Frequenzbereich >1 kHz detektiert.

In Abbildung 40 ist ein beispielhafter Schalldruckpegel-Frequenz-Zeit-Verlauf einer Messfahrt bei 20 km/h abgebildet.

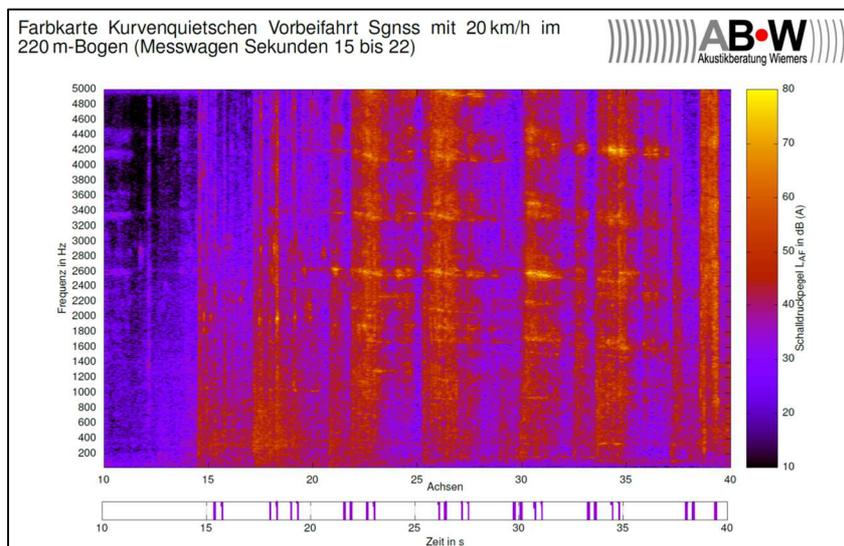


Abbildung 40: Bogenfahrt: Schalldruckpegel-Frequenz-Zeit-Verlauf (Beispiel)

Insgesamt zeigt sich, dass an dem mit RS BA 308 + RSA ausgestatteten CTW keine entsprechenden Schalldruckpegel-Verläufe sichtbar sind, die ein „Quietschgeräusch“ darstellen. Bei den gleichzeitig mitgeführten Referenz-CTW ist jedoch ab ca. 20 km/h ein „Quietschgeräusch“ sichtbar. Dies wurde auch durch den subjektiven Höreindruck bei Zugvorbeifahrt bestätigt, hier war zusätzlich eine räumliche Aufteilung der Schallquellen möglich (so dass auch „Quietschgeräusche“ von weiteren CTW im Messzug separiert werden konnten).

Somit kann geschlussfolgert werden, dass durch die Kombination von RS BA 308 und RSA unter diesen Fahrzeug-Gleis-Zuständen zusätzliche Bogengeräusche unterdrückt wurden.

10. Nachbereitung

10.1 Wirtschaftlichkeit

Da sich in den Nutzenmessungen keine eindeutig positive Aussage zu der hier entwickelten Entkoppelung der E-Behälter ergeben hat (siehe Kapitel 9.4), wird hier angenommen, dass allein die Maßnahme RS BA 308 mit RSA und Beschichtung umgesetzt wird. In den folgenden Ausführungen wird ein CTW, der entsprechend ausgerüstet wird, als „CTW_opt“ bezeichnet.

Der RS-Richtpreis eines CTW_opt wird Referenz genutzt und somit als „100 %“ bezeichnet (ohne RS-Lager, für Serien über ca. 1000 Stück RS).

Gegenüber einem konventionellen RS BA 308 ohne RSA und ohne Beschichtung mit Relest® SA NG (ebenfalls ohne RS-Lager), der zu einem Preis von ca. 70 % gegenüber der Referenz angeboten wird, ergeben sich Mehrkosten des CTW_opt von 1.125 EUR/RS bzw. 4.500 EUR/CTW. Im Vergleich zu einem der heutigen Standard-Güterwagen-RS z. B. vom Typ BA 004 (ohne RS-Lager, ohne RSA und ohne Beschichtung mit Relest® SA NG), der zu einem Preis von ca. 65 % gegenüber der Referenz angeboten wird, ergeben sich Mehrkosten des CTW_opt von 1.275 EUR/RS bzw. 5.100 EUR/CTW. Hier muss jedoch der erwartete geringere Verschleiß der Vollräder des RS BA 308 gegenüber dem Verschleiß der Räder des RS BA 004 mit in Betracht gezogen werden. Die Vorteile der Beschichtung sollten hierbei ebenfalls berücksichtigt werden.

Zur Information: Aufgrund der Projekterfahrung erwarten wir für den optimierten Containerzapfen (inkl. Elastomerplatte) bei größeren Serien Richtpreise von ca. 120 EUR/Stück, was einer Erhöhung um 30 EUR/Stück bzw. bei diesem CTW 840 EUR/Wagen entspricht. Hier haben wir die Einmalkosten der konstruktiven Anpassung berücksichtigt⁴, gehen jedoch davon aus, dass sich diese mit dem reduzierten Materialbedarf kompensieren.

Durch den CTW_opt ergeben sich keine direkten Differenzen der Einnahmen, da der Wagen durch die Wagenmieter gleich eingesetzt werden kann und keine Optimierungen in Bezug auf z. B. Beladung oder Fahrgeschwindigkeit bietet. Es wird davon ausgegangen, dass zum Zeitpunkt einer Serienanwendung alle relevanten Güterwagen auf Kompositbremsklötze umgerüstet sind und daher die in CH und D ab 2020 einsetzenden Betriebseinschränkungen auch mit vergleichbaren Wagen umgangen werden. Ebenso sind keine Vorteile aufgrund der lärmabhängigen Trassenpreise (in ihrer aktuellen Konstellation) angesetzt. Direkte Vorteile ergeben sich bei den Standzeiten der Räder, da diese aus dem verschleißreduzierenden Werkstoff ER7 ISG gefertigt sind. Dieser Werkstoff kann jedoch auch bei anderen Radbauarten genutzt werden und stellt daher kein Alleinstellungsmerkmal dar. Die Monetarisierung dieses Vorteils ist abhängig von Laufleistung etc. des Wagens und wird daher hier nicht durchgeführt.

⁴ Anzumerken ist, dass die aktuelle Containerzapfen-Konstruktion ungeschützt ist. Die Investition für eine konstruktive Anpassung muss jedoch von einem einzelnen Hersteller getragen werden – hier ist offen ob dann der angepasste Containerzapfen mit entsprechenden Schutzrechten belegt werden.

Eine Motivation zur Anwendung muss daher überwiegend aus einem zusätzlichen Vorteil der gegenüber den Grenzwerten nach TSI NOI weiter reduzierten Schallemission kommen. Diese muss daher zum Zeitpunkt der Investition dem Wagenhalter einen Vorteil bringen, jedoch mindestens kostenneutral umzusetzen sein. Weitere Vorteile ergeben sich durch die Kurvengeräusch-Unterdrückung⁵, die ebenfalls monetarisiert werden sollte.

Die Refinanzierung von fahrzeugseitigen Lärmschutzmaßnahmen kann entweder durch einen Investitionszuschuss oder eine Anpassung der lärmabhängigen Trassenpreise erfolgen. Letztere Möglichkeit wird durch Mietusch et al [12] empfohlen. Für Investitionszuschüsse stehen aktuell in Europa zwei Fördermöglichkeiten zur Verfügung:

- In CH: Investitionsbeihilfen an besonders lärmarmen Güterwagen [13], unter bestimmten Umständen betragen diese 60 (Anträge in 2017) bzw. 50 % (Anträge in 2018) der Mehrkosten gegenüber einem DG Y25. Das geförderte Wagen muss dabei mindestens 4 dB geringere Vorbeifahrt-Schalldruckpegel⁶ aufweisen.
- In D: Förderrichtlinie „TSI Lärm+“ [14], unter bestimmten Umständen fördert diese 40 % der Mehrkosten gegenüber einem vergleichbaren Wagen der die TSI-NOI-Grenzwerte einhält. Der geförderte Wagen muss dabei mindestens 3 (Wagen-Umbau) bzw. 5 dB (Neuwagenbeschaffung) geringere Vorbeifahrt-Schalldruckpegel, als in der TSI NOI spezifiziert, aufweisen.

Die Schweizer Beihilfe-Richtlinie berücksichtigt nicht explizit Maßnahmen zur Vermeidung von Kurvengeräuschen, gibt jedoch eine Empfehlung, dass das Bogengeräusch höchstens 3 dB über dem des Vorbeifahrgeräusches nach TSI NOI liegen soll. Damit werden entsprechend wirksame Maßnahmen obligatorisch.

Die deutsche Förderrichtlinie „TSI Lärm+“ berücksichtigt Maßnahmen gegen Bogengeräusche nicht.

Es ist grundsätzlich denkbar, dass zukünftig in weiteren Europäischen Ländern vergleichbare Fördermöglichkeiten bereitgestellt werden. Dabei muss jedoch die Rechtmäßigkeit einer Förderungs-Kombination mit den bestehenden Möglichkeiten geprüft werden.

Um den CTW_opt in bestehenden Förderungen berücksichtigen zu können müssen folgende Beschränkungen aufgehoben werden:

- CH-Investitionsbeihilfen: Der Anteil der Klotzbremse an der Wagen-Gesamtbremsleistung darf höchstens 40 % betragen – daher ist die Scheibenbremse hier indirekt vorgegeben.
- D-Förderrichtlinie „TSI Lärm+“: Formal ist keine Anpassung notwendig. Anmerkungen:
 - Durch den CTW_opt wird die notwendige Schallreduktion für einen Wagen-Umbau bereitgestellt, für einen Neuwagen (hier sind 5 dB Schallreduktion notwendig) müssen noch zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden.

⁵ Für eine rechtlich sichere Anerkennung empfehlen wir die Geräusch-Messung in weiteren Gleisbögen, deren Auswahl als ‚repräsentativ‘ für Abschnitte mit häufig auftretenden Bogengeräuschen angesehen werden kann. Diese sollten allgemein vereinbart werden.

⁶ Dieser Pegel wird entsprechend der TSI NOI noch nach der Achsdichte korrigiert.

- Durch die Förderung von 40 % der Mehrkosten ist für Wagenhalter keine ausreichende Wirtschaftlichkeit bei Umsetzung der Maßnahme gegeben.

Bei einer wirtschaftlichen Analyse des CTW_opt ist eine LCC-Analyse, wie sie z. B. nach Empfehlung der UIC [15] durchgeführt werden könnte, nicht sinnvoll und notwendig. Um einen vollständigen finanziellen Mehrkosten-Ausgleich entsprechend der beiden genannten Fördermöglichkeiten zu quantifizieren müssen vielmehr die bei einer Serienanwendung zu erwartenden Mehrkosten ermittelt werden.

Die Einführung von „darüber hinausgehenden technischen Maßnahmen zur Lärmreduktion am Wagenbestand“ wird auch von Mietusch et al gefordert. Sie schlagen dazu ein gestuftes Anreizsystem vor, bei denen „besonders stark wirkende Maßnahmen ... stärker belohnt werden“.

Weitere Bewertungen der möglichen Anreizsysteme und deren spezifischer Nachteile im Hinblick auf den CTW_opt muss durch ökonomische Experten erfolgen. Für in Deutschland relevante Aspekte sei auch auf das Kapitel 12.2 in Mietusch et al verwiesen.

10.2 Handlungsempfehlungen

Aus den Projektergebnissen leiten sich die folgenden Handlungsempfehlungen ab:

1. Die Kombination aus RS BA 308 und RSA zeigt eine Rollgeräuschreduktion von ca. 3 – 4.5 dB (Wagen ohne E-Behälter) bzw. ca. 2.5 dB (Wagen mit leeren E-Behälter beladen). Durch die Höhe dieses Nutzens ist eine Anwendung zu empfehlen.
2. Es ist zu erwarten, dass durch das Relest® SA NG kein akustischer Nutzen eingebracht wird. Aus Gründen des optimierten Korrosions- und Schlagschutzes sowie der Langlebigkeit kann die Serienanwendung der Beschichtung mit Relest® SA NG jedoch empfohlen werden.
3. Aktuell ist keine Anreizwirkung zu Umrüstung von Güterwagen auf einen Zustand ‚leiser als TSI NOI‘ gegeben, bei der die hier untersuchte Maßnahme auch finanziell gefördert werden könnte. Daher ist eine Anpassung (Öffnung) vorhandener Förderinstrumente in CH und D zu empfehlen. Dies würde auch weitere Technologien die Anwendung ermöglichen. Konkret bedeutet dies:
 - a. Für die Schweizer Investitionsbeihilfe: Verzicht auf die obligatorische Scheibenbremsforderung
 - b. Für die deutsche Förderrichtlinie „TSI Lärm+“: Formal ist keine Anpassung notwendig.
 - i. Jedoch ist zum Erreichen der Förderschwelle bei Neuwagen zusätzlicher Schallschutz durch weitere Maßnahmen notwendig (nicht jedoch bei Wagenumbauten).
 - ii. Durch die Wagenhalter wird prognostiziert, dass die Förderhöhe nicht ausreicht, um die Maßnahme wirtschaftlich umsetzen zu können.
4. Die Umsetzung von fahrzeugseitigen Maßnahmen gegen Bogengeräusche bei Güterwagen ist sowohl von der akustischen Nachweisführung als auch der rechtlich-organisatorischen Markteinführung erst in den Anfängen entwickelt. In diesem Projekt wurde aufgezeigt, dass serienreife Produkte verfügbar sind. Ebenso wie bei den bekannten Maßnahmen zur Rollgeräuschreduktion, ergibt sich jedoch aus der Anwendung für die Wagenhalter kein direkter finanzieller Vorteil. Daher müssen jetzt die politisch-rechtlichen Voraussetzungen zum Start der

Markteinführung geschaffen werden. Vereinfachende Synergieeffekte könnten aus der Erweiterung bestehender Förderinstrumente gewonnen werden.

11. Literatur

- [1] Bericht Teilprojekt C: DB SYSTEMTECHNIK: Abschluss-Bericht Innovationsprojekt „Leiser Zug auf realem Gleis“ (LZarG), Dokument 07-P-4115-T.TVI32(1) – LZarG-Abschluss. 31.08.2011. – Forschungsbericht
- [2] JOSEF MEYER Waggon AG Rheinfelden: „Container – Tragwagen JMR CTW 2004“, Technische Beschreibung, 2008
- [3] Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 der Kommission vom 26. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lärm“ (TSI NOI)
- [4] WASCOSA: flex freight system®, 2016
- [5] Verordnung (EU) Nr. 321/2013 der Kommission vom 13. März 2013 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Güterwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union und zur Aufhebung der Entscheidung 2006/861/EG der Kommission (TSI WAG)
- [6] www.vpihamburg.de/verbandsservice/instandhaltungsleitfaden/module
- [7] DIN EN ISO 3095:2013 Bahnanwendungen - Akustik - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen (ISO 3095:2013); Deutsche Fassung EN ISO 3095
- [8] Akustikberatung Wiemers: Bericht Projekt: P 1109-2016 "Forschungsprojekt leiser Güterwagen BAFU", 2017
- [9] DIN EN 15610:2009 Bahnanwendungen - Geräuschemission - Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch
- [10] Sehu, D. et al: sonRAIL Projektdokumentation, Band 1, 2010
- [11] DIN EN 15461:2011 Bahnanwendungen - Schallemission - Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtmessungen
- [12] Mietusch, K. et al: „Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms“, UBA-Texte 19/2017
- [13] BAFU / BAV: „Der besonders lärmarme Güterwagen Pflichtenheft“, 2017
- [14] BMVI: Förderrichtlinie des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur zur Förderung der Beschaffung neuer Güterwagen oder des Umbaus von Bestandsgüterwagen, die den Grenzwert für das Vorbeifahrgeräusch der TSI Fahrzeuge – Lärm unterschreiten (Förderrichtlinie „TSI Lärm+“), 2017
- [15] UIC "Axles Wheels EN50126" Group of Experts: Guideline Life Cycle Costing (LCC), 2015

12. Anhang

12.1 Ansicht der Messstellen der Nutzenmessung

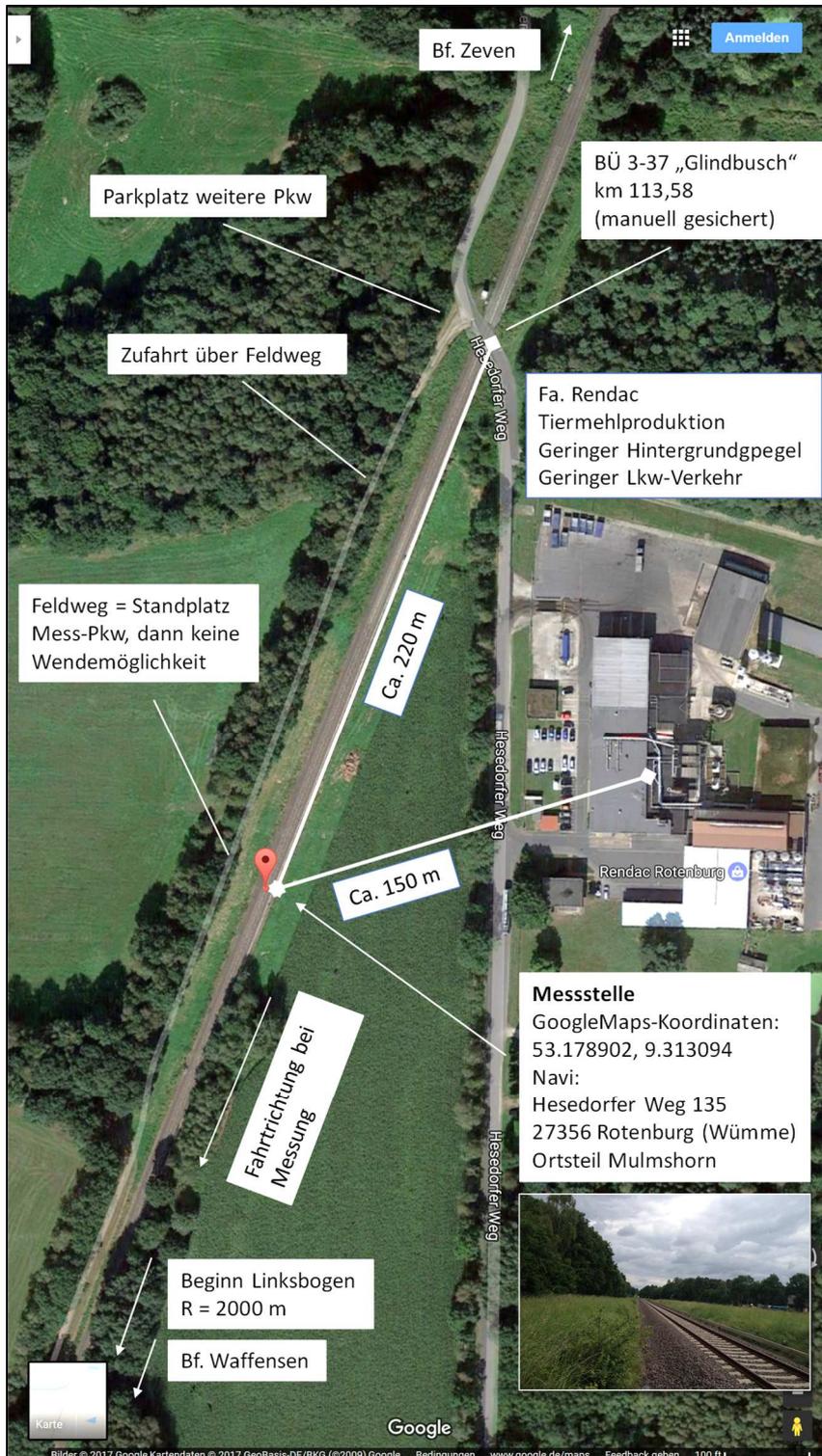


Abbildung 41: Lageplan der Messstelle "Mulmshorn" (Basis: GoogleMaps)

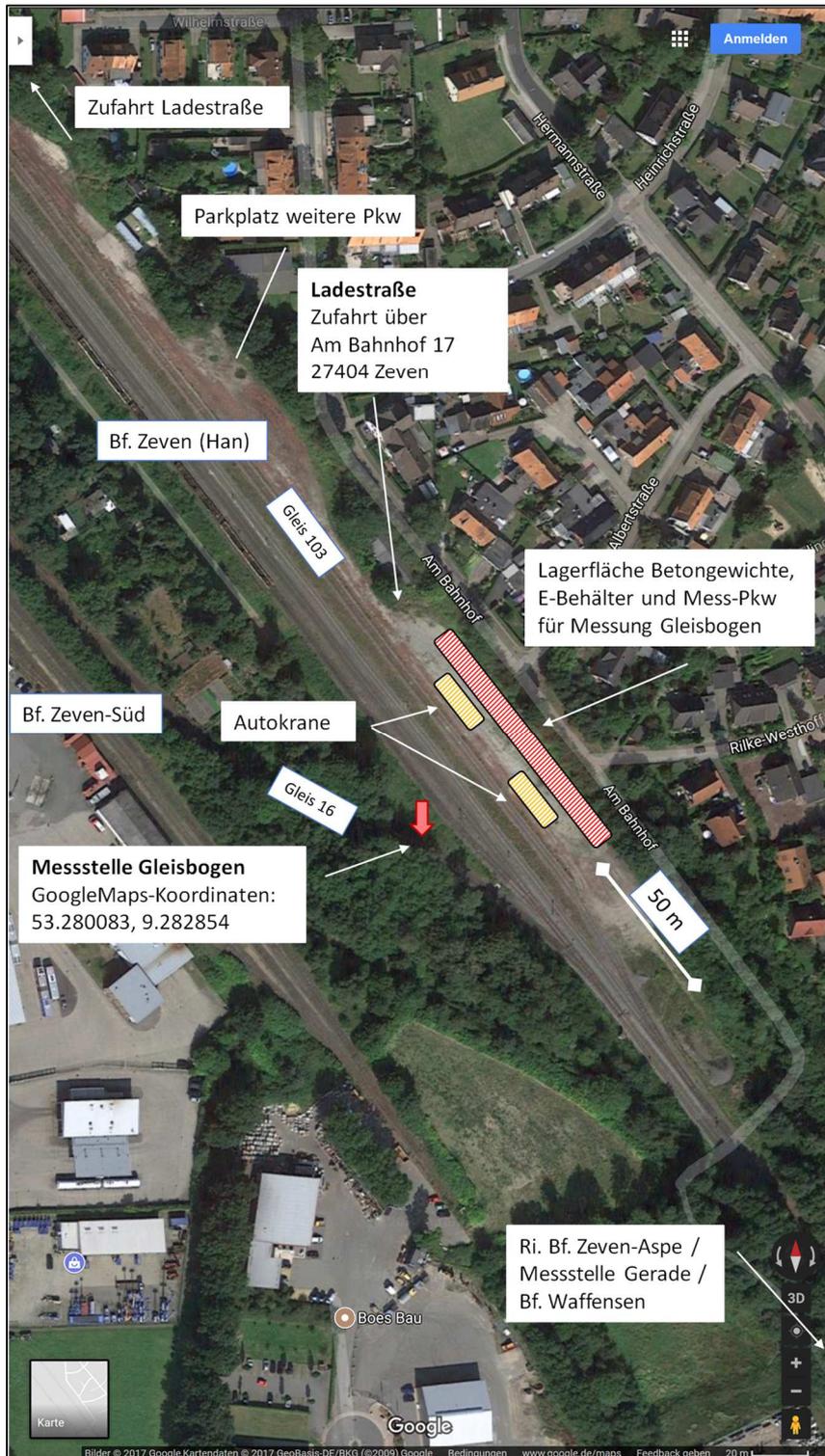


Abbildung 42: Lageplan der Messtelle "Gleisbogen" und der Ladegleise (Basis: GoogleMaps)

12.2 Impressionen der Nutzenmessungen



Abbildung 43: Ansicht der Messstelle Mulmshorn



Abbildung 44: Sichern eines Bahnüberganges



Abbildung 45: Elastomer unter Containerzapfen



Abbildung 46: Geladene Bestensteine - die Seitenwände werden nicht berührt



Abbildung 47: Bestensteine-Zwischenlager auf Ladestraße



Abbildung 48: Messzug im Gleisbogen



Abbildung 49: Umsetzen der 30'-E-Behälter