Gesamtoptimierter innovativer Güterwagen

Forschungsprojekt Eisenbahnlärm „Technologien an Güterwagen“ 2017

-

Schlussbericht

TRIT-13105079

VTG Cargo AG

&

TÜV Rheinland Schweiz GmbH



Im Auftrag der Schweizerischen Eidgenossenschaft vertreten durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Verkehr (BAV).

Revisionsverzeichnis

Revision	Datum	Änderungen
-	28.11.2019	Erstausgabe
Rev 1	07.01.2020	Einarbeitung der Anmerkungen vom BAFU

Impressum

Auftraggeber: Schweizerische Eidgenossenschaft; Bundesämter für Umwelt (BAFU) und Verkehr (BAV), CH-3003 Bern.

Das BAFU und das BAV sind Ämter des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Auftragnehmer: VTG Cargo AG

Autor/Autorin: VTG Cargo AG & TUV Rheinland Schweiz GmbH

Begleitung BAFU: Sandro Ferrari, Fredy Fischer

Hinweis: Dieser Bericht wurde im Auftrag der Bundesämter für Umwelt (BAFU) und Verkehr (BAV) verfasst. Für den Inhalt ist alleine der Auftragnehmer verantwortlich.

Zusammenfassung

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat Anfang 2017 ein Forschungsprojekt Eisenbahnlärm „Technologie an Güterwagen“ 2017 ausgeschrieben, worauf sich die VTG Cargo AG und die TÜV Rheinland Schweiz GmbH als Arbeitsgemeinschaft (Arge) beworben hat. Im Dezember des gleichen Jahres wurde das Projekt gestartet.

Eines der Forschungsziele war es einen Güterwagen zu optimieren, so dass ein Schalldruckpegel $L_{pAeq,apl}$ = 79 dB(A) +10*log(apl/0,225) bei der Vorbeifahrt mit 80 km/h unterschritten wird. Für den im Projekt verwendet Güterwagen würde sich demnach ein Soll-Schalldruckpegel von 78,4 dB(A) ergeben. Das Ziel der Arge war es den Soll-Schalldruckpegel noch weiter zu unterschreiten und ein Schalldruckpegel von 77,5 dB(A) zu erlangen.

Um dieses Ziel zu erreichen wurden durch die Arge verschiedene Optimierungsmassnahmen an zwei Containertragwagen Sgns(s) 60` vorgenommen. Innerhalb des Projektes wurde in die Güterwagen ein neukonzipiertes Drehgestell RC25NT-H-D der Firma ELH sowie ein innovatives Bremssystem, besteht aus einer leichten Bremszange und Bremsscheibe, einem innovativem Radsatz und eine Schallschürze mit einem Absorber aus einem mikrogeschlitztem Akustikblech verbaut.

Am 10. und 12. September 2019 wurden die akustischen Untersuchungen der beiden umgebauten Güterwagen vorgenommen. Dabei ging es nicht nur um den Nachweis des Forschungsziels, sondern auch um eine Einschätzung der Wirksamkeit der einzelnen Minderungsmassnahmen. Dazu wurden Messungen an Referenzwagen vorgenommen, die am ersten Messtag ein Y25-Drehgestell und am zweiten Messtag ein RC25NT-D-Drehgestell verbaut hatten. Weiterhin wurde ein Vergleich der umgebauten Containertragwagen mit und ohne Schallschürze vorgenommen.

Es zeigte sich, dass am ersten Messtag der Einfluss des Referenzwagens mit dem Y25-Drehgestell, aufgrund einer vorhandenen Flachstelle an den Rädern, auf die Emissionswerte der umgebauten Containertragwagen einen deutlichen Einfluss hatte. Am zweiten Messtag besassen die Räder des Referenzwagens mit dem RC25NT-D-Drehgestell auch erhöhte Radrauheiten. Die erzielten Ergebnisse der Prüfwagen mit und ohne Schallschürze sind in Tabelle 1 zusammengetragen.

Beim Vergleich der erzielten Emissionswerte der Prüfwagen ohne und mit Schallschürze zeigt sich, dass die Schallschürze hier keinen nennenswerten Minderungseffekt erzielen konnte. Dies ist auf die Radrauheitsunterschiede der für die Auswertung verwendeten Radsätze zurückzuführen. Demnach hatten die Räder des Prüfwagens mit Schallschürze eine höhere Radrauheit, als die Räder des Prüfwagens ohne Schallschürze. Einen positiven Effekt der Schallschürze konnte dennoch durch die durchgeführten Arraymessungen gezeigt werden.

Tabelle 1: Ergebnisse der Vorbeifahrtmessungen

Wagen	Emissionspegel [dB(A)]	
	80 km/h	115 km/h
Prüfwagen ohne Schallschürze	**76,5**	**81,7**
Prüfwagen mit Schallschürze	**76,6**	**82,1**

Anhand der gemessenen Emissionspegel der Prüfwagen mit und ohne Schallschürze ist ersichtlich, dass das Forschungsziel mit den verwendeten Minderungsmassnahmen erreicht wurde.

Die Güterwagen wurden nicht nur hinsichtlich der Geräuschemission, sondern auch hinsichtlich des Gewichtes optimiert. Durch das leichtere Drehgestell und das leichte Bremssystem konnte eine Gewichtsreduktion (ohne Schallschürze) von ca. 800 kg pro Wagen erzielt werden.

Aufgrund der Schallschürze musste eine digitale Bremsanzeige zur Überwachung der Achslager in die Containertragwagen eingebaut werden. Zur Ortung wurde ein Telematik-System der Firma Nexxiot AG verbaut.

Abschliessend ist ein Vergleich des Basispreises Verschleiss für das schweizer Trassenpreissystem für einen Güterwagen mit einem Y25-Drehgestell und dem neukonzipierten RC25NT-H-D-Drehgestell vorgenommen worden. Es zeigt sich, dass das RC25NT-H-D-Drehgestell bei den geschwindigkeitsabhängigen Fahrzeugpreisen etwas teurer, dafür aber bei den bogenabhängigen Fahrzeugpreisen deutlich günstiger ist.

Das Projekt wurde fristgerecht und erfolgreich beendet.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 3

Ausgangslage 9

1 Einleitung 10

2 Projektplanung 11

2.1 Arbeitspaket 1- Konzeption und Engineering 12

2.2 Arbeitspaket 2- Beschaffung und Bau 12

2.3 Arbeitspaket 3- Messung und Auswertung 12

3 Optimierungsmassnahmen am Containertragwagen 13

3.1 Innovationen im Untergestell 14

3.1.1 Innovatives Drehgestell 14

3.1.2 Innovativer Radsatz 17

3.2 Innovatives Bremssystem 17

3.2.1 Scheibenbremse 18

3.2.2 Bremszangen 18

3.3 Schallschürze 19

3.3.1 Entwicklung 19

3.3.2 Untersuchungen 23

3.4 Digitale Diagnosesysteme 25

3.4.1 Sensoren und Telematik 25

3.4.2 Digitale Bremsanzeige 26

4 Schallmessung und Bremsversuche 27

4.1 Akustische Vorbeifahrtmessungen 28

4.1.1 Messung nach TSI NOISE 29

4.1.2 Arraymessungen 30

4.1.3 Messung im Bogen 33

4.1.4 Messung am Bahnhof 33

4.1.5 Radrauheitsmessungen 34

4.2 Ergebnisübersicht der akustischen Vorbeifahrtmessungen 35
4.3 Bremsversuchsmessung 36
5 Einschätzung des innovativen Drehgestells hinsichtlich des Trassenpreises für Verschleiss 38
6 Anhang 42
6.1 Prüfbericht der akustischen Messungen 42
6.2 Prüfbericht der Bremsversuche 126
6.3 Prüfbericht zur Simulationsberechnung 160
6.4 Prüfbericht für die Ausdrehversuche 220

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Containertragwagen Sgns(s) 60` 13
Abbildung 2: RC25NT-H-D-Drehgestell von der Firma ELH 15
Abbildung 3: Güterwagendrehgestell RC25NT-D (oben) und RC25NT-H-D (unten) 16
Abbildung 4: Innovatives Rad von der Firma Bonatrans mit Ringelement 17
Abbildung 5: Innovatives Bremssystem 18
Abbildung 6: Verschleisssensoren an den Bremsbelägen 19
Abbildung 7: Akustimet-Schallabsorber als V2A-Blech 20
Abbildung 8: Montage einer Schallschürzenkassette (links = innen, rechts = aussen) 21
Abbildung 9: Schallschürze am Containertragwagen 22
Abbildung 10: Seitliche Schallschürzen und obere Abdeckung (gelb) am Containertragwagen 23
Abbildung 11: Berechnungsergebnis des Lichtraum-/ Fahrzeugumgrenzungsprofils 23
Abbildung 12: Ausdrehversuch eines umgebauten Containertragwagen Sgns(s) 60` 24
Abbildung 13: Telematikgerät der Firma Nexxiot AG 25
Abbildung 14: Konzept zur Durchführung der akustischen Messungen 27
Abbildung 15: Akustische Vorbeifahrtmessung in Kerzers 29
Abbildung 16: Arraymesseinheit am Messort km 24,58 30
Abbildung 17: Arraymessung des Versuchszugs, blauer Ausschnitt Referenzwagen mit RC25NT-D; roter Ausschnitt Prüfwagen mit RC25NT-H-D ohne Schallschürze 31
Abbildung 18: Arraymessung des Versuchszugs, blauer Ausschnitt Referenzwagen mit RC25NT-D; roter Ausschnitt Prüfwagen mit RC25NT-H-D mit Schallschürze 32
Abbildung 19: Vergleich Arraymessung mit und ohne Schallschürze bei 2.000 Hz .. 32
Abbildung 20: Radrauheitsmessung am Radsatz eines umgebauten Containertragwagens 34

Abbildung 21: Ergebnisse der Radrauheitsmessung 35
Abbildung 22: Bremsversuchsmessung mit beladenem Güterwagen 37
Abbildung 23: Differenz des Fahrzeugpreises zum Basispreis Verschleiss in CHF/km zwischen dem Y25- und RC25NT-H-D- Drehgestell (Y25 - RC25NT-H-D) 40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der Vorbeifahrtmessungen 4
Tabelle 2: Projektplan 11
Tabelle 3: Technische Daten des Containertragwagens Sgns(s) 60´ 14
Tabelle 4: Gewichtsersparnis zwischen dem RC25NT-D- und RC25NT-H-D-Drehgestell 16
Tabelle 5: Massen der Schallschürzen- "Kassetten" 21
Tabelle 6: Bedeutungen der Anzeigen des digitalen Bremssystems 26
Tabelle 7: Zusammenstellung des Versuchszugs 28
Tabelle 8: Gemessene Emissionspegel nach TSI Noise 30
Tabelle 9: Gemessene Emissionspegel der Bogendurchfahrt 33
Tabelle 10: Gemessene Emissionspegel der Bahnhofsdurchfahrt 34
Tabelle 11: Emissionspegel der Vorbeifahrtmessungen 36
Tabelle 12: Ergebnisse der Bremsversuche gemäss UIC- Kodex 544-1 37
Tabelle 13: Ergebnisse der Simulationsrechnungen 38
Tabelle 14: Fahrzeugpreis im CHF/km für RC25NT-H-D-Drehgestell bei unterschiedlichen Radsatzlasten 39
Tabelle 15: Basispreis Verschleiss für die Strecke von Basel SBB nach Chiasso für einen Güterwagen 41

Ausgangslage

Im Jahr 2000 waren in der Schweiz 265'000 Menschen schädlichem oder lästigem Eisenbahnlärm ausgesetzt. Zu ihrem Schutz wurde nach Massgabe des Bundesgesetzes vom 24. März 2000 über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (BGLE alt) bis 2015 ein umfassendes Konzept zur Lärmreduktion umgesetzt. Es beinhaltete Massnahmen am schweizerischen Rollmaterial, die Realisierung von Lärmschutzwänden und den Einbau von Schallschutzfenstern. Damit konnten unter weitgehender Einhaltung der Fristen und mit einer wesentlichen Unterschreitung der ursprünglich geschätzten Kosten zwischen 160'000 und 170'000 Menschen vor übermässigem Lärm geschützt werden.

Das im Gesetz formulierte Minimalziel zur Anzahl der zu schützenden Personen (Schutzgrad) von mindestens zwei Dritteln wurde mit 60-64% jedoch knapp nicht erreicht.

Das Parlament trat deshalb im Rahmen der Beratung der Gesamtschau FinöV (ZEB-Gesetz) nicht auf eine Kürzung des Lärmkredites ein. Es verlangte, dass mit den verbleibenden Finanzmitteln eine Verbesserung des Lärmschutzes zu erreichen sei.

Auf der Grundlage von Artikel Art. 10a des revidierten BGLE kann der Bund Mittel für die Ressortforschung im Geltungsbereich des Gesetzes gemäss Art. 1 bereitstellen.

Mit dieser Ressortforschung sollen lärmmindernde Technologien bei Infrastruktur und Rollmaterial zur Reduzierung des Fahrlärms von Eisenbahnen um mindestens 1 dB (Beurteilungspegel Lr nach Massgabe LSV) erforscht werden. Die Vorhaben können im Stadium der Entwicklung (Ideenphase), Erprobung (Konzeptphase) oder Zulassung (Anwendungsphase) sein.

Mit der Umrüstung der Schweizer Güterwagenflotte mit Verbundstoffbremssohlen und der Festlegung von Emissionsgrenzwerten für bestehende Güterwagen ab 2020 sind fahrzeugseitig bedeutende Massnahmen zur Reduzierung der Lärmemissionen vorgenommen worden.

(Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU, CH-3003 Bern)

1 Einleitung

Die Schweizerische Eidgenossenschaft vertreten durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat im März 2017 ein Forschungsprojekt zum Thema Eisenbahnlärm 2017 „Technologie an Güterwagen“ ausgeschrieben. Die Arbeitsgemeinschaft VTG Cargo AG (kurz VTG) und TÜV Rheinland Schweiz GmbH (kurz TÜV) haben im Dezember 2017 den Zuschlag für dieses Forschungsprojekt erhalten.

Ziel des Forschungsprojekts war es, einen Güterwagen dahingehend zu optimieren, dass bei der Vorbeifahrt ein Schalldruckpegel $L_{pAeq,apl}$ = 79 dB(A) +10*log(apl/0.225) unterschritten wird. Weiterhin wurden die wirtschaftlichen Aspekte der Optimierung berücksichtigt.

Im Rahmen des Projektes wurden zwei Containertragwagen Sgns(s) 60´ hinsichtlich ihrer Geräuschemission optimiert. Dazu wurden Minderungs- oder Optimierungsmassnahmen an den Drehgestellen, Radsatz und am Bremssystem vorgenommen. Für die weitere Minderung der Geräuschemission der Containertragwagen wurde eine Schallschürze entwickelt, die aus einem neuartigen metallischen Absorber besteht.

Des Weiteren ist ein digitales Diagnosesystem in die Containertragwagen installiert worden, um so die Ortung des Güterwagens, aber auch eine digitale Anzeige des Bremszustandes und der Achslagertemperatur zu bekommen.

In diesem Bericht wird auf die entwickelten Komponenten und deren akustischer Nachweis, bzw. messtechnische Überprüfung eingegangen.

2 Projektplanung

Das Forschungsprojekt wurde von der Arbeitsgemeinschaft von VTG und TÜV in die drei folgenden Arbeitspakete gegliedert:

- Arbeitspaket 1: Konzeption und Engineering
- Arbeitspaket 2: Beschaffung und Bau
- Arbeitspaket 3: Messung und Auswertung

Die einzelnen Arbeitspakete sind in verschiedene Zeitabschnitte eingeteilt worden. Bei den Arbeitspaketen 1 und 2 fand teilweise eine zeitliche Überschneidung statt, da einige Komponenten neu konstruiert werden mussten und andere nicht. Das Projekt startete im Dezember 2017 und die Abschlusssitzung fand im Dezember 2019 statt. Damit ergibt sich eine Gesamtprojektlaufzeit von 2 Jahren (siehe Projektplan in Tabelle 2).

Tabelle 2: Projektplan

Projektdauer	Konzeption und Engineering																	Messung und Auswertung											
													Beschaffung und Bau																
Jahr	**2017**	**2018**												**2019**															
Monat	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Projektstart und Startsitzung	♦1																												
Konzeption																													
Zwischensitzung					♦2																								
Engineering																													
Beschaffung Komponenten																													
Einbau Komponenten																													
Zwischensitzung								♦3a							♦3b														
Messung Referenz- und lärmoptimierte Wagen																													
Zwischensitzung																							♦4						
Auswertung und Berichtserstellung																													
Schlusssitzung und Projektende																									♦5				
Monat	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Jahr	**2017**	**2018**												**2019**															

2.1 Arbeitspaket 1- Konzeption und Engineering

Im Rahmen des Arbeitspakets 1 sind gemeinsam von VTG und TÜV detaillierte Konzepte für die verwendeten innovativen Komponenten ausgearbeitet worden. Mit der Entwicklung einiger Komponenten wurden Ingenieurbüros beauftragt. So wurde bspw. die Schallschürze (siehe Kapitel 3.3) von der Firma Waggonbau Graff entwickelt und von der Firma Waggonbau Niesky gebaut.

Für den Nachweis des Projektziels mussten akustische Vorbeifahrtmessungen vorgenommen werden. Gemeinsam mit der Firma Prose AG wurde dazu ein Messkonzept ausgearbeitet.

2.2 Arbeitspaket 2- Beschaffung und Bau

Im Arbeitspaket 2 wurden die Firmen mit der Weiterentwicklung, Fertigung und schlussendlichen Lieferung der innovativen Komponenten beauftragt. Dabei wurde eine Vielzahl von Gesprächen mit verschiedenen Lieferanten durchgeführt. Sobald ein geeigneter Lieferant gefunden wurde, wurde dieser mit der teilweisen Prototypenfertigung beauftragt.

Die weiterentwickelten Drehgestelle wurden von der Firma Eisenbahnlaufwerke Halle (ELH) gefertigt und mit dem innovativen Bremssystem der Firma Faiveley und dem innovativen Radsatz der Firma Bonatrans versehen. Die fertigen Drehgestelle wurden dann an die Firma Waggonbau Niesky geliefert, welche die Umbaumassnahmen an den beiden Güterwagen vorgenommen haben.

2.3 Arbeitspaket 3- Messung und Auswertung

Die Firma Prose AG hat die akustischen Messungen vom 09.09. bis 12.09.2019 anhand des ausgearbeiteten Konzeptes aus Arbeitspaket 1 durchgeführt. Zusätzlich zu den akustischen Messungen wurden Bremsversuche vorgenommen, da in den Güterwagen ein neuentwickeltes Bremssystem eingebaut und dieses auch noch nicht zugelassen wurde. Abschliessend die Ergebnisse zusammengetragen und in mehreren Berichten verfasst.

3 Optimierungsmassnahmen am Containertragwagen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zwei Containertragwagen Sgns(s) 60´ der Firma VTG AG mit verschiedenen innovativen Massnahmen versehen. In Abbildung 1 ist bespielhaft ein Containertragwagen Sgns(s) 60´ dargestellt.

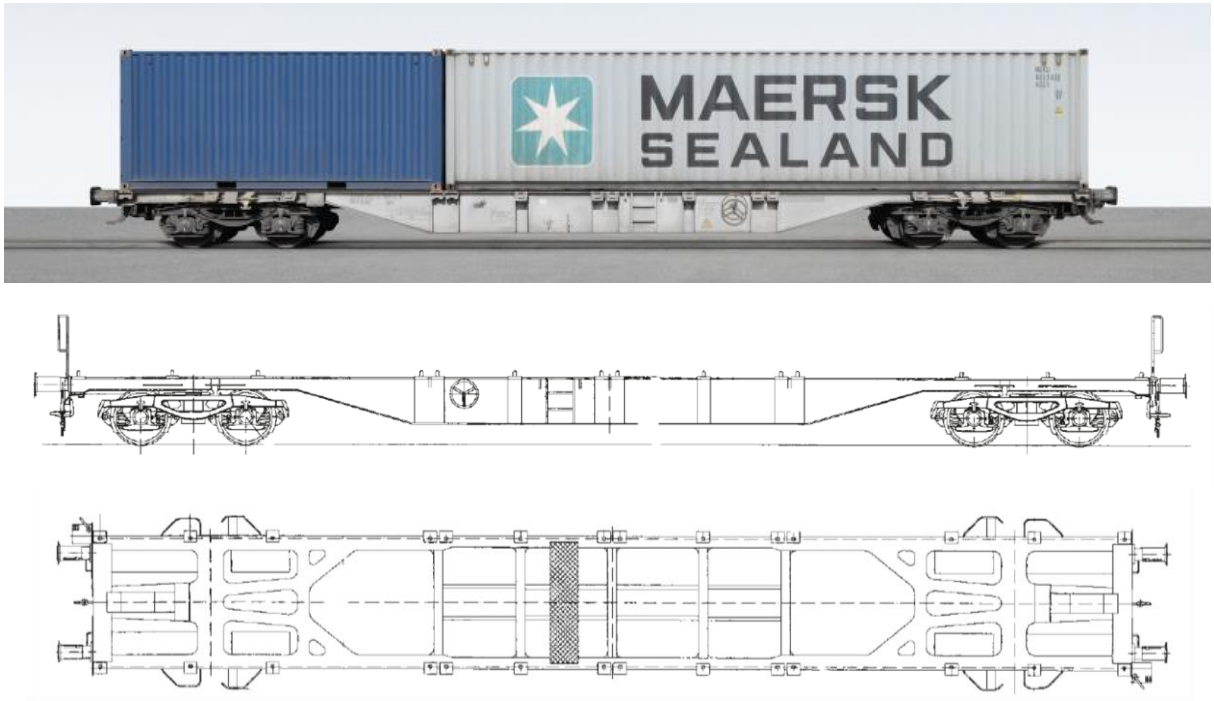


Abbildung 1: Containertragwagen Sgns(s) 60`

Bei den verwendeten Güterwagen handelt es sich um den meistbenutzten „Allround“-Wagen für den kombinierten Verkehr, mit einem idealen Ladegewicht von total 70 t, der sehr gut geeignet ist für maritime Container, Tankcontainer und Wechselbehälter. Dieser Wagentyp erbringt eine hohe Laufleistung in der Schweiz.

Tabelle 3: Technische Daten des Containertragwagens Sgns(s) 60´

Eigengewicht	ca. 20 t
Max. Zuladung	70 t
Radsatzlast	22,5 t
Raddurchmesser	920 mm
Länge über Puffer, gesamt	19.640 mm
Abstand äussere Radsätze	16.000 mm
Bremse	KE-GP-A 16“/Ch-GP-A 16“/DK-GP-A 16“
Sohlenkategorie	GG-Sohle/LL-Sohle
Min. befahrbarer Kurvenradius	150 m (im Zugverband)
Max. Geschwindigkeit	120 km/h (leer)
Ladelänge	18.400 mm
Ladelänge in Fuss	60 ft
Ladebreite	2.600 mm
Ladehöhe über SOK, unbeladen	1.155 mm
Fährbootfähigkeit	2° 30‘

In den folgenden Kapiteln wird auf die verwendeten Massnahmen zur Minderung der Schallemission und der Gewichtsreduktion detaillierter eingegangen. Insgesamt gab es drei grosse Bereiche auf die sich die einzelnen Massnahmen fokussiert haben.

3.1 Innovationen im Untergestell

In diesem Kapitel wird auf die Innovationen eingegangen, die am Drehgestell und am Radsatz vorgenommen wurden.

3.1.1 Innovatives Drehgestell

Das innovative Drehgestell TYP RC25NT-H-D besteht aus einer Wiege, zwei Langträger, zwei separaten Bremsträgern und einem zweistufigen Federsystem. Es ist für eine Radsatzlast von 25 t ausgelegt und besitzt eine radiale Einstellbarkeit im Bogenlauf, die durch eine Deichselanlenkung realisiert wird. Des Weiteren wird durch die radiale Einstellung eine Reduzierung der Geräuschemission und des Radsatzverschleisses erzielt.

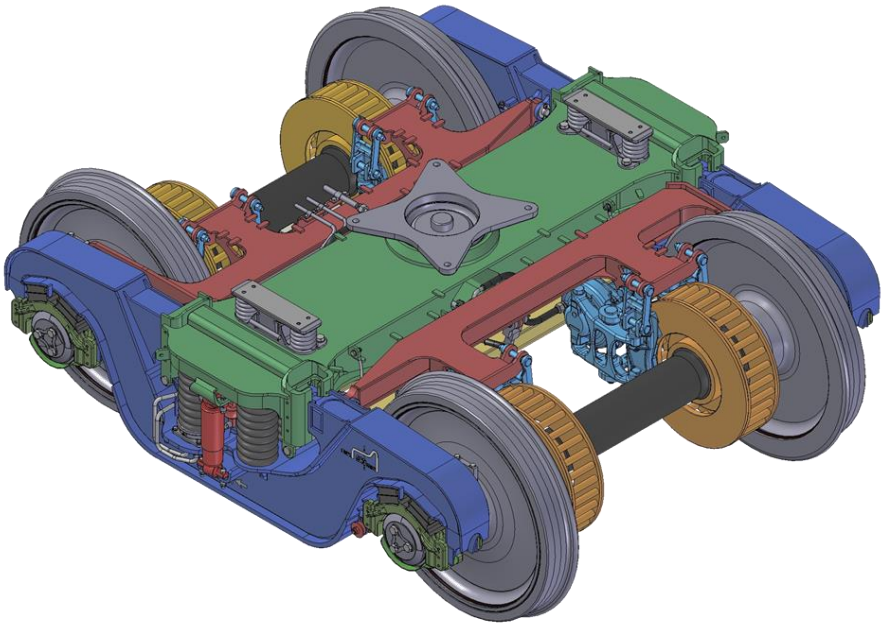


Abbildung 2: RC25NT-H-D-Drehgestell von der Firma ELH

Das von der Firma ELH neukonzipierte Drehgestell TYP RC25NT-H-D ist eine Weiterentwicklung des bereits auf dem Markt befindlichen Drehgestells Typ RC25NT-D. Der entscheidende Unterschied der beiden Drehgestelle ist das Dämpfungssystem in der sekundären Federebene. Das RC25NT-H-D ist anstatt mit einer Reibungsdämpfung mit einem hydraulischen Dämpfer ausgestattet, was zu einer Verbesserung der Laufdynamik und zu einer Gewichtseinsparung führt. Die primäre Federstufe ist bei beiden Drehgestelltypen identisch und besteht aus einer Gummi-Metallfeder.

In Abbildung 3 ist oben das ELH Güterwagendrehgestell Typ RC25NT-D und unten das neukonzipierte Drehgestell TYP RC25NT-H-D dargestellt. Die rote Umrandung zeigt den seitlich angebrachten hydraulischen Dämpfer am TYP RC25NT-H-D.

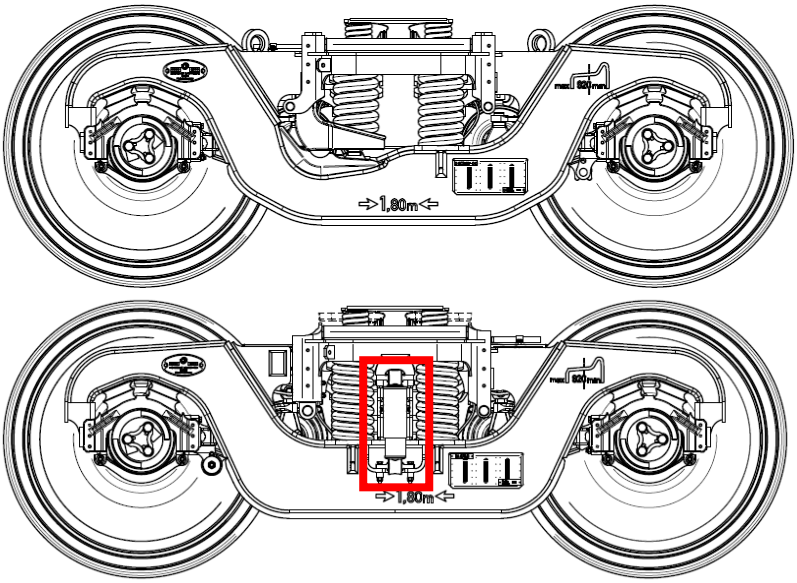


Abbildung 3: Güterwagendrehgestell RC25NT-D (oben) und RC25NT-H-D (unten)

Im Hinblick auf eine Weiterentwicklung des bestehenden Drehgestells RC25NT-D, hat ELH das Drehgestell RC25NT-H-D hinsichtlich des Gewichtes weiter optimiert. So wurden Optimierungen am Langträger, am Querträger, am Bremsträger, an der Deichsel, an der Feststellbremse und an den Gleitstücken vorgenommen.

In Tabelle 4 sind die Gewichte der beiden Drehgestelltypen mit und ohne Handbremse und die jeweiligen Gewichtseinsparnisse aufgeführt. Die Angaben für das RC25NT-H-D sind inklusive der innovativen Radsätze (siehe Kapitel 3.1.2) und des innovativen Bremssystems (siehe Kapitel 3.2).

Tabelle 4: Gewichtsersparnis zwischen dem RC25NT-D- und RC25NT-H-D-Drehgestell

	TYP RC25NT-D	TYP RC25NT-H-D	Gewichtsersparnis
ohne Handbremse	4.930 kg	4.715 kg	**215 kg**
mit Handbremse	5.010 kg	4.770 kg[1]	**240 kg**

[1] Das Handbremsrad wurde aufgrund der Schallschürze in der Mitte des Containertragwagens angebracht.

3.1.2 Innovativer Radsatz

Als Radsatz wurde der innovative Radsatz der Firma Bonatrans verwendet. Dieser besitzt einen geraden Steg und ist zusätzlich zur Minderung der Schallemission mit einem Ringelement im inneren Radumfang ausgestattet. Der im Projekt verwendete Radsatz ist bereits auf dem Markt verfügbar und wurde nicht explizit für dieses Projekt weiterentwickelt.

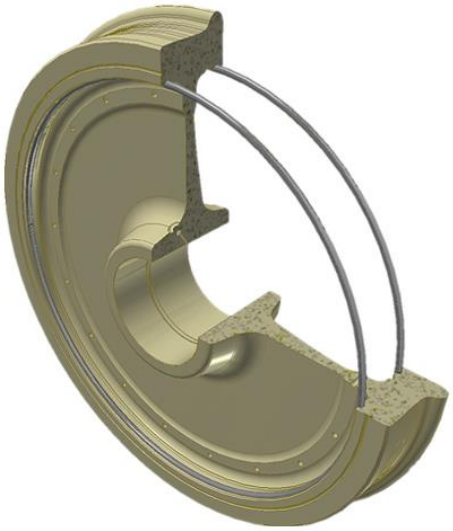


Abbildung 4: Innovatives Rad von der Firma Bonatrans mit Ringelement

(Quelle: GHH-Bonatrans)

Der Radsatz wurde abschliessend mit einer Beschichtung der Firma BASF versehen, die einen Strukturdämpfungseffekt besitzt. Die Beschichtung Masterseal M 813 ist an den 8 Radsätzen der RC25NT-H-D-Drehgestelle aufgetragen worden.

3.2 Innovatives Bremssystem

Im Schienengüterverkehr werden vermehrt Scheibenbremsen eingesetzt. Nachteilig sind hier aber die höheren Beschaffungskosten und das höhere Gewicht durch die Scheiben und die Bremszylinder. Bei dem im Projekt verwendeten Bremssystem der Firma Faiveley Transport handelt es sich um eine schon erprobte geschweisste Stahlscheibenbremsscheibe und neuentwickelten Bremszangen, die jeweils hinsichtlich des Gewichtes optimiert wurden. In den weiteren Kapiteln wird näher auf das Bremssystem eingegangen.

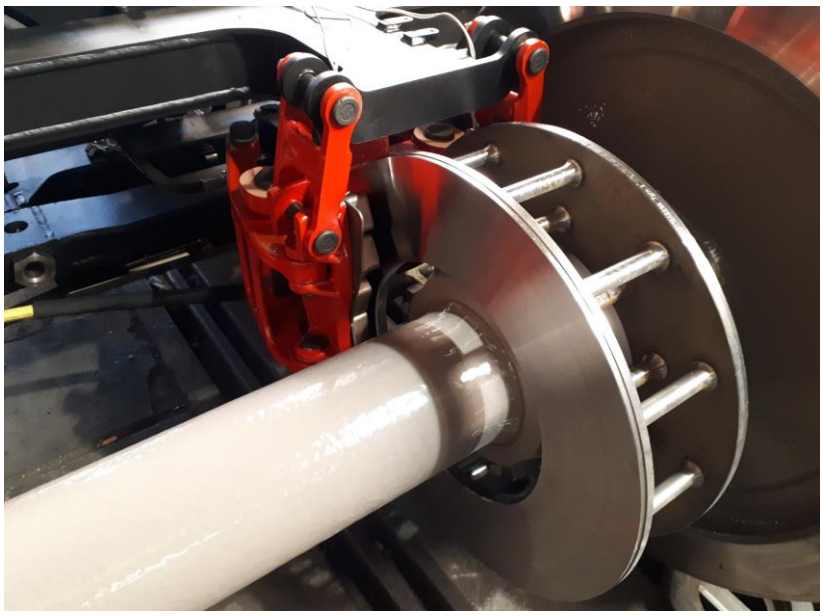


Abbildung 5: Innovatives Bremssystem

3.2.1 Scheibenbremse

Konventionelle Bremsscheiben werden aus Graugusseisen gefertigt. Die innovative FreightFlexx Bremsscheibe der Firma Faiveley wird durch ein speziell entwickeltes Produktionsverfahren, als ein geschweisstes Bauteil gefertigt. Durch dieses Verfahren wird eine deutliche Gewichtseinsparung von 49 kg pro Scheibe (FreightFlexx 86 kg pro Bremsscheibe gegenüber konventionelle Bremsscheiben 135 kg) realisiert. Dadurch werden die Zuladungsverluste durch den Einsatz einer Scheibenbremse deutlich reduziert.

3.2.2 Bremszangen

Für eine weitere Gewichtsersparnis wurde die Firma Faiveley mit der Weiterentwicklung einer leichteren Bremszange (Calipers) beauftragt. Die neuentwickelte Bremszange besitzt ein Gewicht von ca. 74 kg pro Bremssattel.

Für die Diagnose des Bremsbelagsverschleisses wurden Sensoren an den Bremsbelägen angebracht (siehe Abbildung 6). Die Sensoren zeigen an, wann die Verschleissgrenze des jeweiligen Bremsbelages erreicht ist und geben diese Information zur visuellen Anzeige an die Telematikeinheit (siehe Kapitel 3.4.1) weiter.

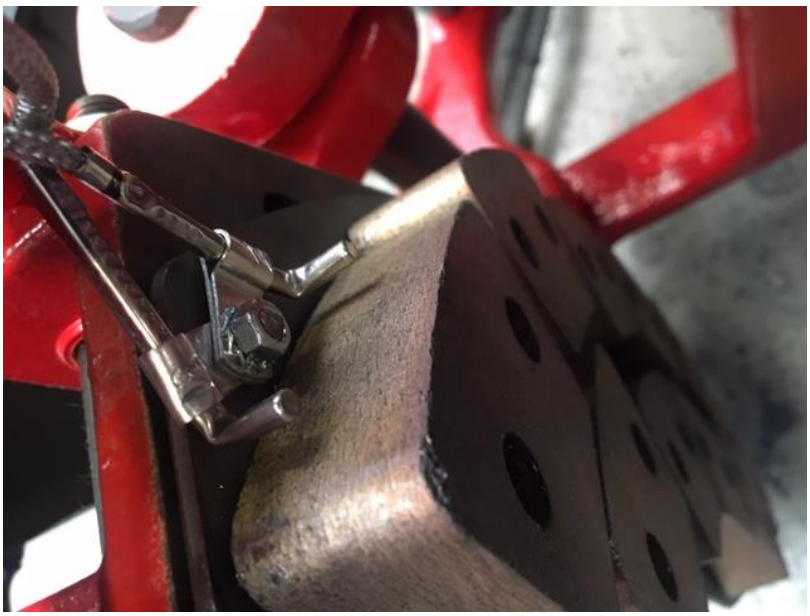


Abbildung 6: Verschleisssensoren an den Bremsbelägen

3.3 Schallschürze

Um die Geräuschemission eines vorbeifahrenden Güterwagens weiter zu mindern, wurde in diesem Projekt eine Schallschürze entwickelt, die aus innovativen Absorptionsmaterialien besteht. In den weiteren Kapiteln wird auf die Entwicklung und den vorgenommenen Untersuchungen der Schallschürze eingegangen.

3.3.1 Entwicklung

Ein Ziel bei der Entwicklung der Schallschürze war es, ein neues Material zu verwenden, dass auch bei den teilweise extremen Bedingungen im Schienengüterverkehr seine Wirkung nicht verliert. In der Regel werden zur Schallabsorption Akustikschäume eingesetzt. Da Güterwagen den verschiedensten Witterungen ausgesetzt sind, verlieren die meisten Akustikschäume auf Grund von Verschmutzung in kürzester Zeit ihre Absorptionswirkung.

Nach einigen Recherchen hat sich ein Material als geeignet gezeigt, dass schon teilweise im Eisenbahn- und vor allem im Industriebereich eingesetzt wird. Der verwendete Absorber ist ein mikrogeschlitztes Akustikblech (Akustimet) aus V2A (Edelstahl), das von der Firma HumanTec geliefert wurde. Das Akustikblech zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass es sehr Witterungsbeständig und sehr leicht zu reinigen ist (einfach mit Wasserhochdruck oder Wasserdampf). In der Industrie wird dieser Absorber hauptsächlich in Bereichen eingesetzt, in denen akustische Schäume oder ähnliches nicht eingesetzt werden können, z.B. im

Lebensmittelbereich. Dort wird dieses Material eingesetzt um die Geräuschemission der Verarbeitungsmaschinen zu mindern. In Abbildung 7 ist beispielhaft der Akustimet-Schallabsorber dargestellt.



Abbildung 7: Akustimet-Schallabsorber als V2A-Blech

Des Weiteren spielte die Instandhaltung der Schürze bei der Entwicklung eine wichtige Rolle. Die Schallschürzen sollten schnell demontiert und einfach ersetzt werden können. Dazu wurde die Schallschürze als „Kassette“ ausgeführt, die dann über spezielle Halter am Tragrahmen befestigt wird. Die Halter wurden so ausgelegt, dass sie bei einer Begegnungsfahrt nicht abreissen (siehe Abbildung 8). Die Schallschürzenkassetten sind innen (zum Drehgestell zeigend) mit dem Akustimet-Schallabsorber-Material und aussen mit einem speziellen Sandwichblech aus Edelstahl vernietet worden. Das Sandwichblech ist zu 100% entdröhnt, so dass die relativ grosse Fläche der Kassette bei einer Körperschallanregung kein Luftschall abstrahlt. Durch diesen Aufbau wird das Laufgeräusch, das im Bereich des Radsatzes entsteht, am Ausbreitungsweg absorbiert und kein Luftschall wird durch die Schallschürze abgestrahlt.

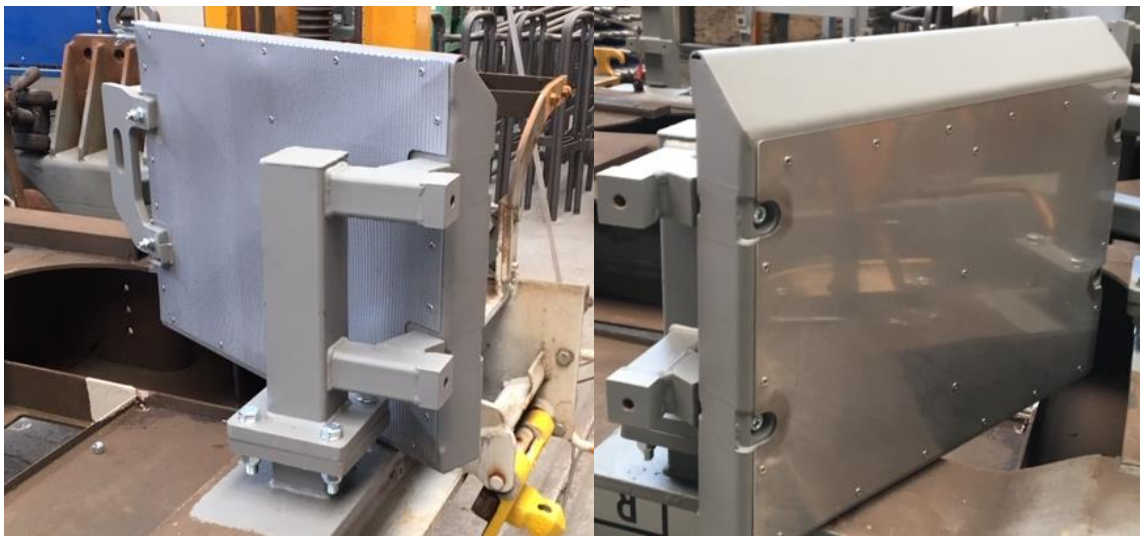


Abbildung 8: Montage einer Schallschürzenkassette (links = innen, rechts = aussen)

Um die Schallschürze unabhängig vom eingebauten Drehgestell zu entwickeln und um zusätzliche Halter am Drehgestell zu vermeiden, wurde die Schallschürze am Tragrahmen des Containertragwagens befestigt. Durch die Anbringung der Schallschürze am Tragrahmen konnte im Vergleich zu einer Anbringung am Drehgestellrahmen die unabgefederte Masse am Drehgestellrahmen verringert werden, da das verwendete Drehgestell über eine sekundäre Federstufe verfügt (siehe Kapitel 3.1.1). Für den bestmöglichen akustischen Effekt wurde die Schallschürze bis vor das jeweilige Rad im Drehgestell gezogen. Dadurch ergeben sich insgesamt acht Schallschürzenkassetten pro Drehgestell. In Abbildung 9 sind die seitlichen (grosse „Kassetten“) und vor dem Rad befindlichen Kassetten (kleine „Kassetten“) dargestellt.

Für die Betrachtung der Gewichtszunahme der Wagen durch die Schallschürzen sind in Tabelle 5 die Massen der Schallschürzen-„Kassetten“ aufgelistet.

Tabelle 5: Massen der Schallschürzen- "Kassetten"

	kleine „Kassette“	grosse „Kassette“
Gewicht pro „Kassette“ [kg]	24	41
Anzahl pro Wagen [-]	8	8
Gesamtgewicht pro Wagen [kg]	**192**	**328**



Abbildung 9: Schallschürze am Containertragwagen

Insgesamt ergab sich aus den Schallschutzmassnahmen eine Gesamtgewichtszunahme pro umgebauten Containertragwagen von 1.234 kg.

Ein weiterer Aspekt der berücksichtigt wurde ist die Aerodynamik. Diese wurde durch die seitliche Verkleidung der Drehgestelle und der Verlängerung der Schallschürze bis zur Neigung des Längsträgers verbessert[2].

Zusätzlich zu den seitlichen Schallschürzen wurde eine Abdeckung des Fachwerks am Tragrahmen oberhalb der Drehgestelle vorgesehen. Dadurch wird die Ausbreitung der Schallwellen[3] bei einem unbeladenen Containertragwagen gemindert. Abbildung 10 zeigt die seitlichen Schallschürzen und die obere Abdeckung am Sgns(s) 60´Containertragwagen. Für die Abdeckung wurde auch das Sandwichblech aus V2A verwendet.

[2] Es wurde nur hinsichtlich der Auslegung und Konstruktion der Schallschürze auf die aerodynamischen Aspekte geachtet. Es wurde diesbezüglich kein Nachweis vorgenommen.

[3] Diese entstehen durch das Rollgeräusch an den Rädern.

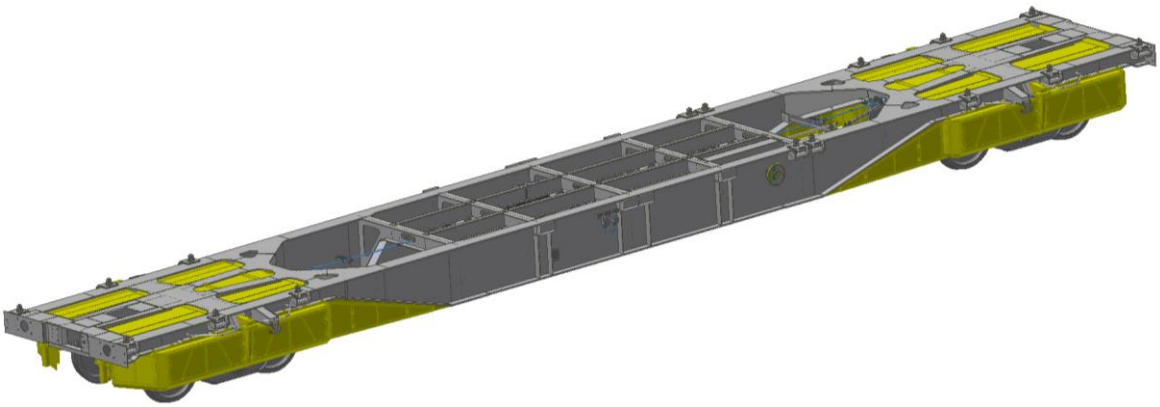


Abbildung 10: Seitliche Schallschürzen und obere Abdeckung (gelb) am Containertragwagen

3.3.2 Untersuchungen

Bevor die Fertigung der Schallschürze beginnen konnte, wurde die Konstruktion hinsichtlich der Einhaltung des Lichtraumprofils durch die Firma Waggonbau Graaff überprüft. Die Ergebnisse der Berechnung und das Fahrzeugprofil sind in Abbildung 11 dargestellt.

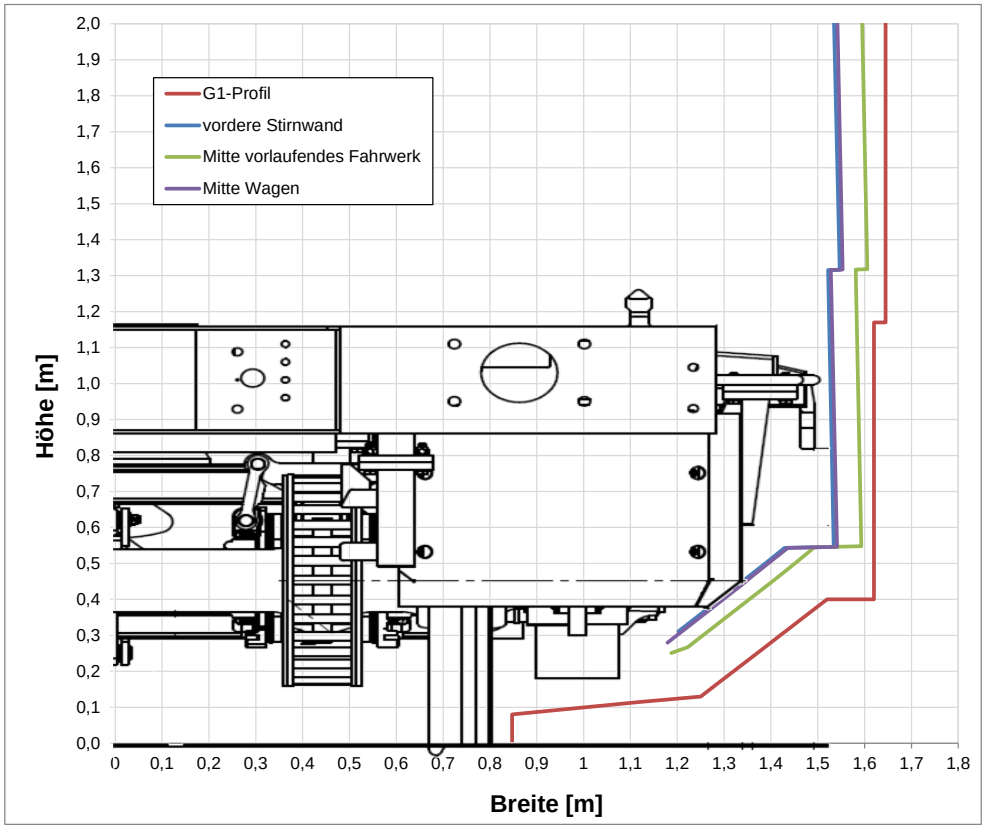


Abbildung 11: Berechnungsergebnis des Lichtraum-/ Fahrzeugumgrenzungsprofils

Die vordere Stirnwand ist bei der Fahrzeugumgrenzung das kritische Profil. Durch die Anbringung der Schallschürze am Tragwerk des Containertragwagens, war es nicht möglich die Schallschürze weiter nach unten zu ziehen, ohne dass die Schallschürze in das Fahrzeugumgrenzungsprofil hineingeragt hätte.

Nach der Fertigung und der Montage der Schallschürze und aller anderen Komponenten wurde durch die Fima Waggonbau Niesky ein Ausdrehversuch vorgenommen, um zu prüfen, ob das ausgedrehte Drehgestell in einem 75 m-Bogen nicht an der seitlichen Schallschürze anschlägt und die Kabellängen für das digitale Diagnosesystem ausreichend sind. Die Bogenfahrt wurde durch die Drehung auf einer Drehscheibe simuliert.



Abbildung 12: Ausdrehversuch eines umgebauten Containertragwagen Sgns(s) 60`

Die Prüfung konnte mit einem positiven Ergebnis abgeschlossen werden. Bei ausgedrehtem Drehgestellt in einem 75 m-Bogen beträgt der Freiraum ca. 25 mm.

Der Prüfbericht ist im Anhang (Kapitel 6.4) angefügt.

Als abschliessende Prüfung wurde eine Vermessung der umgebauten Wagen durch die Firma Waggonbau Niesky vorgenommen. Dabei ist auch das Gesamtgewicht der einzelnen Containertragwagen ermittelt worden. Die Wagen wiegen zwischen 20,431 t und 20,439 t. Damit ergibt sich eine Gewichtszunahme mit allen Anbauten von nur 0,431 t bis 0,439 t im Vergleich zu einem Standard Containertragwagen

Sgns(s) 60`. Bei Abzug der Massen der Schallminderungsmassnahmen ergibt sich ein Gesamtgewicht der umgebauten Containertragwagen von 19,197 t und 19,205 t.

3.4 Digitale Diagnosesysteme

Die Digitalisierung im Schienengüterverkehr wird hinsichtlich der steigenden Transportleistung immer wichtiger. So sind beispielsweise Telematik-Systeme für die Logistik und digitale Bremsanzeigen für die schnelle Abfertigung der Wagen in modernen Güterwagen unabdingbar.

In diesem Kapitel wird auf die verwendeten Sensoren und Telematik-Einheiten sowie die digitale Bremsanzeige eingegangen.

3.4.1 Sensoren und Telematik

In diesem Projekt wurde ein Telematik-System der Firma Nexxiot AG in dem Versuchsträger eingebaut. Dieses System verwendet VTG schon seit einigen Jahren zur genauen Standortbestimmung ihrer Güterwagenflotte.

Mittels des eingebauten GPS ist nicht nur die genaue Standortbestimmung des jeweiligen Güterwagens möglich, sondern auch eine Track and Trace-Funktion abgebilde. Des Weiteren verfügt das System über eine Sensorik womit Stösse, wie bspw, Rangierstösse, erfasst werden können und mit einem Ort- und Zeitstempel versehen werden. Für die Überwachung der Achslager wurde ein spezieller Temperatursensor am Achslagergehäuse angebracht. Die Einheit des Telematik-Systems ist grundsächlich erweiterbar und kann mit weiteren Sensoren ausgestattet werden.

Das in Abbildung 13 dargestellte Telematikgerät wurde gut sichtbar an der Seite des Containertragwagens angebracht.



Abbildung 13: Telematikgerät der Firma Nexxiot AG

3.4.2 Digitale Bremsanzeige

Auf Grund der Ausstattung des Containertragwagens mit der in Kapitel 3.3 beschriebenen Schallschürze und der Verwendung eines Scheibenbremssystems, musste ein digitales Bremsmonitoring-System im Containertragwagen verbaut werden.

Das Bremsmonitoring-System der Firma Asto Telematics GmbH detektiert über verschiedene Sensoren den Zustand der Bremse und gibt diese an den beiden seitlich angebrachten Anzeigen wieder. So kann bspw. der Wagenmeister den Zustand der Bremse mit einem geringen zeitlichen Aufwand überprüfen. Die Bedeutungen der auf den Bremsanzeigen dargestellten Informationen sind in Tabelle 6 aufgeführt und beschrieben.

Tabelle 6: Bedeutungen der Anzeigen des digitalen Bremssystems

	Anzeige	Bedeutung	Funktionen[4]
		Druckluftbremse	**<u>aus</u>;** gelöst; angelegt
		Handbremse	**<u>ganz gelöst</u>;** nicht ganz gelöst
		Bremsstellung	**<u>G</u>**; P
		Waggon	**<u>leer</u>;** beladen; überladen
		Bremsbelag Stärke	**<u>einsetzbar</u>;** verschlissen
		Drehpfannen-gleiteinlage	**<u>einsetzbar</u>;** verschlissen
		Fehler im Drehgestell	links; mittig; rechts
		Batterie	**<u>geladen</u>;** leer

[4] Die fettdargestellten und unterstrichenen Funktionen sind die dargestellten Anzeigen in der Abbildung.

4 Schallmessung und Bremsversuche

Für den Nachweis der Unterschreitung der Geräuschemission des geforderten Schalldruckpegels von $L_{pAeq,apl}$ = 79 dB(A) +10*log(apl/0.225)[5], wurden am 10. und 12. September 2019 akustische Vorbeifahrmessungen mit den umgebauten Containertragwagen auf der BLS Strecke zwischen Kerzers und Müntschemier in der Schweiz durchgeführt. Dabei wurden Vorbeifahrten auf gerader Strecke nach TSI NOISE sowie im Bogen als auch im Bahnhof mit leeren Güterwagen vorgenommen. In Abbildung 14 ist das Konzept zur Durchführung der akustischen Messungen dargestellt.

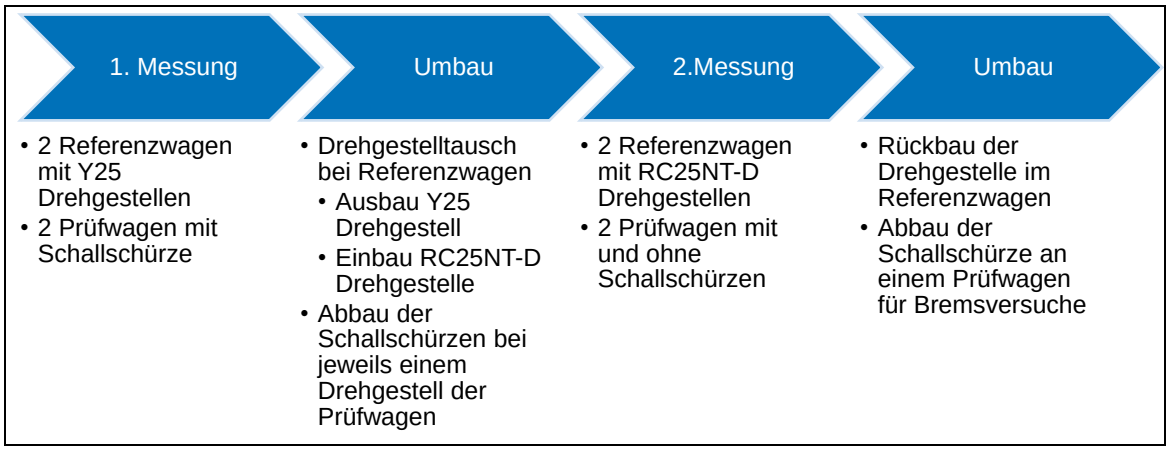


Abbildung 14: Konzept zur Durchführung der akustischen Messungen

Aufgrund des neukonzipierten Bremssystems mussten Bremsversuche durchgeführt werden. Die Messungen fanden an drei Versuchstagen in KW38/19 und KW39/19 zwischen Stein-Säckingen und Sisseln in der Schweiz statt.

Sowohl die akustischen Messungen als auch die Bremsversuche wurden durch die Firma Prose AG durchgeführt.

In den weiteren Unterkapiteln wird auf die jeweilige Vorbeifahrtmessung, die Radrauheitsmessungen und auf die Bremsversuche präziser eingegangen und die erzielten Ergebnisse dargestellt.

Die Messprotokolle der Messungen sind im Anhang (Kapitel 6.1und 6.2) angefügt.

[5] Bei den umgebauten Containertragwagen ergebe sich aus der Formel ein Soll-Schalldruckpegel von 78,6 dB(A).

4.1 Akustische Vorbeifahrtmessungen

Für die Messungen wurden die zwei umgebauten Containertragwagen von Niesky nach Luterbach in die Schweiz transportiert. In Luterbach wurden dann die Radrauheitsmessungen durchgeführt sowie die Demontage der Schallschürze für den zweiten Messtag. Die Zusammenstellung des Versuchszuges ist in Tabelle 7 dargestellt. Die Vorbeifahrtmessungen wurden in beiden Richtungen vorgenommen, so dass die Lokomotive jeweils an den Endpunkten rangiert werden musste.

Tabelle 7: Zusammenstellung des Versuchszugs

Pos.	Wagen	TYP	Drehgestell	
			1. Messtag	2. Messtag
1	Lokomotive	RE 4/4 I		
2	Pufferwagen	EW II		
3	Referenzwagen	Sgns(s)	Y25	RC25NT-D
4	Referenzwagen	Sgns(s)	Y25	RC25NT-D
5	Prüfwagen	Sgns(s)	RC25NT-H-D	RC25NT-H-D
6	Prüfwagen	Sgns(s)	RC25NT-H-D	RC25NT-H-D
7	Pufferwagen	EW II		

Am ersten Messtag waren die beiden Prüfwagen mit der Schallschürze ausgestattet und unter den beiden Referenzwagen waren jeweils Y25-Drehgestelle mit einem LL-Sohlen-Bremssystem verbaut. Die Y25-Drehgestelle wurden am zweiten Messtag gegen RC25NT-D-Drehgestelle getauscht. Des Weiteren sind die Schallschürzen an jeweils zwei Drehgestellen demontiert worden.



Abbildung 15: Akustische Vorbeifahrtmessung in Kerzers

4.1.1 Messung nach TSI NOISE

Die Messungen für die Beurteilung des Vorbeifahrtpegels der verschiedenen Konfigurationen nach TSI NOISE wurden bei Kilometer 24,58 durchgeführt. Dabei sind jeweils drei Messungen bei den Vorbeifahrtgeschwindigkeiten von 80 km/h und 115 km/h vorgenommen worden. Des Weiteren wurden die Schalldruckpegel auf beiden Gleisseiten gemessen.

Bei den Messungen am ersten Messtag zeigte sich, dass einige Räder der Referenzwagen (Y25-Drehgestell) Flachstellen aufwiesen. Auch Radsätze der am zweiten Messtag eingebauten RC25NT-D-Drehgestelle in den Referenzwagen hatten Flachstellen. Durch die hohen Emissionspegel der Referenzwagen, die durch die Flachstellen erzeugt werden, wurden die Emissionspegel der Prüfwagen deutlich beeinflusst. Es war bei den Messungen nicht möglich, die Radsätze auf der Strecke zu tauschen.

Nach dem ersten Messtag wurde entschieden, dass jeweils nur an einem Drehgestell des Prüfwagens die Schallschürze entfernt wird, damit die Konfigurationen mit Schallschürze auch am zweiten Tag gemessen werden konnte.

In Tabelle 8 sind die gemessenen und normierten[6] Emissionspegel nach TSI Noise dargestellt.

Tabelle 8: Gemessene Emissionspegel nach TSI Noise

	80 km/h	80 km/h normiert	115 km/h	115 km/h normiert
Referenzwagen mit Y25-DG	90,9	91,9	96,6	92,3
Referenzwagen mit RC25NT-D	81,8	82,2	86,7	82,4
Prüfwagen ohne Schallschürze	**76,5**	**76,9**	**81,7**	**77,1**
Prüfwagen mit Schallschürze	**76,6**	**77,1**	**82,1**	**77,3**

4.1.2 Arraymessungen

Zusätzlich zu den Standard-Mikrofon-Messungen nach TSI NOISE wurden von der Firma Prose AG Arraymessungen der Vorbeifahrt auf gerader Strecke vorgenommen. Die Messungen wurden am gleichen Messort wie die TSI NOISE Messungen vorgenommen.

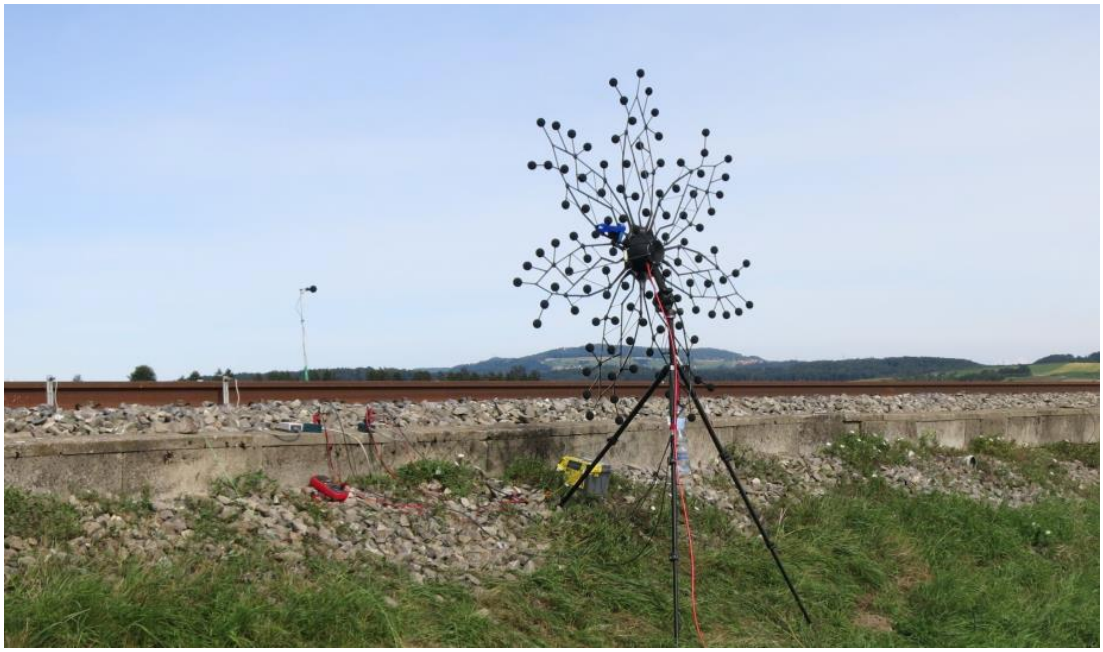


Abbildung 16: Arraymesseinheit am Messort km 24,58

[6] Normiert auf 80 km/h und einem apl von 0,225.

Bei den Arraymessungen können die dominierenden Schallquellen bei der Vorbeifahrt erfasst und dargestellt werden. Das Messgerät (siehe Abbildung 16) wurde in einem Abstand von 4,0 m zur Gleismitte aufgestellt. Die Achse der Kamera in der Mitte des Arrays befand sich auf 0,5 m über SOK.

In Abbildung 17 und Abbildung 18 werden Ergebnisse der Arraymessungen dargestellt. Der im blauen Kasten gezeigte Ausschnitt ist der, der auch für die Auswertung des Referenzwagens mit dem RC25NT-D-Drehgestell verwendet wird. Beim roten eingerahmten Ausschnitt handelt es sich in Abbildung 17 um den Prüfwagen mit RC25NT-H-D-Drehgestell ohne Schallschürze und in Abbildung 18 mit Schallschürze.

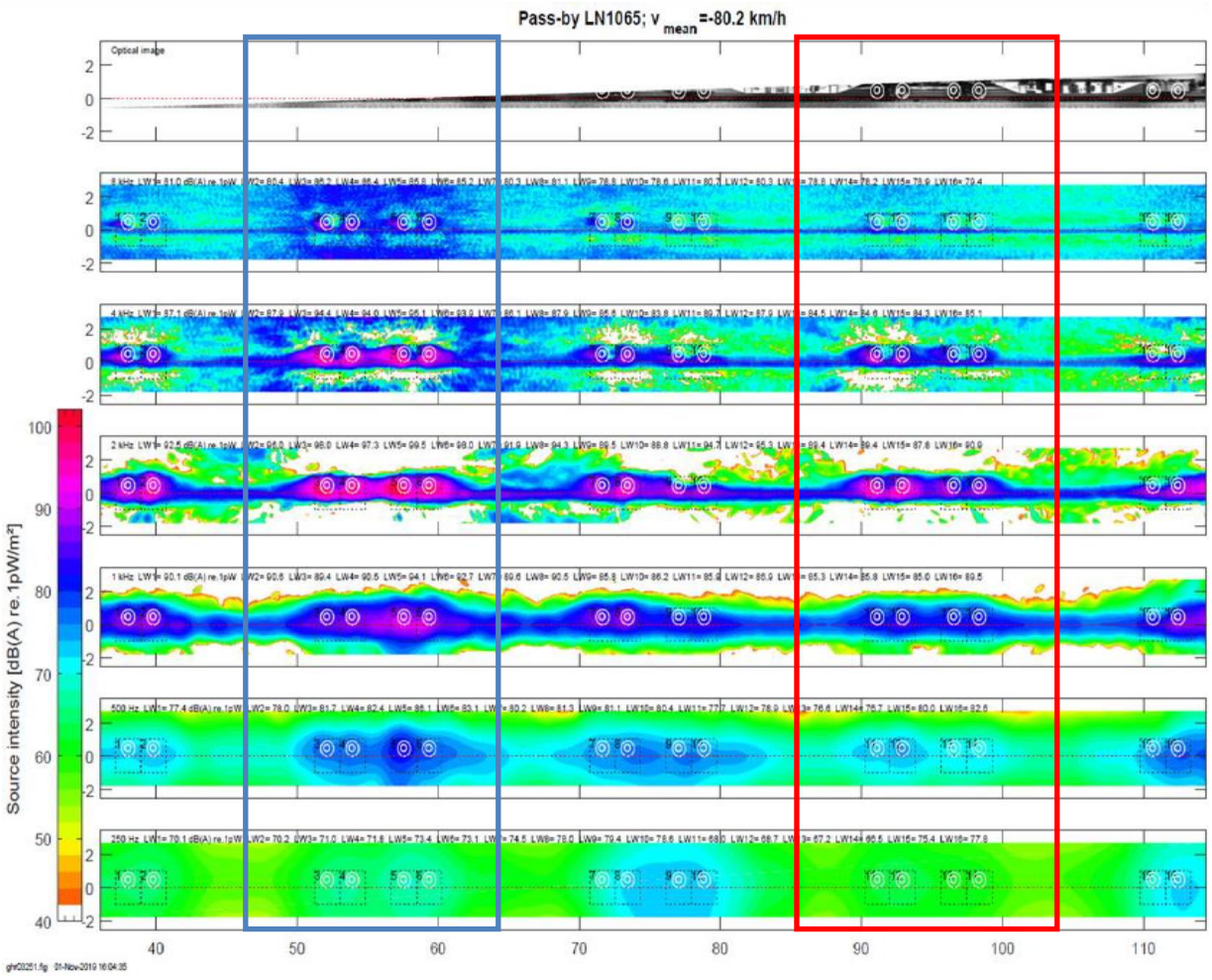


Abbildung 17: Arraymessung des Versuchszugs, blauer Ausschnitt Referenzwagen mit RC25NT-D; roter Ausschnitt Prüfwagen mit RC25NT-H-D ohne Schallschürze

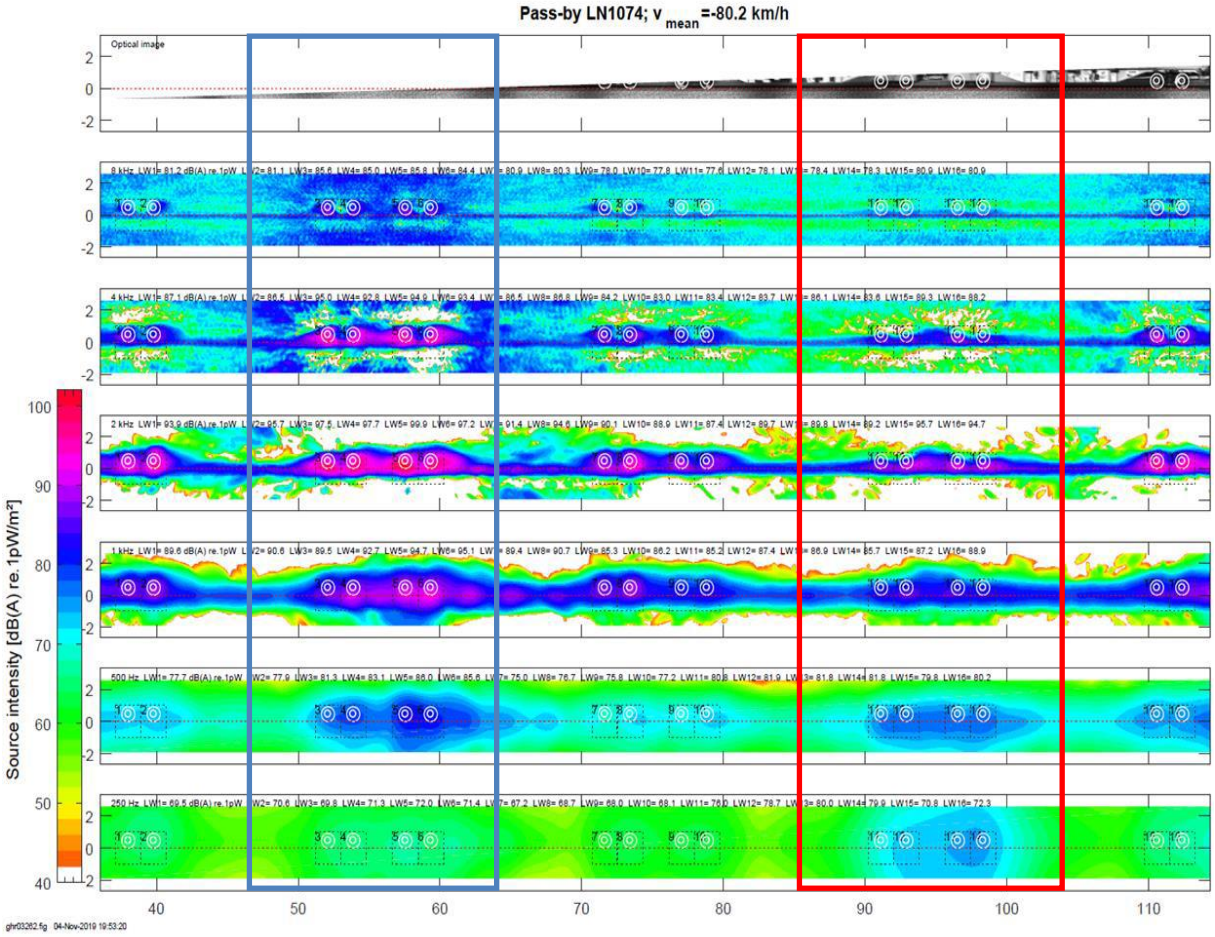


Abbildung 18: Arraymessung des Versuchszugs, blauer Ausschnitt Referenzwagen mit RC25NT-D; roter Ausschnitt Prüfwagen mit RC25NT-H-D mit Schallschürze

Beim Vergleich der beiden Arraymessungen des Prüfwagens mit und ohne Schallschürze zeigt sich, dass die Räder beim Prüfwagen mit Schallschürze bei den Frequenzen 250 Hz und 500 Hz deutlich höhere Emissionspegel erzeugen.

Der Effekt der Schallschürze ist auf den erzeugten Abbildungen der Arraymessungen auch ersichtlich. In Abbildung 19 ist dazu ein Ausschnitt bei 2.000 Hz aus Abbildung 18 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Emissionspegel oberhalb der Räder beim Prüfwagen mit Schallschürze deutlich geringer sind, als der Prüfwagen ohne Schallschürze.

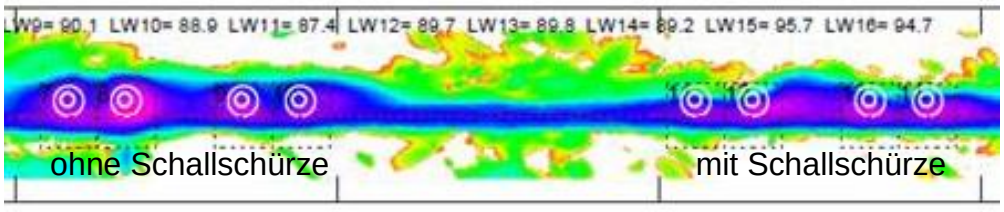


Abbildung 19: Vergleich Arraymessung mit und ohne Schallschürze bei 2.000 Hz

4.1.3 Messung im Bogen

Eine weitere akustische Untersuchung fand im Bogen in der Nähe den Bahnhofes Kerzers statt. Bei dieser Messung sollte der akustische Vorteil des hydraulischen Dämpfungssystems des RC25NT-H-D-Drehgestells dargestellt werden. Die Messungen konnten, auf Grund der Geschwindigkeitsbeschränkung in dem Bogen, nur mit einer Geschwindigkeit von ca. 40 km/h durchgeführt werden.

Tabelle 9 zeigt die gemittelten Ergebnisse aller Bogendurchfahrten der jeweiligen Wagen.

Tabelle 9: Gemessene Emissionspegel der Bogendurchfahrt

Wagen	40 km/h
Referenzwagen mit Y25-DG	79,1
Referenzwagen mit RC25NT-D	75,4
Prüfwagen ohne Schallschürze	**74,9**
Prüfwagen mit Schallschürze	**73,0**

4.1.4 Messung am Bahnhof

Am Bahnhof Müntschemier wurde ein Mikrofon in 7,5 m Entfernung zur Gleismitte aufgestellt, um die Emissionspegel des vorbeifahrenden Versuchszugs zu bestimmen. Die Vorbeifahrten wurden mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h und 115 km/h vorgenommen. Die gemessenen Emissionspegel fallen bei der Vorbeifahrt immer leicht höher aus, als bei der Vorbeifahrt auf gerader Strecke. Nach dem Prüfbericht der Firma Prose AG liegt das an der zusätzlichen Bodenreflexion.

Die Ergebnisse der Vorbeifahrtmessung im Bahnhof sind für alle Wagen in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Gemessene Emissionspegel der Bahnhofsdurchfahrt

Wagen	80 km/h	115 km/h
Referenzwagen mit Y25-DG	91,2	96,4
Referenzwagen mit RC25NT-D	85,0	88,3
Prüfwagen ohne Schallschürze	**77,3**	**81,7**
Prüfwagen mit Schallschürze	**77,7**	**81,6**

4.1.5 Radrauheitsmessungen

Die Messungen der Radrauheiten erfolgten im Depot der Firma CT-X Rail Service AG in Lutherbach an allen sechs Drehgestellen bzw. 24 Radsätzen.



Abbildung 20: Radrauheitsmessung am Radsatz eines umgebauten Containertragwagens

Die Messergebnisse der Firma Prose AG zeigen, dass die Räder des Prüfwagens mit RC25NT-H-D-Drehgestell und Schallschürze im langwelligen Bereich eine höhere Radrauheit besitzen als die Räder des Prüfwagens ohne Schallschürze. Auch die Räder der Referenzwagen mit dem Y25-Drehgestell sowie mit dem RC25NT-D-Drehgestell besitzen eine relative hohe Radrauheit.

In Abbildung 20 sind die Ergebnisse der Radrauheitsmessungen dargestellt.

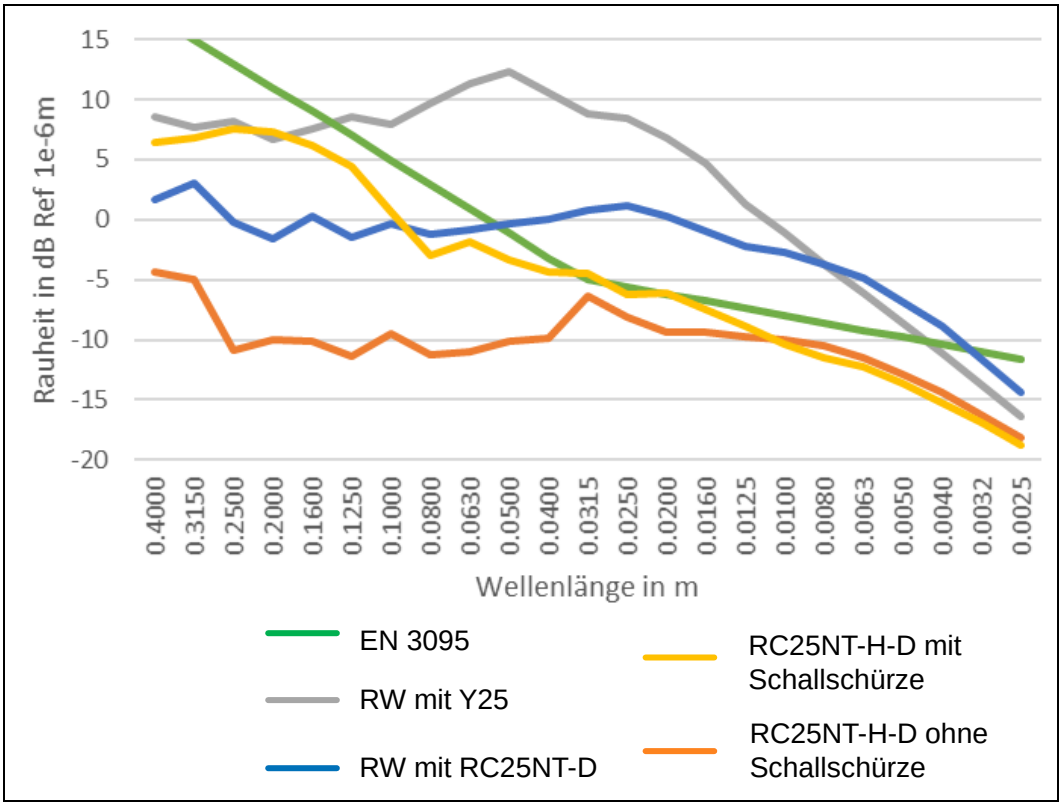


Abbildung 21: Ergebnisse der Radrauheitsmessung

4.2 Ergebnisübersicht der akustischen Vorbeifahrtmessungen

In Tabelle 11 sind alle gemittelten Ergebnisse der akustischen Vorbeifahrtmessungen dargestellt. Es zeigt sich, dass die Prüfwagen im Verhältnis zu den Referenzwagen mit Y25- sowie RC25NT-D-Drehgestell einen deutlich niedrigeren Emissionspegel besitzen. Beim Vergleich der Emissionspegel der Prüfwagen mit und ohne Schallschürze zeigt sich kein deutlicher Unterschied. Zum einen wird hier die höhere Radrauheit des Prüfwagens mit Schallschürze (siehe Kapitel 4.1.5) sein und zum anderen eventuell auch die konstruktive Grenze die sich hinsichtlich des Fahrzeugumgrenzungsprofils ergab.

Tabelle 11: Emissionspegel der Vorbeifahrtmessungen

Wagen	Emissionspegel [dB(A)]				
	TSI NOISE		Bogen	Bahnhof	
	80 km/h	115 km/h	40 km/h	80 km/h	115 km/h
Referenzwagen mit Y25-DG	90,9	96,6	79,1	91,2	96,4
Referenzwagen mit RC25NT-D	81,8	86,6	75,4	85,0	88,3
Prüfwagen ohne Schallschürze	**76,5**	**81,7**	**74,9**	**77,3**	**81,7**
Prüfwagen mit Schallschürze	**76,6**	**82,1**	**73,0**	**77,7**	**81,6**

Das Projektziel, dass bei der Vorbeifahrt ein Schalldruckpegel LpAeq,apl = 79 dB(A) +10*log(apl/0.225) unterschritten werden muss, wurde mit den Prüfwagen sowohl mit als auch ohne Schallschürze erreicht, da die Werte ca. 2 dB unter den geforderten 78,6 dB(A) liegen.

4.3 Bremsversuchsmessung

Für die Zulassung des neuentwickelten Bremssystems (siehe Kapitel 3.2) wurden Bremsversuche durchgeführt, um nachzuweisen, dass die umgebauten Containertragwagen den Anforderungen der UIC-Kodex 544-1, Bremse-Bremsleistung entspricht. Dazu wurden die Messungen mit leeren, teilbeladenen und vollbeladenen Wagen (siehe Abbildung 22) vorgenommen.



Abbildung 22: Bremsversuchsmessung mit beladenem Güterwagen

Die durchgeführten Bremsversuche zeigen, dass das verwendete innovative Bremssystem den Anforderungen der UIC-Kodex-544-1 entspricht. In Tabelle 12 sind die ermittelten Ergebnisse der Bremsversuche durch die Firma Prose AG aufgelistet. Der Ergebnisbericht ist im Anhang (Kapitel 6.2) angefügt.

Tabelle 12: Ergebnisse der Bremsversuche gemäss UIC- Kodex 544-1

Beladungszustand	p_C [bar]	Ausgangs-geschwindigkeit [km/h]	Korrigierter Bremsweg [m]	Brems-hundertstel [%]
Unbeladen 20.0 t	1,28	100	424	115
Unbeladen 20.0 t	1,28	120	591	123
Teilbeladen 56.1 t	2,80	100	487	99
Vollbeladen 90.0 t	2,80	100	702	65

5 Einschätzung des innovativen Drehgestells hinsichtlich des Trassenpreises für Verschleiss

Seit 2017 gibt es in der Schweiz einen Verschleissfaktor Fahrbahn im Trassenpreissystem. Da der innovative Güterwagen auch auf dem Schweizer Schienennetz verkehren soll, wurden von der Firma ELH für das neuentwickelte Drehgestell RC25NT-H-D Simulationsrechnungen durchgeführt. Der Bericht zu den Simulationsrechnungen ist im Anhang (Kapitel 6.3) angefügt. Die Ergebnisse aus den Simulationsrechnungen werden für die Bestimmung des Basispreises Verschleiss verwendet und der daraus entstehende Fahrzeugpreis in CHF/km bestimmt. In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Simulationsrechnungen angegeben, wie sie zur Bestimmung des Fahrzeugpreises in die Kalkulationstabelle eingetragen wurden.

Tabelle 13: Ergebnisse der Simulationsrechnungen

Fahrzeugdaten		Radsatzlast				
		4,4 t	10 t	14 t	18 t	22 t
Statische Radaufstandskraft [kN]		21,58	49,05	68,87	88,29	107,91
Unabgefederte Masse pro Rad [kg]		753,75	753,75	753,75	753,75	753,79
Radradius [m]		0,460	0,460	0,460	0,460	0,460
spezifische Reibarbeit im Bezugsradius von [Nm/m]	**270 m**	30,07	35,57	37,11	54,46	78,38
	343 m	24,12	23,08	37,28	56,70	78,35
	480 m	15,73	16,95	26,47	37,01	47,76
	800 m	7,20	7,35	9,09	10,20	14,39
Querkraft des führenden Rades bei Weichenfahrt [kN]		16,87	32,90	44,67	55,43	76,39

Die Analyse des Fahrzeugpreises wurde für verschiedene Radsatzlasten vorgenommen. Die Ergebnisse werden dann für verschiedene Geschwindigkeiten und verschiedene Bogenradien ermittelt. Da Güterwagen in der Regel nur eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h besitzen, können die Ergebnisse auch nur bis zu dieser Geschwindigkeit angegeben werden. In Tabelle 14 sind die Fahrzeugpreise bei verschiedenen Radsatzlasten, Geschwindigkeiten und Bogenradien zusammengestellt.

Tabelle 14: Fahrzeugpreis im CHF/km für RC25NT-H-D-Drehgestell bei unterschiedlichen Radsatzlasten

Fahrzeugpreise [CHF/km]		Radsatzlast				
		4,4 t	10 t	14 t	18 t	22 t
Geschwindigkeit [km/h]	**V0-80**	0,0564714	0,0898748	0,1166096	0,1456871	0,1813164
	V80-100	0,0602500	0,0955870	0,1239940	0,1549881	0,1927790
	V100-120	0,0666284	0,1048908	0,1357778	0,1695779	0,2105020
Bogenradius [m]	**R<300**	0,2359377	0,3936210	0,5282950	0,8005014	1,0557955
	R300-400	0,0794956	0,1292655	0,1890704	0,2624713	0,3449448
	R400-600	0,0677063	0,1128783	0,1599128	0,2131542	0,2762691
	R600-1200	0,0629833	0,1015045	0,1329762	0,1677315	0,2100127

Mit den ermittelten Fahrzeugpreisen des RC25NT-H-D-Drehgestells kann ein Vergleich zu einem Standard Y25-Drehgestell mit einem Klotzbremssystem gezogen werden. Das Bundesamt für Verkehr (BAV) hat bereits eine Berechnung eines Y25-Drehgestells vorgenommen und die Ergebnisse in der Verordnung des BAV über den Eisenbahn-Netzzugang (NZV-BAV)[7] veröffentlicht. In Abbildung 23 sind die Differenzen der Fahrzeugpreise zum Basispreis Verschleiss zwischen dem RC25NT-H-D-Drehgestell und dem Y25-Drehgestell bei verschiedenen Radsatzlasten dargestellt. Es zeigt sich, dass da das RC25NT-H-D-Drehgestell bei den geschwindigkeitsabhängigen Fahrzeugpreisen etwas teurer, aber bei den Bögen deutlich günstiger ist. Die Ausnahme ist hier die Bogenfahrt R < 300 m bei einer Radsatzlast von 18 t und 22 t.

[7] Link: https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/rechtliches/rechtsgrundlagen-vorschriften/verordnungen-uvek-bav/verkehrstraeger-eisenbahn/nzv-bav.html

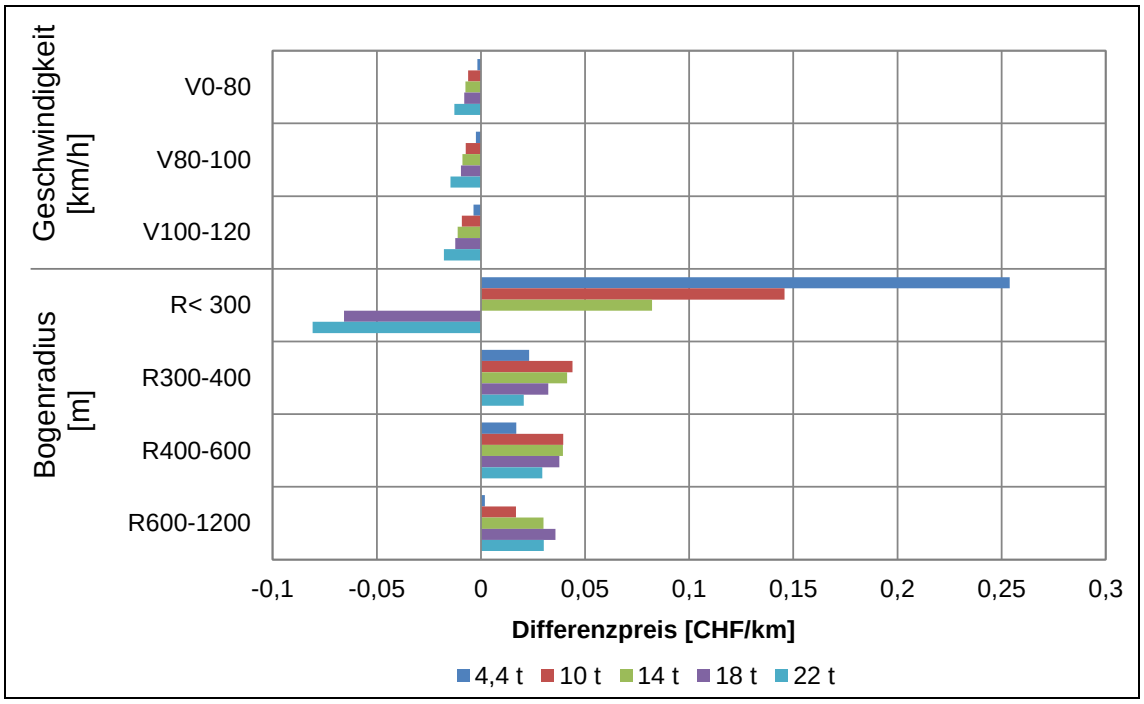


Abbildung 23: Differenz des Fahrzeugpreises zum Basispreis Verschleiss in CHF/km zwischen dem Y25- und RC25NT-H-D- Drehgestell (Y25 - RC25NT-H-D)

Für einen weiteren Vergleich des Basispreises Verschleiss wurde für eine Beispielstrecke von Basel SBB nach Chiasso, insgesamt 278 km, eine Berechnung mit dem SBB-Tool[8] zur Ermittlung des Trassenpreises vorgenommen. In Tabelle 15 sind die ermittelten Basispreise Verschleiss für einen vierachsigen Güterwagen mit jeweils zwei Y25- und RC25NT-H-D-Drehgestellen aufgeführt. Die Preise beziehen sich immer auf die jeweilige Radsatzlast und die gefahrene Strecke. Demnach erzeugt ein Güterwagen mit RC25NT-H-D-Drehgestellen im Vergleich zu einem Güterwagen mit Y25-Drehgestellen und einem Klotzbremssystem bei den Radsatzlasten zwischen 4,4 t und 18 t einen geringeren Trassenpreis für die Beispielstrecke, da der Basispreis Verschleiss geringer ist. Das RC25NT-H-D-Drehgestell besitzt, wie auch schon in Abbildung 23 gezeigt, beim Basispreis Verschleiss im Radienband deutlich geringere Kosten als das Y25-Drehgestell.

[8] Link: https://www.sbb.ch/de/iframes/preisberechnung.html

Tabelle 15: Basispreis Verschleiss für die Strecke von Basel SBB nach Chiasso für einen Güterwagen

Kosten pro Wagen [CHF]		Radsatzlast				
		4,4 t	10 t	14 t	18 t	22 t
vierachsiger Güterwagen mit Y25-Drehgestellen	Geschwindigkeitsband	60,38	67,4	72,96	78,98	86,36
	Radienband	38,62	42,1	45,3	49,73	55,09
	Gesamt	**101,31**	**111,33**	**119,98**	**129,67**	**140,71**
vierachsiger Güterwagen mit RC25NT-H-D-Drehgestellen	Geschwindigkeitsband	60,13	66,27	71,62	77,64	84,22
	Radienband	41,18	45,06	48,36	52,03	56,49
	Gesamt	**99,00**	**109,50**	**118,26**	**128,71**	**141,45**
Differenz	Geschwindigkeitsband	-0,25	-1,13	-1,34	-1,34	-2,14
	Radienband	2,56	2,96	3,06	2,30	1,40
	Gesamt	**2,31**	**1,83**	**1,72**	**0,96**	**-0,74**

Anhand der Ergebnisse aus Tabelle 15 kann eine Abschätzung der Kosten pro km vorgenommen werden. So ergibt sich im Durchschnitt eine Kostendifferenz für den Basispreis Verschleiss für einen vierachsigen Güterwagen mit RC25NT-H-D-Drehgestellen von ca. 0,004 CHF pro km. Bei einer jährlichen Kilometerleistung von 120.000 km ergibt sich damit eine Kostendifferenz von ca. 525 CHF pro Jahr und Güterwagen.

6 Anhang

6.1 Prüfbericht der akustischen Messungen

PROSE

Engineering
tomorrow's
mobility

Sgns(s)

TSI Noise Tests

Bericht 02-01470 1.00



Auftraggeber: **VTG Europe GmbH**

Projektnummer: CH01-00731

Druckdatum: 7. Januar 2020

PROSE AG
Zürcherstrasse 41
8400 Winterthur
Schweiz

www.prose.one

Tel +41 52 262 74 00
Fax +41 52 262 74 01
info.winterthur@prose.one

Erstellt	Geprüft	Freigeben
T. Wyss	H. Graf	C. Czolbe

	Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
	19.11.2019	**1.00**	07.01.2020	Released

Verteiler

Firma/Abteilung/Name	Bemerkungen

Revisionsindex

	Ersteller	Prüfer	Freigebender	Datum
Rev.	T. Wyss	H. Graf	C. Czolbe	19.11.2019
Rev. 1.00	T. Wyss	H. Graf	C. Czolbe	07.01.2020
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				

Modifikationen

Revision	Beschreibung
1.00	Neue Version angelegt durch 'T. Wyss' am 20.11.2019

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 7
2 Einleitung 8
3 Fahrzeugbeschreibung 9
3.1 Grundlegende Fahrzeugdaten 9
3.2 Lärmschürzen 10
4 Versuchsprogramm 11
4.1 Versuchszug 11
4.1.1 Konfiguration A 12
4.1.2 Konfiguration B 13
4.1.3 Konfiguration C 14
4.2 Messorte 15
4.3 Messbedingungen 16
4.4 Messaufbau Vorbeifahrgeräuschmessungen 17
4.5 Messaufbau Arraymessungen 19
4.6 Messaufbau Perron Müntschemier 20
4.7 Messaufbau Bogen Kerzers 20
4.8 Durchführung der Messungen 21
4.9 Messung der Radrauheiten 21
5 Auswertung 22
5.1 Auswertung Vorbeifahrmessungen 22
5.2 Auswertung Array und Berechnung der Farbkarten 22
5.3 Teilschallquellen Analyse 23
5.4 Auswertung Radrauheiten 24
6 Messergebnisse der Messkonfigurationen 25
7 Beurteilungsgrössen durch die Prüfstelle 29
8 Literatur 30
A Messprotokolle 31
B Messausrüstung 34
B.1 Messgrössen 34
B.2 Sensoren 34

B.2.1 Mikrofon und Kalibrator 34
B.2.2 Lichtschranke 34
B.3 Aufzeichnung 35
B.4 Konfigurationen 36
C Messort 37
C.1 Radrauheiten 38
D Bilder Messaufbau 47
D.1 TSI Referenzstrecke Gerade 47
D.2 Perron Gerade Müntschemier 48
D.3 Perron Bogen Kerzers 49
E Ergebnisse - Übersicht 50
E.1 Messkonfiguration A 50
E.2 Messkonfiguration B und C Mikrofone in 7.5m Entfernung 50
E.3 Messkonfiguration B und C Mikrofone in 3.0m Entfernung 51
E.4 Plattform Bogen Kerzers 51
E.5 Array Ergebnisse Konfiguration B 52
E.6 Array Ergebnisse Konfiguration C 56
F Ergebnisse - Graphiken 60
F.1 Messkonfiguration B 60
F.1.1 Ergebnisse für das Wagenpaar mit Lärmschürzen 60
F.1.2 Ergebnisse für das Referenzwagenpaar 65
F.2 Messkonfiguration C 70
F.2.1 Ergebnisse für das Wagenpaar mit Lärmschürzen 70
F.2.2 Ergebnisse für das Referenzwagenpaar 75
G Zertifikate 80
H Messunsicherheit 83

1 Zusammenfassung

Die VTG Rail Europe GmbH führt zusammen mit TÜV-Rheinland ein Projekt zur lärmtechnischen Optimierung eines viersachsigen Containertragwagens des Typs Sgns(s) durch. Zur akustischen Beurteilung der Testwagen gemäss TSI NOI 1304/2014/EU [1] wurden Vorbeifahrmessungen nach DIN EN 3095 [2] mit unterschiedlichen Wagenkonfigurationen auf der Referenzmessstelle zwischen Kerzers und Müntschemier durchgeführt. Zusätzlich wurden Vorbeifahrmessungen im Bahnhof Kerzers (Gleisbogen mit langsamer Geschwindigkeit) und Bahnhof Müntschemier (Gerade mit hoher Geschwindigkeit) durchgeführt, um den Effekt der Lärmschürzen bei vorhandener Perronkante zu ermitteln. Von der VTG Rail Europe GmbH wurden zu diesem Zweck vier Containertragwagen Sgns(s) sowie vier zusätzliche Drehgestelle vom Typ RC25NT in die Schweiz geliefert, diese wurden in unterschiedlichen Konfigurationen (vgl. Kapitel 4.1) untersucht:

	10.09.2019 Konfig. A	**12.09.2019 Konfig. B**	**12.09.2019 Konfig. C**
Referenzwagen	Y25 mit K-Sohle	RC25NT	RC25NT
Testwagen	RC25NT mit LS	RC25NT (ohne LS)	RC25NT mit LS

Die Räder der Testwagen mit RC25NT DG wiesen überwiegend sehr niedrige Radrauheiten auf und waren ordnungsgemäss eingefahren. Die Drehgestelle vom Typ Y25 (Referenzwagen, Konfiguration A) wiesen sehr hohe Radrauheiten sowie Flachstellen auf, wodurch die Messungen der Testwagen in Konfiguration A am 10.09.2019 zu stark davon beeinträchtigt wurden, und keine Aussagen über die Wirkung der Lärmschürzen zuließen. Die Umgruppierung der Wagen mit einem Pufferwagen zwischen Test- und Referenzwagen konnten kurzfristig nicht organisiert werden, der notwendige Platz zum Umrangieren in den Bahnhöfen Gümmern / Ins stand nicht zur Verfügung.

Die Radsätze der Drehgestelle vom Typ RC25NT (Referenzwagen, Konfiguration B und C) waren z.T. neu überdreht und wiesen erhöhte Radrauheiten auf (vgl. Kapitel 3.1) auf. An einem Radsatz des Referenzwagens beeinträchtigte eine überraschend aufgetretene Flachstelle die Messungen, da diese sich in der Mitte des Auswertebereichs befand. Die Messfahrten am 12.09.2019 in den Konfigurationen B und C lieferten dennoch für die Testwagen mit/ohne Lärmschürze aussagekräftige Ergebnisse, da die akustische Beeinflussung durch die benachbarten Referenzwagen im Rahmen der normgerechten Toleranz von weniger als 2 dB war. Die Ergebnisse der Messwerte des Referenzwagens sind aufgrund der vorliegenden Flachstelle höher als die TSI Grenzwerte. Reserveradsätze waren für die geplanten Messfahrten am 12.09.2019 kurzfristig nicht verfügbar und hätten auf der Strecke auch nicht gewechselt werden können.

Der durch TSI NOI 1304/2014/EU [1] vorgegebene Grenzwert für Vorbeifahrgeräusche von 83 dB(A) wird von den Testgüterwagen mit Drehgestellen vom Typ RC25NT hydr. sowohl mit Lärmschürzen Konfiguration C als auch ohne Lärmschürzen Konfiguration B bei den geprüften Geschwindigkeiten von 80 km/h und 115 km/h eingehalten und mit 77 dB(A) deutlich unterschritten. Ein Unterschied im Vorbeifahrpegel auf freier Strecke zwischen RC25NT mit Lärmschürze konnte nicht festgestellt werden.

Bei den Messungen am Perron konnte nur bei niedrigen Geschwindigkeiten im Bogen Kerzers ein Unterschied von etwa 2 dB zum DG ohne Schallschürzen festgestellt werden. Beim direkten Vergleich der Vorbeifahrpegel zwischen Referenzwagen und Testwagen beträgt der Unterschied beim RC25NT ohne LS 2.0 dB und beim RC25NT mit LS 2.3 dB.

Bei den Messungen am Perron mit hohen Geschwindigkeiten von 80 bis 110 km/h in Müntschemier konnte kein bedeutender Unterschied in den Pegeln festgestellt werden.

2 Einleitung

Die VTG Rail Europe GmbH will das akustische Verhalten von vierachsigen Containertragwagen des Typs Sgns(s) untersuchen. Zu diesem Zweck sollten Vorbeifahrmessungen gemäss TSI NOI 1304/2014/EU [1] durchgeführt werden.

Die Vorbeifahrmessungen fanden am 10. und 12. September 2019 auf der BLS Strecke zwischen Kerzers und Müntschemier statt.

Für die Messungen standen zwei Wagenpaare zur Verfügung. Ein Wagenpaar war dabei mit Drehgestellen des Typs RC25NT hydr. ausgestattet, an diesem Wagenpaar waren zudem Lärmschürzen montiert. Das Referenzwagenpaar verfügte zunächst über Drehgestelle des Typs Y25, diese wurden jedoch nach dem ersten Messtag (10. September) durch Drehgestelle des Typs RC25NT ersetzt. Folgende Konfigurationen wurden gemessen:

Testwagenpaar - Wagennummern 33 68 4557 090-0 und 33 68 4557 284-9

- Konfiguration A: DG des Typs RC25NT hydr., alle DG mit Lärmschürzen
- Konfiguration B (und C): Zwei DG des Typs RC25NT hydr. ohne (und mit Lärmschürzen)

Referenzwagenpaar- Wagennummern 37 80 4558 820-9 und 37 80 4558 817-5

- Konfiguration A: Drehgestelle des Typs Y25
- Konfiguration B und C: Drehgestelle des Typs RC25NT (mit Reibungsdämpfung)

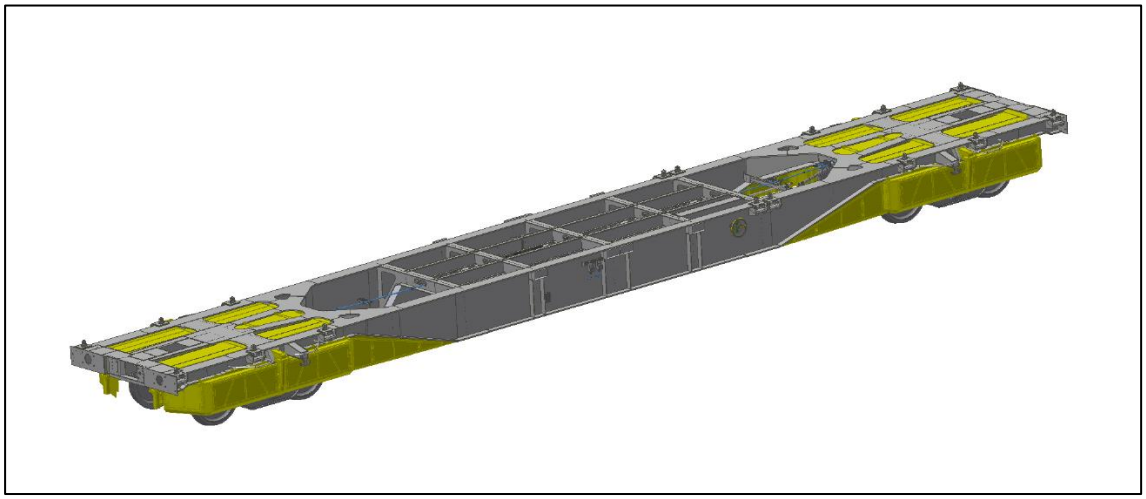


Abbildung 2-1 Sgns(s)-Wagen mit Lärmschürzen

Dieser Bericht beschreibt die Durchführung der Vorbeifahrmessungen bei 80 km/h und 115 km/h und dokumentiert deren Ergebnisse für die vierachsigen Containertragwagen des Typs Sgns(s).

3 Fahrzeugbeschreibung

3.1 Grundlegende Fahrzeugdaten

Bei den geprüften Fahrzeugen handelt es sich um vierachsige Containertragwagen des Typs Sgns(s). Die grundlegenden technischen Daten der geprüften Wagen sind in Tabelle 3-1 aufgeführt.

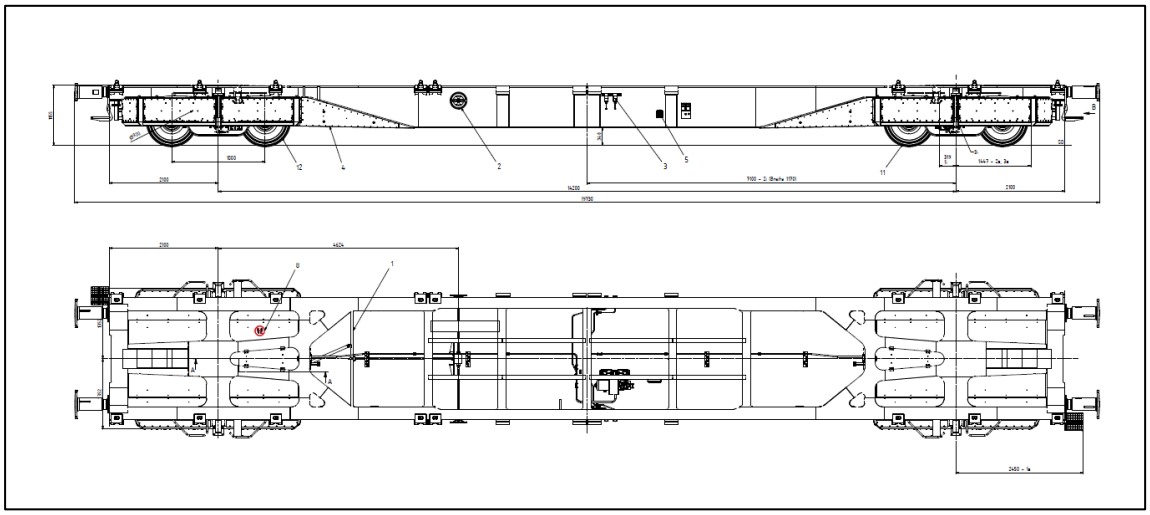


Abbildung 3-1 Typenskizze eines Containertragwagens mit Lärmschürzen

Tabelle 3-1: Technische Daten der Gelenkflachwagen

Komponente	**Zeichnungsnummer, Bezeichnung (Hersteller)**	**Dokument**
Drehgestell	Y25 L/Rss1 (Wagen 37 80 4558 820-9 und 37 80 4558 817-5) Drehgestell RC25NT-D (Wagen 33 68 4557 090-0 und 33 68 4557 284-9)	Datenblatt
Radsatz-Bauart (Zusammenbau)	004 (Wagen 33 68 4557 090-0 und 37 80 4558 817-5) 314 (Wagen 33 68 4557 284-9) 314 - Gehäuse 386 (Wagen 33 68 4557 090-0) 303 - Gehäuse 386 (Wagen 37 80 4558 820-9)	Datenblatt
Bremssystem	Ch-GP-A (Wagen 37 80 4558 820-9 und 37 80 4558 817-5) SW-GP-A (Wagen 33 68 4557 090-0 und 33 68 4557 284-9)	Datenblatt
Bremsklotz	K-Sohlen (Wagen 37 80 4558 820-9 und 37 80 4558 817-5)	Datenblatt
Radprofil	S1002/h28/e32,5/6,7%	Datenblatt
Achsen	4	Datenblatt
Leergewicht	20 t	Datenblatt
Länge über Puffer	19’640 mm	Datenblatt
Anzahl der Achsen pro Längeneinheit (APL)	0.204 m^{-1} (0.20367 m^{-1})	Berechnet (über Puffer)

Die Radsätze des ersten Testwagenpaares (33 68 4557 090-0 und 33 68 4557 284-9) sowie die Radsätze der Drehgestelle vom Typ Y25 (Referenzwagenpaar, Konfiguration A) wiesen zum Zeitpunkt der Messungen eine Laufleistung von mehr als 1'000 km auf und waren vor den Messungen mindestens zweimal aus 80 km/h bis zum Stillstand abgebremst worden. Die Radsätze entsprachen in der Konfiguration A somit den in DIN EN 3095:2013 [2] gestellten Anforderungen. Allerdings wiesen die Radsätze der Y25 DG sehr hohe Radrauheiten und einige Flachstellen auf, sodass akustische Messungen damit unmöglich waren.

Bei den Messungen der Konfigurationen B und C am 12.09.2019 wiesen 2 DG (4 Radsätze) eine Laufleistung von mehr als 1.000 km auf. Die Radsätze der Drehgestelle 45011 und 45136 waren neu, bzw. wiesen Rillen auf den Laufflächen auf, welche auf eine Reprofilierung der Radsätze schliessen lassen (vgl. Abbildung 3-2). Diese Radsätze wurden mit den Drehgestellen so im Verbund positioniert, dass sie gegenüber lagen und so gültige Messungen gewährleisteten. Die mit leichten Flugrost belegten Laufflächen wurde mit einer Drahtbürste entrostet. Zudem wurden die vier Radsätze an die Außenseiten des Wagenpaaren gebracht, um den Messbereich weniger zu beeinflussen.



Abbildung 3-2 Laufflächen der RC25NT-Drehgestelle (link: Rad des Drehgestells 45011, rechts: Rad des Drehgestells 41262)

3.2 Lärmschürzen

Die Lärmschürzen werden am Wagenkasten montiert (vgl. Abbildung 2-1) und umschliessen die Drehgestelle zu den Seiten, nach oben und teilweise auch nach hinten. Die Kastenkonstruktion besteht aus entdröhnten Blechen auf denen innenseitig eine schallabsorbierende Oberfläche angebracht ist. Die Lärmschürzen sollen vor allem die Schallabstrahlung zur Seite reduzieren und so zu niedrigeren Vorbeifahrpegeln führen.



4 Versuchsprogramm

4.1 Versuchszug

Für die Messfahrten wurde eine Zugkomposition, bestehend aus den vier zu vermessenden Wagen des Typs Sgns(s), zweier akustisch neutraler Abstandswagen vom Typ EW II und einer Elektrolokomotive vom Typ Re 4/4 I gebildet.

Die Messungen erfolgten bei Vorbeifahrt in beide Richtungen. Die Lok wurde nach jeder Fahrt umrangiert und an das andere Ende des Zuges gekoppelt, sodass sie bei sämtlichen Fahrten die Zugsfront bildete.

Die Prüfobjekte waren während der Messungen unbeladen.

Im Verlauf der Messfahrten wurden drei unterschiedliche Messkonfiguration gebildet.



Abbildung 4-1: Testzug an der TSI Referenzstrecke für Vorbeifahrmessungen mit Array

4.1.1 Konfiguration A

Kurzbeschreibung: Erstes Wagenpaar (Prüfobjekt 1 und 2) mit Lärmschürzen, zweites Wagenpaar (Prüfobjekt 3 und 4) mit Drehgestellen des Typs Y25.

Position im Zugverband	Segment	Typ	Wagennummer	Achsen	Kommentar
1 - Zugspitze	Lokomotive (Triebfahrzeug)	Re 4/4 I	410 009	4	-
2	Akustisch neutrales Fahrzeug	EW II	-	4	-
3	Prüfobjekt 1	Sgns(s)	33 68 4557 284-9	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
4	Prüfobjekt 2	Sgns(s)	33 68 4557 090-0	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
5	Prüfobjekt 3	Sgns(s)	37 80 4558 817-5	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
6	Prüfobjekt 4	Sgns(s)	37 80 4558 820-9	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
7	Akustisch neutrales Fahrzeug	EW II	-	4	-

Tabelle 4-1 Übersicht Konfiguration A

In den folgenden Abbildungen sind die Drehgestelle, an welchen die Lärmschürzen montiert waren, farblich gekennzeichnet.

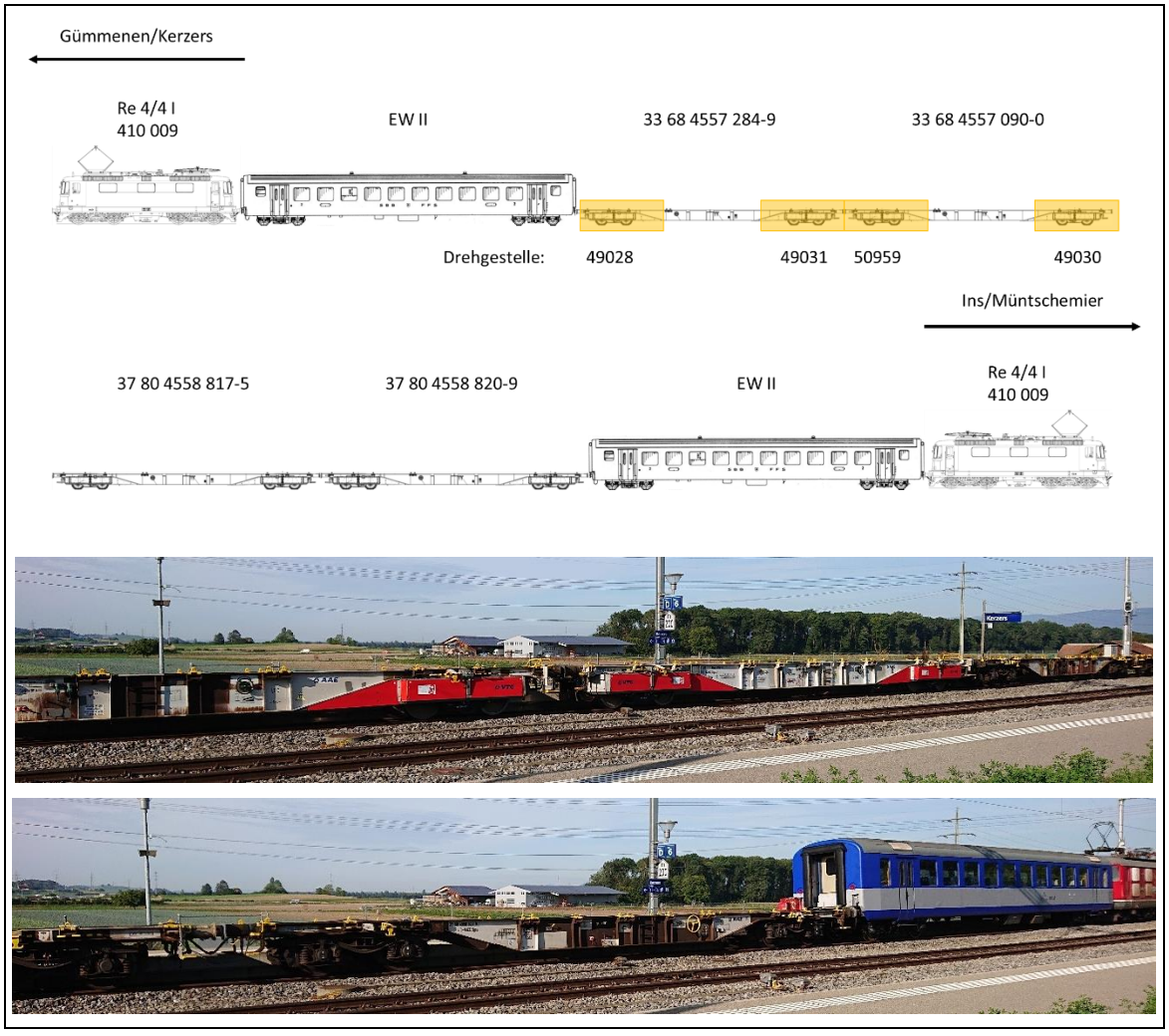


Abbildung 4-2 Konfiguration A

4.1.2 Konfiguration B

Kurzbeschreibung: An je einem Drehgestell des ersten Wagenpaares (Prüfobjekt 1 und 2) war eine Lärmschürze montiert, zweites Wagenpaar (Prüfobjekt 3 und 4) mit Drehgestellen des Typs RC25NT.

Position im Zugverband	Segment	Typ	Wagennummer	Achsen	Kommentar
1 - Zugspitze	Lokomotive (Triebfahrzeug)	Re 4/4 I	410 009	4	-
2	Akustisch neutrales Fahrzeug	EW II	-	4	-
3	Prüfobjekt 1	Sgns(s)	33 68 4557 284-9	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
4	Prüfobjekt 2	Sgns(s)	33 68 4557 090-0	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
5	Prüfobjekt 3	Sgns(s)	37 80 4558 817-5	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
6	Prüfobjekt 4	Sgns(s)	37 80 4558 820-9	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
7	Akustisch neutrales Fahrzeug	EW II	-	4	-

Tabelle 4-2 Übersicht Konfiguration B

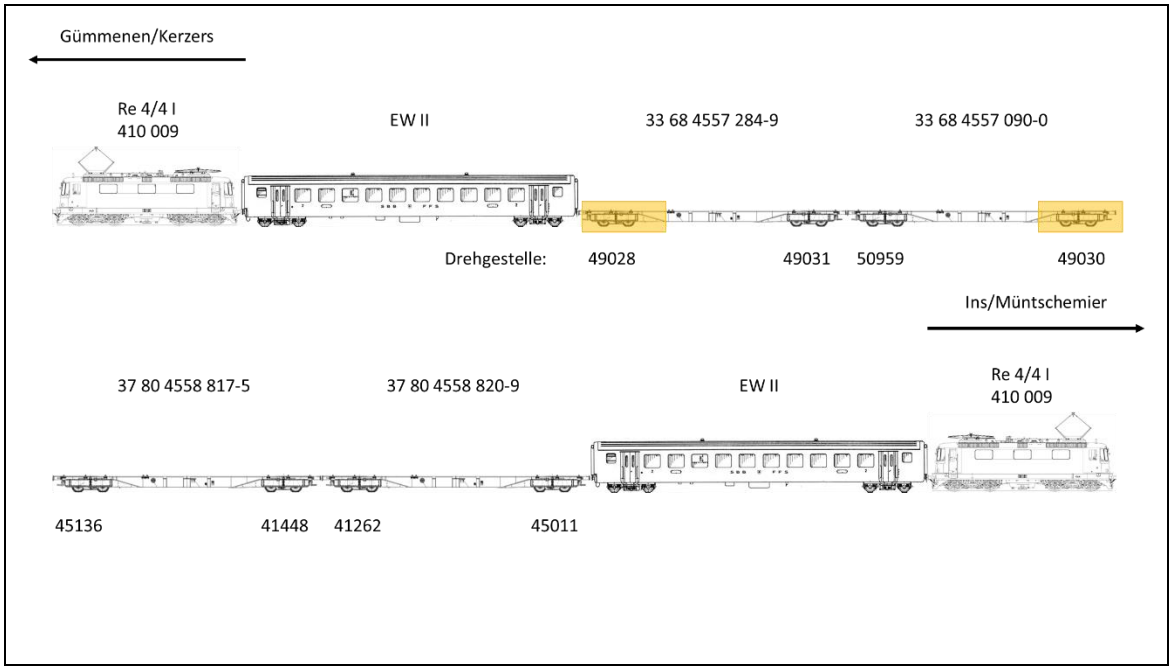


Abbildung 4-3 Konfiguration B

4.1.3 Konfiguration C

Kurzbeschreibung: An je einem Drehgestell des ersten Wagenpaares (Prüfobjekt 1 und 2) war eine Lärmschürze montiert, die Positionen von Prüfobjekt 1 und 2 im Zugverband wurden getauscht, zweites Wagenpaar (Prüfobjekt 3 und 4) mit Drehgestellen des Typs RC25NT.

Position im Zugverband	Segment	Typ	Wagennummer	Achsen	Kommentar
1 - Zugspitze	Lokomotive (Triebfahrzeug)	Re 4/4 I	410 009	4	-
2	Akustisch neutrales Fahrzeug	EW II	-	4	-
3	Prüfobjekt 2	Sgns(s)	33 68 4557 090-0	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
4	Prüfobjekt 1	Sgns(s)	33 68 4557 284-9	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
5	Prüfobjekt 3	Sgns(s)	37 80 4558 817-5	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
6	Prüfobjekt 4	Sgns(s)	37 80 4558 820-9	4	Achse 1 in Richtung Kerzers
7	Akustisch neutrales Fahrzeug	EW II	-	4	-

Tabelle 4-3 Übersicht Konfiguration C

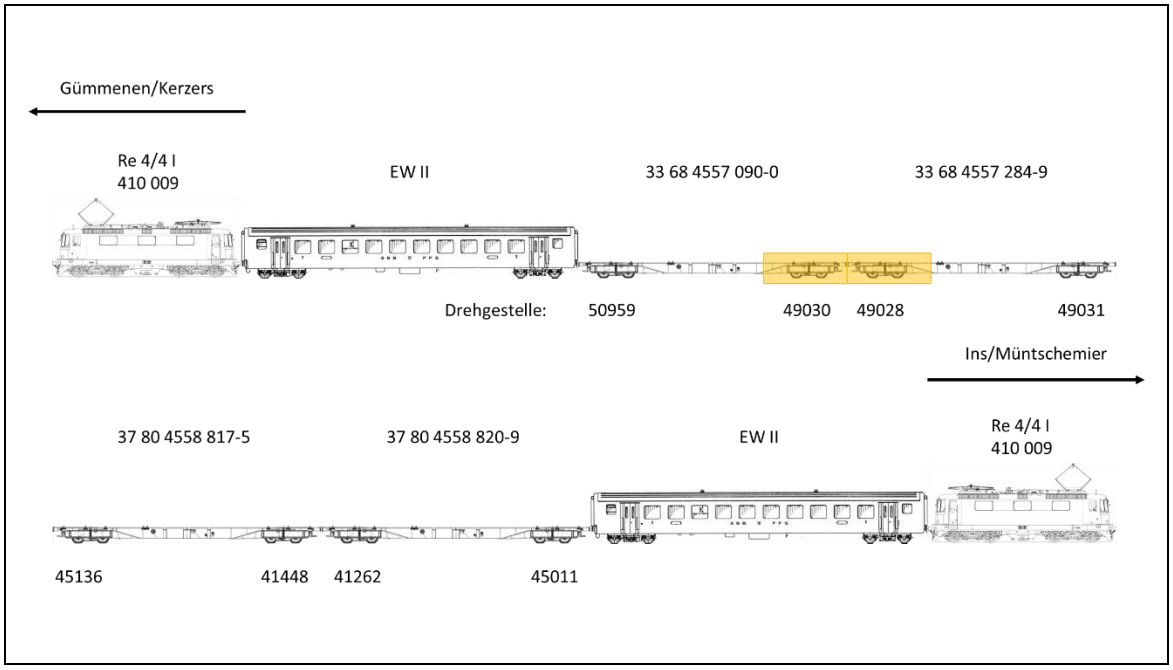


Abbildung 4-4 Konfiguration C

4.2 Messorte

Die Vorbeifahrmessungen mit Geschwindigkeiten bis 115 km/h nach DIN EN 3095:2013 [2] bzw. TSI NOI 1304/2014/EU [1] wurden auf der Einspurstrecke zwischen Kerzers und Müntschemier bei Kilometer 24.58 durchgeführt. Der genaue Messort und die dort vorherrschenden Oberbaubedingungen können Anhang C entnommen werden.

Die letzte Abklingratemessung auf dieser Messstrecke wurde am 06. Juni 2019 durch PROSE durchgeführt. Bis zum Zeitpunkt der Vorbeifahrtmessungen erfolgten keine Instandhaltungsarbeiten, welche die vertikalen und lateralen Abklingraten beeinflussen. Die Ergebnisse der Messungen werden im Anhang G gezeigt.

Die akustische Schienenfahrflächenrauigkeit auf der Messstrecke wurde am 10. September 2019 erfasst.

Die Messstrecke entsprach zum Zeitpunkt der Messungen hinsichtlich der Abklingrate und der Schienenfahrflächenrauigkeit den in Kapitel 6 EN ISO 3095:2013 [2] beschriebenen Referenzeigenschaften. Das bedeutet, die Messwerte sind als „vergleichbar“ einzustufen.

Neben der Referenzmessstelle für Vorbeifahrgeräusche wurden zwei automatische Messstellen an Perrons in Müntschemier (Gerade) und Kerzers (Bogen) errichtet.

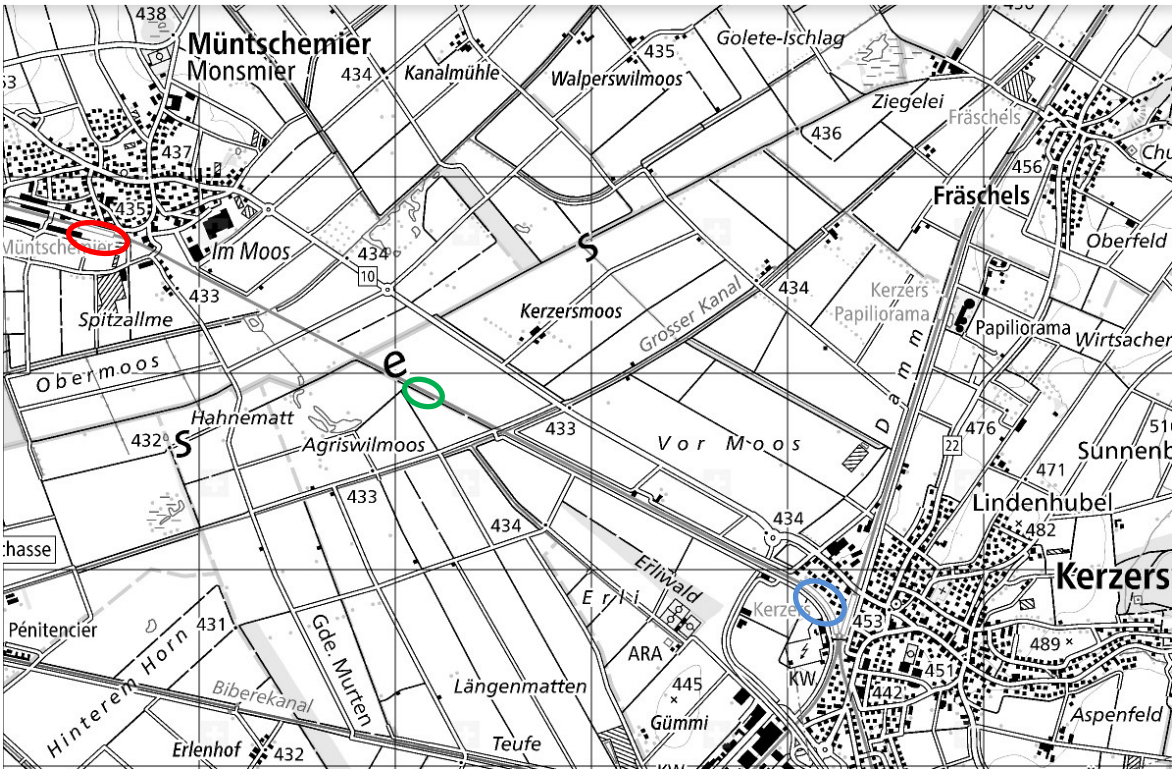


Abbildung 4-5: Lager der Messpunkte Perron Müntschemier (rot), TSI Referenzstelle (grün), Bogen-Perron Kerzers (blau)

4.3 Messbedingungen

Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und Niederschlagsbedingungen wurden in regelmässigen Abständen erfasst und protokolliert. In Tabelle 4-4 sind die meteorologischen Bedingungen zusammengefasst aufgelistet.

Umgebungsbedingungen	Zustand	Bemerkung
Wetterlage	sonnig	-
Lufttemperatur [°C]	12 bis 20	Mehrmalige Messung
Windgeschwindigkeit [m/s]	0.6 (maximal)	Mehrmalige Messung

Tabelle 4-4 Umgebungsbedingungen während der Messungen

Im Dreiecksbereich zwischen Messstrecke und den Mikrofonen wies der Bahndamm niedrigen Bewuchs auf, es lag kein Schnee und es waren keinerlei reflektierende Oberflächen vorhanden. Weiterhin hielten sich keine Personen im Dreiecksbereich auf.

Das Hintergrundgeräusch an der Messstrecke lag ganztags unter 50 dB(A) und somit mehr als 10 dB(A) unterhalb sämtlicher Messwerte aller Wagen.

Die Anforderungen an die akustische Umgebung gemäss EN ISO 3095:2013 Kapitel 6 [2] waren somit gegeben.

Weiterhin wurde überprüft, dass die benachbarten Wagen gegenüber den Prüflingen akustisch neutral sind. Zu diesem Zweck wurde entsprechend der nachfolgenden Abbildung gemäss EN ISO 3095:2013 Kapitel 6 [2] der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel LpAeq,T1 für die Messfahrten in den Messkonfigurationen 2 und 3 berechnet.

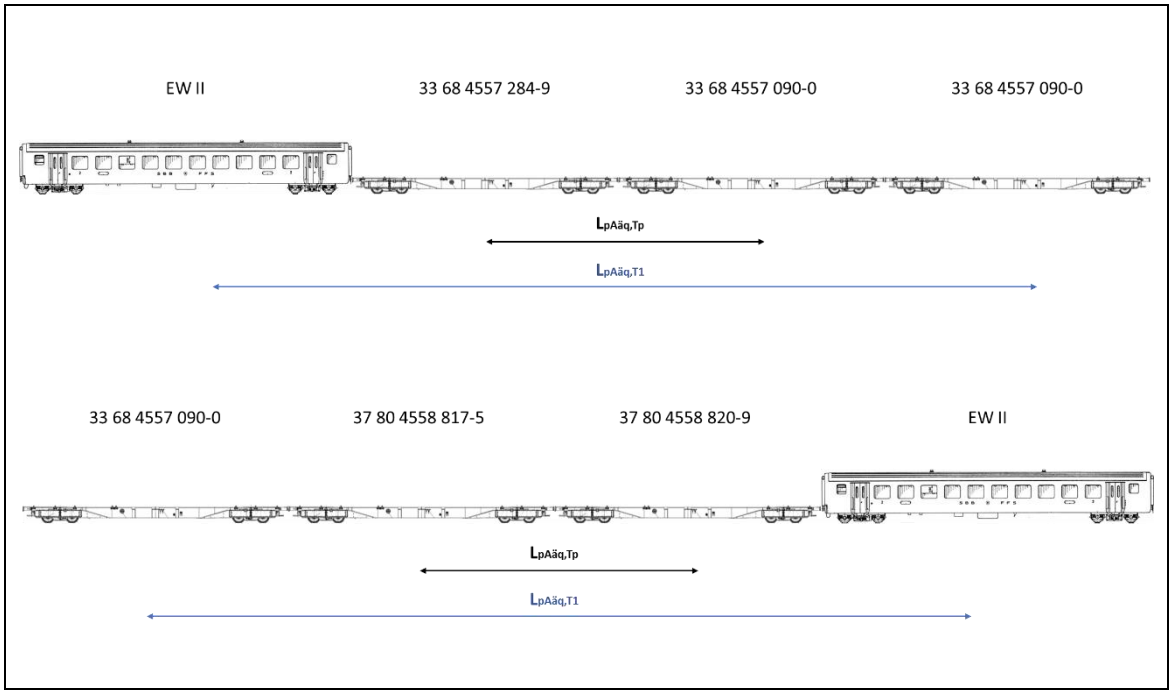


Abbildung 4-6 Bestimmung der akustischen Neutralität der benachbarten Wagen

Trotz einer Flachstelle am Radsatz eines Referenzwagens konnte die akustische Neutralität für diese Anordnung beim Testwagen bis auf wenige Ausnahmen sichergestellt werden. Tabelle 4-5 und Tabelle 4-6 zeigen die Ergebnisse zur Untersuchung der akustischen Neutralität der benachbarten Fahrzeuge. Grau hinterlegt sind dabei solche Messungen, bei denen das Kriterium für die akustische Neutralität benachbarter Fahrzeuge (LpAäq,T1 - LpAäq,T > 2 dB(A)) nicht erfüllt wurde.

Wagenpaar mit Lärmschürzen

Lf-Nr.	Geschw.	P01 (Süd)		P02 (Nord)		P03 (Süd)		P04 (Nord)	
		$L_{pAeq,Tp}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,T1}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,Tp}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,T1}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,Tp}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,T1}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,Tp}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,T1}$ [dB(A)]
B002	80	81.6	78.9	80.2	78.0	82.1	79.2	81.2	78.7
B003	115	88.0	85.5	86.6	84.2	87.8	85.4	86.1	84.1
B010	115	86.6	84.0	85.3	83.1	86.7	84.2	85.6	83.3
B013	80	83.7	81.1	81.8	79.7	83.0	80.8	82.1	79.8
C014	115	87.2	84.5	85.9	83.3	87.0	84.4	85.5	83.2
C015	115	88.5	86.8	86.7	85.4	88.7	86.9	86.5	85. 1
C016	80	838	81.2	81.6	79.4	82.7	80.5	82.0	79.7
C019	80	81.78	77.5	80.7	77.5	82.0	77.6	81.2	77.7

Tabelle 4-5 Ergebnisse der Untersuchung zur akustischen Neutralität benachbarter Wagen - Referenzwagenpaar

Wagenpaar mit Lärmschürzen

Lf-Nr.	Geschw.	P01 (Süd)		P02 (Nord)		P03 (Süd)		P04 (Nord)	
		$L_{pAeq,Tp}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,T1}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,Tp}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,T1}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,Tp}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,T1}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,Tp}$ [dB(A)]	$L_{pAeq,T1}$ [dB(A)]
B002	80	76.1	76.9	75.2	76.9	76.4	77.2	75.3	77.2
B003	115	81.9	83.7	81.1	83.1	82.5	83.6	81.5	83.4
B010	115	82.4	83.2	81.0	82.9	82.3	83.0	81.0	82.9
B013	80	77.6	78.7	76.8	78.5	78.0	78.5	77.0	78.5
C014	115	82.1	83.6	81.8	83.0	81.4	83.1	81.8	83.2
C015	115	82.2	84.2	82.4	84.3	82.2	84.2	82.3	83.9
C016	80	76.9	78.8	77.7	78.4	76.6	78.2	77.3	78.4
C019	80	75.9	79.1	76.4	78.1	76.1	79.2	76.6	78.6

Tabelle 4-6 Ergebnisse der Untersuchung zur akustischen Neutralität benachbarter Wagen - Wagenpaar mit Lärmschürzen

4.4 Messaufbau Vorbeifahrgeräuschmessungen

Der Messaufbau entsprach den Vorgaben der DIN EN 3095:2013 [2] bzw. TSI NOI 1304/2014/EU [1]. Die Messpunkte für den Luftschall (P01 bis P04) befanden sich 1,2 Meter oberhalb der Schienenoberkante und 7,5 Meter von der Gleismitte entfernt. Die vier Mikrofone waren dabei auf zwei Messquerschnitte (MQS) verteilt, welche sich in einem Abstand von 9.8 Metern befanden. Messquerschnitt 1 befand sich dabei bei Streckenkilometer 24.58.

Die Beschleunigungssensoren AN und AS waren am Schienenfuss montiert und dienten als Achstrigger, um die relevanten Zeitabschnitte zur Auswertung des Vorbeifahrtpegels ($L_{pAeq.Tp}$) zu bestimmen. Für das Array wurden zudem zwei Lichtschranken installiert und mit aufgezeichnet, um hieraus die exakten Positionen der Radsätze und Geschwindigkeit zu berechnen. Verwendet wurden Reflexions-Lichtschranken des Typs FPDR 14P5101 der Firma Baumer.

Die folgende Abbildung 4-7 gibt einen Überblick der an der Messstelle installierten Sensorik.

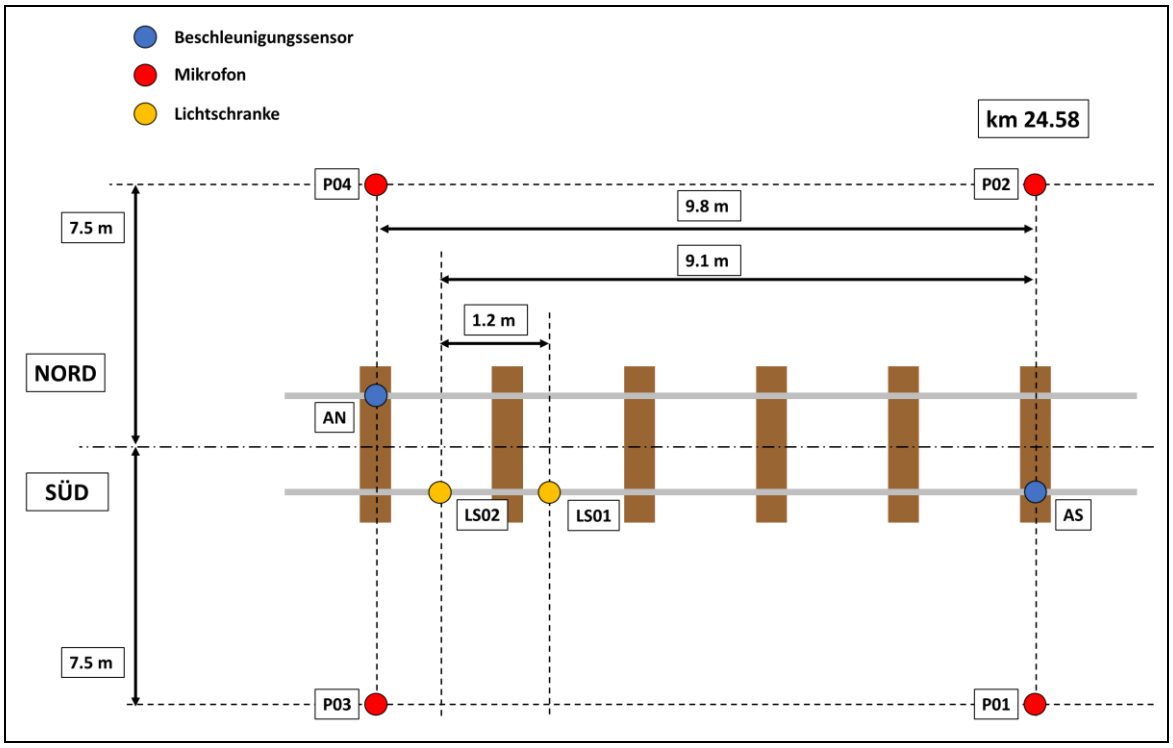


Abbildung 4-7 Messaufbau freie Strecke bei km 24.58 – zusätzlich am MQ 2 noch P05 und P06 in 3.0m Entfernung installiert

Die verwendete Messeinrichtung (siehe Anhang D) bestand aus den folgenden Komponenten:

- Messmikrofone B&K der Klasse 1 nach IEC 61672 [3] bestehend aus
  - Mikrofonkapsel B&K Typ 4189
  - Mikrofonvorverstärker B&K Typ 2671
- Akustischer Kalibrator Brüel & Kjær Typ 4231 der Klasse 1 nach IEC 60942 [5]

Die Komponenten erfüllen die Anforderungen an Geräte der Klasse 1 nach IEC 61672 [4] bzw. IEC 60942 [5] und waren zum Zeitpunkt der Messungen gültig kalibriert.

Die Messsignale wurden mit einem digitalen Aufzeichnungssystem National Instruments NI 9188 mit den Verstärkerkarten NI 9229 und NI 9234 aufgezeichnet. Dieses Messsystem ist ebenfalls kalibriert. Die Messdaten wurden mit Hilfe der Software imc Famos ausgewertet. Alle eingesetzten Messgeräte und Auswertesequenzen unterliegen dem Prüfmittelmanagement entsprechend der Vorgaben der EN ISO 17025 für akkreditierte Prüfstellen im Eisenbahnbereich.

Der Messwagen mit dem Aufzeichnungssystem und weiterer Elektronik befand sich in einem Abstand von ca. 25 m vom nächstgelegenen Mikrofon.

Zur Kalibration und Verifizierung der gesamten Luftschallmesskette wurde vor und nach dem Typentest eines Fahrzeuges ein akustischer Kalibrator des Typs 4231 der Firma Brüel&Kjær der Klasse 1 nach IEC 60942 [5] verwendet. Der Kalibrator liefert den nominellen Schalldruckpegel innerhalb einer Fehlertoleranz von +/- 0.2 dB. Die Abweichung des Kalibrierpegels der Mikrofone wurde nach jedem Typentest kontrolliert und lag deutlich unter den in der DIN EN ISO 3095 geforderten 0.5 dB. Die Drift der Mikrofone innerhalb eines Typentests lag unter 0.1 dB.

4.5 Messaufbau Arraymessungen

Verwendet wurde ein Mikrofonarray Typ Bionic L-112 der Firma CAE mit 1.7 m Durchmesser und 112 Mikrofonen und eingebauter Kamera. Zur Optimierung der optischen Bilder wurde der vorbeifahrende Zug zusätzlich mit einer GoPro-Kamera und hoher fester Bildrate aufgezeichnet.

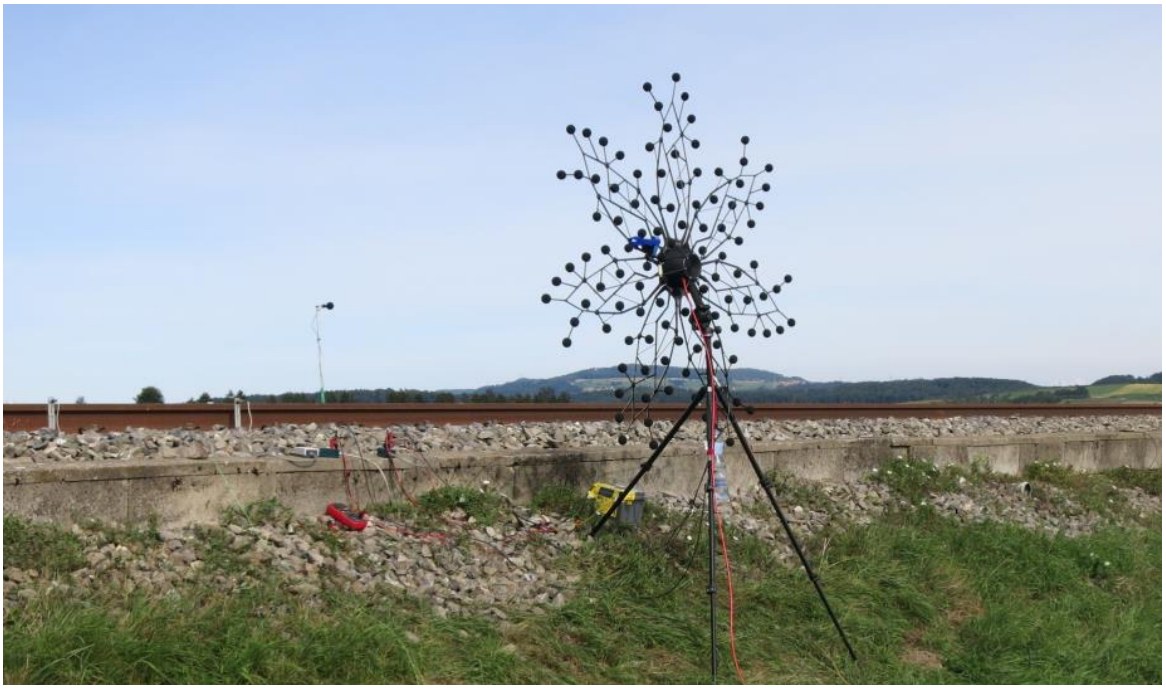


Abbildung 4-8: Anordnung Array und Lichtschranken

Das Lichtschrankensignale LS01 und LS02 wurden sowohl beim Array als auch im NI System aufgezeichnet.

Zur Erfassung der dominierenden Schallquellen im DG wurde das Array in Gleisnähe in einem Abstand von 4.0 m zur Gleismitte aufgestellt. Die Achse der Kamera in der Mitte des Arrays befand sich auf 0.5m über SOK.



Abbildung 4-9: Anordnung der Mikrofonpositionen P01, P02 und Array, Blickrichtung nach Kerzers

4.6 Messaufbau Perron Müntschemier

Um den Einfluss der zusätzlichen Schirmwirkung gleisnaher Lärmschutzwände zu ermitteln, wurde an der Perron 2 in Müntschemier ein automatisches Messsystem installiert, was die Vorbeifahrten sämtlicher Züge inklusiver des Testgüterzuges auf dem entsprechenden Gleis registriert hat. Der Bahnhof in Müntschemier befindet sich auf einem geraden Gleisabschnitt, sodass Züge an dem Bahnsteig 2 mit maximal 110 km/h dort vorbeifahren dürfen. Die Mikrofonposition befand sich in 7,5m Abstand zur Gleismitte und 1,2 Meter oberhalb der Schienenoberkante. Die Messungen wurden über einen Beschleunigungssensor am Schienenfuss ausgelöst.



Abbildung 4-10: Messaufbau am Perron in Müntschemier

4.7 Messaufbau Bogen Kerzers

Um den Einfluss der zusätzlichen Schirmwirkung gleisnaher Lärmschutzwände sowie der Fahrt im engen Gleisbogen zu ermitteln, wurde an der Plattform 2 in Kerzers ein automatisches Messsystem installiert, was die Vorbeifahrten sämtlicher Züge inklusiver des Testgüterzuges auf dem entsprechenden Gleis registriert hat. Der Bahnhof in Kerzers befindet sich in einem 300m Bogen, in dem eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h gilt. Die Mikrofonposition befand sich in 7,5m Abstand zur Gleismitte und 1,2 Meter oberhalb der Schienenoberkante. Die Messungen wurden über einen Beschleunigungssensor am Schienenfuss ausgelöst.



Abbildung 4-11: Anordnung Array und Lichtschranken

4.8 Durchführung der Messungen

Die Messungen am Versuchszug wurden bei Fahrt in Richtung Müntschemier und in Richtung Kerzers durchgeführt.

Die aufgezeichneten Schalldrücke wurden nachträglich mit der Auswertesoftware imc Famos ausgewertet. Dabei wurde anhand der Achstrigger AN und AS die Vorbeifahrtzeit Tp jeder Laufnummer ermittelt und anschliessend die geforderten Werte $L_{pAeq,Tp}$ aller Mikrofone ausgewertet. Mit Hilfe der Achsdurchgänge und der Abstände der Achsen zueinander wurde die Fahrgeschwindigkeit bestimmt.

Die Vorbeifahrgeräuschmessungen in den Messkonfigurationen 2 und 3 erfolgten bei Geschwindigkeiten von 80 km/h und 115 km/h. Pro Geschwindigkeit wurden an beiden Messquerschnitten je Messkonfiguration bis zu drei Messungen vorgenommen und aufgezeichnet, woraus sich pro Prüfgeschwindigkeit und Messkonfiguration vier gültige Messungen ergeben. Der genaue Ablauf der Messungen kann dem Messprotokoll in Anhang A entnommen werden.

4.9 Messung der Radrauheiten

Die Messung der Radrauheiten erfolgte im Depot der Firma CT-X Rail Service AG in Lutherbach an allen gemessenen Drehgestellen bzw. Radsätzen der Güterwagen. Die Radrauheiten wurden direkt nach EN 15610 gemessen.



Abbildung 4-12: Radrauheitsmessungen an einem Radsatz mit Schallschürzen

5 Auswertung

5.1 Auswertung Vorbeifahrmessungen

Nachdem der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel in dB berechnet wurde, wird der gemessene Wert für Geschwindigkeiten über 80 km/h auf den Wert bei 80 km/h entsprechend Formel 5-1 gemäss TSI NOI 1304/2014/EU [1] normiert.

Dabei wird zusätzlich eine Normierung der gemessenen Werte auf Güterwagen mit einer durchschnittlichen Achsanzahl pro Längeneinheit (APL_{wag}) von 0.225 m^{-1} vorgenommen. Die geprüften Güterwagen besitzen einen APL-Wert von 0.204 m^{-1}.

$$L_{pAeq,T_p(80km/h)} = L_{pAeq,T_p(v)} - 10 \cdot \log\left(\frac{0.204m^{-1}}{0.225m^{-1}}\right) - 30 \cdot log\left(\frac{v}{80km/h}\right)$$

Formel 5-1

Das Ergebnis ist, entsprechend TSI NOI 1304/2014/EU [1], der Hauptwert beider Messpositionen und beider Fahrtrichtungen, der Wert wird auf ganze Dezibel gerundet.

5.2 Auswertung Array und Berechnung der Farbkarten

Die akustischen Bilder - Farbkarten mit der Schallquellenverteilung - wurden mit dem zugehörigem Softwarepaket zum Bionic System von CAE "Noise Inspector" berechnet. Für die Berechnung wird zunächst aus den beiden Lichtschrankensignalen die Fahrgeschwindigkeit jeder Achse, sowie die Zugsposition in Funktion der Zeit ermittelt. Für jeden Fahrzeugtyp wurde eine Auswahl von Durchfahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausgewertet, sodass am Ende für 80, 100 und 120 km/h eine Farbkarte verfügbar ist.

Der Auswertealgorithmus und die Fokusebene können in der Nachbearbeitung beliebig festgelegt werden. Die Fokusebene ist auf die Schienenaussenkante bzw. Radaussenseite eingestellt, d.h. 3.2m Abstand zum Array. Durch die zweidimensional symmetrische Anordnung der 112 Mikrofone ist eine genaue Berechnung der Schallquellen in dieser Fokusebene auf einem quadratischen Bildausschnitt mit etwa 4m Kantenlänge möglich. Die akustischen Einzelbilder können dann als Film ausgegeben werden oder, wie hier angewandt, auf die einzelnen Wagen übertragen werden.

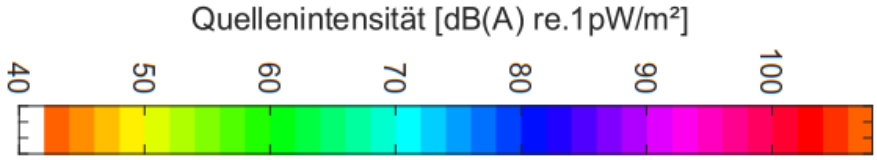
Die Berechnung der Arraybilder erfolgt durch die CAE-Software nach einer Frequenzband-Filterung über ein Delay & Sum-Beamforming-Algorithmus im Frequenzbereich. Für Güterwagen wurden die relevanten Oktavbänder von 250 bis 8000 Hz gewählt. Dies hat den Vorteil, dass die begrenzte nutzbare Pegeldynamik, von theoretischen etwa 20 dB pro Bandbereich, innerhalb jedes Frequenzbandes zur Verfügung steht.

Die Schallquellenverteilung muss als Sequenz von Einzelbildern von kurzen Zeitintervallen und für jede Oktave von 250 Hz bis 8 kHz einzeln berechnet werden. In einem weiteren Schritt wird dann mit einem speziell dafür entwickelten Verfahren die Schallquellenverteilung von allen Einzelbildern der Sequenz gewichtet und entsprechend der Zugsvorbeifahrt mitschwenkend gemittelt. Dies ergibt eine gemittelte Schallquellenverteilung des gesamten Zugs. Die Resultate werden normiert entsprechend des Messabstandes und der örtlichen Auflösung des Arrays. Ergebnisse aus dem Beamforming sind die berechneten Schalldruckpegelraster, mit den Schalldruckpegeln bezogen auf 1m Abstand zur Quelle. Mit Kenntnis der Entfernung und vereinfachten Annahmen über die Quellenart (Kugelschallquelle) wurden die Schalldruckpegel in Quellenintensitäten auf Schienenkante zurückgerechnet, welche dann in den Ergebnisbildern Im Anhang zu sehen sind.

Dargestellt wird die Quellenintensität in der Fokusebene, dies ist die abgestrahlte Schallleistung bezogen auf die *abstrahlende* Teilfläche und hat dementsprechend die Masseinheit W/m². Diese

Quellenintensität ist im Prinzip unabhängig von Messabstand, Frequenzband und örtlicher Auflösung. Diese Normierung ist allerdings nicht genau absolut kalibriert; sie dient vor allem zum Vergleich der verschiedenen Konfigurationen. Allerdings kann die Quellenintensität der letzten Radsätze vom Messwagen als Referenzschallquelle über alle Farbkarten verwendet werden, da sich die Radsätze und die Randbedingungen innerhalb der kurzen Messdauer nicht wesentlich geändert haben.

Die Farbskala der Quellenintensitäten wurde für alle Wagentypen einheitlich gewählt und ermöglicht so Vergleiche unterschiedlicher Wagen und Geschwindigkeiten.



5.3 Teilschallquellen Analyse

Erst in der Auswertung über die Oktavbänder werden die beteiligten Teilschallquellen am Güterwagen sichtbar. Durch Kenntnis der Teilschallquellen von Schienenfahrzeugen und deren Frequenzbereiche können nun die Anteile vom Radschall (800 – 5000 Hz) Schienenschall (500 – 2000 Hz) in den Farbkarten der Quellenintensitäten zugeordnet werden. Über die einfache Betrachtung der Farbkarten lässt sich am Ende jedoch nur ein grober Vergleich der Varianten durchführen.

Für einen detaillierten Vergleich und die Klärung der Frage, durch welche Schallquellen der Vorbeifahrpegel maßgeblich beeinflusst wird, müssen die berechneten Quellenintensitäten hinter den Farbkarten verarbeitet werden. Hierfür werden die Pegelwerte über rechteckige Bildbereiche, z.B. über das Rad oder den Bereich für den Vorbeifahrpegel von Wagenmitte zu Wagenmitte, der "Vorbeifahrfläche" integriert. Das Ergebnis der Integration, wird dann als Schallleistungspegel der Integrationsfläche in den Ergebnisbildern ausgegeben. So ist es möglich, den Anteil der Teilquellen am Gesamtschall zu quantifizieren. Die Integration der Quellenintensitäten erfolgt in MATLAB.

Schallquellen mit hoher Quellenintensität, wie die Räder und Schienenstücke können mit dieser Methode mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Bei Schallquellen mit geringer Quellenintensität, wie der Wagenkasten nimmt die Genauigkeit ab, da nicht mehr sicher zwischen aktiver Schallquelle und Reflexion unterschieden werden kann. Auch die eingänglich erwähnten technischen Grenzen des Verfahrens hinsichtlich Dynamikauflösung und frequenzabhängiger Auflösung sind bei der Integration zu berücksichtigen.

Bei den untersuchten Varianten wurden die Radsätze als Bildbereich ausgewertet.

- Radsätze (Bereich eines Radsatzes inklusive darunter befindlichem Schienen- und Gleisabschnitt: Breite x Höhe = 1.8 x 2.0 m)

5.4 Auswertung Radrauheiten

Für eine einfache Beurteilung der Rauheitsspektren wurde der Einzahlwert definiert. Der Einzahlwert ergibt sich aus einer spektralen Mittelung des Rauheitsspektrums sowie einer Bewertung des zu erwartenden Rollgeräuschs bei einer festgelegten Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der A-Bewertung - Gleichung 5-1.

$$L_{\lambda CA} = 10 \cdot log \sum_{\lambda=20\ cm}^{0{,}4\ cm} 10^{0{,}1\{R(\lambda)+\Lambda(\lambda)+C(\lambda)+A(f(\lambda,v))\}}$$

Gleichung 5-1

Mit: R(λ) dem gemessenen Rauheitsspektrum

Λ(λ) dem Lambdafilter -25 log(λ/λ0) mit λ0 = 5 cm

C(λ) einem Kontaktfilter

für 20 cm > λ > 8 cm C(λ) = 0

für 6.3 cm > λ > 2.5 cm C(λ) = 10 log(λ)-8.5

für 2.0 cm > λ C(λ) = 20 log(λ)-12

A(f(λ,v)) der A-Bewertung abhängig der Geschwindigkeit

Nach dieser Definition und bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h ergibt sich z.B. für ein Spektrum der Schienenrauheit entsprechend der TSI-Noise Grenzkurve ein Einzahlwert $L_{\lambda CA}$ von 7.8 dB. In der Tabelle 5-1 sind für die einfachere Beurteilung der Ergebnisse typische Einzahlwertpegel $L_{\lambda CA}$ für Beispielkategorien zugeordnet.

$L_{\lambda CA}$	**Beschreibung für Schienen**	**Beschreibung für Räder**
0 - 4 dB	Glatte Schienen	
5 - 7 dB	Geschliffene Schienen (1 Monat)	Glatte neue Räder (Scheibenbremsen)
7 - 9 dB	Normale Schienen	
10-11 dB	Raue Schienen	Normale Räder (K-Sohle und LL-Sohle)
14-17 dB	Verriffelte Schienen z.B. in Bögen	
18-28 dB	Extrem verriffelte Schiene	
25-50 dB		Raue Räder (GG-Sohle) und Flachstellen

Tabelle 5-1 Bedeutung der Einzahlwerte bzgl. Schienen- und Radrauheit

6 Messergebnisse der Messkonfigurationen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Messergebnisse für Gerade, Perron Gerade und Perron Bogen. Die schwarzen Zahlen sind Mittelwerte aus den Vorbeifahrmessungen und die grauen Zahlen die apl und Geschwindigkeitskorrigierten Werte nach TSI Noise.

Tabelle 6-1: Ergebnisse Vorbeifahrmessungen an den 7.5m Messpositionen

Auswertematrix Projekt VTG				**VTG Containerwagen CTW (4 RS)**					
Stand:	19.11.2019								
Messung	**Typ**	**Geschwindigkeit [km/h]**	**Bewertungsgröße**	Referenzwagen	RC25NT mit LS	Referenzwagen vormittags	Referenzwagen nachmittags	RC25NT ohne LS	RC25NT mit LS
				10.09.	10.09.	12.09.	12.09.	12.09.	12.09.
Akustik [dB(A)]	Grenzwert TSI Noise Vorbeifahrt Gerade 7.5 m		Anzahl Achsen	4	4	4	4	4	4
			LüP	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60
			APL	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204
		80	LpAeq,Tp [dB(A)] (Grenzwert)	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0
		80	LpAeq,Tp TSI-Wert	**92.3**	**81.9**	**82.4**	**82.7**	**77.1**	**77.3**
	Geraden 7.5m	80	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten	90.9	79.5	81.8	81.9	76.5	76.6
		80	LpAeq,Tp(APLref=0.225) [dB(A)]	91.3	79.9	82.2	82.3	76.9	77.1
		100	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten	94.8	82.8				
		100	LpAeq,Tp(80 km/h,APLref=0.225) [dB(A)]	92.3	80.3				
		115	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten	96.6	86.2	86.7	87.0	81.4	81.6
		115	LpAeq,Tp(80 km/h,APLref=0.225) [dB(A)]	92.3	81.9	82.4	82.7	77.1	77.3
	Perron 7.5m	80	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten	91.2	79.5	84.7	85.0	77.3	77.7
		80	LpAeq,Tp(APLref=0.225) [dB(A)]	91.6	79.9	85.1	85.4	77.7	78.1
		115	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten	96.4	85.3	88.2	88.4	81.7	81.6
		115	LpAeq,Tp(80 km/h,APLref=0.225) [dB(A)]	92.1	81.0	83.9	84.1	77.4	77.3
	Perron Bogen 7.5m	40	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten	79.1	73.7	76.9	75.4	74.9	73.0
		40	LpAeq,Tp(APLref=0.225) [dB(A)]	79.5	74.1	77.3	75.8	75.3	73.4
Akustik [dB(A)]	Grenzwert TSI Noise Vorbeifahrt Gerade 3.0 m		Anzahl Achsen	4	4	4	4	4	4
			LüP	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60
			APL	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204
		80							
		80	LpAeq,Tp TSI-Wert			**87.9**	**88.5**	**82.8**	**83.2**
	Geraden 3.0m	80	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten			87.5	87.8	81.8	82.0
		80	LpAeq,Tp(APLref=0.225) [dB(A)]			87.9	88.2	82.2	82.5
		100	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten						
		100	LpAeq,Tp(80 km/h,APLref=0.225) [dB(A)]						
		115	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten			92.2	92.8	87.1	87.5
		115	LpAeq,Tp(80 km/h,APLref=0.225) [dB(A)]			87.9	88.5	82.8	83.2

Die Pegelwerte vom 10.09.2019 sind durch die hohen Vorbeifahrpegel der benachbarten Referenzwagen beeinflusst, welche sehr raue Räder aufwiesen. Das Potential der Lärmschürzen kann unter diesen Bedingungen nicht abgebildet werden.

Am 12.09.2019 wurden vormittags die RC25NT DG ohne Schallschürzen gemessen mit jeweils zwei Fahrten 80 und 115 km/h gemessen. Am Nachmittag wurden die Wagen umrangiert, sodass die

beiden DG mit Schallschürze in Wagenmitte gemessen werden konnten. Der Effekt der Schallschürze ist auf der Geraden so gut wie nicht messbar. Die Pegel unterscheiden sich nur im Zehntel Bereich und liegen bei 115 km/h etwas höher als bei 80 km/h. Die Testwagen mit den RC25NT Drehgestellen und eingefahrenen neuen Rädern erreichen einen Vorbeifahrpegel von 77 dB(A). Beim Testwagen RC25NT mit Schallschürzen wird ein um 0.2 dB höherer Vorbeifahrpegel festgestellt. Dies ist wahrscheinlich der erhöhten Radrauheit eines der Räder zuzuschreiben. Relativierend ist dem Testwagen RC25NT mir Schallschürzen noch zugute zu halten, dass sich die Vorbeifahrpegel der Referenzwagen am Nachmittag leicht erhöht haben. Der Pegelunterschied Referenzwagen mit RC25NT zu Testwagen mit RC25NT mit/ohne Schürze beträgt etwa 2.3 dB.

Am Perron in Müntschemier mit hohen Geschwindigkeiten fallen die Pegel grundsätzlich etwas höher aus als auf der Geraden, dies liegt wahrscheinlich an den zusätzlichen Bodenreflexionen. Bei 80 km/h weisen die DG mit Schallschürzen leicht höhere Pegel auf, während bei 115 km/h die Vorbeifahrpegel um 0.1 dB unter dem RC25NT ohne Schallschürzen liegen. Diese Unterschiede sind jedoch zu klein für eine Tendenzaussage.

In den Bogenfahrten mit 40 km/h im Bahnhof Kerzers weist der Testwagen mit RC25NT und Schallschürze die niedrigsten Pegel mit 73 dB(A) auf und liegt damit 2 dB unter den Pegeln der Testwagen RC25NT ohne Schallschürze. Werden allerdings die Vorbeifahrpegel der Referenzwagen zur gleichen Zeit gemittelt (vormittags ohne LS, nachmittags mit LS), relativiert sich der Pegelunterschied wieder, sodass der Testwagen mit RC25NT und LS nun 2.3 dB unter dem Referenzwagen liegt, während der Testwagen mit RC25NT ohne LS nur 2.0 dB unter dem Referenzwagen liegt.

Tabelle 6-2: Ergebnisse Vorbeifahrmessungen an den 3.0m Messpositionen

Auswertematrix Projekt VTG				**VTG Containerwagen CTW (4 RS)**					
Stand:	15.11.2019								
Messung	**Typ**	**Geschwindigkeit [km/h]**	**Bewertungsgröße**	Referenzwagen	RC25NT mit LS	Referenzwagen vormittags	Referenzwagen nachmittags	RC25NT ohne LS	RC25NT mit LS
				10.09.	10.09.	12.09.	12.09.	12.09.	12.09.
Akustik [dB(A)]	Grenzwert TSI Noise Vorbeifahrt Gerade 3.0 m		Anzahl Achsen	4	4	4	4	4	4
			LüP	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60
			APL	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204
		80							
		80	LpAeq,Tp TSI-Wert			**87.9**	**88.5**	**82.8**	**83.2**
	Geraden 3.0m	80	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten			87.5	87.8	81.8	82.0
		80	LpAeq,Tp(APLref=0.225) [dB(A)]			87.9	88.2	82.2	82.5
		100	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten						
		100	LpAeq,Tp(80 km/h,APLref=0.225) [dB(A)]						
		115	LpAeq,Tp [dB(A)] - Mittelwert Vorbeifahrten			92.2	92.8	87.1	87.5
		115	LpAeq,Tp(80 km/h,APLref=0.225) [dB(A)]			87.9	88.5	82.8	83.2

Erklärungen für die Pegelunterschiede liefern die gemessenen Radrauheiten an den Testwagen. Die Rauheiten der Testwagen mit RC25NT und LS in der Konfiguration A bis C sind sehr niedrig mit einem $L_{\lambda CA}$ von 6 dB und liegen unterhalb der Grenzkurve nach EN 3095. Bei der Konfiguration C wurden im langwelligen Bereich erhöhte Rauheiten gemessen, welche Augenscheinlich auf leichte Flachstellen und Herstelleraufkleber hervorgerufen wurden – siehe Anhang. Langwellige Rauheiten rufen entsprechend der Geschwindigkeit tieffrequente Geräusche hervor. So gut es ging wurden die Aufkleberreste von der Fahrfläche entfernt.

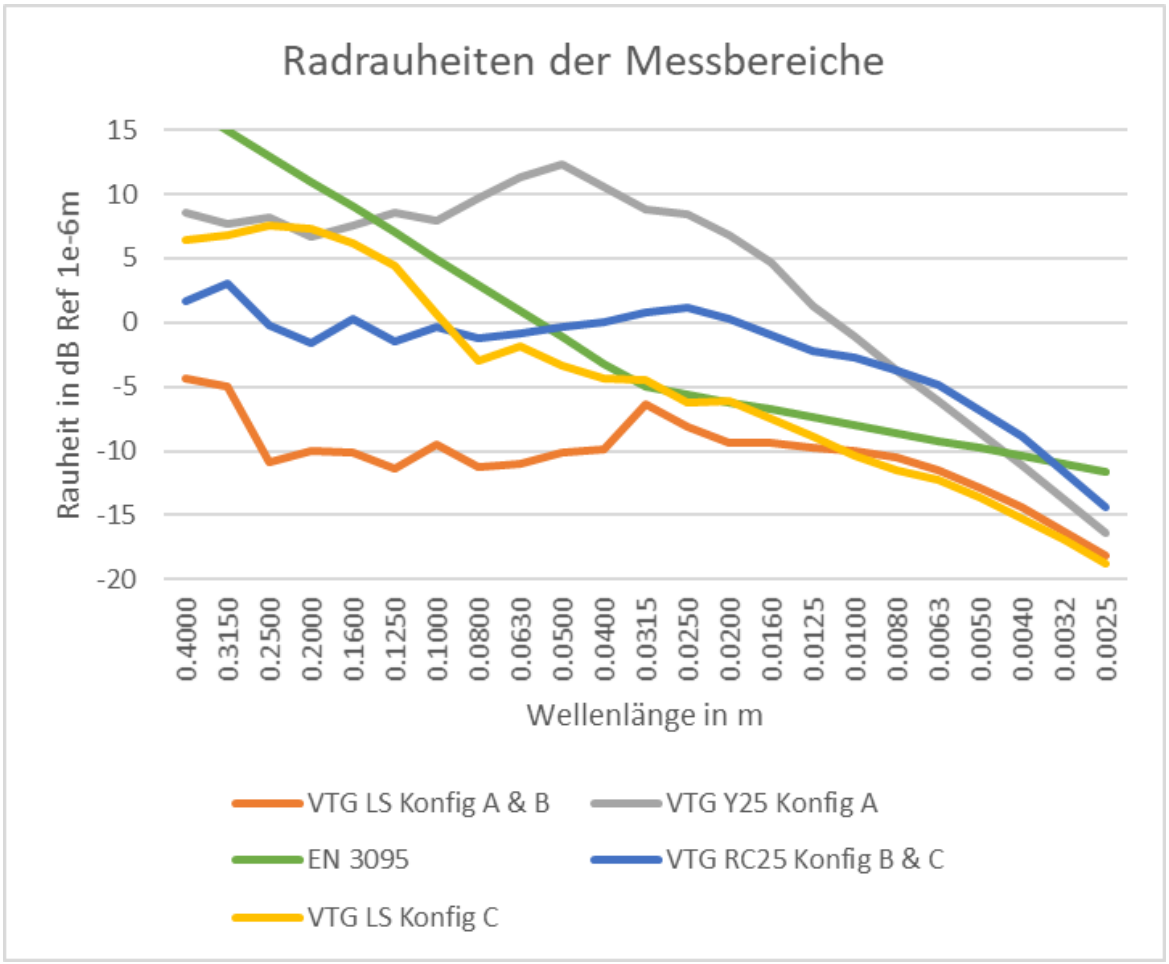


Abbildung 6-1: Radrauheiten VTG Testwagen 2019

Bei den Rädern der Referenzwagen mit Y25 DG wurden indes sehr hohe Rauheiten von $L_{\lambda CA}$ = 19 dB gemessen, welche auch zu Vorbeifahrpegeln oberhalb von 92 dB(A) führten. Die Rauheiten der Referenzwagen mit RC25NT Drehgestellen lagen im Mittelfeld mit $L_{\lambda CA}$ = 13 dB, die Räder waren z.T. neu überdreht mit Flugrost und z.T. eingefahren.

Die Einfluss der unterschiedlichen Reibungsdämpfer bei den Referenzwagen mit RC25NT mit Reibungsdämpfern und Testwagen RC25NT mit hydraulischen Dämpfern konnte im Rahmen dieses Versuches nicht ermittelt werden, da die Referenzwagen im Schnitt um 2.3 dB höhere Vorbeifahrpegel gezeigt haben als die Wagen mit/ohne Schallschürze. Vermutlich ist der Einfluss dieser Elemente auf den Vorbeifahrpegel auch sehr gering und nur dann messbar, wenn Radsätze mit gleicher Rauheit verwendet werden.

Abschliessend wurden von den Vorbeifahrten am 12.09.2019 noch Auswertungen mit der akustischen Kamera gemacht – siehe Anlage E.3. Auf den Arraybildern sind die Quellenintensitäten in den Oktavbändern 250 Hz bis 8000 Hz abgebildet. Die Lage der Schallschürzen rufen im Frequenzbereich 1000, 2000 und 4000 Hz etwas geringere Quellenintensitäten hervor – siehe Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3. Schlussendlich genügt die Abschirmung jedoch nicht, um das von den Rädern und Schiene abgehende Rollgeräusch so zu reduzieren, dass dies einen deutlichen Effekt an den Messpositionen hervorruft.

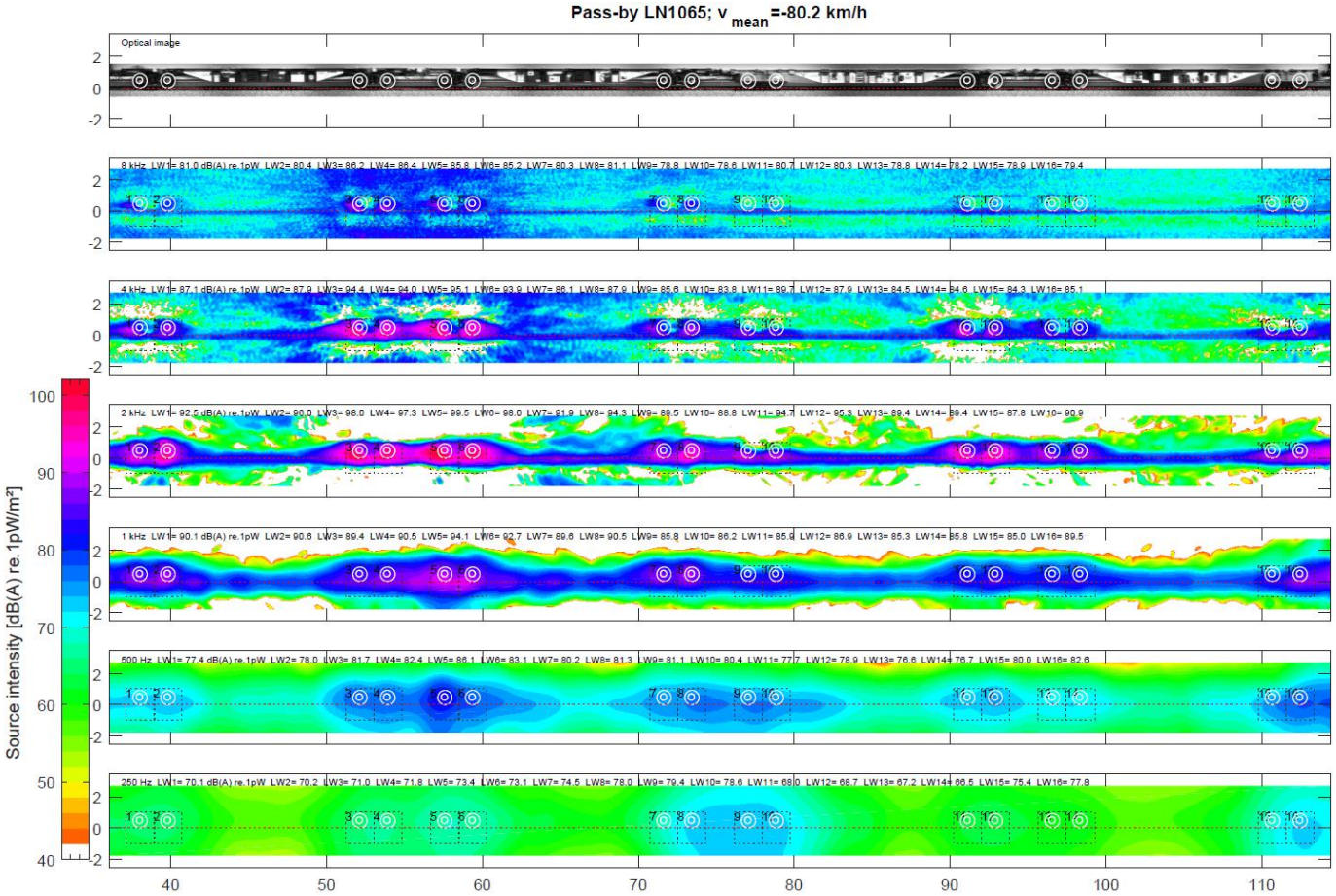


Abbildung 6-2: Vorbeifahrt mit 80 km/h Konfiguration B

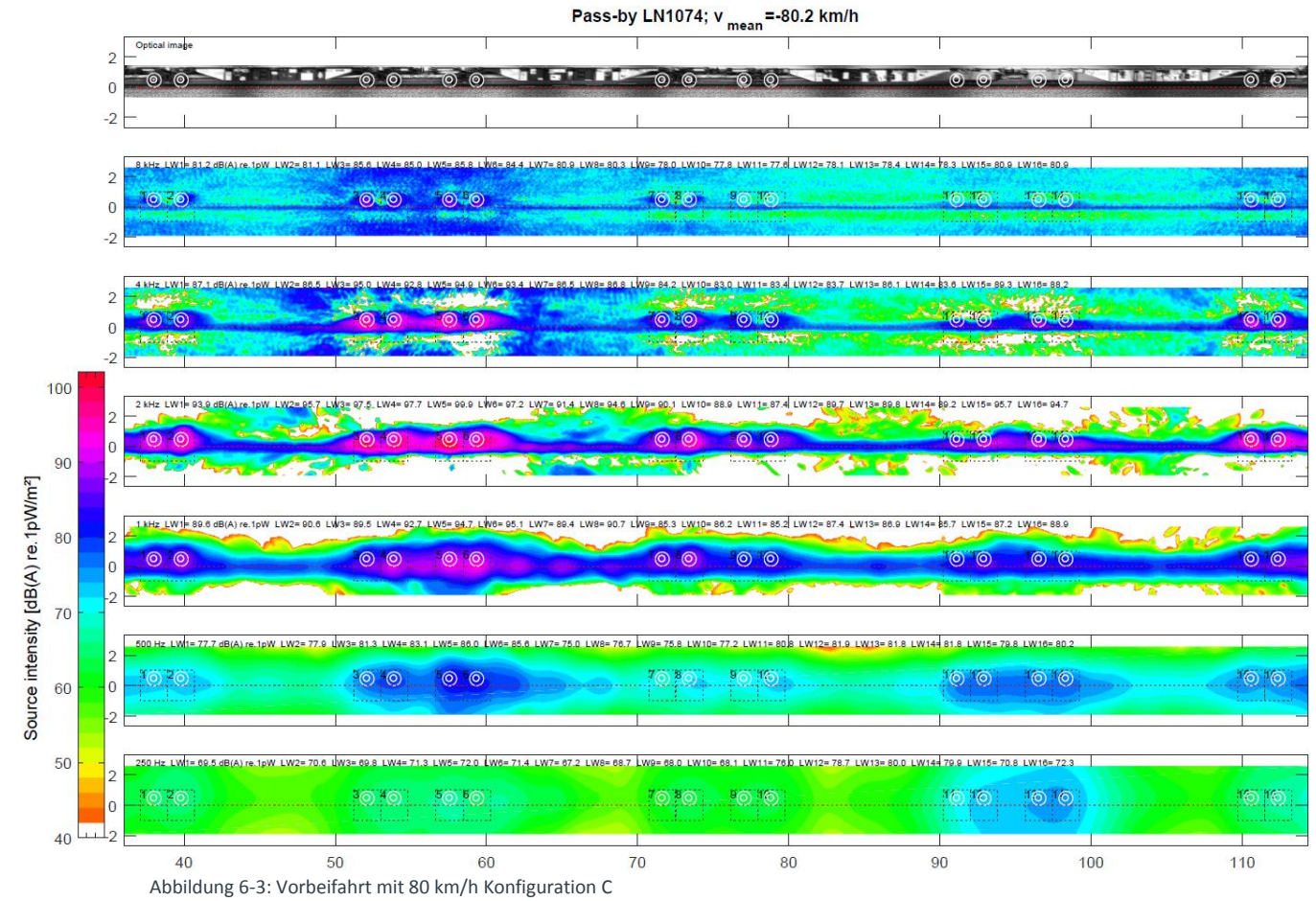


Abbildung 6-3: Vorbeifahrt mit 80 km/h Konfiguration C

7 Beurteilungsgrössen durch die Prüfstelle

Der durch TSI NOI 1304/2014/EU [1] vorgegebene Grenzwert von 83 dB(A) für Güterwagen bei 80 km/h, normiert auf eine durchschnittliche Anzahl der Achsen pro Längeneinheit von 0.225 m^{-1}, wird von den Testgüterwagen mit Drehgestellen vom Typ RC25NT hydr. sowohl mit Lärmschürzen Konfiguration C als auch ohne Lärmschürzen Konfiguration B bei den geprüften Geschwindigkeiten von 80 km/h und 115 km/h eingehalten und mit 77 dB(A) deutlich unterschritten. Ein Unterschied im Vorbeifahrpegel auf freier Strecke zwischen RC25NT mit Lärmschürze konnte nicht festgestellt werden.

Bei den Messungen am Perron konnte nur bei niedrigen Geschwindigkeiten im Bogen Kerzers ein Unterschied von etwa 2 dB zum DG ohne Schallschürzen festgestellt werden. Beim direkten Vergleich der Vorbeifahrpegel im Bogen zwischen Referenzwagen und Testwagen beträgt der Unterschied beim RC25NT ohne LS 2.0 dB und beim RC25NT mit LS 2.3 dB.

Bei den Messungen am Perron mit hohen Geschwindigkeiten in Müntschemier konnte kein bedeutender Unterschied in den Pegeln festgestellt werden.

Die Vorbeifahrpegel der Referenzwagenpaar der Konfiguration B und C liegen indes nur knapp unter dem Grenzwert. Als Grund dafür sind die hohen Radrauheiten zu nennen (vgl. Anhang C.1), weshalb die Radsätze für akustische Messungen nicht uneingeschränkt geeignet sind. Wie in Kapitel 0 gezeigt wurde, beeinflussen die hohen Vorbeifahrpegel des Referenzwagen-paares auch die Vorbeifahrpegel des Wagenpaares mit den Drehgestellen vom Typ RC25NT hydr.

8 Literatur

[1] *TSI NOI, Official Journal of the European Union L356/421 EN 12.12.2014*
COMMISSION DECISION of 26 November 2014 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem 'rolling stock - noise' of the trans-European conventional rail system
(notified under document number 1304/2014 (EU))

[2] *EN ISO 3095:2013*
Railway applications - Acoustics - Measurement of noise emitted by railbound vehicles

[3] *IEC 61672-1 Electroacoustics - Sound level meters Part1: Specifications*

[4] *EN 60651:1994/A2:2001 Schallpegelmesser*

[5] *EN 15610 von 2009 und 2018 Messung der Schienen- und Radrauheiten*

[6] *EN 15461: Bestimmung der dynamischen Gleiseigenschaften für akustische Vorbeifahrmessungen*

A Messprotokolle

Die Laufnummern werden gemäss dem Code XYYY nummeriert:

- X Fahrzeugkonfiguration gemäss Tabelle A-1
- YYY Laufnummer (ungerade: vorwärts, gerade: rückwärts)

Präfix	Konfiguration
A	Fahrzeugkonfiguration 1 - Wagenpaar 1 mit Drehgestellen des Typs RC25NT hydr. und Lärmschürzen an jedem Drehgestell - Wagenpaar 2 mit Drehgestellen des Typs Y25
B	Fahrzeugkonfiguration 2 - Wagenpaar 1 mit Drehgestellen des Typs RC25NT hydr., je ein Drehgestell jedes Fahrzeugs mit Lärmschürze, Lärmschürzen an den äusseren Drehgestellen - Wagenpaar 2 mit Drehgestellen des Typs ELH
C	Fahrzeugkonfiguration 3 - Wagenpaar 1 mit Drehgestellen des Typs RC25NT hydr., je ein Drehgestell jedes Fahrzeugs mit Lärmschürze, Lärmschürzen an den inneren Drehgestellen - Wagenpaar 2 mit Drehgestellen des Typs ELH

Tabelle A-1 Konfigurationsübersicht

Messprotokoll

Thema: TSI Noise Vorbeifahrt	**Datum:** 10.09.2019	**Fahrzeug:** Sgns(s)	**Projektnummer:** CH01-00731

Wetter				
Zeit:				
Wind [m/s]				
Windrichtung				
Lufttemperatur [°C]				
Luftfeuchtigkeit [%]				
Wetter				
Luftdruck [hPa]				

Mikrofone: B&K 4189	
P01:	2117578
P02:	2199611
P03:	2117583
P04:	2117580
Messbereich:	3.5Hz bis 20kHz
Kalibrator; B&K, Typ:	4231
Seriennr.	2671438

Teststrecke	Kerzers-Müntschemier
bei Streckenkilometer	24.58
Hintergrundschallpegel [dB(A)]	
Fahrzeug:	
Seriennummer	vgl. Versuchsbericht
Kilometerstand	n. bekannt
Zugkomposition	vgl. Versuchsbericht
Zugausrichtung	vgl. Versuchsbericht

Teilnehmer	
PROSE	cz, fw, fm
VTG	Gerhard Runkel

Laufnr.	Zeit	Fahrt-richtung	v_soll [km/h]	file	L_{pAFmax} [dB(A)] Pos.: 01 Nord	Pos.: 02 Süd	Bemerkungen
K001	09:11	-	-	VTG_000002			Kalibration P01 - Nord
K002	09:14	-	-	VTG_000004			Kalibration P02 - Süd
A003	09:26	Ins	80	VTG_000006			
A004	10:10	Kerzers	80	VTG_000007			
A005	10:52	Ins	100	VTG_000010			
U006	10:54	-	-	VTG_000011			Bestimmung Umgebungsgeräuschpegel
A008	12:11	Kerzers	80	VTG_000015			
A009	12:33	Ins	110	VTG_000021			
A010	14:10	Kerzers	110	VTG_000028			
A011	14:52	Ins	110	VTG_000031			
A012	16:03	Kerzers	100	VTG_000036			
A013	16:52	Ins	110	VTG_000041			
K014	18:55	-	-	VTG_000048			Endkalibration P02 - Süd
K015	18:57	-	-	VTG_000049			Endkalibration P01 - Nord

Die Resultate sind dem Versuchsbericht zu entnehmen

Die Resultate sind dem Versuchsbericht zu entnehmen

PROSE

Messprotokoll

Thema:	TSI Noise Vorbeifahrt	**Datum:**	12.09.2019	**Fahrzeug:**	Sgns(s)	**Projektnummer:**	CH01-00731

Wetter				
Zeit:	09:00	12:00	15:00	18:00
Wind [m/s]	1	1	2	1
Windrichtung	-	-	-	-
Lufttemperatur [°C]	12	18	20	18
Luftfeuchtigkeit [%]	-	-	-	-
Wetter	Nebel	sonnig	sonnig	sonnig
Luftdruck [hPa]	-	-	-	-

Mikrofone: B&K 4189	
P01:	2117578
P02:	2199611
P03:	2117583
P04:	2117580
Messbereich:	3.5Hz bis 20kHz
Kalibrator; B&K, Typ:	4231
Seriennr.	2671438

Teststrecke	Kerzers-Müntschemier
bei Streckenkilometer	24.58
Hintergrundschallpegel [dB(A)]	
Fahrzeug:	
Seriennummer	vgl. Versuchsbericht
Kilometerstand	n. bekannt
Zugkomposition	vgl. Versuchsbericht
Zugausrichtung	vgl. Versuchsbericht

Teilnehmer	
PROSE	cz, mou
VTG	Gerhard Runkel

Laufnr.	Zeit	Fahrt-richtung	v_soll [km/h]	file	L_{pAFmax} [dB(A)] Pos.: 01 Nord	Pos.: 02 Süd	Bemerkungen
B002	10:09	Kerzers	80	VTG_000052			
B003	10:52	Ins	110	VTG_000056			
U004	11:03	-	-	VTG_000057			Bestimmung Umgebungsgeräuschpegel
K005	11:05	-	-	VTG_000059			Kalibration P05
K006	11:07	-	-	VTG_000060			Kalibration P06
K007	11:08	-	-	VTG_000061			Kalibration P04
K008	11:13	-	-	VTG_000064			Kalibration P01
B010	12:09	Kerzers	110	VTG_000068			
U011	12:27	-	-	VTG_000071			Bestimmung Umgebungsgeräuschpegel
B013	12:43	Ins	80	VTG_000073			
C014	14:09	Kerzers	110	VTG_000079			
C015	14:37	Ins	110	VTG_000085			
C016	16:53	Kerzers	80	VTG_000096			
U017	17:05	-	-	VTG_000102			Bestimmung Umgebungsgeräuschpegel
C019	18:07	Ins	80	VTG_000111			
					Die Resultate sind dem Versuchsbericht zu entnehmen	Die Resultate sind dem Versuchsbericht zu entnehmen	

B Messausrüstung

B.1 Messgrössen

Signalname	Beschreibung	Position
P1	Luftschall südlich des Gleises MQ 1, 7.5m	Streckenkilometer 24.58, südl. Schiene
P2	Luftschall südlich des Gleises MQ 1, 7.5m	Streckenkilometer 24.58, nördl. Schiene
P3	Luftschall südlich des Gleises MQ 2, 7.5m	Streckenkilometer 24.59, südl. Schiene
P4	Luftschall südlich des Gleises MQ 2, 7.5m	Streckenkilometer 24.59, nördl. Schiene
P5	Luftschall südlich des Gleises MQ 2, 3.0m	Streckenkilometer 24.59, südl. Schiene
P6	Luftschall südlich des Gleises MQ 2, 3.0m	Streckenkilometer 24.59, nördl. Schiene
LS01	Lichtschranke	Streckenkilometer 24.59
LS02	Lichtschranke	Streckenkilometer 24.59 Abstand zu LS01: 1.2 Meter
AN	Achstrigger	Streckenkilometer 24.59 nördliche Schiene
AS	Achstrigger	Streckenkilometer 24.58 südliche Schiene

Tabelle B-1 Übersicht der aufgezeichneten Messgrössen

.

B.2 Sensoren

Signalname	Beschreibung	Seriennummer
P1	Kondensatormikrophon Brüel und Kjär 4189	Vorverstärker: 2216910 Kapsel: 2117578
P2		Vorverstärker: 2431164 Kapsel: 2199611
P3		Vorverstärker: 2431161 Kapsel: 2117583
P4		Vorverstärker: 4344416 Kapsel: 2117580
P5		Vorverstärker 2671 Kapsel 4189
P6		Vorverstärker 2671 Kapsel 4189
LS01	Reflexionslichtschranke Baumer FPDR 14P5101	10567
LS02		10569
AN	Beschleunigungssensor Kistler 8702B100	2908154
AS		2011122

Tabelle B-2 Verwendete Sensortypen und Seriennummern an der TSI Referenzstrecke

Signalname	Beschreibung	Seriennummer
P		Vorverstärker 2671, 2217486 Kapsel 4189, 2117584
A	8702B100	2082784

Tabelle B-3 Verwendete Sensortypen und Seriennummern Kerzers Bogen NI 9135 + NI 9234

Signalname	Beschreibung	Seriennummer
P		Vorverstärker 2671, 2908154 Kapsel 4189, 2117581
A	8702B100	2011122

Tabelle B-4 Verwendete Sensortypen und Seriennummern Müntschemier

B.2.1 Mikrofon und Kalibrator

Es wurden Messungen auf beiden Seiten des Gleises durchgeführt.

Um den Schalldruck zu messen, wurden Mikrofone des Typs 4189 der Firma Brüel und Kjär verwendet. Diese erfüllen die Genauigkeitsklasse 1 nach IEC 61672-1 [3] sowie EN 60651 [4].

Zur Kalibration der Luftschallmesskette wurde ein akustischer Kalibrator des Typs 4231 der Firma Brüel & Kjær mit der Seriennummer 2671438 verwendet.

B.2.2 Lichtschranke

An der südlichen Schiene wurde eine Lichtschranke montiert. Jede Achse des vorbeifahrenden Zuges verursacht einen Impuls im Lichtschrankensignal.

Mit Hilfe dieser Lichtschranke wird die Fahrzeuggeschwindigkeit auf Basis der Achsabstände berechnet. Des Weiteren wird damit der Zeitabschnitt zur Auswertung des Vorbeifahrtpegels ($L_{pAeq,Tp}$) bestimmt.

Es wurde eine Reflexions-Lichtschranke des Typs FPDR 14P5101 der Firma Baumer verwendet. Die Lichtschranke befand sich in einer Ebene mit den beiden Mikrofonpositionen.

B.3 Aufzeichnung

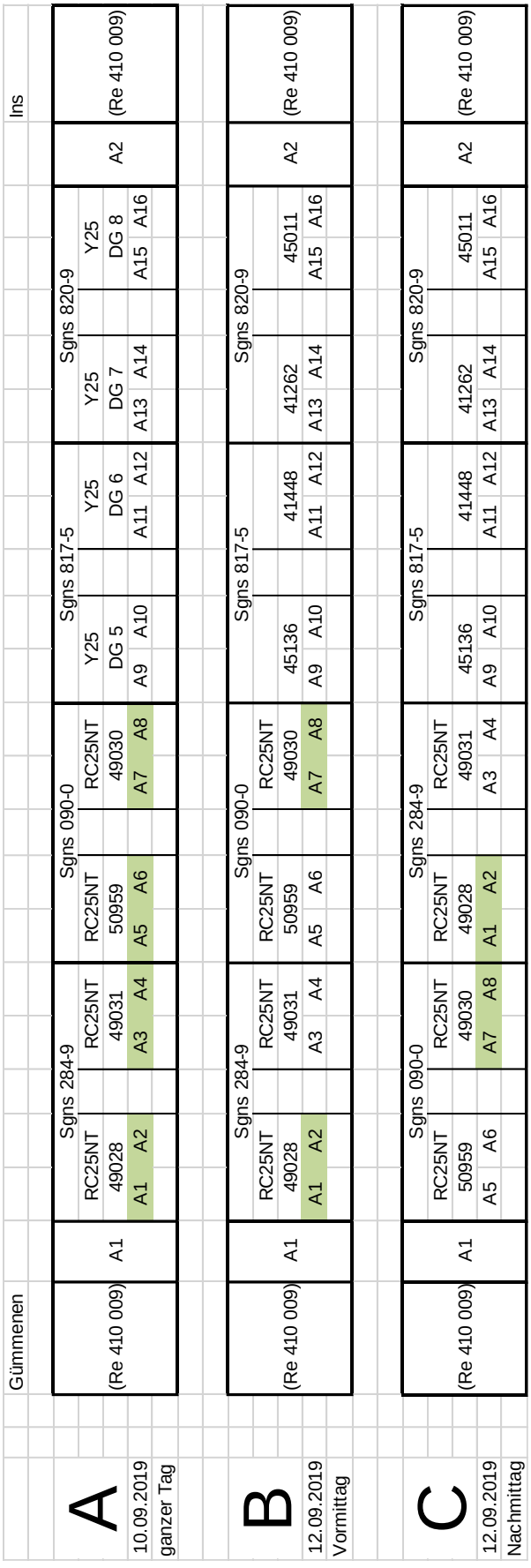
Sämtliche Messdaten wurden mit einem digitalen Aufzeichnungssystem des Typs NI CDaq (NI 9234 Messkarten) aufgezeichnet. Nachfolgend wird die Konfiguration des Aufzeichnungssystems gezeigt.

Kanal	Klemme	Filter	Abtastzeit	Messbereich	Skalierung	Offset
P01	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 50 Pa	20 Pa/V	0 Pa
P02	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 50 Pa	20 Pa/V	0 Pa
P03	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 50 Pa	20 Pa/V	0 Pa
P04	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 50 Pa	20 Pa/V	0 Pa
P05	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 50 Pa	20 Pa/V	0 Pa
P06	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 50 Pa	20 Pa/V	0 Pa
LS01	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 25 V	1 V/V	0 V
LS02	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 25 V	1 V/V	0 V
AN	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 500g	10 mV/g	0 V
AS	NI 9234	AAF	25.6 kHz	± 500g	10 mV/g	0 V

Tabelle B-3: Konfiguration des Aufzeichnungssystems

Die mittlere Windgeschwindigkeit betrug < 4m/s an diesem Tag und die Temperatur lag mittags um 14 C.°

B.4 Konfigurationen



C Messort

Die Vorbeifahrgeräuschmessungen wurden zwischen Kerzers und Müntschemier beim Kilometerpunkt 24.58 an der BLS-Strecke Bern - Neuchâtel durchgeführt. Die Messstelle liegt etwa 430 m über Meer.

Die Ausführung des Oberbaus auf dem 162 m langen Messbereich (zwischen Streckenkilometer 24.476 und 24.638) befindet sich in folgendem Zustand.

Schienenprofil	60 E1 (UIC 60)
Zwischenlage	Zw 661-6 EVA (hart)
Schienenbefestigung	Ws (Skl 14)
Schwellen	B91
Spurweite	1435 mm
Steigung	0 ‰
Bettung	Schotter

Tabelle C-1: Eigenschaften des Oberbaus

Auf der gesamten Messstrecke und mehrere Kilometer darüber hinaus ist das Gleis lückenlos verschweisst. Innerhalb der Messstrecke sind keine Oberflächenbeschädigungen sichtbar.

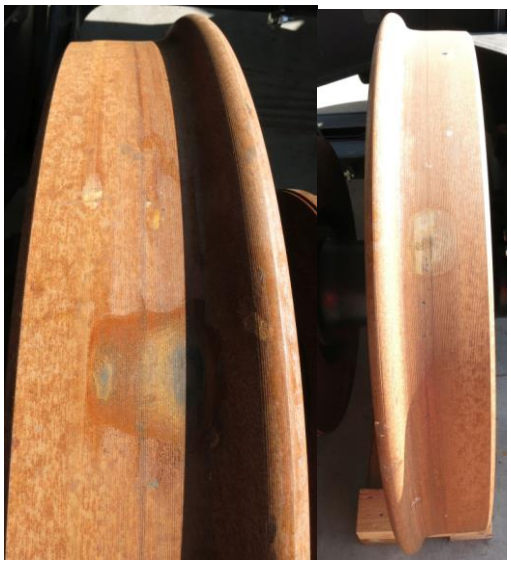
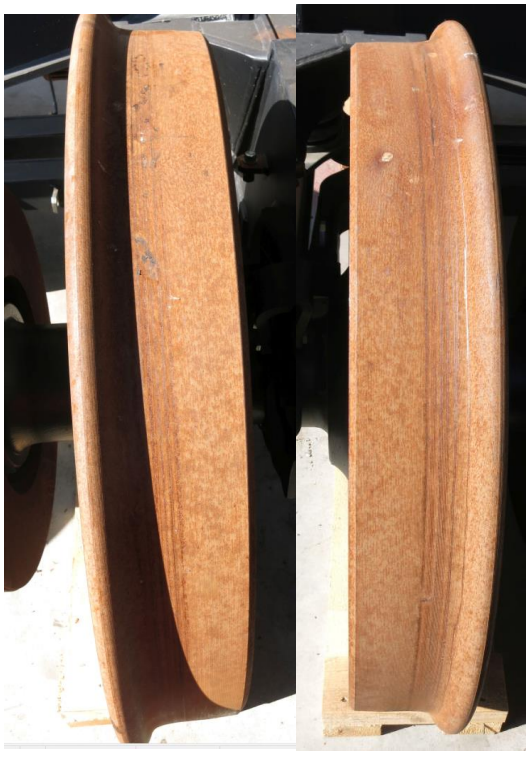


Abbildung C-1: Lage der Messstrecke und der Vorbeifahrstellen

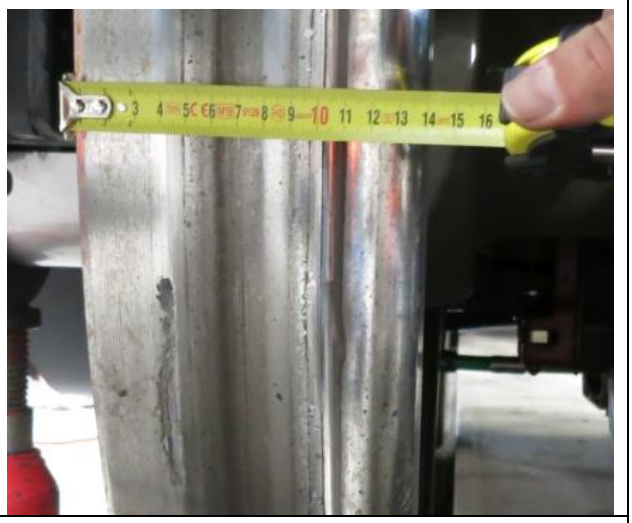
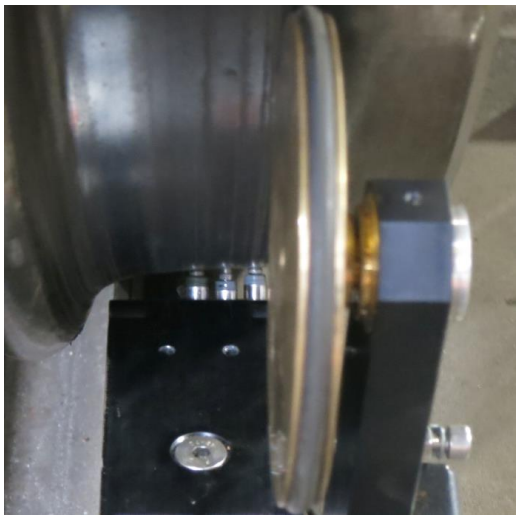
C.1 Radrauheiten

Y25		
	DG6 A9	DG6 A10
20mm		
	DG5 817-5 HB A11	DG5 A12
20mm		

Y25		
	DG7 A12	DG7 A13
40mm		
	DG8 A15	DG8 A14
40mm		

RC25		
	A9	A10
45136		
RC25	A11	A12
41448		

RC25		
	A15	A16
45011	 	 
RC25	A13	A14
41262	 	 

RC25 SS1		
	A3	A4
		

RC25 SS1	A1	A2
		

RC25 SS2	A5	A6
		

RC25 SS2	A7 mit Kleberesten von Bonatrans	A8
		


VTG
1.80m
RIV D-AAEC Sgns





PROSE

Rauheiten der Konfigurationen A bis C

A - 10.09.2019			Grenzwert
Wellenlänge	RC25	Y25	EN 3095
[m]	a3 - A6	a11-a14	
0.4000	-4.4	8.6	17.10
0.3150	-5.0	7.6	15.00
0.2500	-10.8	8.2	13.00
0.2000	-10.0	6.7	11.00
0.1600	-10.2	7.5	9.00
0.1250	-11.3	8.6	7.00
0.1000	-9.4	7.9	4.90
0.0800	-11.2	9.7	2.90
0.0630	-11.1	11.3	0.90
0.0500	-10.1	12.3	-1.10
0.0400	-9.9	10.6	-3.20
0.0315	-6.3	8.9	-5.00
0.0250	-8.1	8.4	-5.60
0.0200	-9.3	6.8	-6.20
0.0160	-9.3	4.6	-6.80
0.0125	-9.8	1.3	-7.40
0.0100	-10.0	-1.1	-8.00
0.0080	-10.5	-3.7	-8.60
0.0063	-11.5	-6.1	-9.20
0.0050	-12.8	-8.7	-9.80
0.0040	-14.4	-11.1	-10.40
0.0032	-16.3	-13.7	-11.00
0.0025	-18.1	-16.3	-11.60
v	lambda	lambda	
80	5.6	18.5	0.0
120	5.7	19.5	0.0

Einzelne	49028				49031				50959				49030			
Wellenlänge	1		2		3		4		5		6		7		8	
[m]	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
0.4000	5.0	-4.0	-11.3	-5.9	-3.8	-5.2	-0.8	-6.8	-9.4	-9.6	-1.2	-7.7	14.0	-4.1	2.7	5.5
0.3150	5.2	-6.5	-6.7	-7.3	-4.9	-10.5	-0.4	-8.6	-4.1	-8.3	-7.3	-4.8	14.6	-8.0	1.2	6.5
0.2500	5.0	-10.3	-13.2	-8.9	-10.4	-12.1	-14.0	-13.0	-11.9	-12.8	-9.9	-7.1	15.5	-11.2	1.2	7.3
0.2000	5.7	-6.4	-16.3	-8.8	-10.0	-13.6	-9.7	-10.3	-9.2	-12.8	-10.3	-7.2	15.1	-9.0	2.5	6.5
0.1600	5.9	-9.8	-12.3	-10.9	-10.2	-12.6	-7.0	-13.5	-11.1	-9.8	-10.3	-10.1	13.4	-9.4	1.0	7.5
0.1250	4.6	-8.2	-16.1	-10.7	-10.4	-14.7	-10.6	-13.4	-12.0	-12.7	-10.5	-9.0	11.4	-11.2	-0.1	6.2
0.1000	2.5	-11.1	-13.5	-10.4	-11.1	-10.9	-4.3	-15.7	-11.2	-12.7	-10.9	-8.5	6.3	-11.0	-3.4	4.2
0.0800	-1.5	-9.6	-8.8	-10.1	-11.7	-15.3	-10.4	-12.1	-10.8	-10.5	-9.4	-11.5	0.6	-10.8	-6.3	1.8
0.0630	-5.0	-12.4	-13.2	-12.3	-10.5	-14.2	-11.9	-11.2	-9.5	-11.0	-10.3	-11.3	5.0	-10.6	-4.4	0.5
0.0500	-2.7	-12.2	-9.4	-13.5	-10.8	-12.6	-12.2	-11.7	-9.1	-7.1	-10.2	-10.0	1.7	-8.2	-3.1	-1.0
0.0400	-3.1	-11.5	-12.5	-14.8	-10.5	-9.3	-12.9	-13.2	-7.4	-10.5	-9.4	-8.6	-0.4	-4.3	-2.1	-3.7
0.0315	-5.3	-11.0	-13.1	-11.4	-10.4	-5.0	-8.9	-11.9	-3.6	-8.9	-4.4	-4.8	-1.8	-1.6	-1.8	-5.2
0.0250	-9.5	-9.8	-12.6	-11.5	-11.3	-8.4	-11.0	-11.5	-5.6	-9.1	-6.5	-5.9	-3.0	-7.9	-3.3	-4.0
0.0200	-9.7	-8.8	-12.0	-14.9	-12.6	-10.5	-12.3	-10.5	-7.7	-7.8	-7.7	-8.6	-5.1	-7.2	-0.2	-7.4
0.0160	-10.4	-10.4	-11.3	-15.0	-11.5	-10.5	-11.7	-10.1	-8.4	-8.1	-7.8	-8.3	-7.2	-6.6	-4.6	-4.4
0.0125	-11.9	-13.2	-11.7	-16.4	-12.3	-11.1	-11.9	-11.4	-8.4	-8.1	-8.8	-8.5	-8.0	-8.1	-5.3	-6.7
0.0100	-11.3	-12.9	-11.8	-16.7	-12.5	-10.3	-11.9	-11.6	-10.0	-8.2	-8.5	-8.8	-8.4	-8.4	-9.6	-9.1
0.0080	-12.8	-13.9	-13.1	-16.9	-13.2	-10.7	-12.6	-12.0	-10.1	-9.4	-9.1	-9.2	-10.0	-8.9	-11.0	-10.2
0.0063	-13.0	-13.4	-13.3	-16.5	-13.7	-12.2	-13.3	-13.3	-10.7	-10.4	-10.3	-10.2	-11.0	-9.4	-12.7	-12.5
0.0050	-15.2	-14.7	-15.1	-17.6	-14.2	-12.4	-14.2	-14.2	-12.8	-11.8	-12.3	-11.8	-12.9	-10.1	-13.5	-13.8
0.0040	-16.7	-16.1	-16.4	-18.5	-15.7	-13.7	-15.4	-15.9	-13.9	-13.5	-14.3	-13.5	-14.6	-12.4	-15.3	-14.7
0.0032	-17.6	-16.9	-17.8	-19.2	-17.8	-15.7	-17.5	-17.7	-16.3	-15.4	-15.6	-15.2	-16.6	-14.5	-17.1	-16.5
0.0025	-19.8	-18.7	-19.5	-21.5	-19.9	-17.6	-18.6	-19.7	-18.0	-17.3	-17.4	-17.2	-18.6	-16.6	-18.7	-18.2
	lambda															
	5.0	3.5	3.2	0.3	3.2	5.3	3.5	3.8	6.7	6.6	6.9	6.8	8.8	7.8	9.4	8.0
	5.7	3.7	3.2	0.5	3.3	5.4	3.6	3.9	7.0	6.6	7.1	7.0	9.7	8.1	10.0	8.6

Einzelne	Y25 DG1				Y25 DG2				Y25 DG3				Y25 DG4			
Wellenlänge	9		10		11		12		13		14		15		16	
[m]	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
0.4000	7.8	8.8	6.1	8.2	-1.5	4.1	9.2	15.0	3.0	3.1			2.8	3.7		
0.3150	7.8	8.3	5.2	7.3	5.4	11.5	6.4	10.3	4.3	2.9			-3.9	4.8		
0.2500	5.6	1.6	5.6	7.1	3.6	10.8	12.0	10.7	-0.1	1.5			3.6	0.3		
0.2000	12.4	3.6	8.0	7.7	4.0	4.6	8.2	9.5	4.5	2.1			2.7	-2.4		
0.1600	10.2	4.9	6.4	6.6	6.1	9.3	10.7	8.0	5.5	3.6			-1.1	2.2		
0.1250	12.5	6.9	5.8	7.5	5.9	7.9	12.7	10.0	6.1	7.4			0.3	-0.8		
0.1000	11.0	9.6	8.7	6.9	8.1	7.0	9.5	9.4	5.9	6.5			-2.2	0.3		
0.0800	13.8	9.1	10.0	9.3	9.2	7.5	12.3	9.8	9.4	7.8			-1.3	0.6		
0.0630	11.7	10.5	12.6	11.8	9.0	9.3	13.2	11.9	11.3	8.5			-2.2	2.9		
0.0500	12.6	12.4	14.9	11.9	10.9	11.1	14.7	12.1	10.6	8.6			-0.3	3.8		
0.0400	12.3	10.9	12.0	11.6	7.4	7.0	12.5	10.0	11.5	9.4			-0.3	4.7		
0.0315	12.5	10.3	9.5	8.3	8.4	7.5	10.9	8.0	9.0	8.5			-2.9	6.4		
0.0250	11.5	8.8	8.7	8.6	7.9	7.5	10.4	6.9	8.4	7.7			-2.7	4.6		
0.0200	9.8	7.3	7.6	5.6	5.9	5.5	7.8	8.3	6.2	6.3			-3.1	2.1		
0.0160	6.2	4.9	4.3	2.3	3.7	3.3	5.9	6.8	4.2	4.9			-4.0	0.4		
0.0125	3.5	1.9	1.7	0.6	0.4	0.2	1.3	0.3	1.6	3.5			-4.8	0.4		
0.0100	0.4	-0.3	-0.8	-2.0	-2.7	-3.1	-1.2	-0.7	-0.7	0.7			-6.6	-3.1		
0.0080	-2.2	-3.4	-2.8	-4.6	-4.5	-3.9	-3.6	-5.1	-3.6	-2.4			-8.6	-5.1		
0.0063	-5.0	-5.6	-4.7	-6.7	-6.9	-6.8	-6.0	-6.8	-6.3	-5.0			-11.5	-7.4		
0.0050	-7.9	-8.6	-6.7	-9.4	-9.0	-9.2	-8.7	-11.2	-8.8	-7.6			-14.4	-10.4		
0.0040	-10.0	-11.1	-8.6	-11.1	-11.9	-11.8	-11.7	-13.0	-11.7	-10.6			-16.7	-13.0		
0.0032	-12.6	-13.4	-11.4	-14.2	-13.9	-13.8	-14.5	-16.4	-14.2	-13.1			-19.3	-16.0		
0.0025	-15.3	-16.2	-14.1	-16.5	-16.1	-16.9	-16.8	-19.0	-16.9	-15.9			-21.6	-18.3		
	20.9	19.0	19.2	17.9	17.5	17.1	19.9	18.7	18.4	18.4			9.5	14.9		
	21.9	20.0	20.4	19.1	18.5	18.1	21.1	19.7	19.4	19.2			10.1	15.6		

B - 12.09.2019			Grenzwert
Wellenlänge	RC25	RC25N	TSI
[m]	a3 - A6	a11-a14	TSI Noise:2011
0.4000	-4.4	1.7	17.10
0.3150	-5.0	3.0	15.00
0.2500	-10.8	-0.2	13.00
0.2000	-10.0	-1.6	11.00
0.1600	-10.2	0.3	9.00
0.1250	-11.3	-1.5	7.00
0.1000	-9.4	-0.3	4.90
0.0800	-11.2	-1.2	2.90
0.0630	-11.1	-0.8	0.90
0.0500	-10.1	-0.4	-1.10
0.0400	-9.9	0.1	-3.20
0.0315	-6.3	0.8	-5.00
0.0250	-8.1	1.1	-5.60
0.0200	-9.3	0.3	-6.20
0.0160	-9.3	-1.0	-6.80
0.0125	-9.8	-2.2	-7.40
0.0100	-10.0	-2.8	-8.00
0.0080	-10.5	-3.7	-8.60
0.0063	-11.5	-4.9	-9.20
0.0050	-12.8	-6.9	-9.80
0.0040	-14.4	-8.9	-10.40
0.0032	-16.3	-11.6	-11.00
0.0025	-18.1	-14.4	-11.60
v	lambda	lambda	
80	5.6	13.3	0.0
120	5.7	13.6	0.0

Einzelne	49028				49031				50959				49030			
Wellenlänge	1		2		3		4		5		6		7		8	
[m]	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
0.4000	5.0	-4.0	-11.3	-5.9	-3.8	-5.2	-0.8	-6.8	-9.4	-9.6	-1.2	-7.7	14.0	-4.1	2.7	5.5
0.3150	5.2	-6.5	-6.7	-7.3	-4.9	-10.5	-0.4	-8.6	-4.1	-8.3	-7.3	-4.8	14.6	-8.0	1.2	6.5
0.2500	5.0	-10.3	-13.2	-8.9	-10.4	-12.1	-14.0	-13.0	-11.9	-12.8	-9.9	-7.1	15.5	-11.2	1.2	7.3
0.2000	5.7	-6.4	-16.3	-8.8	-10.0	-13.6	-9.7	-10.3	-9.2	-12.8	-10.3	-7.2	15.1	-9.0	2.5	6.5
0.1600	5.9	-9.8	-12.3	-10.9	-10.2	-12.6	-7.0	-13.5	-11.1	-9.8	-10.3	-10.1	13.4	-9.4	1.0	7.5
0.1250	4.6	-8.2	-16.1	-10.7	-10.4	-14.7	-10.6	-13.4	-12.0	-12.7	-10.5	-9.0	11.4	-11.2	-0.1	6.2
0.1000	2.5	-11.1	-13.5	-10.4	-11.1	-10.9	-4.3	-15.7	-11.2	-12.7	-10.9	-8.5	6.3	-11.0	-3.4	4.2
0.0800	-1.5	-9.6	-8.8	-10.1	-11.7	-15.3	-10.4	-12.1	-10.8	-10.5	-9.4	-11.5	0.6	-10.8	-6.3	1.8
0.0630	-5.0	-12.4	-13.2	-12.3	-10.5	-14.2	-11.9	-11.2	-9.5	-11.0	-10.3	-11.3	5.0	-10.6	-4.4	0.5
0.0500	-2.7	-12.2	-9.4	-13.5	-10.8	-12.6	-12.2	-11.7	-9.1	-7.1	-10.2	-10.0	1.7	-8.2	-3.1	-1.0
0.0400	-3.1	-11.5	-12.5	-14.8	-10.5	-9.3	-12.9	-13.2	-7.4	-10.5	-9.4	-8.6	-0.4	-4.3	-2.1	-3.7
0.0315	-5.3	-11.0	-13.1	-11.4	-10.4	-5.0	-8.9	-11.9	-3.6	-8.9	-4.4	-4.8	-1.8	-1.6	-1.8	-5.2
0.0250	-9.5	-9.8	-12.6	-11.5	-11.3	-8.4	-11.0	-11.5	-5.6	-9.1	-6.5	-5.9	-3.0	-7.9	-3.3	-4.0
0.0200	-9.7	-8.8	-12.0	-14.9	-12.6	-10.5	-12.3	-10.5	-7.7	-7.8	-7.7	-8.6	-5.1	-7.2	-0.2	-7.4
0.0160	-10.4	-10.4	-11.3	-15.0	-11.5	-10.5	-11.7	-10.1	-8.4	-8.1	-7.8	-8.3	-7.2	-6.6	-4.6	-4.4
0.0125	-11.9	-13.2	-11.7	-16.4	-12.3	-11.1	-11.9	-11.4	-8.4	-8.1	-8.8	-8.5	-8.0	-8.1	-5.3	-6.7
0.0100	-11.3	-12.9	-11.8	-16.7	-12.5	-10.3	-11.9	-11.6	-10.0	-8.2	-8.5	-8.8	-8.4	-8.4	-9.6	-9.1
0.0080	-12.8	-13.9	-13.1	-16.9	-13.2	-10.7	-12.6	-12.0	-10.1	-9.4	-9.1	-9.2	-10.0	-8.9	-11.0	-10.2
0.0063	-13.0	-13.4	-13.3	-16.5	-13.7	-12.2	-13.3	-13.3	-10.7	-10.4	-10.3	-10.2	-11.0	-9.4	-12.7	-12.5
0.0050	-15.2	-14.7	-15.1	-17.6	-14.2	-12.4	-14.2	-14.2	-12.8	-11.8	-12.3	-11.8	-12.9	-10.1	-13.5	-13.8
0.0040	-16.7	-16.1	-16.4	-18.5	-15.7	-13.7	-15.4	-15.9	-13.9	-13.5	-14.3	-13.5	-14.6	-12.4	-15.3	-14.7
0.0032	-17.6	-16.9	-17.8	-19.2	-17.8	-15.7	-17.5	-17.7	-16.3	-15.4	-15.6	-15.2	-16.6	-14.5	-17.1	-16.5
0.0025	-19.8	-18.7	-19.5	-21.5	-19.9	-17.6	-18.6	-19.7	-18.0	-17.3	-17.4	-17.2	-18.6	-16.6	-18.7	-18.2
	lambda															
	5.0	3.5	3.2	0.3	3.2	5.3	3.5	3.8	6.7	6.6	6.9	6.8	8.8	7.8	9.4	8.0
	5.7	3.7	3.2	0.5	3.3	5.4	3.6	3.9	7.0	6.6	7.1	7.0	9.7	8.1	10.0	8.6

Einzelne	45136				41448				41262				45011			
Wellenlänge	9		10		11		12		13		14		15		16	
[m]	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
0.4000	-0.9	1.8	4.1	6.0	1.3	-1.1	-2.0	1.6	-1.6	-5.2	1.2	-1.2	1.1	3.6	-0.3	2.2
0.3150	2.3	1.4	3.1	8.2	3.2	-2.5	3.3	1.4	-5.8	-1.1	-0.4	3.9	1.9	8.8	-1.8	2.6
0.2500	-2.0	0.6	-0.5	-4.1	0.8	-0.3	1.1	3.1	-4.3	-3.4	-0.1	-3.5	2.3	5.3	0.1	0.1
0.2000	-2.9	1.0	-1.6	-2.8	2.2	-4.6	-2.1	-0.7	-3.2	-4.5	-1.4	2.6	3.7	5.2	1.7	0.0
0.1600	-2.7	-0.2	2.8	2.6	-2.2	-5.2	1.4	-0.5	-1.4	0.0	-0.5	0.8	1.4	5.6	-3.2	-0.3
0.1250	-2.8	-0.4	0.5	-1.0	-2.2	-1.5	-2.3	0.0	-3.8	-3.4	-2.7	0.6	2.9	2.9	-0.7	-0.2
0.1000	0.1	0.8	1.4	2.1	0.3	-2.3	-1.3	0.8	-3.2	-3.8	-2.4	-2.3	2.6	5.2	0.4	-0.4
0.0800	-0.3	0.9	0.9	-3.1	0.3	-1.8	-0.7	-1.6	-3.1	-2.1	-3.5	-3.8	3.9	4.5	3.0	0.3
0.0630	-1.6	1.0	2.7	-2.9	-0.6	-1.8	-0.9	-0.2	-4.1	-2.3	-1.7	-3.2	4.6	4.5	0.7	1.5
0.0500	-0.4	2.1	1.7	-0.3	-1.0	-2.5	0.5	1.5	-4.4	-2.0	-2.8	-2.9	5.1	4.2	1.2	2.0
0.0400	0.8	2.8	3.6	-2.3	-1.0	-2.9	0.9	2.5	-3.9	-2.9	-2.3	-2.8	5.0	4.6	-0.1	3.1
0.0315	0.2	2.8	3.3	1.6	0.7	-2.7	2.2	2.6	-4.3	-3.5	-2.3	-0.5	5.3	5.2	0.7	1.7
0.0250	0.7	1.3	4.5	0.8	0.8	-2.5	2.4	2.8	-4.0	-3.2	-1.1	0.1	5.7	6.4	1.7	3.5
0.0200	3.3	2.9	3.7	0.9	-1.6	-2.2	1.4	1.3	-3.0	-2.4	-0.6	-2.5	4.4	8.9	4.0	3.5
0.0160	0.8	1.8	1.2	-1.4	-1.8	-2.5	-1.0	0.1	-0.9	-3.0	-1.5	-5.7	1.9	3.6	1.1	1.4
0.0125	-0.2	1.2	0.1	-1.5	-3.2	-2.8	-2.3	-2.5	-3.4	-3.5	-1.8	-5.4	0.1	1.8	1.4	1.2
0.0100	-0.4	-0.1	-0.5	-1.8	-3.2	-3.3	-3.6	-3.9	-3.3	-3.7	-2.8	-4.6	-1.0	-0.8	0.1	0.4
0.0080	-2.0	-0.8	-1.0	-3.4	-4.5	-4.8	-4.2	-4.5	-4.6	-3.9	-3.7	-5.7	-1.9	-2.7	-1.4	-1.2
0.0063	-3.3	-2.8	-3.4	-4.0	-5.5	-5.0	-5.2	-5.8	-6.6	-4.4	-4.4	-7.5	-3.1	-3.9	-2.1	-2.5
0.0050	-5.1	-4.8	-5.4	-6.5	-7.2	-7.0	-7.3	-7.6	-8.0	-6.4	-6.3	-8.0	-5.4	-5.6	-4.0	-4.6
0.0040	-7.0	-7.6	-7.5	-8.3	-9.4	-9.1	-9.0	-9.8	-9.6	-8.9	-8.7	-9.6	-7.9	-7.8	-7.1	-7.5
0.0032	-9.9	-10.0	-10.5	-11.4	-12.1	-11.7	-11.7	-12.5	-11.6	-11.6	-10.9	-12.0	-10.4	-10.6	-10.2	-10.3
0.0025	-13.2	-13.3	-13.3	-13.9	-14.9	-14.2	-14.3	-15.1	-15.0	-14.7	-14.2	-15.2	-13.7	-13.3	-13.1	-13.4
	14.9	15.7	15.8	13.6	12.5	11.9	13.5	13.6	11.6	11.9	12.8	11.0	16.3	17.8	15.7	15.9
	15.2	16.0	16.2	13.9	12.9	12.0	14.0	14.2	11.7	11.9	13.0	11.3	16.9	18.4	16.0	16.2

C - 12.09.2019			Grenzwert
Wellenlänge	RC25	RC25	TSI
[m]	a3 - A6	a11-a14	TSI Noise:2011
0.4000	6.4	1.7	17.10
0.3150	6.9	3.0	15.00
0.2500	7.6	-0.2	13.00
0.2000	7.3	-1.6	11.00
0.1600	6.1	0.3	9.00
0.1250	4.4	-1.5	7.00
0.1000	0.7	-0.3	4.90
0.0800	-3.0	-1.2	2.90
0.0630	-1.9	-0.8	0.90
0.0500	-3.4	-0.4	-1.10
0.0400	-4.3	0.1	-3.20
0.0315	-4.5	0.8	-5.00
0.0250	-6.3	1.1	-5.60
0.0200	-6.1	0.3	-6.20
0.0160	-7.5	-1.0	-6.80
0.0125	-8.9	-2.2	-7.40
0.0100	-10.4	-2.8	-8.00
0.0080	-11.5	-3.7	-8.60
0.0063	-12.3	-4.9	-9.20
0.0050	-13.6	-6.9	-9.80
0.0040	-15.2	-8.9	-10.40
0.0032	-16.9	-11.6	-11.00
0.0025	-18.8	-14.4	-11.60
v	lambda	lambda	
80	6.7	13.3	0.0
120	7.2	13.6	0.0

Einzelne	50959				49030				49028				49031			
Wellenlänge	5		6		7		8		1		2		3		4	
[m]	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
0.4000	-9.4	-9.6	-1.2	-7.7	14.0	-4.1	2.7	5.5	5.0	-4.0	-11.3	-5.9	-3.8	-5.2	-0.8	-6.8
0.3150	-4.1	-8.3	-7.3	-4.8	14.6	-8.0	1.2	6.5	5.2	-6.5	-6.7	-7.3	-4.9	-10.5	-0.4	-8.6
0.2500	-11.9	-12.8	-9.9	-7.1	15.5	-11.2	1.2	7.3	5.0	-10.3	-13.2	-8.9	-10.4	-12.1	-14.0	-13.0
0.2000	-9.2	-12.8	-10.3	-7.2	15.1	-9.0	2.5	6.5	5.7	-6.4	-16.3	-8.8	-10.0	-13.6	-9.7	-10.3
0.1600	-11.1	-9.8	-10.3	-10.1	13.4	-9.4	1.0	7.5	5.9	-9.8	-12.3	-10.9	-10.2	-12.6	-7.0	-13.5
0.1250	-12.0	-12.7	-10.5	-9.0	11.4	-11.2	-0.1	6.2	4.6	-8.2	-16.1	-10.7	-10.4	-14.7	-10.6	-13.4
0.1000	-11.2	-12.7	-10.9	-8.5	6.3	-11.0	-3.4	4.2	2.5	-11.1	-13.5	-10.4	-11.1	-10.9	-4.3	-15.7
0.0800	-10.8	-10.5	-9.4	-11.5	0.6	-10.8	-6.3	1.8	-1.5	-9.6	-8.8	-10.1	-11.7	-15.3	-10.4	-12.1
0.0630	-9.5	-11.0	-10.3	-11.3	5.0	-10.6	-4.4	0.5	-5.0	-12.4	-13.2	-12.3	-10.5	-14.2	-11.9	-11.2
0.0500	-9.1	-7.1	-10.2	-10.0	1.7	-8.2	-3.1	-1.0	-2.7	-12.2	-9.4	-13.5	-10.8	-12.6	-12.2	-11.7
0.0400	-7.4	-10.5	-9.4	-8.6	-0.4	-4.3	-2.1	-3.7	-3.1	-11.5	-12.5	-14.8	-10.5	-9.3	-12.9	-13.2
0.0315	-3.6	-8.9	-4.4	-4.8	-1.8	-1.6	-1.8	-5.2	-5.3	-11.0	-13.1	-11.4	-10.4	-5.0	-8.9	-11.9
0.0250	-5.6	-9.1	-6.5	-5.9	-3.0	-7.9	-3.3	-4.0	-9.5	-9.8	-12.6	-11.5	-11.3	-8.4	-11.0	-11.5
0.0200	-7.7	-7.8	-7.7	-8.6	-5.1	-7.2	-0.2	-7.4	-9.7	-8.8	-12.0	-14.9	-12.6	-10.5	-12.3	-10.5
0.0160	-8.4	-8.1	-7.8	-8.3	-7.2	-6.6	-4.6	-4.4	-10.4	-10.4	-11.3	-15.0	-11.5	-10.5	-11.7	-10.1
0.0125	-8.4	-8.1	-8.8	-8.5	-8.0	-8.1	-5.3	-6.7	-11.9	-13.2	-11.7	-16.4	-12.3	-11.1	-11.9	-11.4
0.0100	-10.0	-8.2	-8.5	-8.8	-8.4	-8.4	-9.6	-9.1	-11.3	-12.9	-11.8	-16.7	-12.5	-10.3	-11.9	-11.6
0.0080	-10.1	-9.4	-9.1	-9.2	-10.0	-8.9	-11.0	-10.2	-12.8	-13.9	-13.1	-16.9	-13.2	-10.7	-12.6	-12.0
0.0063	-10.7	-10.4	-10.3	-10.2	-11.0	-9.4	-12.7	-12.5	-13.0	-13.4	-13.3	-16.5	-13.7	-12.2	-13.3	-13.3
0.0050	-12.8	-11.8	-12.3	-11.8	-12.9	-10.1	-13.5	-13.8	-15.2	-14.7	-15.1	-17.6	-14.2	-12.4	-14.2	-14.2
0.0040	-13.9	-13.5	-14.3	-13.5	-14.6	-12.4	-15.3	-14.7	-16.7	-16.1	-16.4	-18.5	-15.7	-13.7	-15.4	-15.9
0.0032	-16.3	-15.4	-15.6	-15.2	-16.6	-14.5	-17.1	-16.5	-17.6	-16.9	-17.8	-19.2	-17.8	-15.7	-17.5	-17.7
0.0025	-18.0	-17.3	-17.4	-17.2	-18.6	-16.6	-18.7	-18.2	-19.8	-18.7	-19.5	-21.5	-19.9	-17.6	-18.6	-19.7
	lambda															
	6.7	6.6	6.9	6.8	8.8	7.8	9.4	8.0	5.0	3.5	3.2	0.3	3.2	5.3	3.5	3.8
	7.0	6.6	7.1	7.0	9.7	8.1	10.0	8.6	5.7	3.7	3.2	0.5	3.3	5.4	3.6	3.9

Einzelne	45136				41448				41262				45011			
Wellenlänge	9		10		11		12		13		14		15		16	
[m]	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
0.4000	-0.9	1.8	4.1	6.0	1.3	-1.1	-2.0	1.6	-1.6	-5.2	1.2	-1.2	1.1	3.6	-0.3	2.2
0.3150	2.3	1.4	3.1	8.2	3.2	-2.5	3.3	1.4	-5.8	-1.1	-0.4	3.9	1.9	8.8	-1.8	2.6
0.2500	-2.0	0.6	-0.5	-4.1	0.8	-0.3	1.1	3.1	-4.3	-3.4	-0.1	-3.5	2.3	5.3	0.1	0.1
0.2000	-2.9	1.0	-1.6	-2.8	2.2	-4.6	-2.1	-0.7	-3.2	-4.5	-1.4	2.6	3.7	5.2	1.7	0.0
0.1600	-2.7	-0.2	2.8	2.6	-2.2	-5.2	1.4	-0.5	-1.4	0.0	-0.5	0.8	1.4	5.6	-3.2	-0.3
0.1250	-2.8	-0.4	0.5	-1.0	-2.2	-1.5	-2.3	0.0	-3.8	-3.4	-2.7	0.6	2.9	2.9	-0.7	-0.2
0.1000	0.1	0.8	1.4	2.1	0.3	-2.3	-1.3	0.8	-3.2	-3.8	-2.4	-2.3	2.6	5.2	0.4	-0.4
0.0800	-0.3	0.9	0.9	-3.1	0.3	-1.8	-0.7	-1.6	-3.1	-2.1	-3.5	-3.8	3.9	4.5	3.0	0.3
0.0630	-1.6	1.0	2.7	-2.9	-0.6	-1.8	-0.9	-0.2	-4.1	-2.3	-1.7	-3.2	4.6	4.5	0.7	1.5
0.0500	-0.4	2.1	1.7	-0.3	-1.0	-2.5	0.5	1.5	-4.4	-2.0	-2.8	-2.9	5.1	4.2	1.2	2.0
0.0400	0.8	2.8	3.6	-2.3	-1.0	-2.9	0.9	2.5	-3.9	-2.9	-2.3	-2.8	5.0	4.6	-0.1	3.1
0.0315	0.2	2.8	3.3	1.6	0.7	-2.7	2.2	2.6	-4.3	-3.5	-2.3	-0.5	5.3	5.2	0.7	1.7
0.0250	0.7	1.3	4.5	0.8	0.8	-2.5	2.4	2.8	-4.0	-3.2	-1.1	0.1	5.7	6.4	1.7	3.5
0.0200	3.3	2.9	3.7	0.9	-1.6	-2.2	1.4	1.3	-3.0	-2.4	-0.6	-2.5	4.4	8.9	4.0	3.5
0.0160	0.8	1.8	1.2	-1.4	-1.8	-2.5	-1.0	0.1	-0.9	-3.0	-1.5	-5.7	1.9	3.6	1.1	1.4
0.0125	-0.2	1.2	0.1	-1.5	-3.2	-2.8	-2.3	-2.5	-3.4	-3.5	-1.8	-5.4	0.1	1.8	1.4	1.2
0.0100	-0.4	-0.1	-0.5	-1.8	-3.2	-3.3	-3.6	-3.9	-3.3	-3.7	-2.8	-4.6	-1.0	-0.8	0.1	0.4
0.0080	-2.0	-0.8	-1.0	-3.4	-4.5	-4.8	-4.2	-4.5	-4.6	-3.9	-3.7	-5.7	-1.9	-2.7	-1.4	-1.2
0.0063	-3.3	-2.8	-3.4	-4.0	-5.5	-5.0	-5.2	-5.8	-6.6	-4.4	-4.4	-7.5	-3.1	-3.9	-2.1	-2.5
0.0050	-5.1	-4.8	-5.4	-6.5	-7.2	-7.0	-7.3	-7.6	-8.0	-6.4	-6.3	-8.0	-5.4	-5.6	-4.0	-4.6
0.0040	-7.0	-7.6	-7.5	-8.3	-9.4	-9.1	-9.0	-9.8	-9.6	-8.9	-8.7	-9.6	-7.9	-7.8	-7.1	-7.5
0.0032	-9.9	-10.0	-10.5	-11.4	-12.1	-11.7	-11.7	-12.5	-11.6	-11.6	-10.9	-12.0	-10.4	-10.6	-10.2	-10.3
0.0025	-13.2	-13.3	-13.3	-13.9	-14.9	-14.2	-14.3	-15.1	-15.0	-14.7	-14.2	-15.2	-13.7	-13.3	-13.1	-13.4
	14.9	15.7	15.8	13.6	12.5	11.9	13.5	13.6	11.6	11.9	12.8	11.0	16.3	17.8	15.7	15.9
	15.2	16.0	16.2	13.9	12.9	12.0	14.0	14.2	11.7	11.9	13.0	11.3	16.9	18.4	16.0	16.2

D Bilder Messaufbau

D.1 TSI Referenzstrecke Gerade

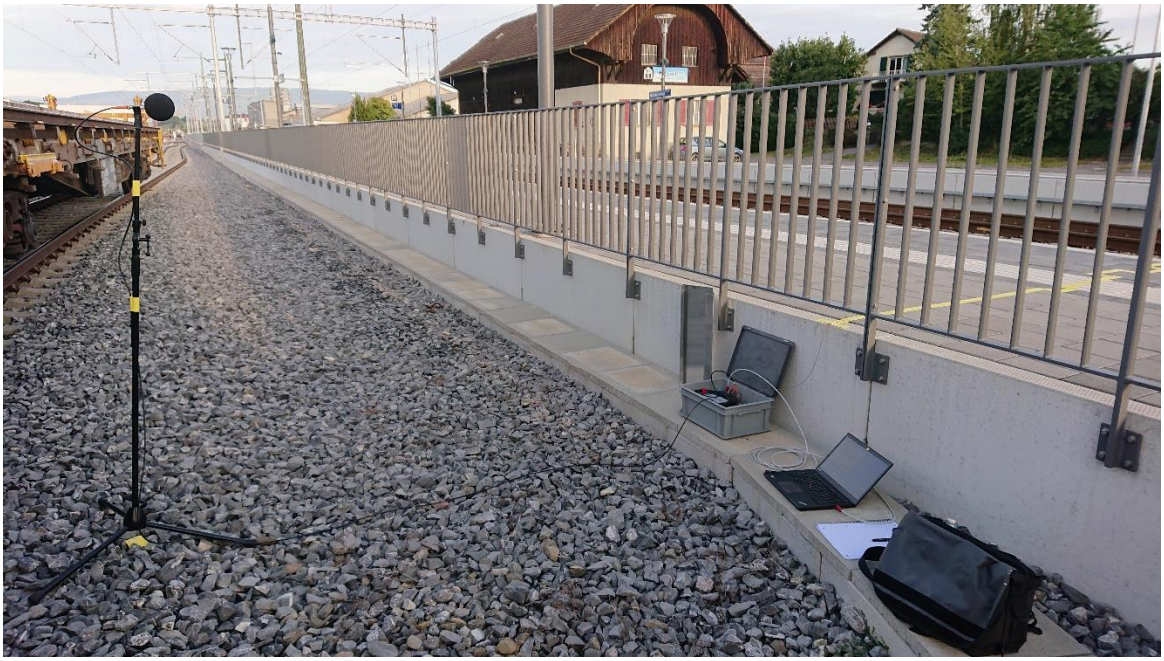


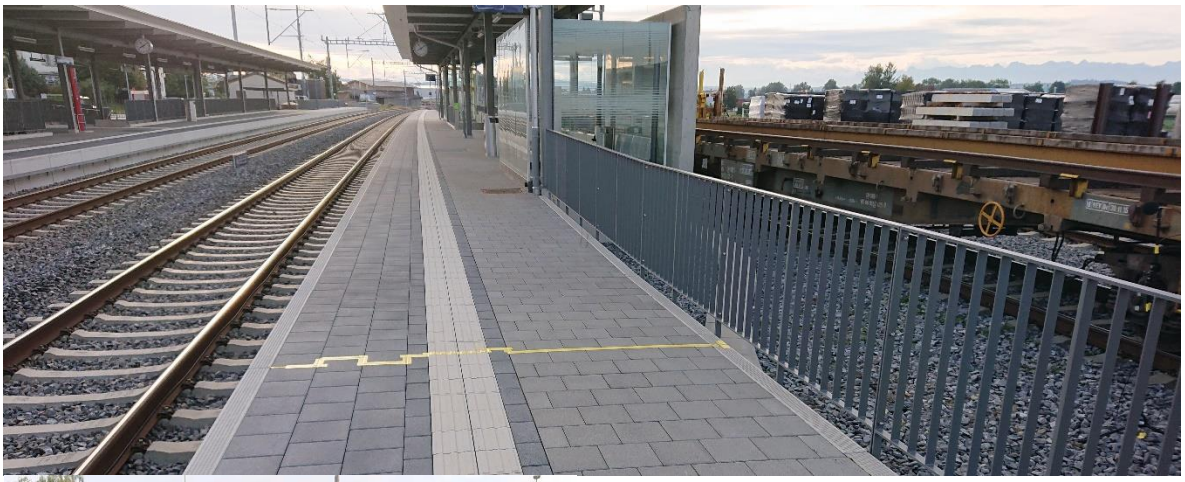
Abbildung D-1 Messaufbau km24.58



Abbildung D-2 Gesamter Messaufbau

D.2 Perron Gerade Müntschemier







D.3 Perron Bogen Kerzers





E Ergebnisse - Übersicht

E.1 Messkonfiguration A

								LpAeq	LpAeq	LpAeq	LpAeq	DG1		DG2		DG3		DG4	
							1:Kerzers	P01	P02	Mess	TSI apl	P01	P02	P01	P02	P01	P02	P01	P02
10.09.2019							-1:Ins	0m	0m	**Mittel**	**Mittel**	0m	0m	0m	0m	0m	0m	0m	0m
Type	**time**	**FileTSI**	**start**	**end**	**dt**	**v_ist**	***Richtung***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***
A - VTG mit SS	09:25:56	VTG_000006	20.40	21.20	0.80	81.7	1	80.8	80.1	80.5	80.6	85.9	85.6	82.0	81.2	79.0	78.7	79.8	79.6
A - VTG mit SS	10:10:28	VTG_000007	19.50	20.20	0.70	77.4	-1	79.0	78.3	78.6	79.5	76.4	75.6	76.7	76.6	80.5	79.4	82.6	83.7
A - VTG mit SS	12:11:17	VTG_000015	20.40	21.10	0.70	80.0	-1	79.6	78.9	79.3	79.7	77.1	75.9	77.1	77.0	81.2	80.2	84.3	84.7
A - VTG mit SS	10:52:11	VTG_000010	19.25	19.95	0.70	98.8	1	84.1	83.7	83.9	81.5	91.3	90.6	85.5	84.7	82.1	82.3	83.0	83.8
A - VTG mit SS	16:03:15	VTG_000036	14.04	14.74	0.70	98.8	-1	82.6	81.4	82.0	79.7	81.7	81.8	79.6	78.5	84.4	83.2	92.1	91.2
A - VTG mit SS	14:10:36	VTG_000028	21.60	22.20	0.60	96.1	-1	82.9	82.3	82.6	80.6	80.2	78.6	80.1	79.7	84.6	83.9	91.4	90.9
A - VTG mit SS	12:51:50	VTG_000021	20.80	21.50	0.70	111.6	1	87.0	86.1	86.5	82.6	93.5	93.3	88.4	87.4	84.8	84.2	85.4	85.2
A - VTG mit SS	14:52:39	VTG_000031	13.92	14.56	0.64	107.6	1	86.1	85.7	85.9	82.4	92.6	93.8	87.3	86.9	84.4	84.1	84.7	85.0
A - Ref mit SS	09:25:56	VTG_000006	18.50	19.40	0.90	81.7	1	91.7	91.5	91.6	91.8	87.3	86.8	91.3	90.9	92.1	92.1	91.1	91.7
A - Ref mit SS	10:10:28	VTG_000007	21.32	22.24	0.92	77.4	-1	90.5	90.0	90.2	91.0	89.3	90.1	91.0	90.0	89.8	89.9	86.0	85.8
A - Ref mit SS	12:11:17	VTG_000015	22.15	23.07	0.92	80.0	-1	91.1	90.5	90.8	91.2	89.7	89.7	91.4	91.0	90.8	90.0	86.5	86.3
A - Ref mit SS	10:52:11	VTG_000010	17.80	18.50	0.70	98.8	1	94.9	94.6	94.8	92.4	91.0	90.5	95.1	94.1	94.8	95.1	95.3	96.0
A - Ref mit SS	16:03:15	VTG_000036	15.50	16.20	0.70	98.8	-1	95.4	94.6	95.0	92.7	95.4	95.5	95.5	95.2	95.3	94.0	90.6	90.9
A - Ref mit SS	14:10:36	VTG_000028	23.00	23.76	0.76	96.1	-1	95.1	94.2	94.6	92.6	94.3	94.7	95.8	95.2	94.2	92.9	90.0	89.6
A - Ref mit SS	12:51:50	VTG_000021	19.52	20.18	0.66	111.6	1	96.6	96.8	96.7	92.7	92.4	92.2	96.3	96.5	96.9	97.1	96.7	96.2
A - Ref mit SS	14:52:39	VTG_000031	12.60	13.30	0.70	107.6	1	96.9	96.2	96.6	93.1	91.7	91.8	96.9	96.3	96.9	96.2	96.1	97.1

E.2 Messkonfiguration B und C Mikrofone in 7.5m Entfernung

								LpAeq	LpAeq	LpAeq	LpAeq		LpAeq
							1:Kerzers	P01	P02	P03	P04		Messung
12.09.2019							-1:Ins	0m	0m	10m	10m		**Mittel**
Type	**time**	**FileTSI**	**start**	**end**	**dt**	**v_ist**	***Richtung***	***M75***	***M75***	***M75***	***M75***		***M75***
			s	s	s	km/h		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)		**dB(A)**
B - VTG RC25 Re	10:09:43	VTG_000052	14.40	15.37	0.97	78	1	81.5	80.1	82.0	81.1		81.6
B - VTG RC25 Re	12:43:46	VTG_000073	12.22	13.17	0.95	82	-1	83.5	81.6	82.7	81.6		82.1
C - VTG RC25 Re	16:53:04	VTG_000096	12.34	13.25	0.91	79	-1	83.4	81.5	82.7	82.0		82.6
C - VTG RC25 Re	18:07:45	VTG_000111	14.50	15.40	0.90	80	1	81.8	80.8	82.0	81.2		81.4
B - VTG ohne LS	10:09:43	VTG_000052	12.54	13.51	0.98	78	1	76.0	75.2	76.3	75.3		76.1
B - VTG ohne LS	12:43:46	VTG_000073	14.10	15.05	0.95	82	-1	77.5	76.8	77.9	76.9		77.0
C - VTG mit LS	16:53:04	VTG_000096	14.03	15.00	0.97	79	-1	76.9	77.7	76.5	77.3		77.3
C - VTG mit LS	18:07:45	VTG_000111	12.65	13.60	0.95	80	1	75.9	76.4	76.0	76.5		76.1
B Ref-ohne LS		VTG_000052						5.5	4.9	5.7	5.8		5.5
B Ref-ohne LS		VTG_000073						6.0	4.8	4.8	4.7		5.1
C Ref-mit LS		VTG_000096						6.5	3.8	6.2	4.7		5.3
C Ref-mit LS		VTG_000111						5.9	4.4	6.0	4.7		5.3
B - VTG RC25 Re	10:53:14	VTG_000056	11.93	12.55	0.62	107	-1	88.1	86.7	87.8	86.1		87.2
B - VTG RC25 Re	12:09:43	VTG_000068	13.32	13.94	0.62	110	1	86.7	85.4	86.8	85.7		86.1
C - VTG RC25 Re	14:09:49	VTG_000079	13.47	14.09	0.62	112	1	87.2	86.0	87.1	85.6		86.5
C - VTG RC25 Re	14:53:32	VTG_000085	12.30	12.92	0.62	112	-1	88.5	86.7	88.7	86.5		87.6
B - VTG ohne SS	10:53:14	VTG_000056	13.33	13.95	0.62	107	-1	82.0	81.5	82.5	81.8		82.0
B - VTG ohne SS	12:09:43	VTG_000068	12.08	12.70	0.62	110	1	82.5	81.0	82.3	81.2		81.8
C - VTG mit SS	14:09:49	VTG_000079	12.26	12.88	0.62	112	1	81.9	81.7	81.3	81.7		81.6
C - VTG mit SS	14:53:32	VTG_000085	13.60	14.22	0.62	112	-1	82.3	82.8	82.5	82.6		82.6
B Ref-ohne LS		VTG_000056						6.0	5.2	5.4	4.3		5.2
B Ref-ohne LS		VTG_000068						4.2	4.4	4.4	4.5		4.4
C Ref-mit LS		VTG_000079						5.3	4.3	5.8	3.9		4.8
C Ref-mit LS		VTG_000085						6.2	3.8	6.1	3.8		5.0

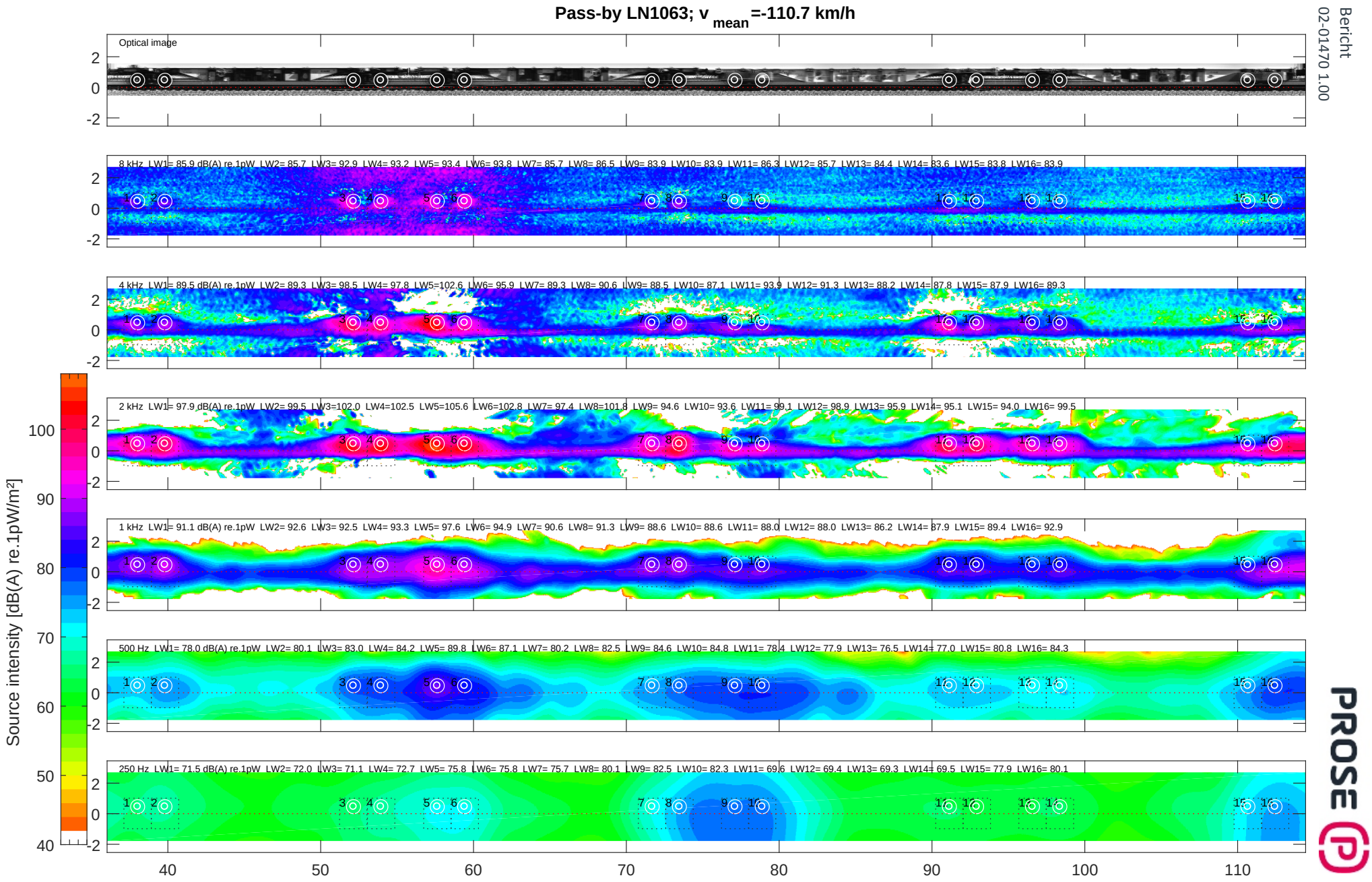
E.3 Messkonfiguration B und C Mikrofone in 3.0m Entfernung

								LpAeq	LpAeq	DG1		DG2		DG3		DG4			LpAeq	LpAeq
							1:Kerzers	P05	P06	P05_1	P06_1	P05_2	P06_2	P06_3	P06_3	P06_4	P06_4		Messung	TSI apl
12.09.2019							-1:Ins	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m	10m		Mittel	Mittel
Type	**time**	**FileTSI**	**start**	**end**	**dt**	**v_ist**	***Richtung***	***M30***	***M30***	***M30***	***M30***	***M30***	***M30***	***M30***	***M30***	***M30***	***M30***		***M30***	***M30***
			s	s	s	km/h		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)		**dB(A)**	**dB(A)**
B - VTG RC25 Re	10:09:43	VTG_000052	14.40	15.37	0.97	78	1	87.6	86.9	82.6	82.5	88.4	87.7	86.6	86.0	82.5	82.2		87.2	88.1
B - VTG RC25 Re	12:43:46	VTG_000073	12.22	13.17	0.95	82	-1	88.1	87.5	84.9	84.1	85.9	85.7	89.5	88.7	84.5	83.8		87.8	87.9
C - VTG RC25 Re	16:53:04	VTG_000096	12.34	13.25	0.91	79	-1	88.5	87.5	84.2	82.8	88.3	88.0	88.6	86.9	84.1	83.2		88.0	88.6
C - VTG RC25 Re	18:07:45	VTG_000111	14.50	15.40	0.90	80	1	88.0	87.3	82.4	81.5	88.8	87.7	86.9	86.8	83.2	82.7		87.6	88.0
B - VTG ohne LS	10:09:43	VTG_000052	12.54	13.51	0.98	78	1	81.7	80.6	81.1	80.8	81.2	80.8	82.2	80.5	83.1	83.2		81.2	82.0
B - VTG ohne LS	12:43:46	VTG_000073	14.10	15.05	0.95	82	-1	82.9	82.1	83.0	82.8	84.2	82.9	81.1	81.0	84.4	85.3		82.5	82.7
C - VTG mit LS	16:53:04	VTG_000096	14.03	15.00	0.97	79	-1	82.0	82.5	82.6	81.7	81.1	82.1	82.7	82.8	85.6	85.7		82.2	82.8
C - VTG mit LS	18:07:45	VTG_000111	12.65	13.60	0.95	80	1	81.9	81.9	83.9	83.5	82.6	82.6	80.9	81.0	81.7	80.6		81.9	82.3
B Ref-ohne LS		VTG_000052						5.9	6.3	1.5	1.7	7.1	6.9	4.5	5.5	-0.6	-1.0		6.1	3.9
B Ref-ohne LS		VTG_000073						5.1	5.4	1.9	1.2	1.7	2.8	8.5	7.7	0.1	-1.4		5.3	3.6
C Ref-mit LS		VTG_000096						6.5	5.0	1.5	1.1	7.2	5.9	6.0	4.0	-1.4	-2.5		5.8	3.3
C Ref-mit LS		VTG_000111						6.1	5.4	-1.6	-2.0	6.1	5.1	6.0	5.8	1.5	2.2		5.7	1.9
B - VTG RC25 Re	10:53:14	VTG_000056	11.93	12.55	0.62	107	-1	93.3	92.1	88.6	87.5	93.1	92.1	93.5	92.1	89.7	88.1		92.7	89.2
B - VTG RC25 Re	12:09:43	VTG_000068	13.32	13.94	0.62	110	1	92.4	91.2	88.5	87.0	92.3	90.8	92.5	91.9	86.9	86.2		91.8	88.0
C - VTG RC25 Re	14:09:49	VTG_000079	13.47	14.09	0.62	112	1	93.0	92.1	88.2	86.9	92.4	91.6	93.4	92.5	88.0	87.3		92.5	88.5
C - VTG RC25 Re	14:53:32	VTG_000085	12.30	12.92	0.62	112	-1	93.7	92.4	93.2	91.5	94.0	92.7	93.5	92.1	92.2	90.2		93.1	89.1
B - VTG ohne SS	10:53:14	VTG_000056	13.33	13.95	0.62	107	-1	87.1	86.3	86.2	84.7	88.6	88.1	85.0	83.6	91.4	92.8		86.7	83.3
B - VTG ohne SS	12:09:43	VTG_000068	12.08	12.70	0.62	110	1	88.4	86.5	85.5	84.4	89.3	87.2	87.3	85.7	88.7	88.6		87.4	83.7
C - VTG mit SS	14:09:49	VTG_000079	12.26	12.88	0.62	112	1	87.0	87.8	87.8	86.5	88.3	89.4	85.2	85.0	87.3	85.8		87.4	83.4
C - VTG mit SS	14:53:32	VTG_000085	13.60	14.22	0.62	112	-1	87.3	88.0	86.5	84.7	87.8	89.0	86.7	86.7	91.7	92.2		87.7	83.7
B Ref-ohne LS		VTG_000056						6.2	5.7	2.4	2.8	4.5	4.0	8.5	8.5	-1.7	-4.7		6.0	4.0
B Ref-ohne LS		VTG_000068						4.0	4.7	3.0	2.6	3.0	3.7	5.3	6.2	-1.8	-2.4		4.4	3.8
C Ref-mit LS		VTG_000079						5.9	4.3	0.3	0.4	4.2	2.1	8.2	7.5	0.7	1.5		5.1	2.3
C Ref-mit LS		VTG_000085						6.4	4.4	6.6	6.7	6.2	3.7	6.7	5.4	0.5	-2.1		5.4	5.5

E.4 Plattform Bogen Kerzers

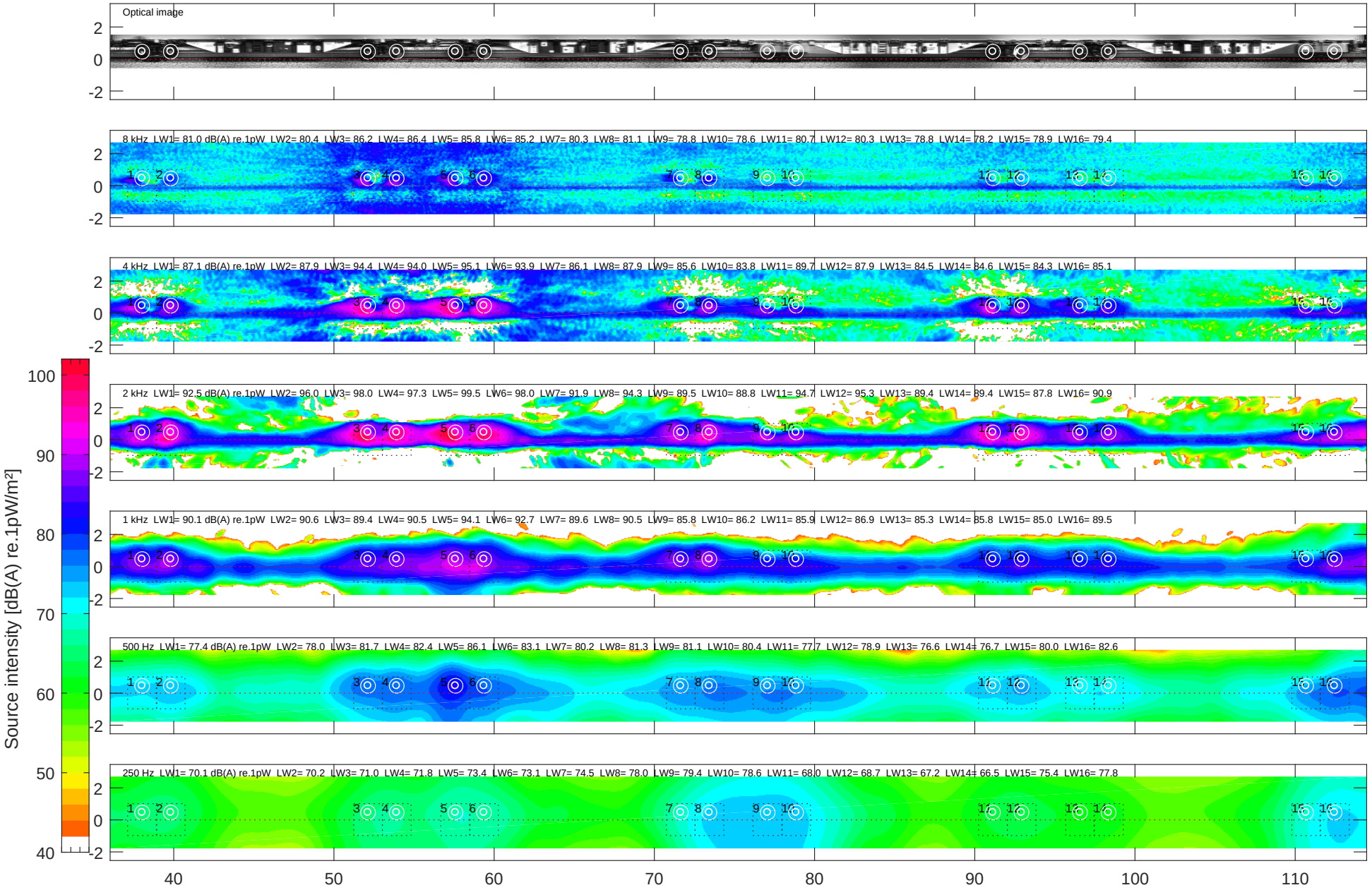
											1 = Kerze	Laeq	Lafmax	.aeq,v40
											-1 = ins	0.0	0.0	10.0
Type	**Date**	**time**	**FileTSI**	**start**	**end**	**dt**	**v_ist**	**K01**	**K02**	***ichtun***	***M75***	***M75***	***M75***
				s	s	s	km/h	Bog	Plat		dB(A)	dB(A)	dB(A)
A Y25 Ref	10.09.2019	10:12:53	en\Bogen000008	31.34	33.12	1.8	39.3	1.088		-1	79.5	83.4	79.7
A Y25 Ref	10.09.2019	10:50:23	en\Bogen000010	28.71	30.39	1.7	40.9	1.088		1	77.8	82.2	77.5
A Y25 Ref	10.09.2019	12:13:36	en\Bogen000012	27.25	29.12	1.9	37.3	1.088		-1	82.2	83.3	83.1
A Y25 Ref	10.09.2019	12:50:10	en\Bogen000014	26.94	28.77	1.8	39.0	1.088		1	76.8	81.0	77.1
A Y25 Ref	10.09.2019	14:12:57	en\Bogen000016	32.28	34.61	2.3	29.0	1.088		1	75.2	77.8	79.4
A Y25 Ref	10.09.2019	14:50:51	en\Bogen000018	26.26	27.72	1.5	42.6	1.088		1	82.5	83.7	81.7
B RC25NT Ref	12.09.2019	10:11:39	en\Bogen000038	34.29	36.24	2.0	36.0	1.089		1	76.5	78.0	77.9
B RC25NT Ref	12.09.2019	10:51:24	en\Bogen000040	29.62	31.28	1.7	43.3	1.089		-1	77.8	79.6	76.8
B RC25NT Ref	12.09.2019	12:11:39	en\Bogen000042	33.67	35.63	2.0	35.0	1.089		1	75.1	76	77
B RC25NT Ref	12.09.2019	12:41:44	en\Bogen000045	25.3	26.89	1.6	43.3	1.089		-1	78.3	80	77
C RC25NT Ref	12.09.2019	14:11:42	en\Bogen000047	32.45	34.14	1.7	41.6	1.089		-1	76.6	78	76
C RC25NT Ref	12.09.2019	14:39:23	en\Bogen000049	26.18	29.12	2.9	29.9	1.089		1	74.8	78.0	78.6
C RC25NT Ref	12.09.2019	16:50:52	en\Bogen000061	27.69	29.48	1.8	41.6	1.089		-1	77.3	79.3	76.8
C RC25NT Ref	12.09.2019	18:11:29	en\Bogen000066	37.74	39.63	1.9	37.6	1.089		1	72.8	75.7	73.6
A RC25NT TW +LS	10.09.2019	10:12:53	en\Bogen000008	25.8	27.58	1.8	39.3	1.088		-1	73.9	76.4	74.1
A RC25NT TW +LS	10.09.2019	10:50:23	en\Bogen000010	30.32	32.00	1.7	40.9	1.088		1	74.4	75.9	74.1
A RC25NT TW +LS	10.09.2019	12:13:36	en\Bogen000012	23.45	25.32	1.9	37.3	1.088		-1	72.9	74.0	73.8
A RC25NT TW +LS	10.09.2019	12:50:10	en\Bogen000014	28.72	30.55	1.8	39.0	1.088		1	73.7	75.5	74.0
A RC25NT TW +LS	10.09.2019	14:12:57	en\Bogen000016	24.77	27.10	2.3	29.0	1.088		1	69.4	71.4	73.6
A RC25NT TW +LS	10.09.2019	14:50:51	en\Bogen000018	29.45	30.91	1.5	42.6	1.088		1	75.4	76.9	74.5
B RC25NT TW	12.09.2019	10:11:39	en\Bogen000038	30.26	32.21	2.0	36.0	1.089		1	75.4	78.7	76.7
B RC25NT TW	12.09.2019	10:51:24	en\Bogen000040	32.94	34.60	1.7	43.3	1.089		-1	75.3	76.1	74.3
B RC25NT TW	12.09.2019	12:11:39	en\Bogen000042	29.81	31.77	2.0	35.0	1.089		1	73.6	75	75
B RC25NT TW	12.09.2019	12:41:44	en\Bogen000045	28.6	30.19	1.6	43.3	1.089		-1	75.3	76	74
C RC25NT TW +LS	12.09.2019	14:11:42	en\Bogen000047	28.91	30.60	1.7	41.6	1.089		-1	73.6	74	73
C RC25NT TW +LS	12.09.2019	14:39:23	en\Bogen000049	30.38	33.32	2.9	29.9	1.089		1	72.6	74.0	76.3
C RC25NT TW +LS	12.09.2019	16:50:52	en\Bogen000061	31.12	32.91	1.8	41.6	1.089		-1	73.6	74.8	73.1
C RC25NT TW +LS	12.09.2019	18:11:29	en\Bogen000066	32.1	33.99	1.9	37.6	1.089		1	72.4	73.5	73.2
A Y25 Ref	10.09.2019						37.1			Mittel	79.1	82.5	79.4
A RC25NT TW +LS	10.09.2019						37.1			Mittel	73.7	75.5	74.0
										delta	**5.4**	**7.0**	**5.4**
B RC25NT Ref	12.09.2019						36.8			Mittel	76.9	78.4	77.2
B RC25NT TW	12.09.2019						36.8			Mittel	74.9	76.6	75.1
										delta	**2.0**	**1.8**	**2.0**
C RC25NT Ref	12.09.2019						37.2			Mittel	75.4	77.7	76.3
C RC25NT TW +LS	12.09.2019						37.2			Mittel	73.0	74.2	73.9
										delta	**2.3**	**3.5**	**2.3**

E.5 Array Ergebnisse Konfiguration B

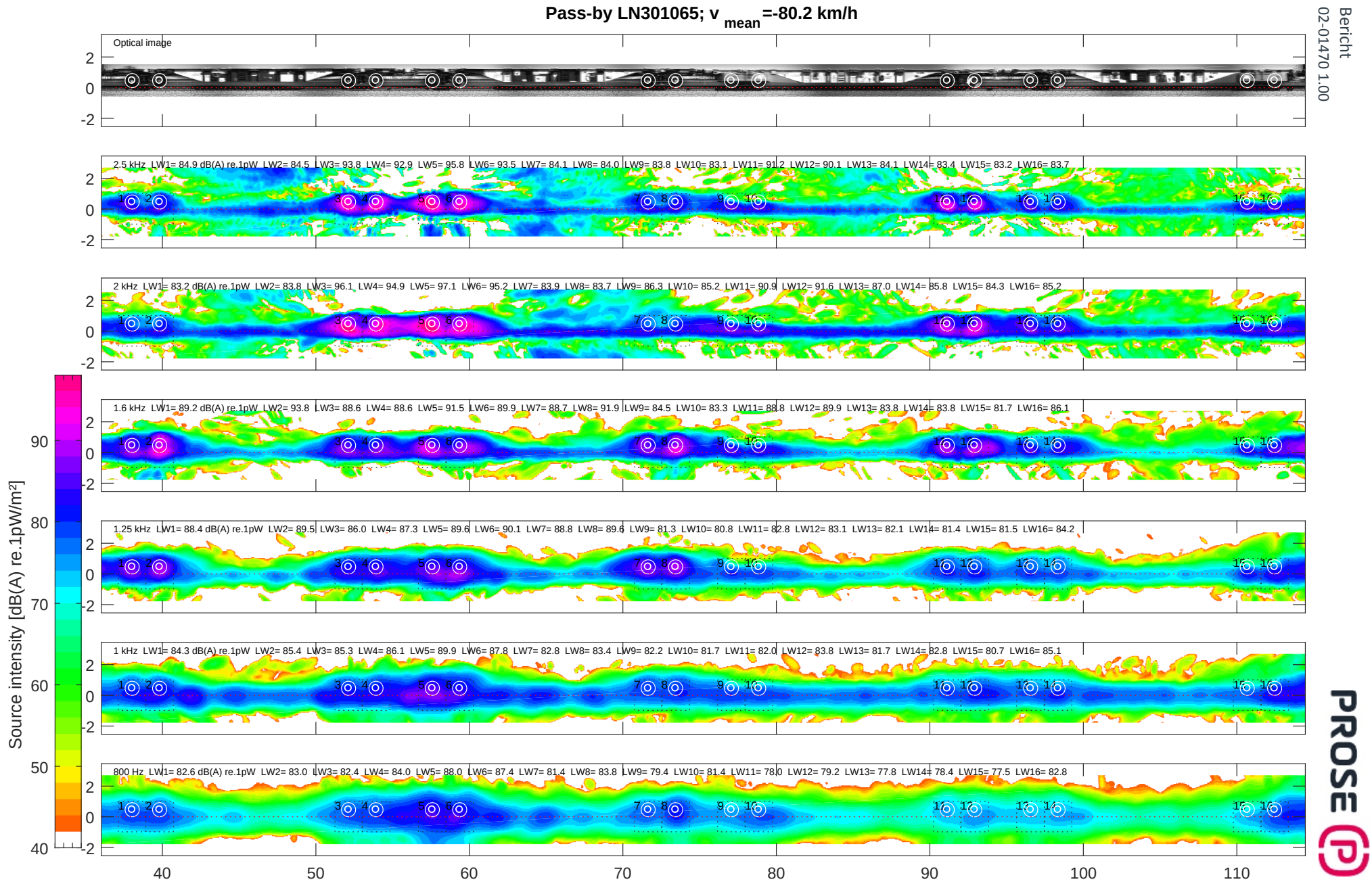


ghr03257.fig 04-Nov-2019 09:27:01

Pass-by LN1065; v_{mean}=-80.2 km/h

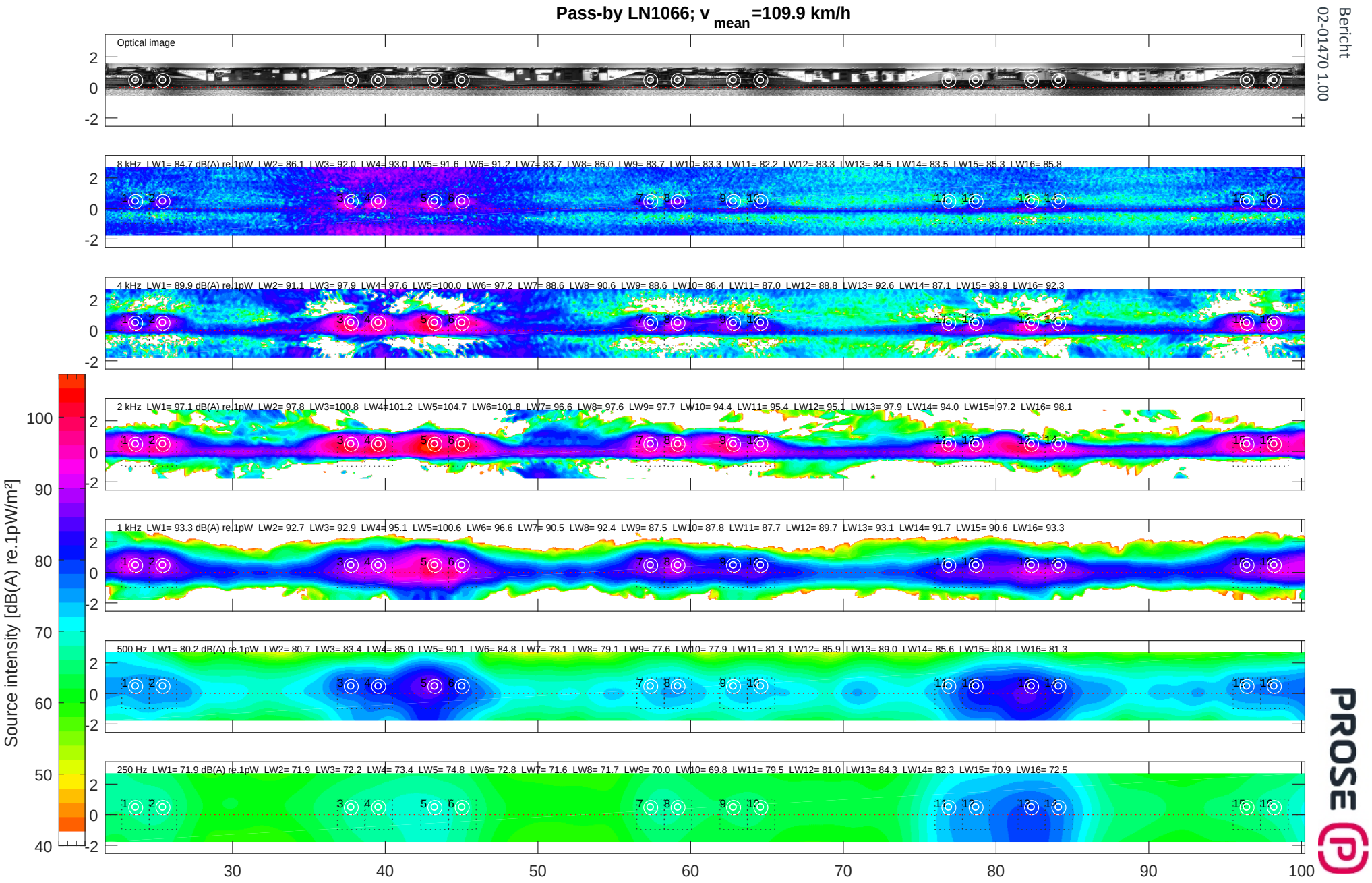


ghr03251.fig 01-Nov-2019 16:04:35



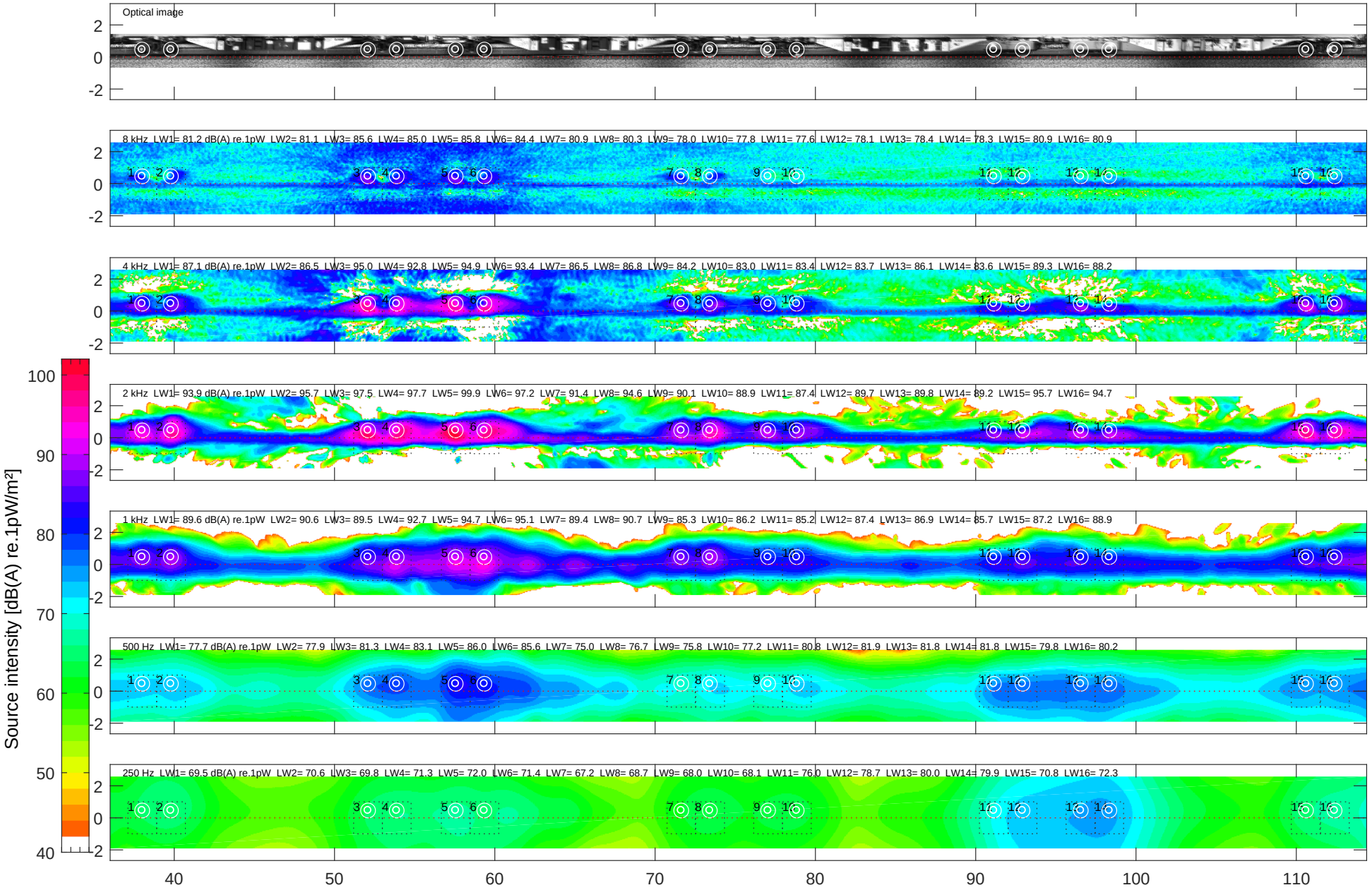
ghr03263.fig 05-Nov-2019 09:03:39

E.6 Array Ergebnisse Konfiguration C



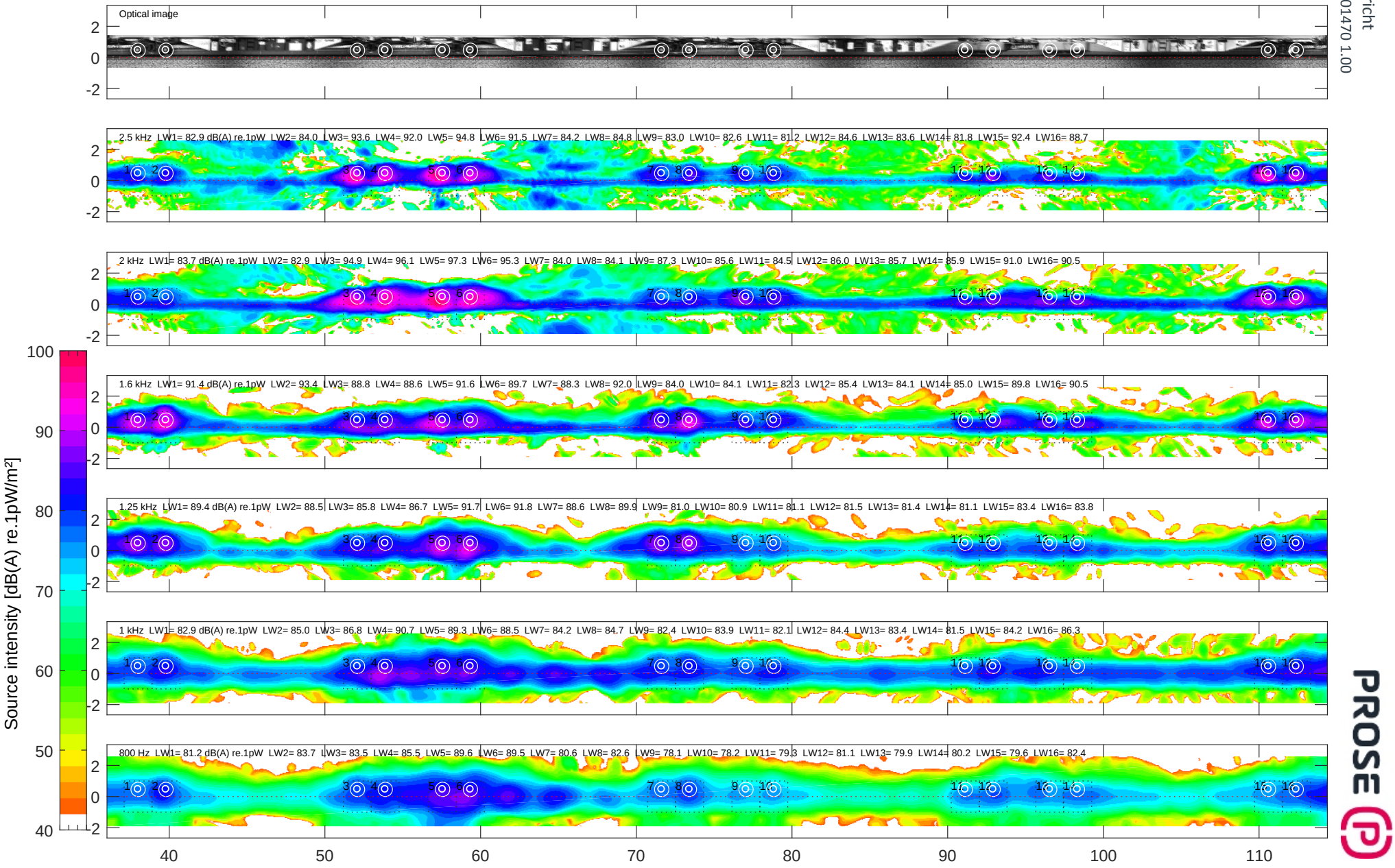
ghr03248.fig 01-Nov-2019 15:54:25

Pass-by LN1074; v_{mean}=-80.2 km/h



ghr03262.fig 04-Nov-2019 19:53:20

Pass-by LN301074; v_{mean}=-80.2 km/h



ghr03260.fig 04-Nov-2019 19:28:42

F Ergebnisse - Graphiken

F.1 Messkonfiguration B

F.1.1 Ergebnisse für das Wagenpaar mit Lärmschürzen

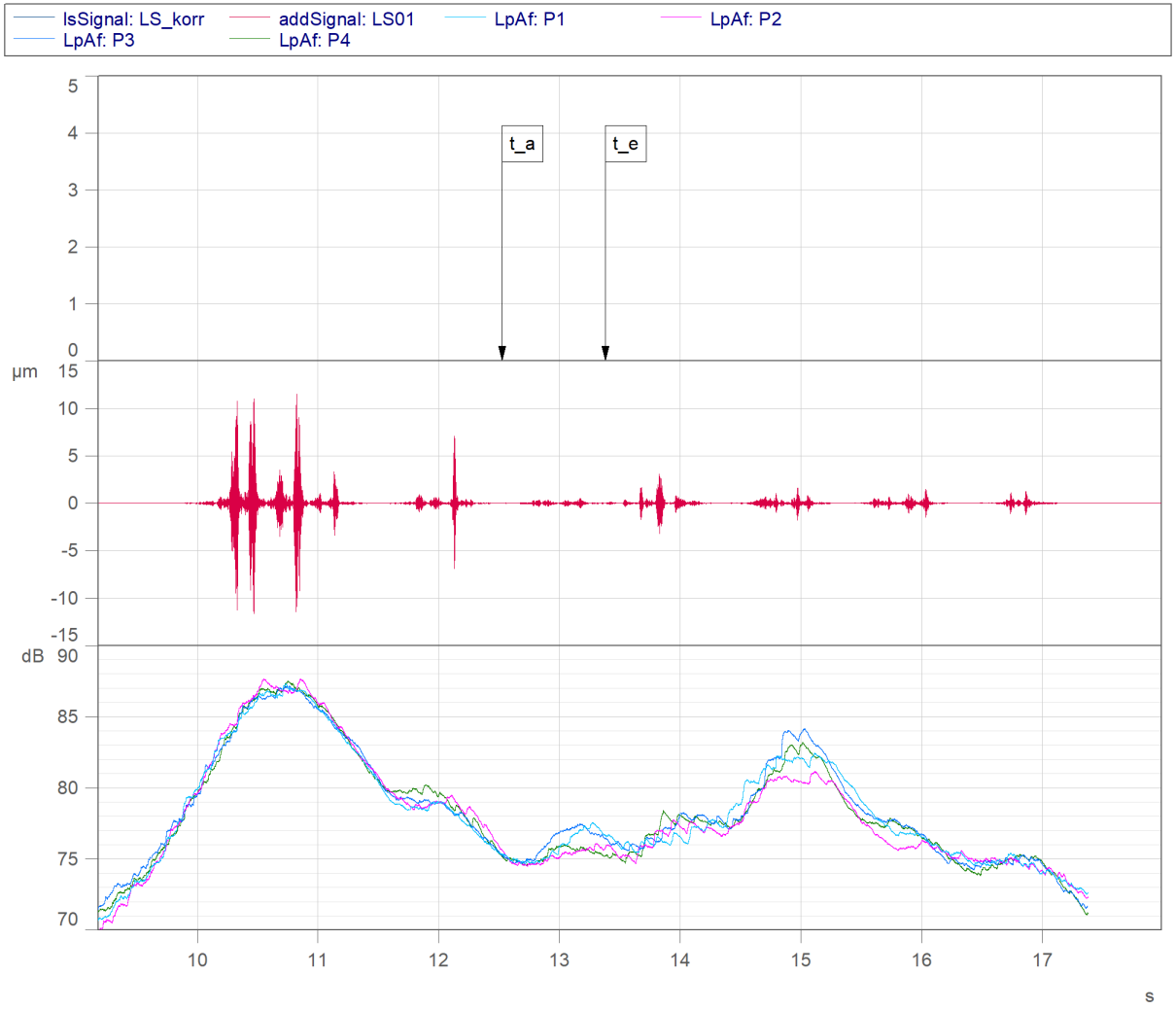
Zeitschriebe der Laufnummer B002

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 10:09:43
V_soll / ist [km/h]	115.0 / 115.0
t_start [s]	12.524
t_end [s]	13.3804
t_delta [s]	0.856409

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	76,1	77,6
P2	75,2	76,1
P3	76,4	77,5
P4	75,3	76,0



TWY / 18.09.19

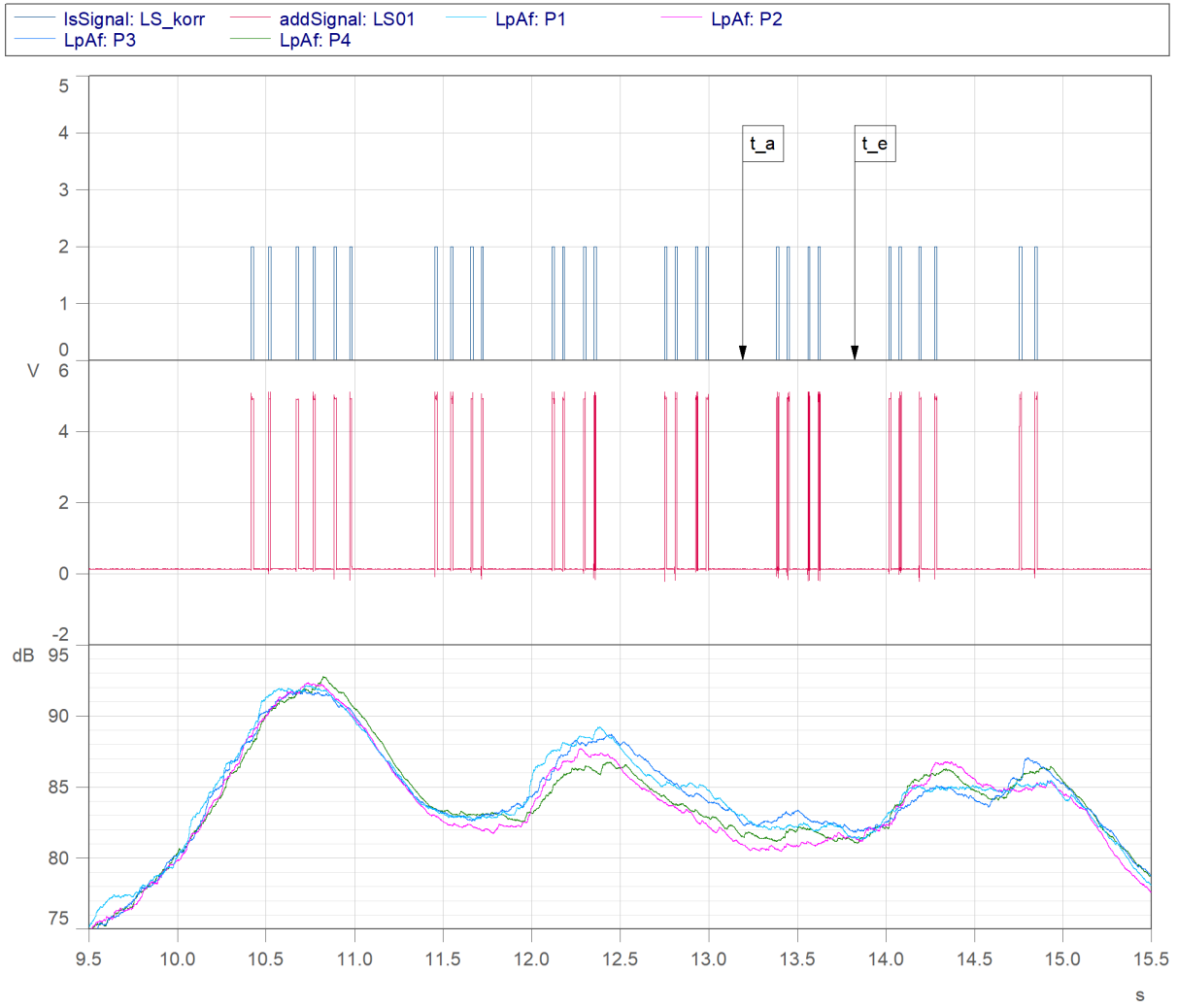
Zeitschriebe der Laufnummer B003

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 10:53:14
V_soll / ist [km/h]	110.0 / 111.9
t_start [s]	13.1905
t_end [s]	13.8238
t_delta [s]	0.63333

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	81,9	83,1
P2	81,1	81,8
P3	82,5	83,4
P4	81,5	82,2



TWY / 18.09.19

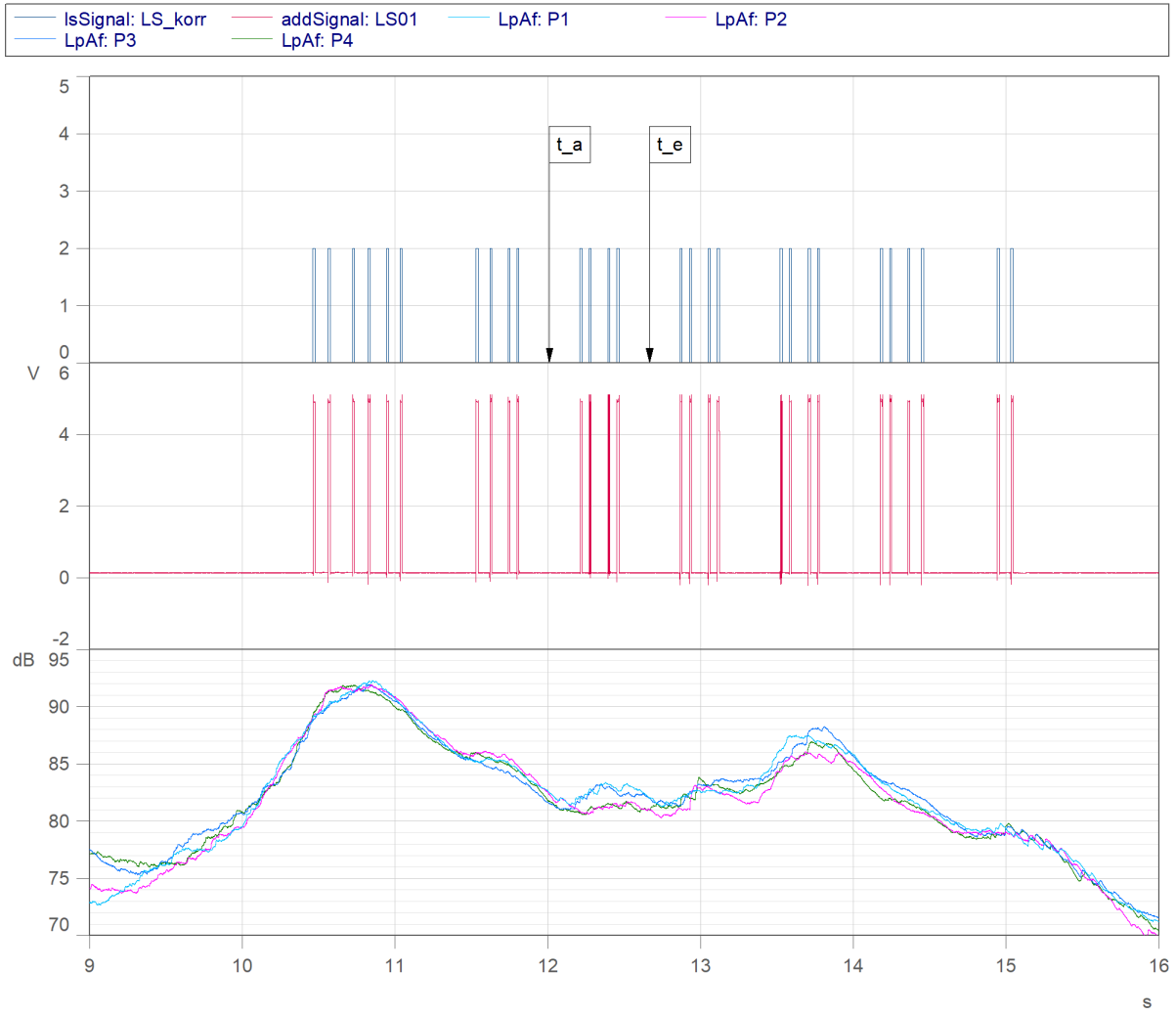
Zeitschriebe der Laufnummer B010

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 12:09:43
V_soll / ist [km/h]	110.0 / 108.1
t_start [s]	12.0108
t_end [s]	12.6664
t_delta [s]	0.655663

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	82,4	83,4
P2	81,0	82,4
P3	82,3	83,2
P4	81,0	81,8



TWY / 18.09.19

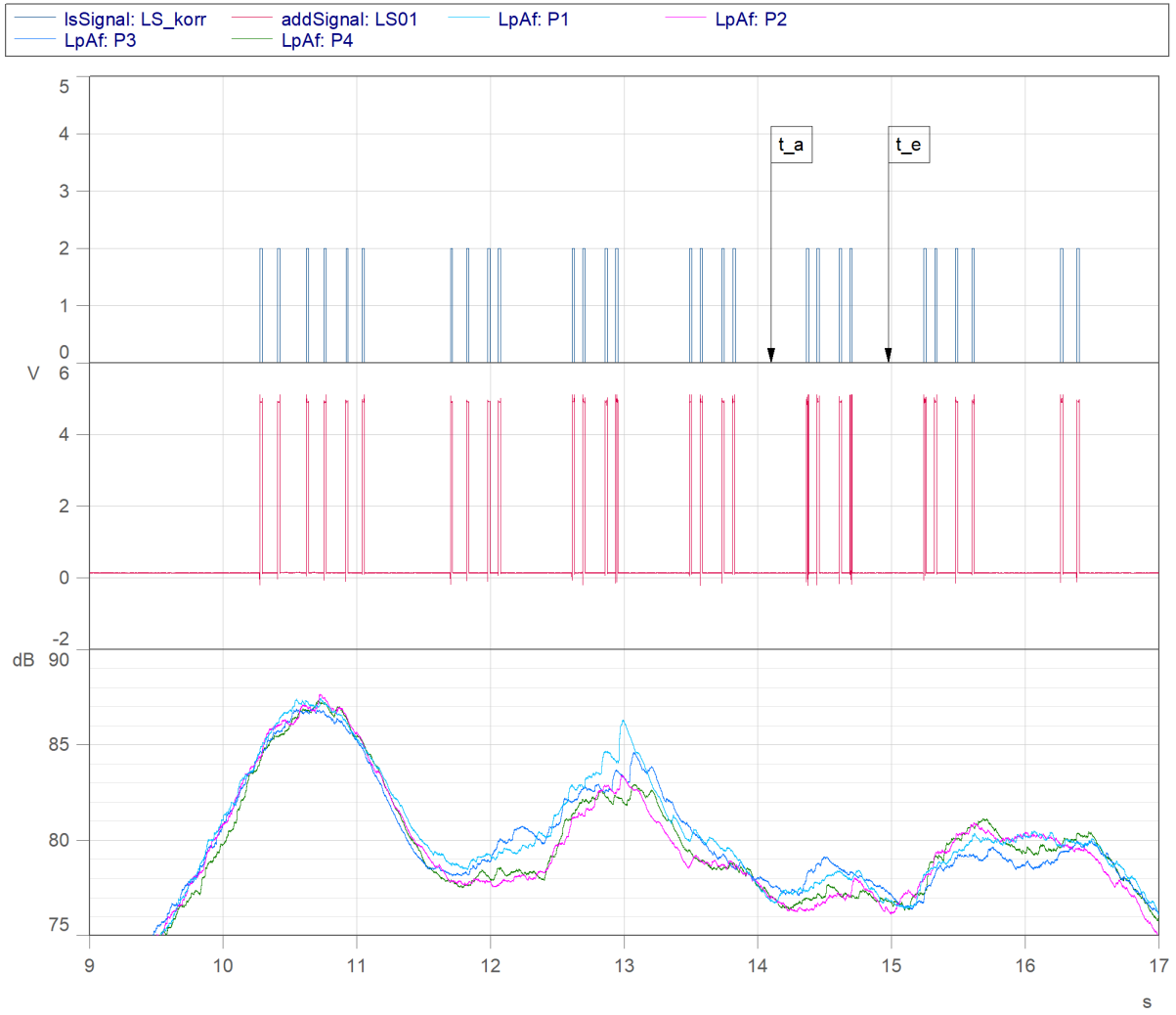
Zeitschriebe der Laufnummer B011

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 12:43:46
V_soll / ist [km/h]	80.0 / 80.7
t_start [s]	14.0977
t_end [s]	14.975
t_delta [s]	0.877304

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	77,6	78,4
P2	76,8	78,0
P3	78,0	79,1
P4	77,0	77,7



TWY / 18.09.19

F.1.2 Ergebnisse für das Referenzwagenpaar

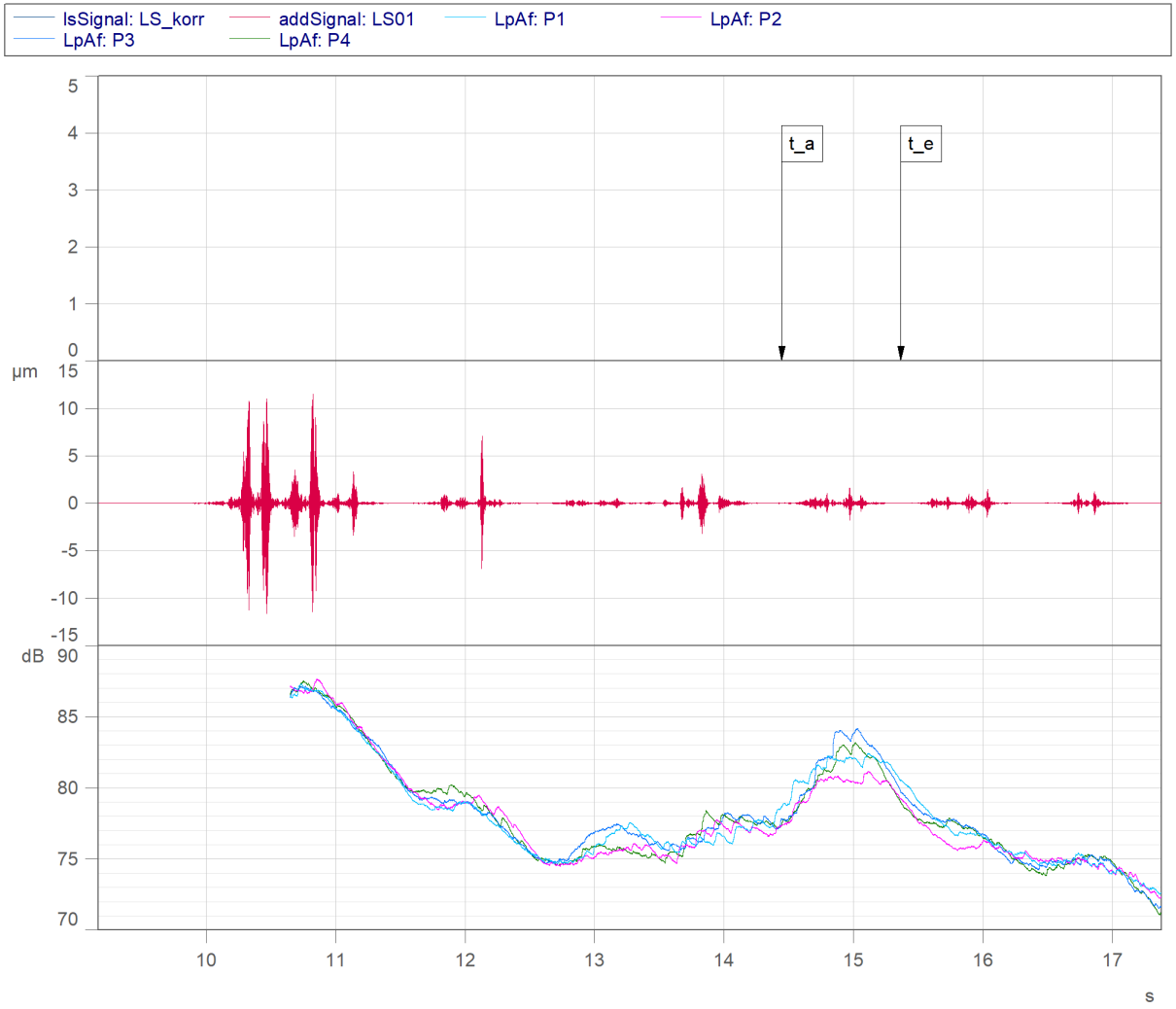
Zeitschriebe der Laufnummer B002

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 10:09:43
V_soll / ist [km/h]	115.0 / 115.0
t_start [s]	14.4461
t_end [s]	15.3674
t_delta [s]	0.921295

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	81,6	82,4
P2	80,2	81,2
P3	82,1	84,2
P4	81,2	83,2



TWY / 18.09.19

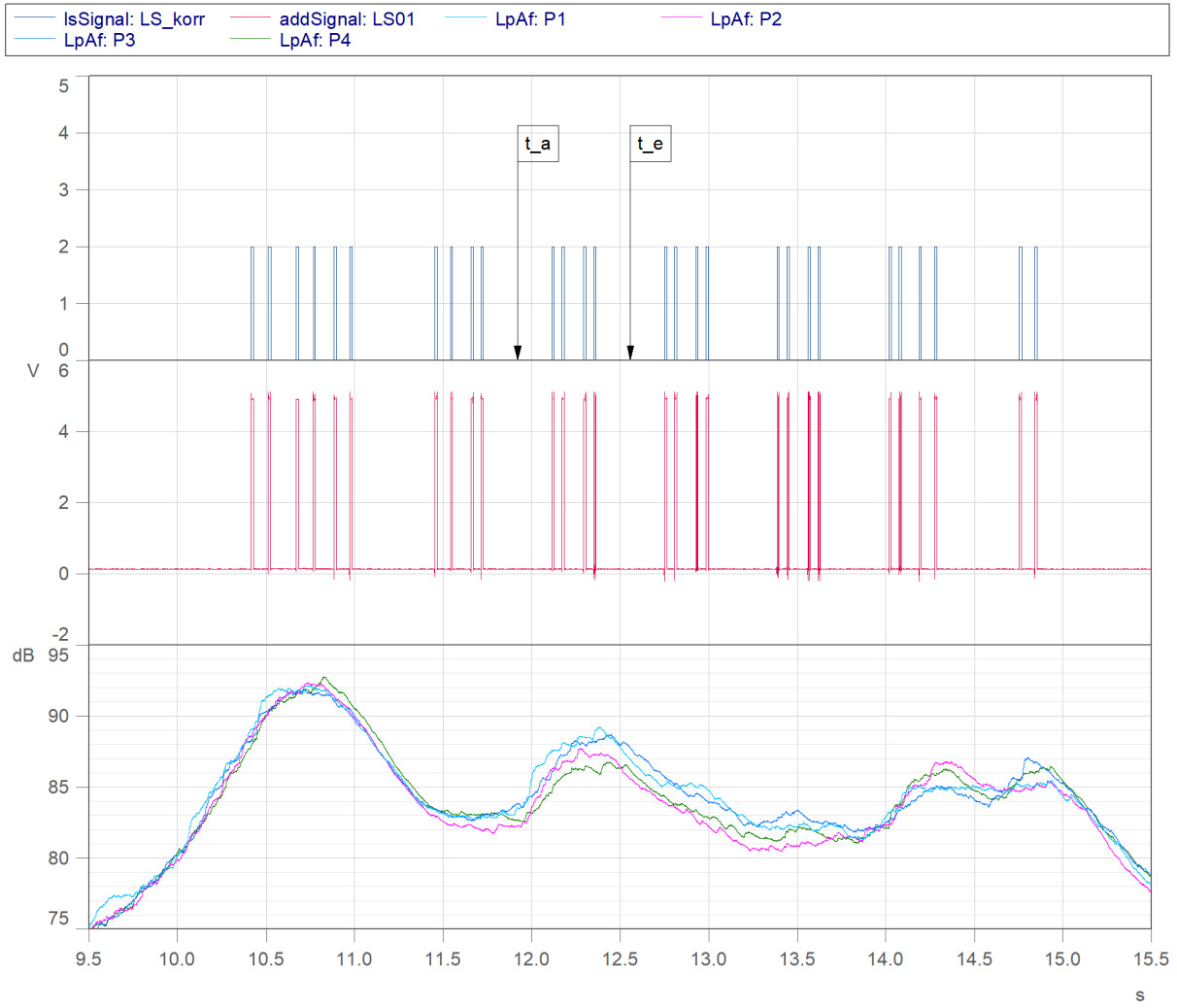
Zeitschriebe der Laufnummer B003

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 10:53:14
V_soll / ist [km/h]	110.0 / 111.6
t_start [s]	11.9204
t_end [s]	12.5565
t_delta [s]	0.636074

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	88,0	89,2
P2	86,6	87,7
P3	87,8	88,7
P4	86,1	86,7



TWY / 18.09.19

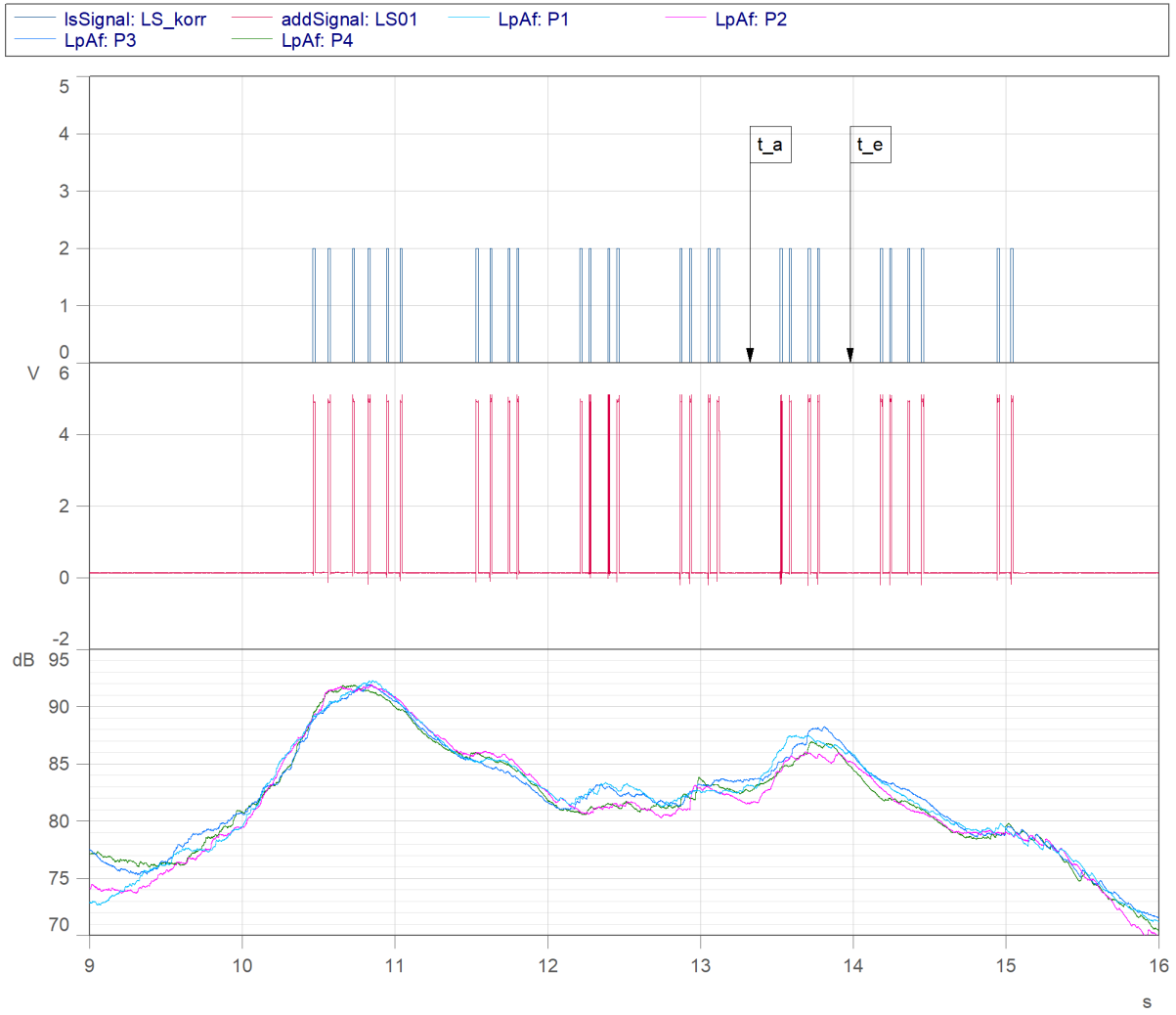
Zeitschriebe der Laufnummer B010

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 12:09:43
V_soll / ist [km/h]	110.0 / 108.1
t_start [s]	13.3217
t_end [s]	13.9782
t_delta [s]	0.656455

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	86,6	87,5
P2	85,3	86,1
P3	86,7	88,3
P4	85,6	87,0



TWY / 18.09.19

PROSE

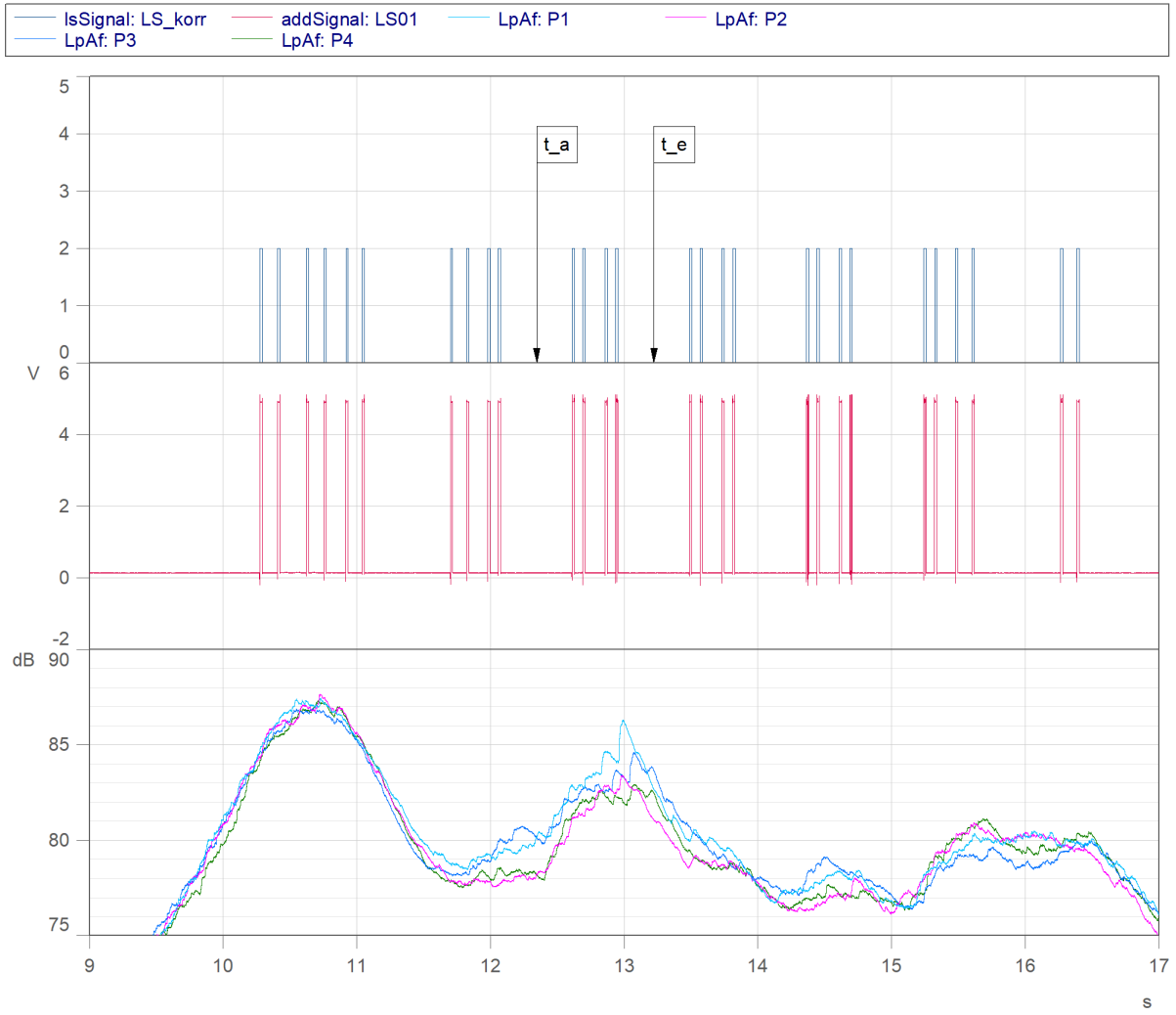
Zeitschriebe der Laufnummer B011

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 12:43:46
V_soll / ist [km/h]	80.0 / 80.8
t_start [s]	12.3436
t_end [s]	13.2212
t_delta [s]	0.87756

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	83,7	86,3
P2	81,8	83,4
P3	83,0	84,6
P4	82,0	82,9



TWY / 18.09.19

F.2 Messkonfiguration C

F.2.1 Ergebnisse für das Wagenpaar mit Lärmschürzen

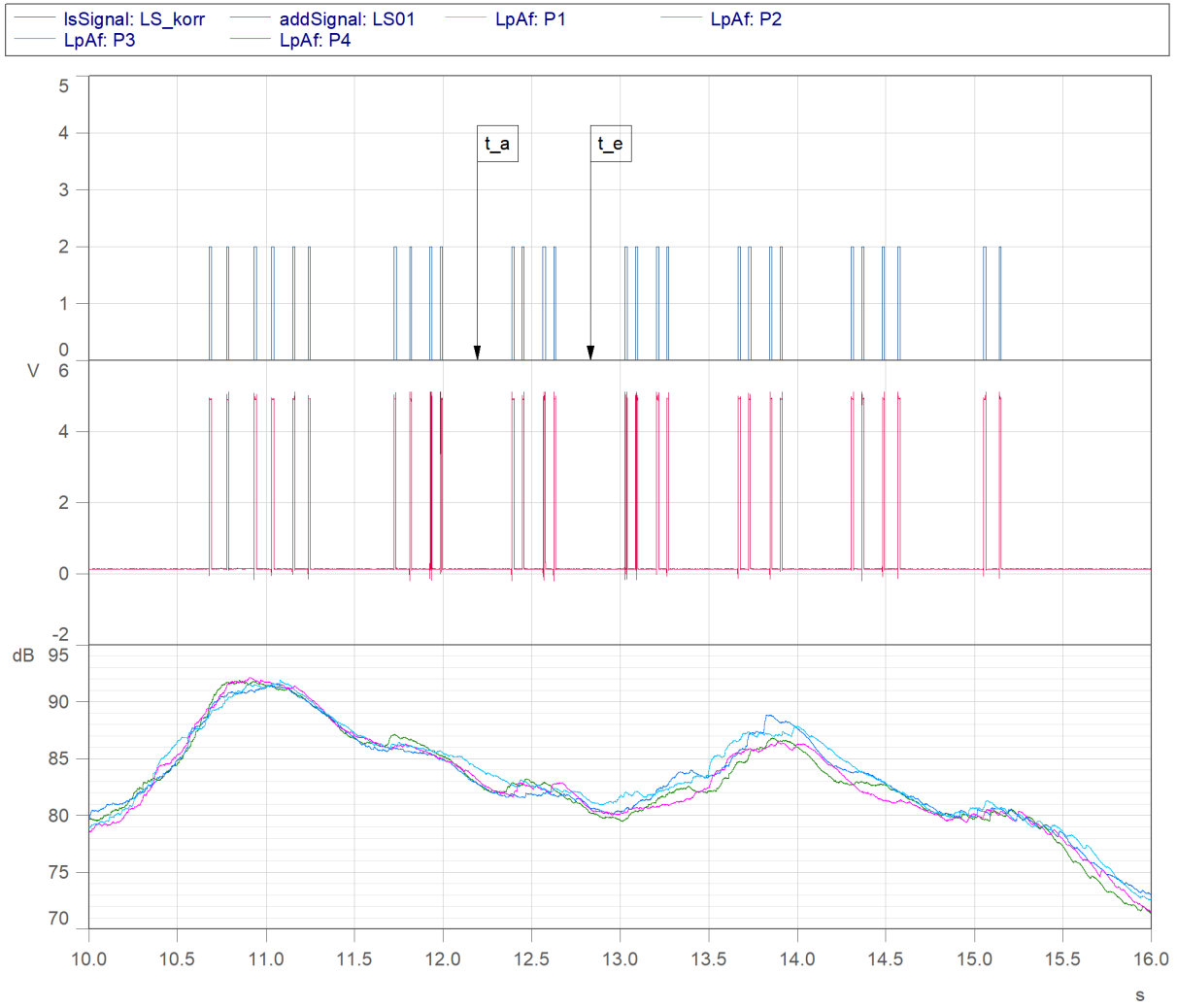
Zeitschriebe der Laufnummer C012

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 14:09:49
V_soll / ist [km/h]	110.0 / 110.7
t_start [s]	12.1911
t_end [s]	12.8308
t_delta [s]	0.639727

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	82,1	84,2
P2	81,8	83,2
P3	81,4	82,8
P4	81,8	83,2



TWY / 18.09.19

PROSE

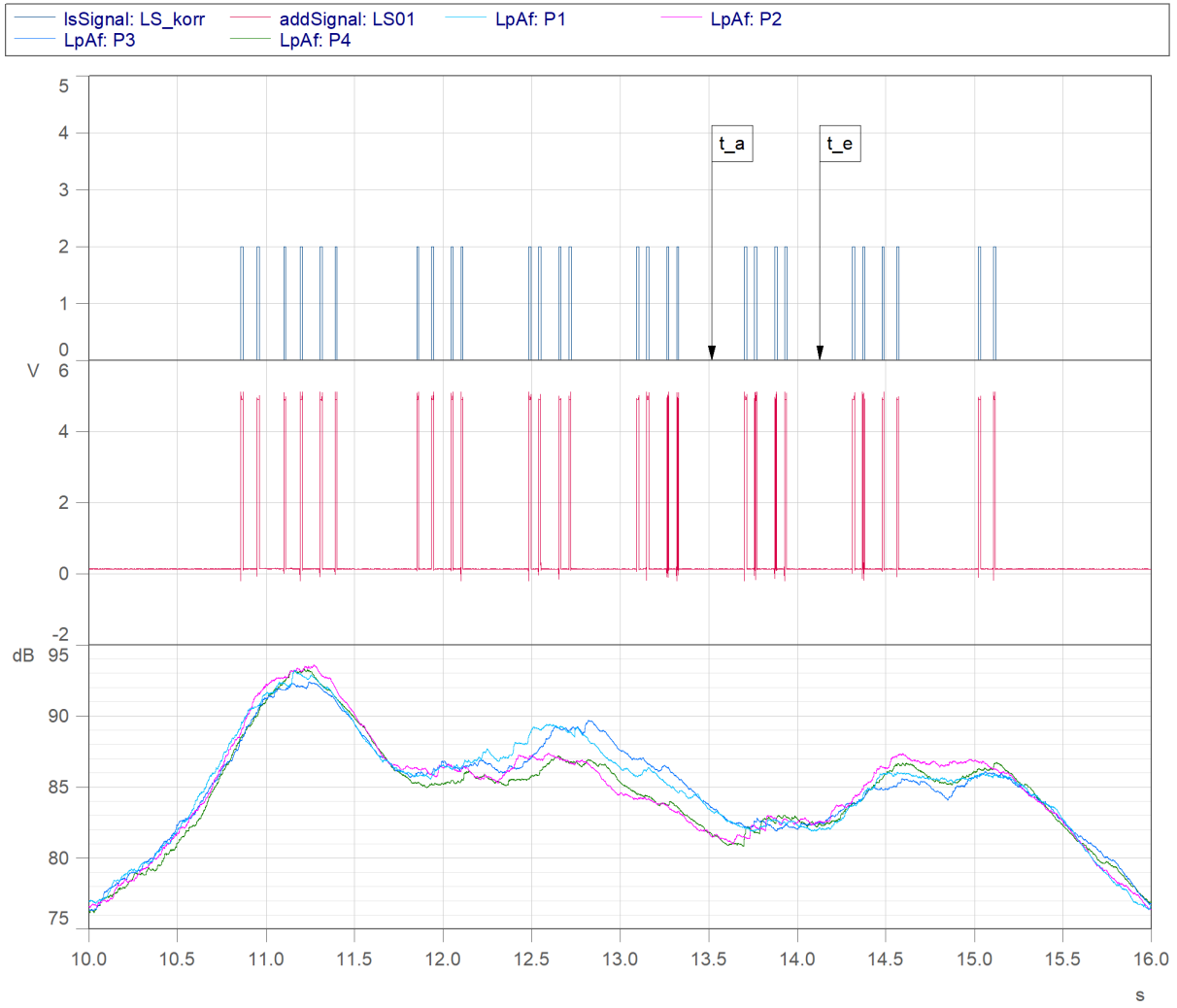
Zeitschriebe der Laufnummer C013

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 14:53:32
V_soll / ist [km/h]	115.0 / 116.1
t_start [s]	13.5166
t_end [s]	14.1262
t_delta [s]	0.609619

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	82,1	83,3
P2	82,4	83,0
P3	82,2	83,6
P4	82,3	83,0



TWY / 18.09.19

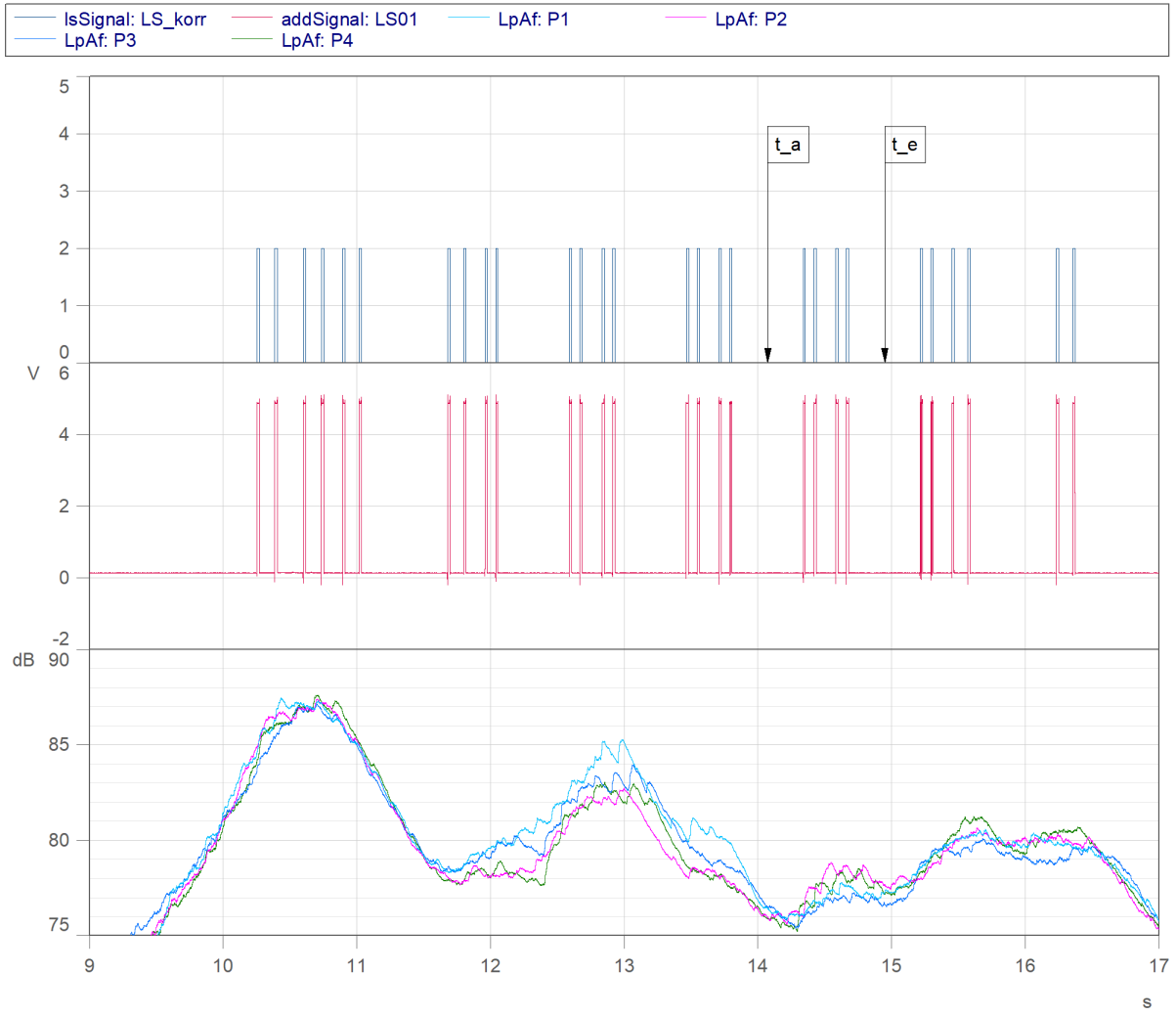
Zeitschriebe der Laufnummer C014

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 16:53:04
V_soll / ist [km/h]	80.0 / 80.9
t_start [s]	14.0734
t_end [s]	14.9486
t_delta [s]	0.875156

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	76,9	77,8
P2	77,7	78,8
P3	76,6	77,2
P4	77,3	78,5



TWY / 18.09.19

PROSE

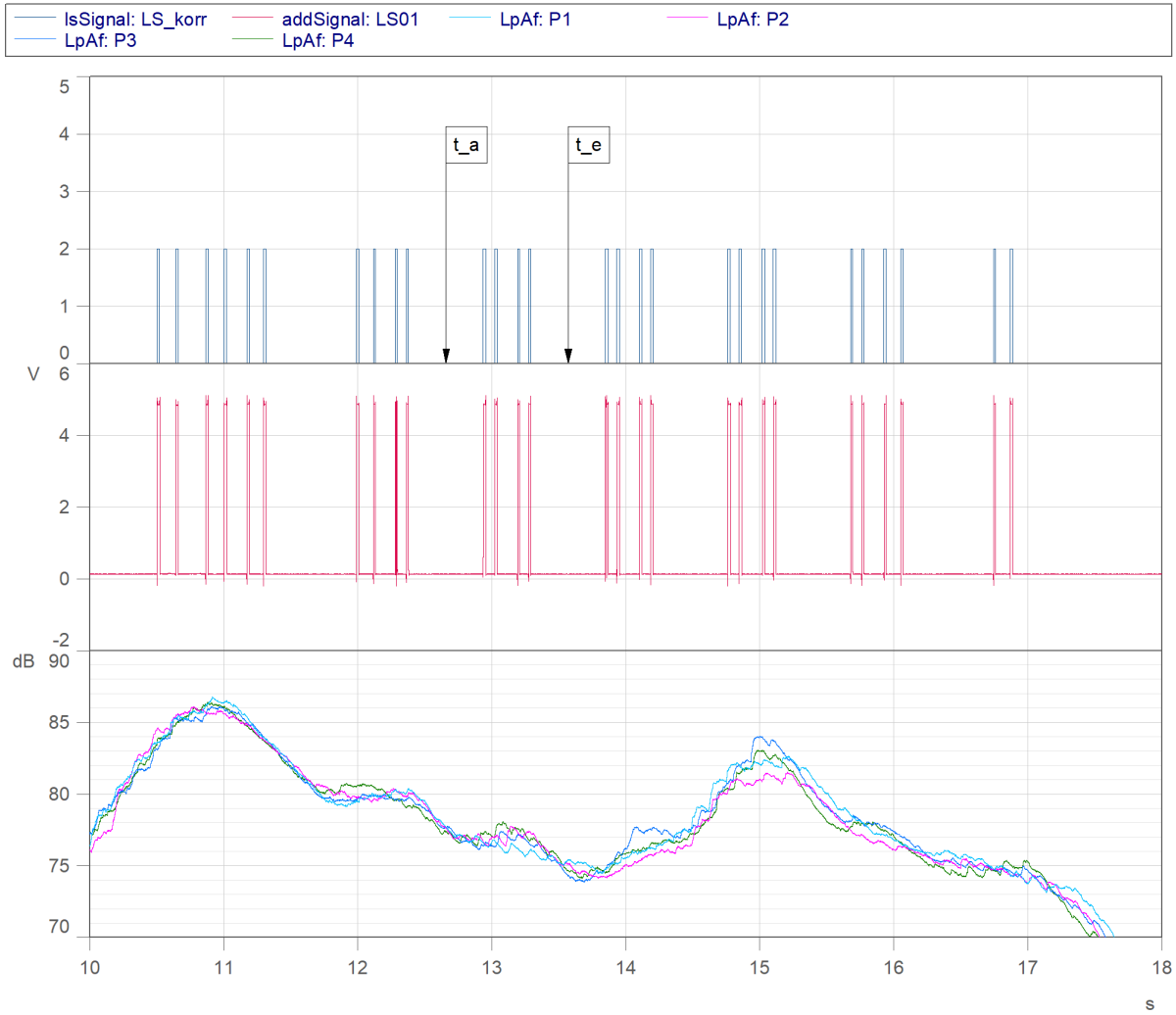
Zeitschriebe der Laufnummer C015

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 18:07:45
V_soll / ist [km/h]	80.0 / 77.6
t_start [s]	12.6578
t_end [s]	13.5707
t_delta [s]	0.912958

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	75,9	77,7
P2	76,4	77,8
P3	76,1	77,8
P4	76,6	78,1



TWY / 18.09.19

PROSE

F.2.2 Ergebnisse für das Referenzwagenpaar

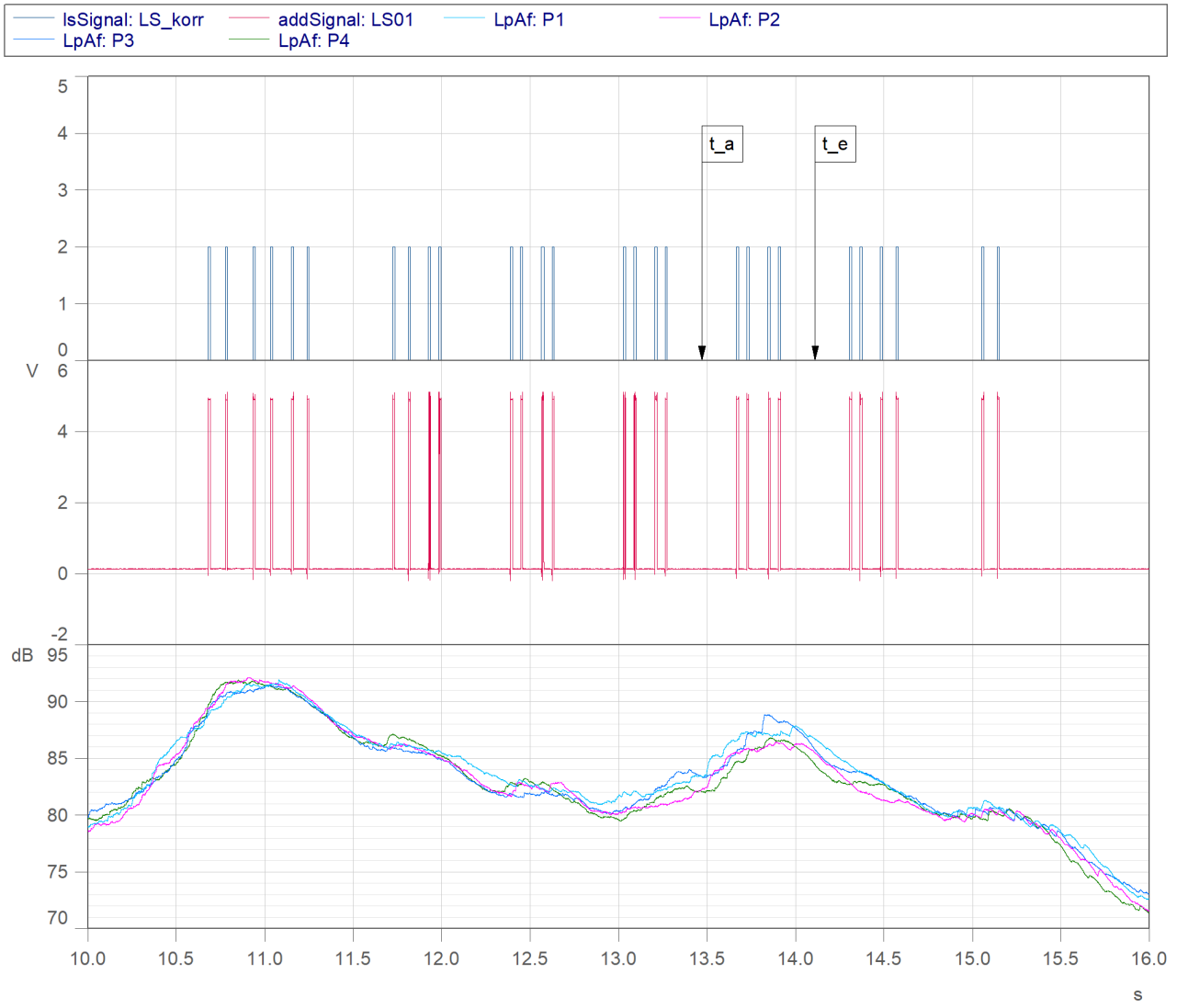
Zeitschriebe der Laufnummer C012

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 14:09:49
V_soll / ist [km/h]	110.0 / 110.8
t_start [s]	13.4701
t_end [s]	14.1108
t_delta [s]	0.640703

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	87,1	87,9
P2	85,9	86,5
P3	87,0	88,8
P4	85,5	86,8



TWY / 18.09.19

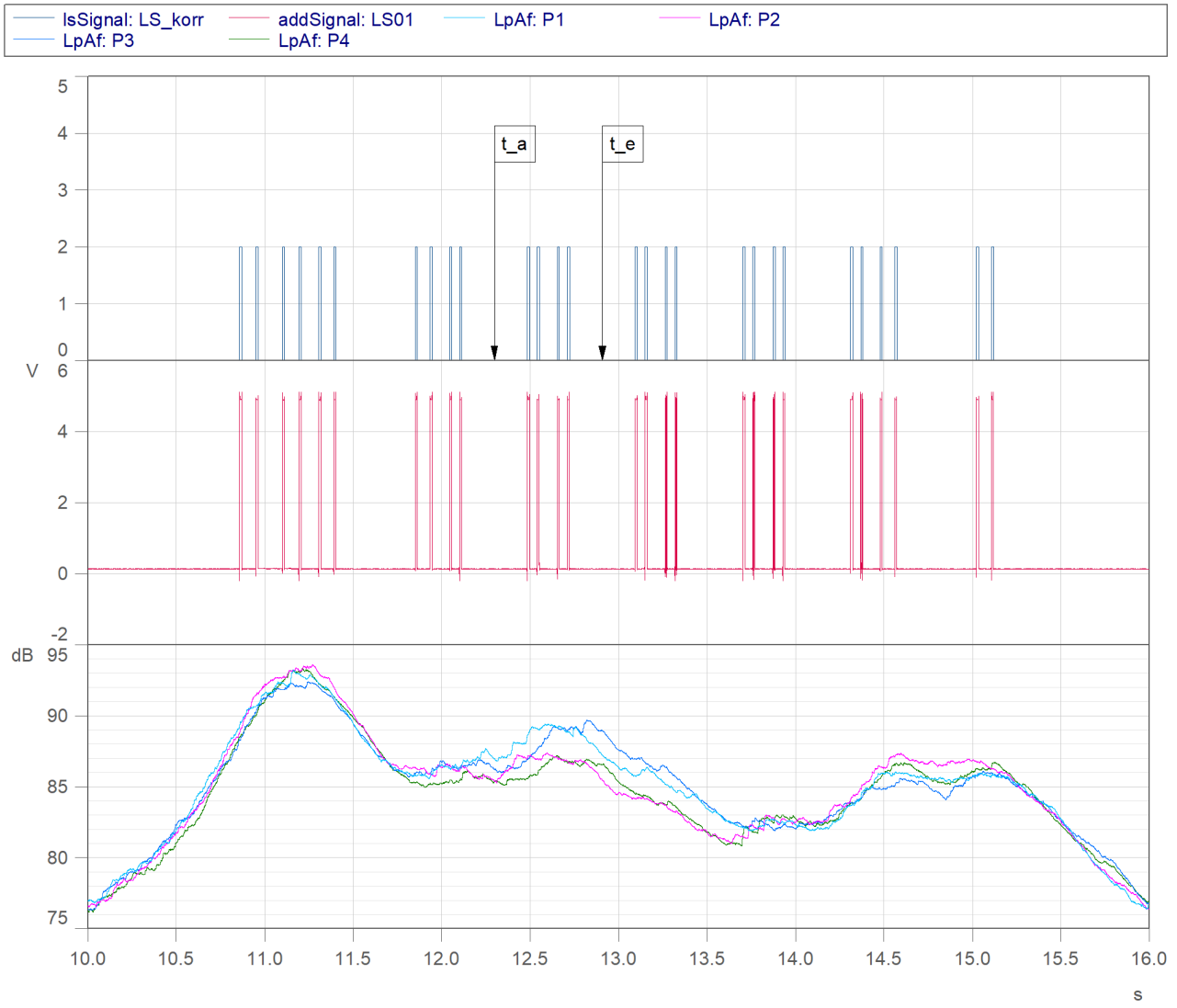
Zeitschriebe der Laufnummer C013

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 14:53:32
V_soll / ist [km/h]	115.0 / 116.3
t_start [s]	12.2972
t_end [s]	12.9074
t_delta [s]	0.610157

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	88,5	89,4
P2	86,7	87,4
P3	88,7	89,7
P4	86,5	87,2



TWY / 18.09.19

PROSE

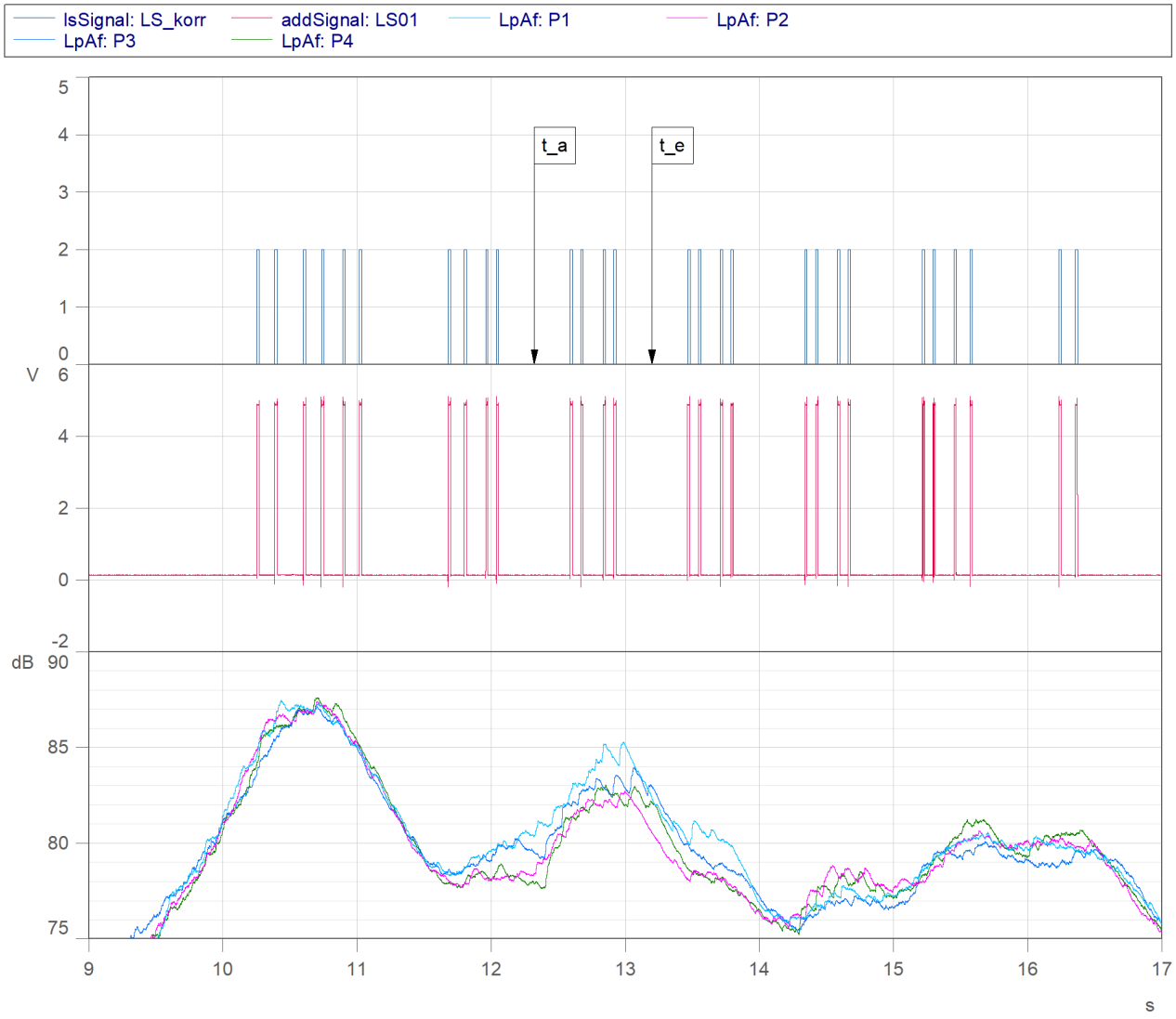
Zeitschriebe der Laufnummer C014

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 16:53:04
V_soll / ist [km/h]	80.0 / 80.9
t_start [s]	12.3219
t_end [s]	13.1985
t_delta [s]	0.8766

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	83,5	85,3
P2	81,6	82,7
P3	82,7	84,0
P4	82,0	83,0



TWY / 18.09.19

PROSE

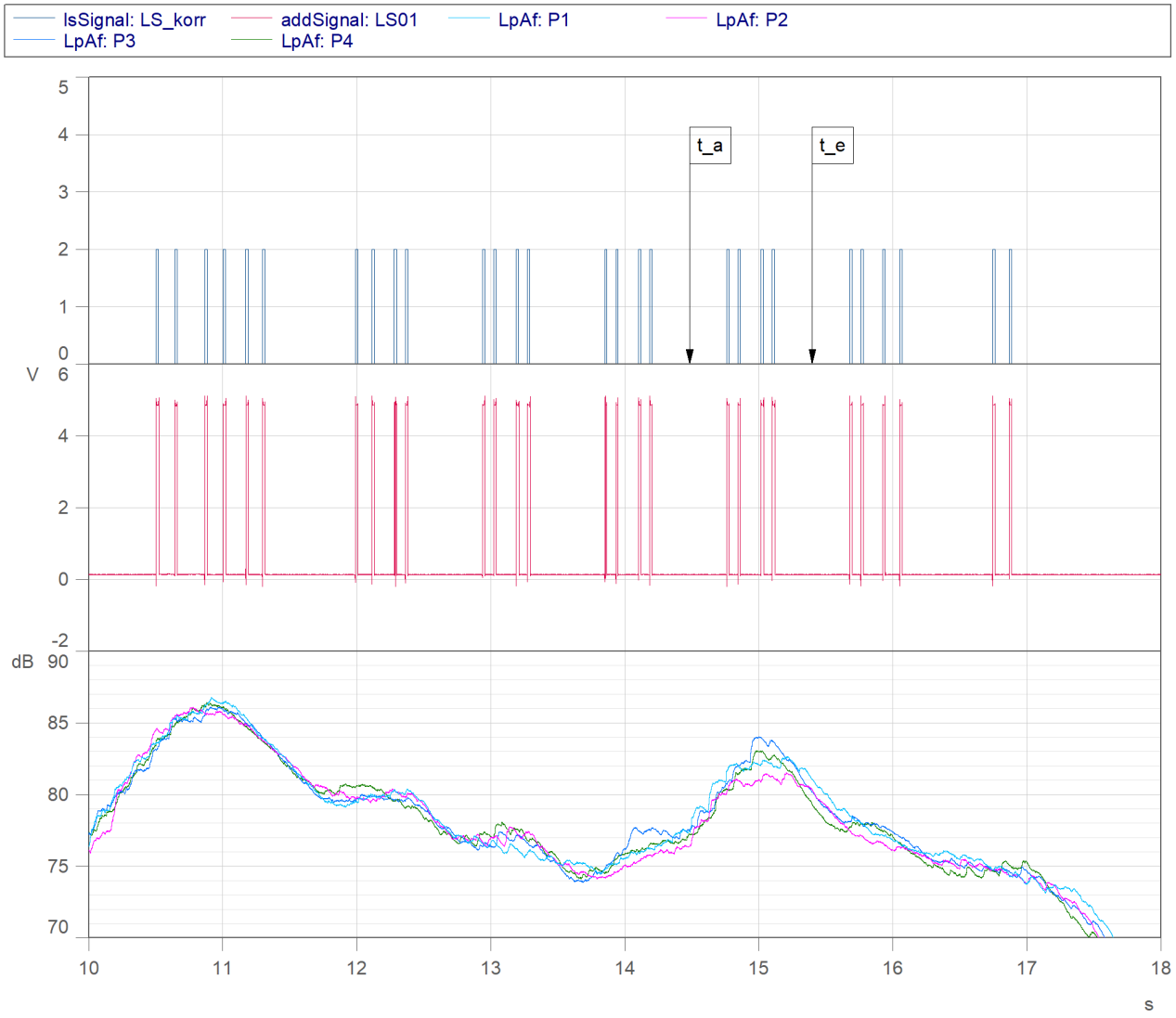
Zeitschriebe der Laufnummer C015

PROSE

Projekt	VTG.2019 VTG

Aufnahmezeit	12.09.19 18:07:45
V_soll / ist [km/h]	80.0 / 77.5
t_start [s]	14.4836
t_end [s]	15.3988
t_delta [s]	0.915156

Micro. position	LpAeq,Tp [dB(A)]	LpAFmax [dB(A)]
P1	81,8	82,6
P2	80,7	81,5
P3	82,0	84,0
P4	81,2	83,0



TWY / 18.09.19

PROSE

G Zertifikate

PROSE

TSI Noise – Schienenrauheit des Referenzgleises

Messung der Schienenrauheit gemäss EN 15610

PROSE

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

Zertifikatsnummer: **02-10-00106**

Streckenabschnitt: Kerzers
Streckenkilometer: 24.58

Messwerte:

λ	Nord L_r	Süd L_r	Gleis L_r	Grenzwert ISO 3095
[m]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
0.2000	-9.6	-10.3	-9.9	11.0
0.1600	-10.7	-6.5	-8.2	9.0
0.1250	-11.2	-8.8	-9.9	7.0
0.1000	-10.0	-11.0	-10.5	4.9
0.0800	-11.7	-11.9	-11.8	2.9
0.0630	-7.1	-8.1	-7.5	0.9
0.0500	-11.6	-12.0	-11.8	-1.1
0.0400	-14.2	-12.8	-13.5	-3.2
0.0315	-14.3	-13.1	-13.7	-5.0
0.0250	-15.9	-13.0	-14.3	-5.6
0.0200	-16.7	-15.8	-16.3	-6.2
0.0160	-13.2	-14.6	-13.8	-6.8
0.0125	-17.0	-17.3	-17.1	-7.4
0.0100	-17.6	-17.6	-17.6	-8.0
0.0080	-17.0	-16.7	-16.9	-8.6
0.0063	-16.0	-16.3	-16.1	-9.2
0.0050	-17.5	-18.3	-17.8	-9.8
0.0040	-17.1	-18.2	-17.6	-10.4
0.0032	-19.7	-19.8	-19.7	-11.0

Messgerät:
Ødegaard & Danneskiold-Samsøe TRM05
λ Messbereich: 0,0016 - 0,25 m
Prüfnorm: EN 15610:2018
Verfahren: Direkte Rauheitsmessung

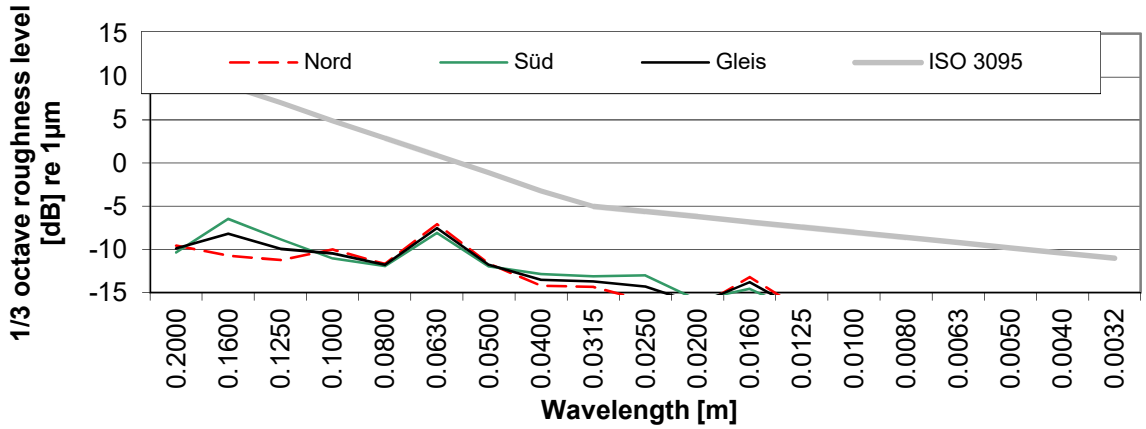
Messpunkte:
gemäss EN ISO 3095:2013
Messlänge je Schiene: 6* 1.2 m
Abstand von Aussenkante: 50/40/30 mm

Gleis
Schienentyp: UIC 60
Schwellentyp: B61 Beton
Oberbau: Schotter

Wetterbedingungen:
Temperatur: 15 °C
Luftfeuchtigkeit: 50%

Einzahlwert der Rauheit:

$L_{\lambda_{CA}}$	0.0	dB	bei 80 km/h
	0.2	dB	bei 120 km/h



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

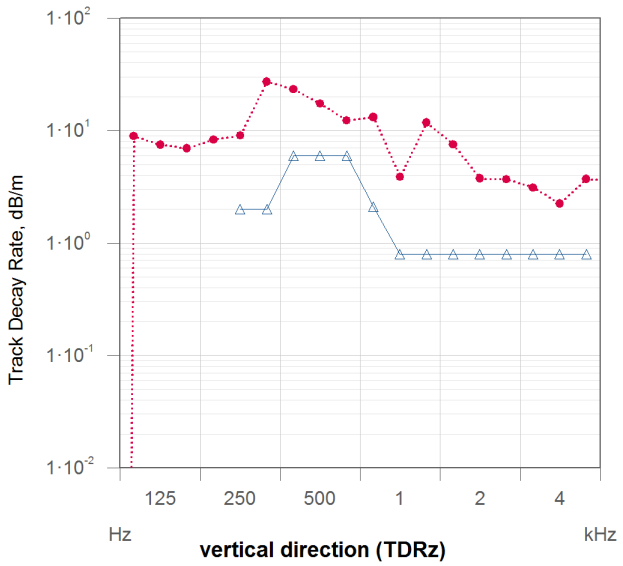
Prüfdatum:	10.09.2019	geprüft:	freigegeben:	03.06.2019
Prüfingenieur:	C. Czolbe	F. May		A. Siegrist

TSI-Noise - Track Decay Rate (TDR) des Referenzgleises

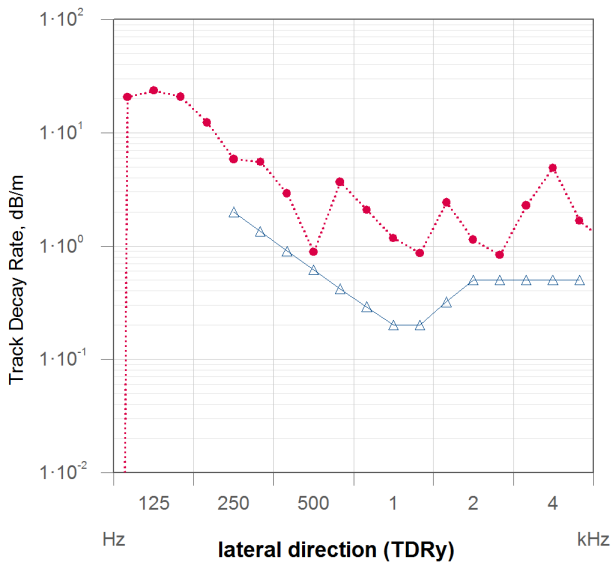
Zertifikatsnummer: 02-10-00114

Frequenz [Hz]	TDR z [dB/m]	TDR y [dB/m]	TDRz - TSIz [dB/m]	TDRy - TSIy [dB/m]
100	8.9	20.7		
125	7.5	23.6		
160	6.9	20.8		
200	8.3	12.3		
250	9.1	5.9	7.1	3.9
315	27.4	5.5	25.4	4.2
400	23.3	2.9	17.3	2.0
500	17.4	0.9	11.4	0.3
630	12.3	3.7	6.3	3.2
800	13.2	2.1	11.1	1.8
1000	3.9	1.2	3.1	1.0
1250	11.8	0.9	11.0	0.7
1600	7.5	2.4	6.7	2.1
2000	3.8	1.1	3.0	0.6
2500	3.7	0.8	2.9	0.3
3150	3.1	2.3	2.3	1.8
4000	2.2	4.9	1.4	4.4
5000	3.7	1.7	2.9	1.2
Mittelwert der Terzdifferenzen			**8.0**	**2.0**

Streckenabschnitt:	Kerzers - Müntschemier
Streckenkilometer:	24.580
GPS-Koordinaten:	46.129628 °N
	7.132122 °E
Messgeräte:	
Aufzeichnungsgerät:	NI 4432 USB
Beschleunigungssensor:	Kistler 8702B50M1
Anregung:	Impulshammer PCB 086D05 (0.32kg)
Messverfahren:	TSI Noise 2011, A.2.
Messpunkte hoch:	29
Messpunkte tief:	0
Mittelung:	5
Gleis	
Schienentyp:	UIC 60
Schwellentyp:	B61 Beton
Oberbau:	Schotter
Wetterbedingungen	
Temperatur:	22 °C
Luftfeuchtigkeit:	53%



vertical direction (TDRz)



lateral direction (TDRy)

Die Anforderungen der EN ISO 3095:2013 an die laterale und vertikale Track-Decay-Rate des Abschnittes bei km 24.580 zwischen Kerzers und Müntschemier werden hinsichtlich der dynamischen Eigenschaften eines Referenzgleises für akustische Messungen erfüllt.

Prüfdatum:	06.06.2019	geprüft:	freigegeben:
Prüfingenieur:	Christian Czolbe	Tobias Wyss	Andreas Siegrist

H Messunsicherheit

Die Messunsicherheit der B&K Mikrofone vom Typ 4189 wurde entsprechend GUM, ISO/IEC Guide 98-3:2008 und EN ISO 3095 bewertet. Die erweiterte Unsicherheit U ergibt sich aus der kombinierten Standardunsicherheit uc(y) = 1,01 dB multipliziert mit dem Faktor k = 2. Somit ergibt sich eine Messunsicherheit von U = 2.02 dB.

Messgröße x_i	Beschreibung	Standard-unsicherheit $u(x_i)$	Sensitivitäts-faktor df/dx_i	Beitrag zur Unsicherheit
$\delta_{cal.ambienttemp.}$	Einfluss der Umgebungstemp. auf den Kalibrator	0,02 dB	1	0,02 dB
$\delta_{cal.rel.humidity}$	Einfluss der rel. Luftfeuchte auf den Kalibrator	0,02 dB	1	0,02 dB
$\delta_{cal.long\ term}$	Änderungen des Kalibrator-Schallpegels seit seiner letzten Kalibrierung	0,02 dB	1	0,05 dB
$\delta_{cal.supply\ voltage}$	Änderung der Versorgungsspannung	0,06 dB	1	0,06 dB
$\delta_{cal.distortion\ factor}$	Max. Anstieg des Schalldruckpegels aufgrund des Kalibrator-Klirrfaktors	0,06 dB	1	0,06 dB
$\delta_{calibrator.\ meteorological}$	Meteorologische Einflüsse auf den Kalibrator	0,18 dB	1	0,18 dB
$\delta_{slm.direction}$	Richtung des Schall-Einfallwinkels (max ± 30°)	0,25 dB	1	0,25 dB
$\delta_{slm.frequency}$	Frequenzabhängiger Übertragungsfaktor	0,25 dB	1	0,25 dB
$\delta_{slm.level\ linearity}$	Nichtlinearität des Schallpegelmessers bei anderen Schallpegeln als der Kalibratorpegel	0,35 dB	1	0,35 dB
$\delta_{slm.air\ pressure}$	Einfluss des Luftdrucks auf den Schallpegelmesser	0,58 dB	1	0,58 dB
$\delta_{slm.temperature}$	Einfluss der Temperatur auf den Schallpegelmesser	0,29 dB	1	0,29 dB
$\delta_{slm.humidity}$	Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf den Schallpegelmesser	0,06 dB	1	0,06 dB
$\delta_{slm.wind\ screen}$	Dämpfung des Windschirms	0,03 dB	1	0,03 dB
δ_{tripod}	Wellenreflexion des Stativs	0,35 dB	1	0,35 dB
$\delta_{inherent\ noise\ amplifier}$	Rauschen des Messverstärkers	0,54 dB	1	0,54 dB
$\delta_{rounding}$	Runden auf den nächsten ganzzahligen Wert	0,29 dB	1	0,29 dB
$u_c(y)$	kombinierte Standardunsicherheit $u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} u^2(x_i)}$			1,01 dB
U	erweiterte Unsicherheit mit k = 2 (95%)			2,02 dB

6.2 Prüfbericht der Bremsversuche

PROSE

Engineering
tomorrow's
mobility

VTG-Sgn(s)

Bremsmessungen

Prüfbericht 02-01477



Auftraggeber: **VTG Rail Europe GmbH**

Projektnummer: CH01-00731

Druckdatum: 15. November 2019

PROSE AG
Zürcherstrasse 41
8400 Winterthur
Schweiz

www.prose.one

Tel +41 52 262 74 00
Fax +41 52 262 74 01
info.winterthur@prose.one

Erstellt	Geprüft	Freigeben
F. Waiz	D. Di Bella	F. May

	Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
	15.11.2019	**0.00**	15.11.2019	Released

Verteiler

Firma/Abteilung/Name	Bemerkungen
VTG Rail Europe GmbH Hanno Schell / Martin Koch Neuhofstrasse 4 6340 Baar	

Revisionsindex

	Ersteller	Prüfer	Freigebender	Datum
Rev.	F. Waiz	D. Di Bella	F. May	15.11.2019
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				

Modifikationen

Revision	Beschreibung

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 7
2 Fahrzeugbeschreibung 7
2.1 Fahrzeuggewicht 8
2.2 Bremssystem 8
3 Dynamische Messung 8
3.1 Messausrüstung auf dem Versuchsfahrzeug 8
3.1.1 Geschwindigkeitmessung 9
3.1.2 Druck in der Hauptleitung 9
3.1.3 Aufzeichnung der Signale 9
3.2 Versuchsdurchführung 9
18.09.19 9
24.09.19 9
27.09.19 9
3.2.1 Bremsprotokoll 10
3.2.2 Witterungsbedingungen 10
3.2.3 Versuchsstrecke 10
3.3 Auswertung und Ergebnisse 10
3.3.1 Validität der Messungen 10
3.3.2 Korrekturen 10
3.3.3 Resultate 11
4 Literatur 11
A Messprotokolle 12
B Messausrüstung 16
B.1 Messgrössen 16
B.2 Sensoren 17
B.3 Sensorpositionen am Fahrzeug (Fotos) 17
B.4 Aufzeichnung 21
C Strecke für Bremswegmessungen durch Abhängeversuche 22
D Messergebnisse 23
D.1 Ergebnisse Einzelfahrten und Mittelwert 23

D.2 Graphische Darstellung Einzelmessungen 25

1 Zusammenfassung

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der Bremsversuche an einem VTG Sgn(s)-Wagen dargestellt.
Die VTG Rail Europe GmbH hat die Prose AG mit der Durchführung der Bremszulassungsmessung für den neuen Drehgestelltyp *RC25* beauftragt. Die Messungen fanden an drei Versuchstragen in KW 38 und 39 statt. Es wurden Abhängeversuche durchgeführt, um daraus die Bremshundertstel des Fahrzeugs zu ermitteln. Die Messungen haben gezeigt, dass das Bremssystem den Anforderungen der UIC-Kodex 544-1, Bremse - Bremsleistung [1], entspricht. In der folgenden Tabelle 1 sind die Ergebnisse aufgelistet.

Beladungszustand	pC [bar]	Ausgangsgeschwindigkeitt [km/h]	Korrigierter Bremsweg [m]	Bremshunderstel [%]
Unbeladen 20.0 t	1.28	100	424	115
Unbeladen 20.0 t	1.28	120	591	123
Teilbeladen 56.1 t	2.80	100	487	99
Vollbeladen 90.0 t	2.80	100	702	65

Tabelle 1: Ergebnisse gemäss UIC-Kodex 544-1

2 Fahrzeugbeschreibung

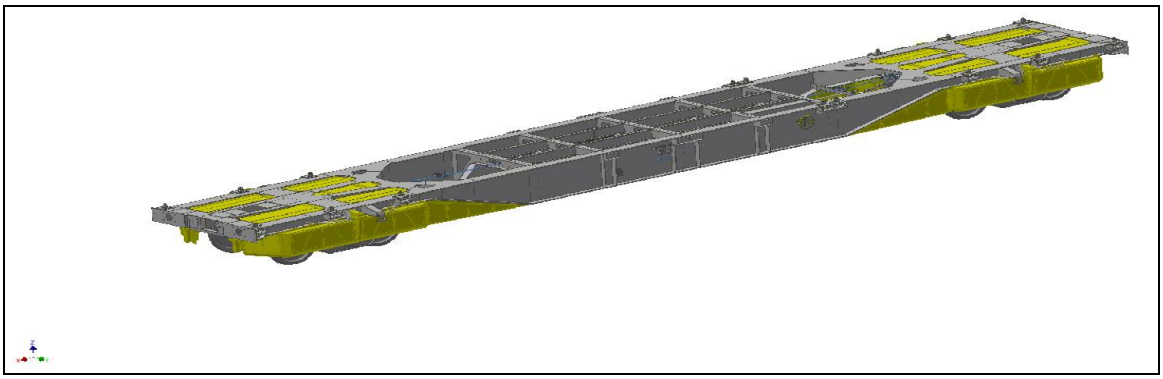


Abbildung 1: VTG Sgn(s)-Wagen

Bezeichnung	Sgn(s)	**Höhe**	1'155 mm
Fahrzeugnummer	33 85 4961 400-0	**Achsabstand**	14'200 mm
Breite	3'022 mm	**Zulassungs-geschwindigkeit**	100 km/h
Länge (über Puffer)	19'730 mm	**Fahrzeugeigenmasse**	20.0 t
Raddurchmesser (neu)	920 mm	**Radprofil**	S1002/h28/e32.5/6.7%

Tabelle 2: Fahrzeugbeschreibung

2.1 Fahrzeuggewicht

Am 16.09.2019 wurden die untenstehenden Gewichte ermittelt:

	Leer (Tonnen)	Teilbeladen (Tonnen)	Vollbeladen (Tonnen)
Gewicht Container 1	-	12.1	23.3
Gewicht Container 1	-	12.0	23.4
Gewicht Container 1	-	12.0	23.3
Wagengewicht	20.0	20.0	20.0
Gesamtgewicht	20.0	56.1	90

Tabelle 3: Gewicht des Prüflings

2.2 Bremssystem

Bei der eingebauten Bremse handelt es sich um eine SAB-WABCO-Bremse mit Umstelleinrichtung GP sowie automatischer Lastabremsung.



Abbildung 2: Bremssystem VTG Sgn(s)-Wagen

3 Dynamische Messung

3.1 Messausrüstung auf dem Versuchsfahrzeug

Die gesamte Messausrüstung (Sensoren, Messverstärker, Aufzeichnung) befindet sich auf dem Versuchsfahrzeug. Die Bremsscheibentemperaturen wurden vor jeder Messung geprüft. Die Positionen aller Sensoren können *Anhang B* entnommen werden.

3.1.1 Geschwindigkeitmessung

Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs und die daraus resultierenden Bremswege wurden mit einem am Messobjekt angebrachten Radar des Typs Datron Microstar II erfasst. Der jeweils zurückgelegte Weg wurde durch Integration des Geschwindigkeitssignals berechnet.

Die Messgenauigkeit des Geschwindigkeitssignals wurde unter Zuhilfenahme einer Lichtschranke mehrfach validiert. Dazu wurden schon bei früheren Messungen auf der Teststrecke Reflektorstreifen an Fahrleitungsmasten mit definiertem Abstand angebracht. Weiterhin erfolgte ein Abgleich der Messdaten mit den Gleislagedaten, welche vorgängig von den SBB bezogen wurden. Dabei wurden Abweichungen von unter 0.5 % ermittelt.

3.1.2 Druck in der Hauptleitung

Sobald das Entlüftungsventil betätigt wird, beginnt der Druck in der Hauptluftleitung des pneumatisch abgetrennten Wagens abzufallen. Dieser Zeitpunkt wurde als Trigger für die Auswertung der Messungen herangezogen.

3.1.3 Aufzeichnung der Signale

Alle Signale wurden digital mit Hilfe eines Messverstärkers vom Typ C-Series des Herstellers imc aufgezeichnet. Die Aufzeichnung erfolgte dabei mit einer Abtastrate von 1 kHz.

Die Konfigurationen des Messverstärkers kann in *Anhang B.4* eingesehen werden.

3.2 Versuchsdurchführung

Das Versuchsfahrzeug wird auf die Nenngeschwindigkeit beschleunigt, dann wird die Kupplung getrennt und durch das Entlüften der Hauptluftleitung wird die Vollbremsung ausgelöst.

Die Prüfungen erfolgten tagsüber während des Regelbetriebs an drei Messtagen:

18.09.19
- Wagen unbeladen: 20 t
- Einstellung der Bremszylinderdrücke: 1.28 bar
- Geschwindigkeit: 100 km/h und 120 km/h

24.09.19
- Wagen vollbeladen: 90 t
- Einstellung der Bremszylinderdrücke: 2.8 bar
- Geschwindigkeit: 100 km/h

27.09.19
- Wagen teilbeladen: 56 t
- Geschwindigkeit: 100 km/h

3.2.1 Bremsprotokoll

Die Auswertung der aufgezeichneten Daten erfolgt gemäss *UIC-Kodex 544-1 Anlage F* [1] mit Hilfe des Bremsprotokolls. Unter Berücksichtigung der Streckenneigung (maximal ± 3 ‰) und der Soll/Ist-Ausgangsgeschwindigkeit (Abweichung maximal ± 4 km/h) wurde der Bremsweg korrigiert ausgegeben.

3.2.2 Witterungsbedingungen

Die Messungen erfolgten tagsüber bei Temperaturen von 9 – 20 °C auf trockener Schiene.

Die relative Luftfeuchtigkeit betrug 47 -97,5 %. Details können den Messprotokollen im *Anhang A* entnommen werden.

3.2.3 Versuchsstrecke

Die Versuchsstrecke befand sich zwischen Stein-Säckingen und Sisseln auf ebenem Gleis (Streckeneignung < |3 ‰|). Der Messabschnitt hat eine Länge von 1710 m. Zu entnehmen dem Situationsplan in *Anhang C.*

3.3 Auswertung und Ergebnisse

3.3.1 Validität der Messungen

Damit eine Messung zur Bewertung herangezogen werden kann müssen mindestens 4 Abhängeversuche durchgeführt werden. Die gemessenen Bremswege müssen weiterhin zwei statistische Kriterien erfüllen:

Kriterium 1: $$\frac{\text{Standardabweichung des Versuchs}(\sigma_n)}{\text{Mittelwert des Versuches}(\bar{s})} \leq 3{,}0\%$$

Kriterium 2: $$|\text{Extremwert}(s_e) - \text{Mittelwert}(\bar{s})| \leq 1{,}95 \cdot \sigma_n$$

Vgl. [1] *Kapitel F.3.2*

3.3.2 Korrekturen

Die Bremswege wurden entsprechend [1], *Kapitel F.2* korrigiert. Dazu wird die Abweichung von der Nominalgeschwindigkeit sowie das Gefälle der Teststrecke für jede Messung einzeln korrigiert:

$$s_{jcorr} = \frac{3{,}933 \times p \times v^2{}_{jnom}}{3{,}933 \times p \times v^2{}_{jmeas} - i_m \times s_{jmeas}} \times s_{jmeas}$$ Formula 5-1

Da der Gradient der Teststrecke null beträgt, ist der Faktor der mittleren Neigung i_m gleich null. Zusätzlich wird nun der Bremsweg hinsichtlich der Bremsentwicklungszeit korrigiert. Dazu wird die Bremsentwicklungszeit t_s aus den Messdaten bestimmt und folgende Formel verwendet.

$$\overline{s_{corr,2}} = \left(\frac{t_n}{2} - \frac{t_s}{2}\right) \cdot v_{nom} + \overline{s_{corr}}$$ Formula 5-2

3.3.3 Resultate

Mit allen genannten Korrekturen ergibt sich folgende Bremswege und entsprechende Bremshundertstel

Versuchsart	t_s [s]	s_{corr} [m]	s_{corr2} [m]	λ [%]
Leer, 100 km/h	3.69	419	424	115
Leer, 120 km/h	3.65	585	591	123
Teilbeladen, 100 km/h	3.77	483	487	99
Vollbeladen 100 km/h	3.86	700	702	65

Dabei bezeichnet die Versuchsart den Beladungszustand sowie die Ausgangsgeschwindigkeit, t_s ,die Bremsentwicklungszeit, s_{corr} den Bremsweg mit Korrektur der Nominalgeschwindigkeit, s_{corr2} die Korrektur der Bremsentwicklungszeit und λ das Bremshundertstel.

4 Literatur

[1] *UIC-Kodex 544-1, Bremse - Bremsleistung*
International Railway Union, 5. Ausgabe, Juni 2013

A Messprotokolle

Die Laufnummern werden gemäss dem Code XYYZZ nummeriert:

- X Fahrzeugkonfiguration gemäss Tabelle A-1 Konfigurationsübersicht
- YY Messtag
- ZZ Laufnummer (ungerade: vorwärts, gerade: rückwärts)

Präfix	Konfiguration
A	Unbeladener Wagen, v = 100 km/h, pC1 = 1.37 bar, pC2 = 1.37 bar
B	Unbeladener Wagen, v = 100 km/h, pC1 = 1.28 bar, pC2 = 1.28 bar
C	Unbeladener Wagen, v = 120 km/h, pC1 = 1.28 bar, pC2 = 1.28 bar
D	Vollbeladener Wagen, v = 100 km/h, pC1 = 1.28 bar, pC2 = 1.28 bar
E	Vollbeladener Wagen, v = 100 km/h, pC1 = 3.1 bar, pC2 = 3.1 bar
F	Vollbeladener Wagen, v = 100 km/h, pC1 = 2.8 bar, pC2 = 2.8 bar
G	Teilbeladener Wagen, v = 100 km/h, pC1 = 2.8 bar, pC2 = 2.8 bar

Tabelle A-1 Konfigurationsübersicht

Measuring Protocol

Date: 18.09.19 **subject:** Brake System Measurements **vehicle:** VTG Sgn(s)-Wagen **project number:** **Ch01-00731**

weather				
time	09:00	16:00		
air temperature [°C]	14	20		
rail temperature [°C]	25	31		
rail condition	dry	dry		
air humidity [%]	67 %	47 %		
weather	sunny			

test track	
location	Stein-Säckingen
vehicle	VTG Sgn(s)
number	33 85 4961 400-0
train composition	tested wagon - measuring wagon - locomotive
weight	20 t Unloaded)
test track	Stein-Säckingen <--> Sisseln (CH)

participants	
PROSE	dib; flwa
Transrail	Peter Rubin; Kurt Lichtensteiger; Peter Dittli
VTG	Gerhard Runkel

run no.	time	direction	speed [km/h]	test track		File	T [°C]	author	remarks
				from	to				
Test0101	07:32	Laufenburg	80	Stein-Säckingen	Sisseln		25	flwa	
A0101	08:02	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		26	flwa	
A0103	08:50	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		30	flwa	
A0105	08:59	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		50	flwa	
A0107	09:12	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		36	flwa	
B0109	10:50	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		18	flwa	pC1 and pC2 reduced from 1.37 bar to 1.28 bar
B0111	10:58	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		36	flwa	
B0113	11:05	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		24	flwa	
B0115	13:06	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		20	flwa	
C0117	13:14	Laufenburg	120	Stein-Säckingen	Sisseln		36	flwa	
C0119	15:52	Laufenburg	120	Stein-Säckingen	Sisseln		24	flwa	
C0121	16:04	Laufenburg	120	Stein-Säckingen	Sisseln		46	flwa	
C0123	16:12	Laufenburg	120	Stein-Säckingen	Sisseln		60	flwa	
									<<

Measuring Protocol

Date: 24.09.19 **subject :** Brake System Measurements **vehicle:** VTG Sgn(s)-Wagen **project number:** **Ch01-00731**

weather				
time	08:00	11:00		
air temperature [°C]	9.2	11.1		
rail temperature [°C]	14	17		
rail condition	dry	dry		
air humidity [%]	96.7 %	94.9 %		
weather	cloudy			

test track	
location	Stein-Säckingen
vehicle	VTG Sgn(s)
number	33 85 4961 400-0
train composition A	tested wagon - measuring wagon - locomotive
weight	90 t Full load
test track	Stein-Säckingen <--> Sisseln (CH)

participants	
PROSE	dib; flwa
Transrail	Kurt Lichtensteiger; B. Umiker, Stefan Wipf
Faiveley	Elie Devismes

run no.	time	direction	speed [km/h]	test track		File	T [°C]	author	remarks
				from	to				
D0225	07:49	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		15	flwa	
E0227	09:48	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		15	flwa	pC1 and pC2 increased from 1.28 bar to 3.1 bar
Test0203	09:53	Basel	60	Sisseln	Stein-Säckingen		21	flwa	Radar Calibration, factor 0.9898 pulses set to 396 p/m
E0229	09:58	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		81	flwa	
F0231	10:45	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		22	flwa	pC1 and pC2 decreased from 3.1 bar to 2.8 bar
F0233	11:03	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		78	flwa	Radar Calibration, factor 1.1… pulses set to 404 p/m
F0235	11:45	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		50	flwa	
F0237	12:06	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		81	flwa	
									<<

02-03-01451 0.00

Measuring Protocol

Date: 27.09.19 **subject:** Brake System Measurements **vehicle:** VTG Sgn(s)-Wagen **project number:** **Ch01-00731**

weather				
time	09:00			
air temperature [°C]	15.6			
rail temperature [°C]	17			
rail condition	dry			
air humidity [%]	97.5 %			
weather	cloudy			

test track	
location	Stein-Säckingen
vehicle	VTG Sgn(s)
number	33 85 4961 400-0
train composition A	tested wagon - measuring wagon - locomotive
weight	54 t Half load
test track	Stein-Säckingen <--> Sisseln (CH)

participants	
PROSE	dib; flwa
Transrail	Kurt Lichtensteiger; B. Umiker, Peter Dittli

run no.	time	direction	speed [km/h]	test track		File	T [°C]	author	remarks
				from	to				
G0339	07:47	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		17	flwa	
G0341	08:05	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		68	flwa	
G0343	08:13	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		98	flwa	
G0345	08:45	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		78	flwa	
G0347	09:03	Laufenburg	100	Stein-Säckingen	Sisseln		87	flwa	
									<<

02-03-01451 0.00

B Messausrüstung

B.1 Messgrössen

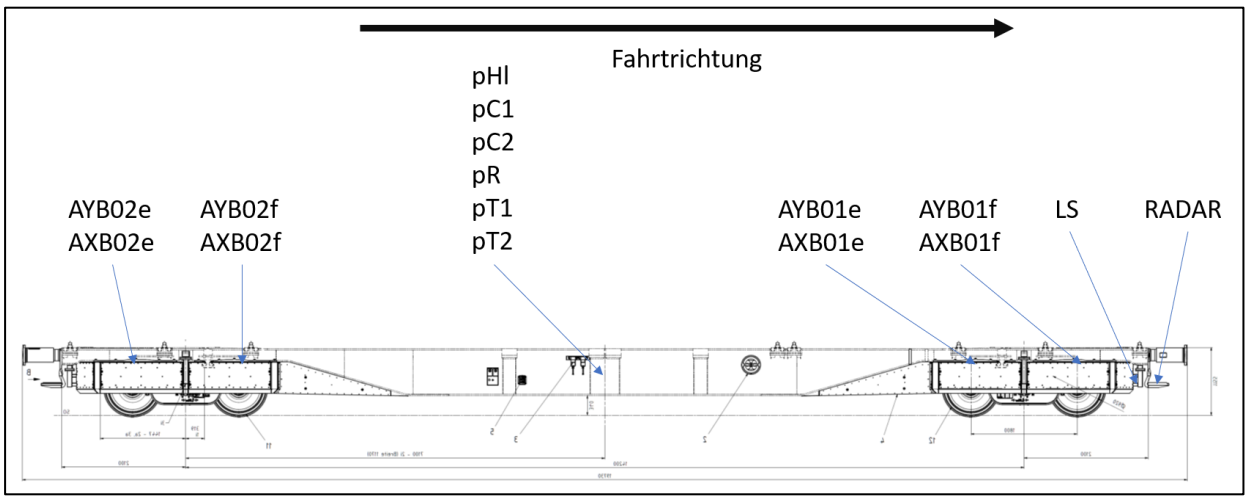


Abbildung B-1 Sensorpositionen

Signalname	Beschreibung	Position
pHl	Druck der Hauptleitung	Mitte Wagenkasten
pC1	Bremszylinderdruck des 1. Zylinders	Mitte Wagenkasten
pC2	Bremszylinderdruck des 2. Zylinders	Mitte Wagenkasten
pR	Druck des Reservebehälters	Mitte Wagenkasten
pT1	Tastdruck des 1. Zylinders	Mitte Wagenkaste
pT2	Tastdruck des 2. Zylinders	Mitte Wagenkaste
VXC	Geschwindigkeitssignal des Radars	Trittbrett, vorne rechts
SXC	Wegsignal des RADARs	Trittbrett vorne rechts
LS	Lichtschranke	Wagenkasten, vorne rechts
AXB01f	Beschleunigung in x-Richtung	DG 1, A 1, rechts
AXB01e	Beschleunigung in x-Richtung	DG 1, A 2, rechts
AXB02f	Beschleunigung in x-Richtung	DG 2, A 1, rechts
AXB02e	Beschleunigung in x-Richtung	DG2, A 2, rechts
AYB01f	Beschleunigung in y-Richtung	DG 1, A 1, rechts
AYB01e	Beschleunigung in y-Richtung	DG 1, A 2, rechts
AYB02f	Beschleunigung in y-Richtung	DG 2, A 1, rechts
AYB02e	Beschleunigung in y-Richtung	DG2, A 2, rechts

Tabelle B-1 Übersicht der aufgezeichneten Messgrössen

B.2 Sensoren

- Tabelle mit Signalnamen, Sensortypen und Seriennummer

Signalname	Sensortyp	Seriennummer
pHl	Hydac HDA4744-A-16-031 (10bar) - Drucksensor	715H132776
pC1	Hydac HDA4744-A-16-031 (10bar) - Drucksensor	816H191642
pC2	Hydac HDA4744-A-16-031 (10bar) - Drucksensor	816H191645
pR	Hydac HDA4744-A-16-031 (10bar) - Drucksensor	816H191654
pT1	Hydac HDA4744-A-16-031 (10bar) - Drucksensor	817H193002
pT2	Hydac HDA4744-A-16-031 (10bar) - Drucksensor	
VXC	Datron Microstar II (Geschwindigkeitssensor Radar)	086-11022
SXC	Datron Microstar II (Geschwindigkeitssensor Radar)	086-11022
LS	Baumer	--
AXB01f	ASC 4411LN-005 5g Beschleunigungssensor	18-36554
AXB01e	ASC 4411LN-005 5g Beschleunigungssensor	18-35222
AXB02f	ASC 4411LN-005 5g Beschleunigungssensor	18-36557
AXB02e	ASC 4411LN-005 5g Beschleunigungssensor	18-36804
AYB01f	ASC 4411LN-005 5g Beschleunigungssensor	18-36554
AYB01e	ASC 4411LN-005 5g Beschleunigungssensor	18-35222
AYB02f	ASC 4411LN-005 5g Beschleunigungssensor	18-36557
AYB02e	ASC 4411LN-005 5g Beschleunigungssensor	18-36804

Tabelle B-2 Sensortypen und Serienummern

B.3 Sensorpositionen am Fahrzeug (Fotos)



Bild B-1: Position der Lichtschranke



Bild B-2: Position des Radars



Bild B-3: Position von AXB01f



Bild B-4: Position von AXB01e



Bild B-5: Position von AXB02e



Bild B-6: Position von AXB02f



Bild B-7: Position von pHl



Bild B-8: Position von pC1



Bild B-9: Position von pC2



Bild B-10: Position von pT2



Bild B-11: Position von pR



Bild B-12: Position von pT2

B.4 Aufzeichnung

Als Messverstärker wird ein imc CL-4125 verwendet, Seriennummer: 123650

Name	Anschluss	Filter	Abtastzeit	Messbereich	Skalierungsfaktor	Skalierungsoffset
pHl	[01] IN01	AAF	10 ms	-15 bar .. 10 bar	6.25 bar/V	-2.5 bar
pC1	[01] IN03	AAF	10 ms	-15 bar .. 10 bar	6.25 bar/V	-2.5 bar
pR	[01] IN04	AAF	10 ms	-15 bar .. 10 bar	6.25 bar/V	-2.5 bar
pC2	[01] IN05	AAF	10 ms	-15 bar .. 10 bar	6.25 bar/V	-2.5 bar
pT1	[01] IN07	AAF	10 ms	-15 bar .. 10 bar	6.25 bar/V	-2.5 bar
pT2	[01] IN08	AAF	10 ms	-15 bar .. 10 bar	6.25 bar/V	-2.5 bar
AXB02f	[02] IN05	Tiefpass, 10 Hz	10 ms	±61.73m/s^2	12.35 m/s^2/V	0 m/s^2
AXB02e	[02] IN07	Tiefpass, 10 Hz	10 ms	±61.73m/s^2	12.35 m/s^2/V	0 m/s^2
AXB01f	[03] IN01	Tiefpass, 10 Hz	10 ms	±61.73m/s^2	12.35 m/s^2/V	0 m/s^2
LS	[03] IN02	AAF	10 ms	±1 V	1 V/V	0.0 V
AXB01e	[03] IN03	Tiefpass, 10 Hz	10 ms	±61.73m/s^2	12.35 m/s^2/V	0 m/s^2
SXC	[04] CIN02	TP, 20 kHz	10 ms		404 Imp/m	0 m
VXC	[04] CIN04	TP, 20 kHz	10 ms		404 Imp/m	0 m/s

Tabelle B-1 Konfiguration des Aufzeichnungssystems in imc-Studio

C Strecke für Bremswegmessungen durch Abhängeversuche

Situationsplan: Messstrecke und Distanzangaben zwischen Stein-Säckingen und Sisseln

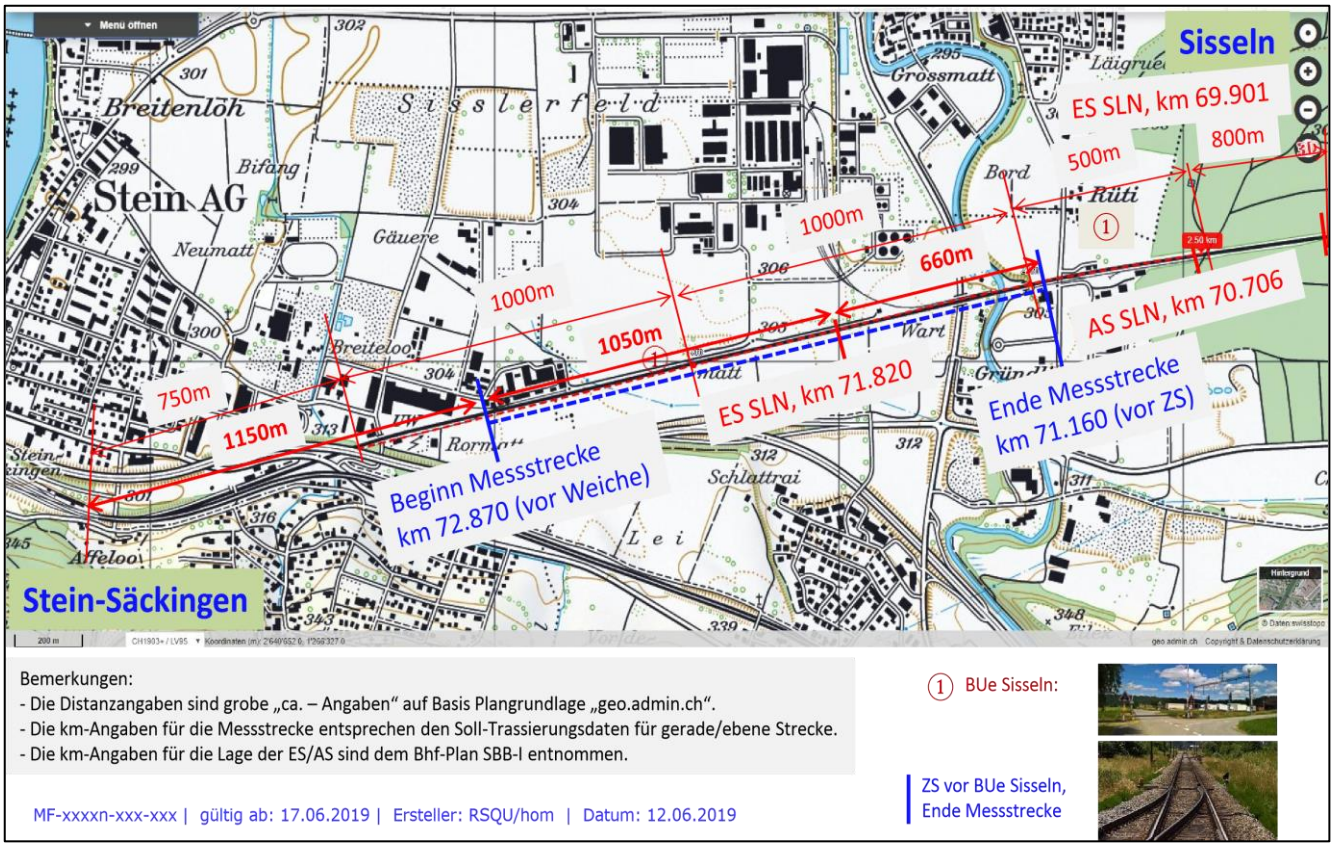


Abbildung C-1 Plan der Messstrecke der Abhängeversuche zwischen Stein-Säckingen und Sisseln

D Messergebnisse

D.1 Ergebnisse Einzelfahrten und Mittelwert

In den folgenden Tabellen sind die geschwindigkeits- und neigungskorrigierten Ergebnisse der Bremsmessung dargestellt.

Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, tare, pC = 1.28 bar

#	RunNo	s_{jkorr} [m]	V_{jnom} [km/h]	λ-Spalte 2	V_{jmess} [km/h]	s_{jmess} [m]	s_{jkorr} [m]	valid [yes/no]	$s_{jkorr} - \bar{s}$ [m]	$-a_m$ [m/s²]	λ UIC-Einzelf.
1	B0109	422	100	2	100.8	428.7	422	ja	3	0.91	115
2	B0111	416	100	2	100.6	421.2	416	ja	-3	0.93	117
3	B0113	413	100	2	101.3	423.7	413	ja	-6	0.93	118
4	B0115	426	100	2	100.8	433.3	426	ja	7	0.90	114
mean value						**$\bar{s}$ =**	**419.3**	ok		0.92	116
	tests:				n ≥	4		ok	4		
					n/(n+u) ≥	70%		ok	100%		
	criterion 1:				σ_n / $\bar{s}$ ≤	3.00%		ok	1%		
	criterion 2:				$\lvert s_e - \bar{s} \rvert$ / ≤	10		ok	7		

Tabelle D-1 Ergebnisse Abhängeversuche unbeladener Wagen, 100 km/h Nominalgeschwindigkeit

Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 120 km/h, 0‰, tare, pC = 1.28 bar

#	RunNo	s_{jkorr} [m]	V_{jnom} [km/h]	λ-Spalte 2	V_{jmess} [km/h]	s_{jmess} [m]	s_{jkorr} [m]	valid [yes/no]	$s_{jkorr} - \bar{s}$ [m]	$-a_m$ [m/s²]	λ UIC-Einzelf.
1	C0117	575	120	2	121.2	587	575	ja	-10	0.97	126
2	C0119	596	120	2	120.6	602	596	ja	11	0.93	121
3	C0121	581	120	2	120.4	585.2	581	ja	-4	0.96	125
4	C0123	587	120	2	120.4	590.6	587	ja	2	0.95	123
mean value						**$\bar{s}$ =**	**584.8**	ok	§	0.95	124
	tests:				n ≥	4		ok	5		
					n/(n+u) ≥	70%		ok	125%		
	criterion 1:				σ_n / $\bar{s}$ ≤	3.00%		ok	1%		
	criterion 2:				$\lvert s_e - \bar{s} \rvert$ / ≤	15		ok	11		

Tabelle D-2 Ergebnisse Abhängeversuche unbeladener Wagen, 120 km/h Nominalgeschwindigkeit

Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, full, pC = 2.8 bar

#	RunNo	s_{jkorr} [m]	V_{jnom} [km/h]	λ-Spalte 2	V_{jmess} [km/h]	s_{jmess} [m]	s_{jkorr} [m]	valid [yes/no]	$s_{jkorr} - \bar{s}$ [m]	$-a_m$ [m/s²]	λ UIC-Einzelf.
1	F0231	700	100	2	100.6	708	700	ja	0	0.55	65
2	F0233	695	100	2	100.5	701.9	695	ja	-5	0.56	66
3	F0235	711	100	2	100.2	714.1	711	ja	11	0.54	64
4	F0237	695	100	2	100.5	701.9	695	ja	-5	0.56	66
mean value						$\bar{s}$ =	**700.3**	ok		0.55	65

tests:				n ≥	4		ok	4
				n/(n+u) ≥	70%		ok	100%
criterion 1:				$\sigma_n / \bar{s} \leq$	3.00%		ok	1%
criterion 2:				$\lvert s_e - \bar{s} \rvert / \leq$	13		ok	11

Tabelle D-3 Ergebnisse Abhängeversuche vollbeladen Wagen, 100 km/h Nominalgeschwindigkeit

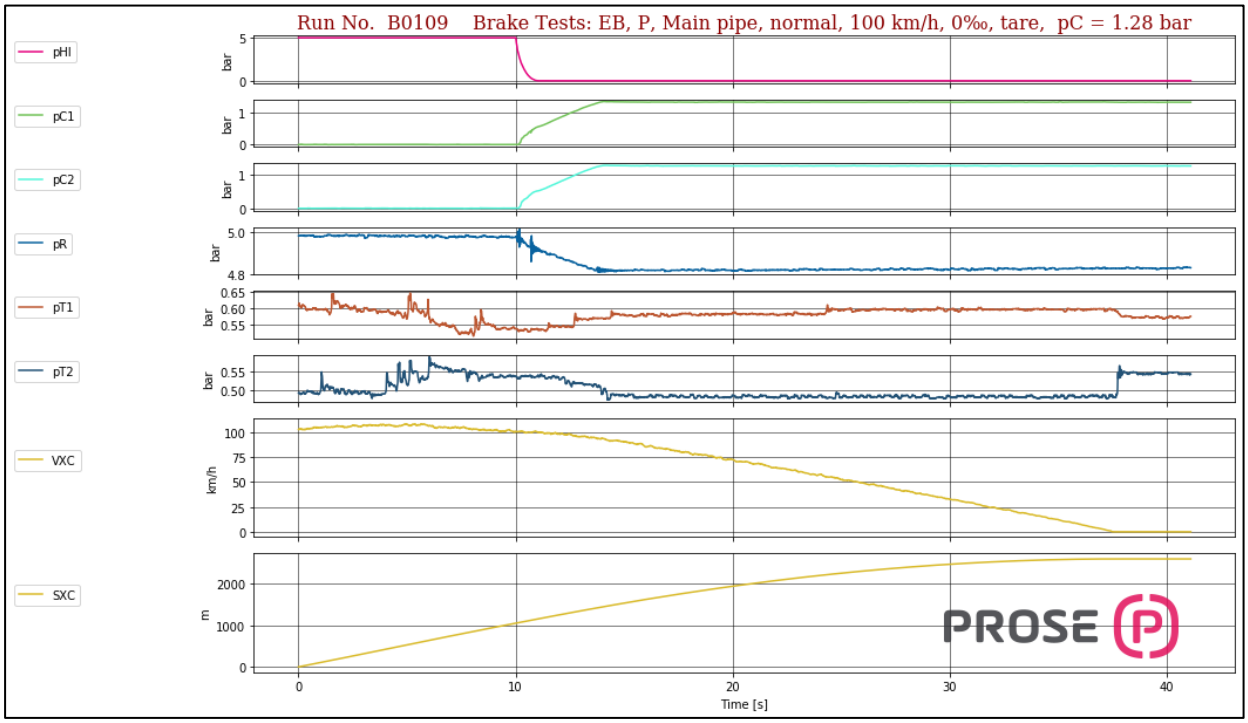
Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, half, pC = 2.8 bar

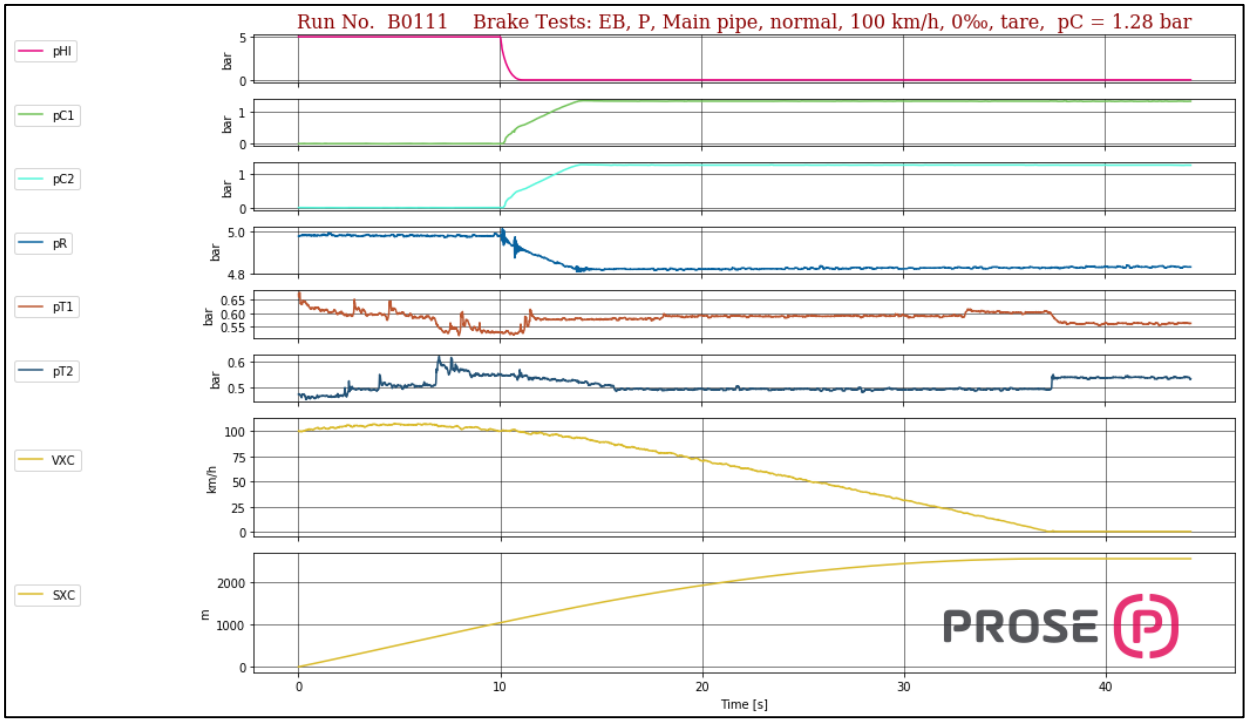
#	RunNo	s_{jkorr} [m]	V_{jnom} [km/h]	λ-Spalte 2	V_{jmess} [km/h]	s_{jmess} [m]	s_{jkorr} [m]	valid [yes/no]	$s_{jkorr} - \bar{s}$ [m]	$-a_m$ [m/s²]	λ UIC-Einzelf.
1	G0339	482	100	2	100.6	488.3	482	yes	-1	0.80	100
2	G0341	488	100	2	100.7	494.4	488	yes	5	0.79	98
3	G0343	480	100	2	101.5	494.4	480	yes	-3	0.80	100
4	G0345	487	100	2	100.8	494.4	487	yes	4	0.79	99
5	G0347	484	100	2	100.4	488.3	484	yes	1	0.80	99
mean value						$\bar{s}$ =	**483.3**	ok		0.80	99

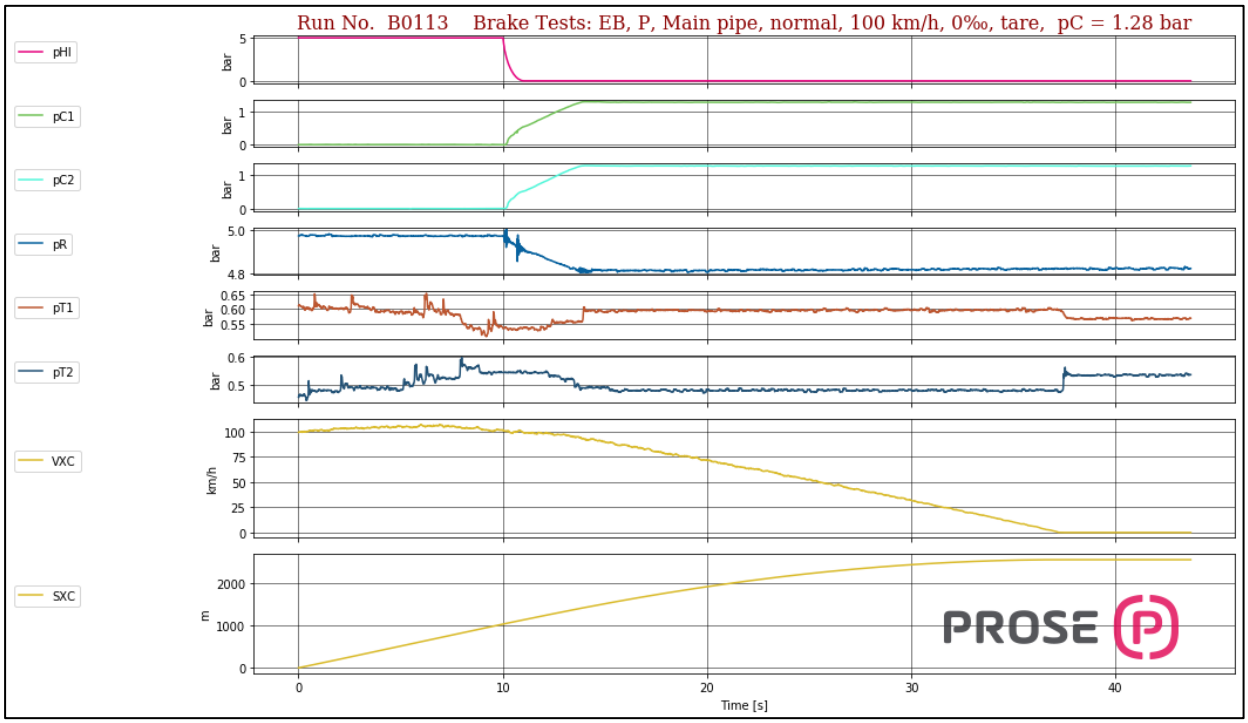
tests:				n ≥	4		ok	4
				n/(n+u) ≥	70%		ok	133%
criterion 1:				$\sigma_n / \bar{s} \leq$	3.00%		ok	1%
criterion 2:				$\lvert s_e - \bar{s} \rvert / \leq$	7		ok	5

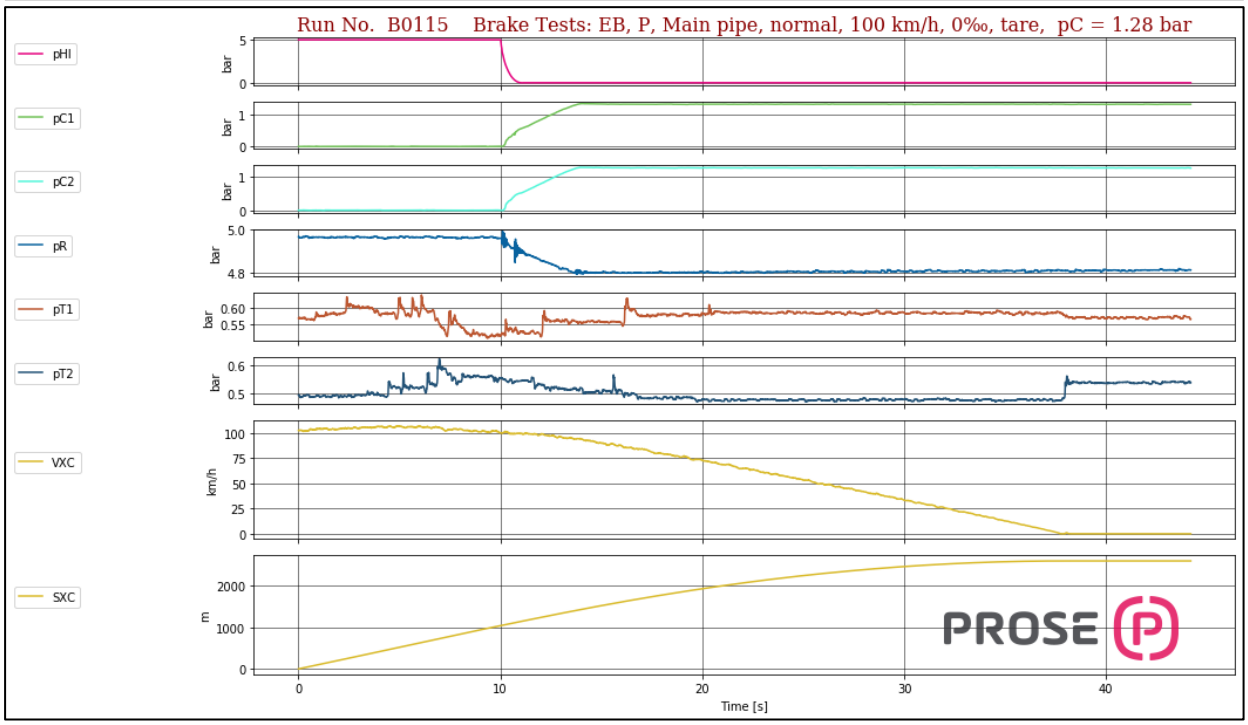
Tabelle D-4 Ergebnisse Abhängeversuche teilbeladener Wagen, 100 km/h Nominalgeschwindigkeit

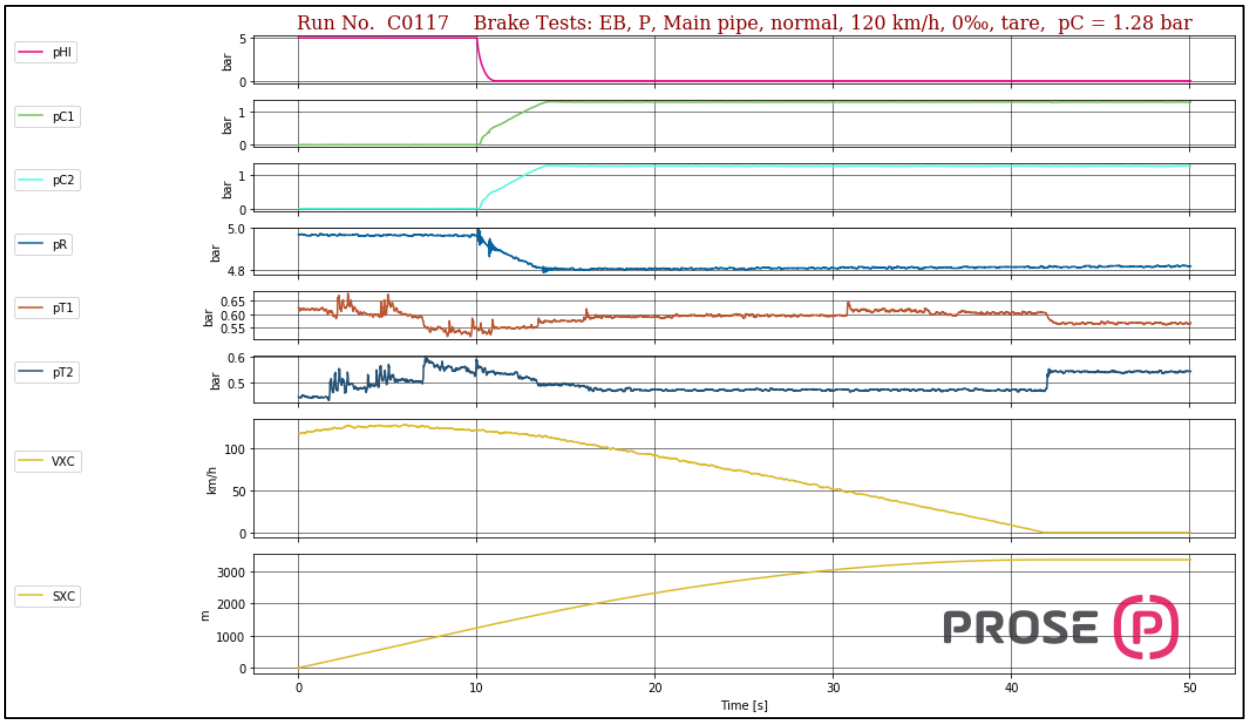
D.2 Graphische Darstellung Einzelmessungen

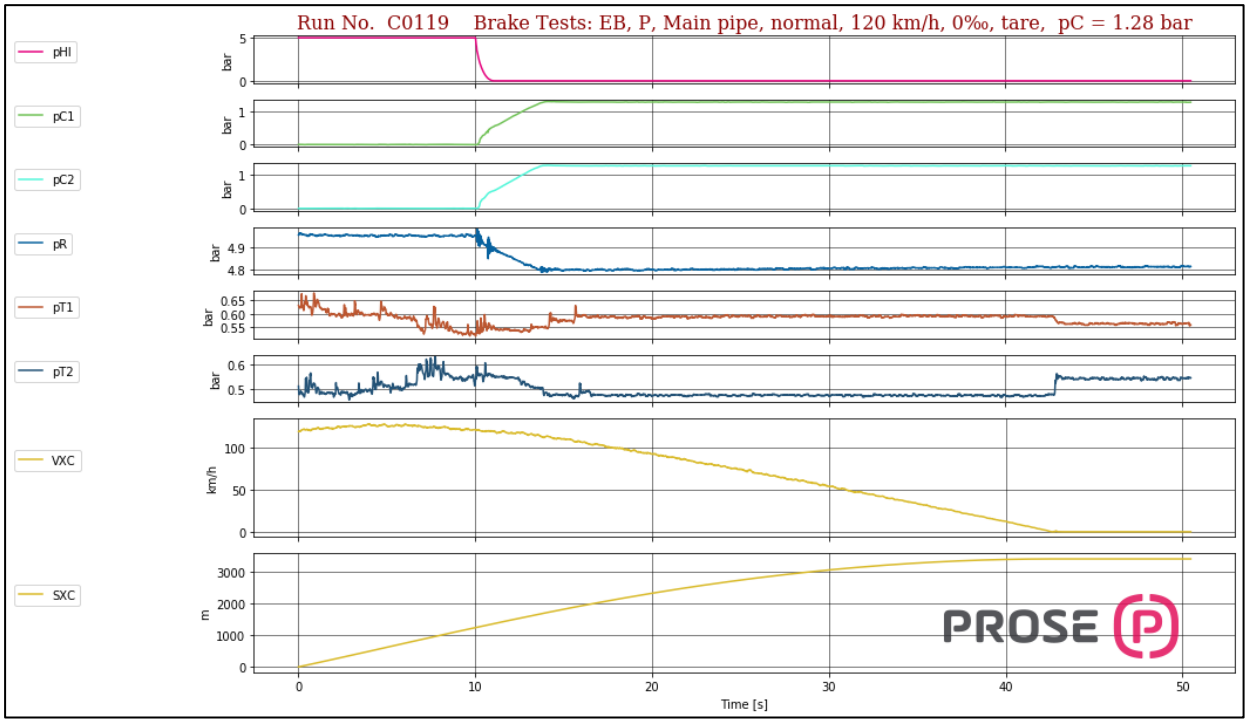


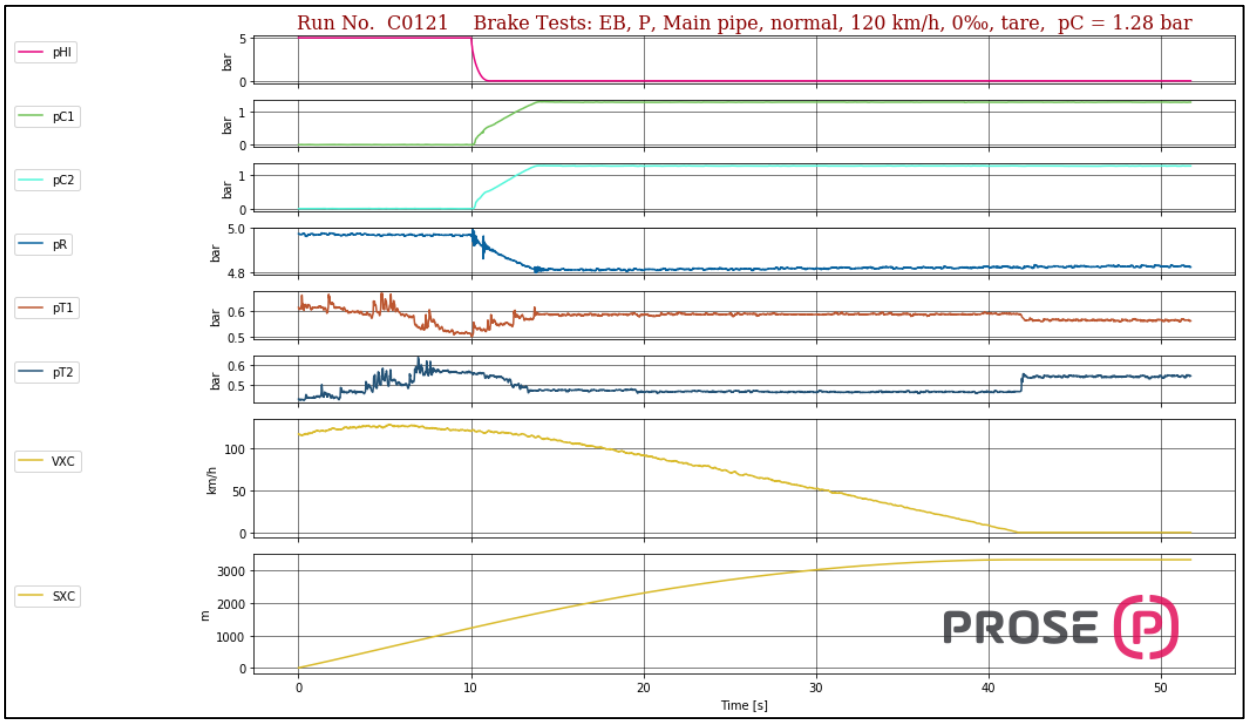


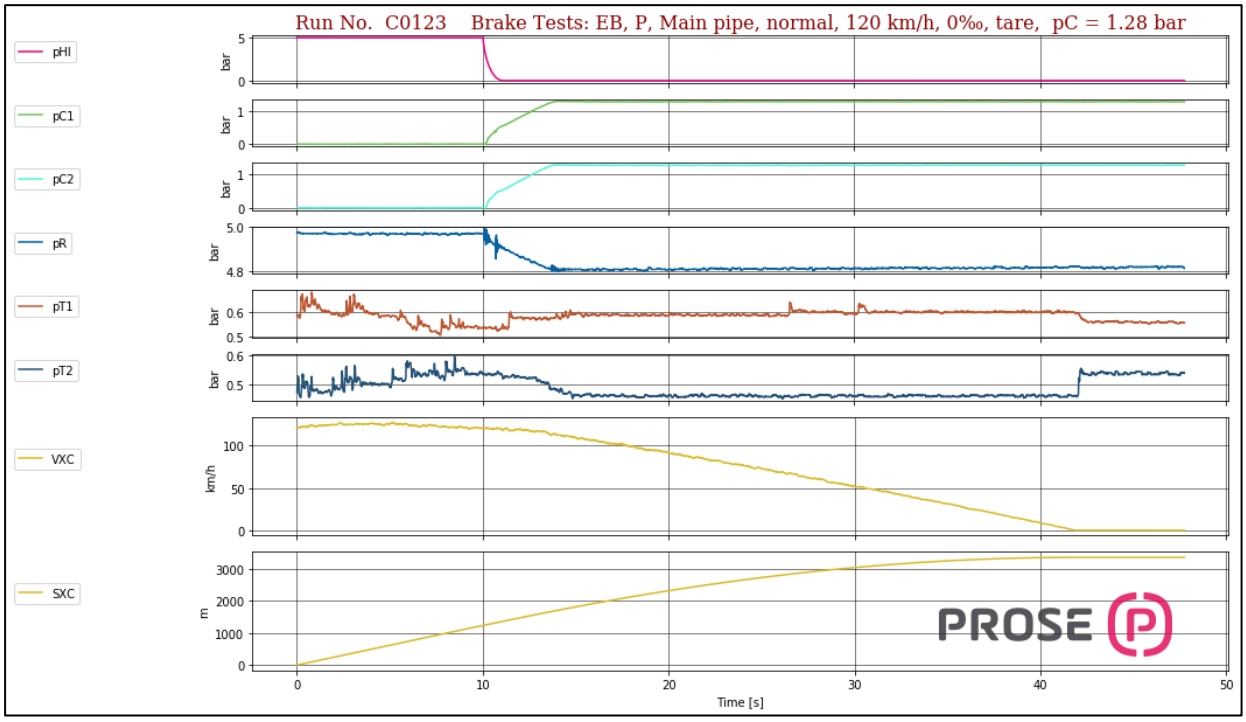

Run No. B0113 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, tare, pC = 1.28 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

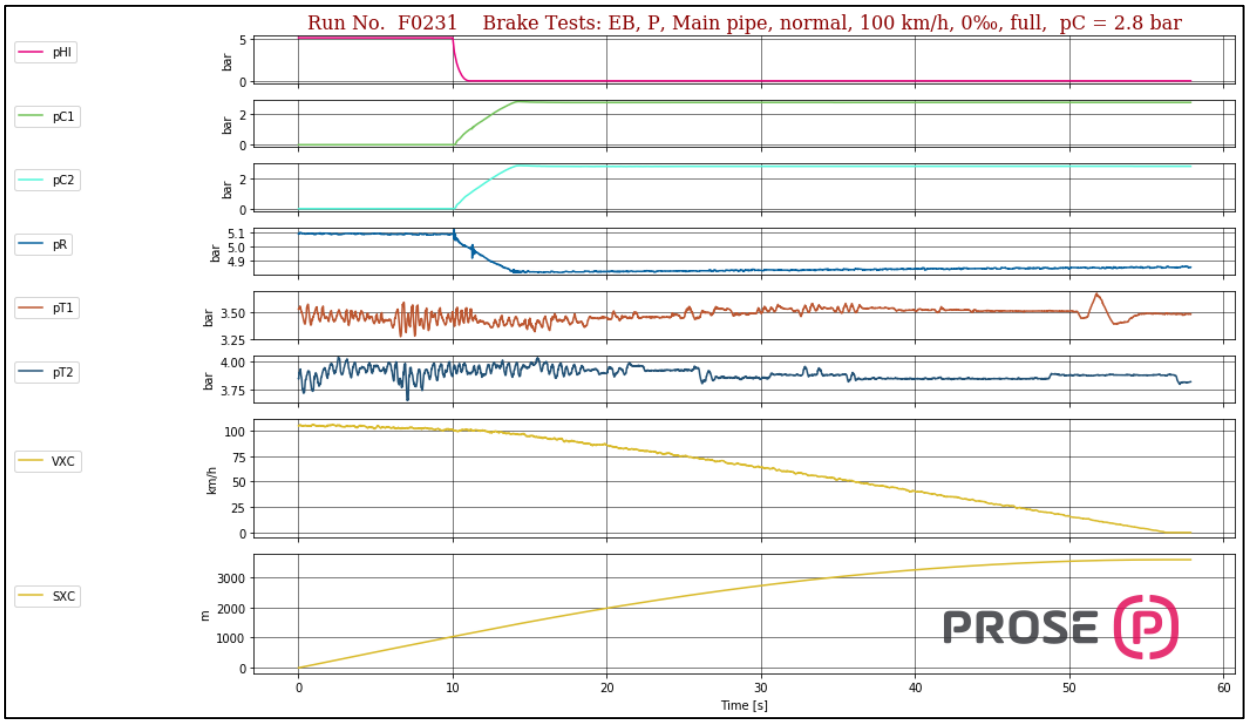

Run No. B0115 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, tare, pC = 1.28 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

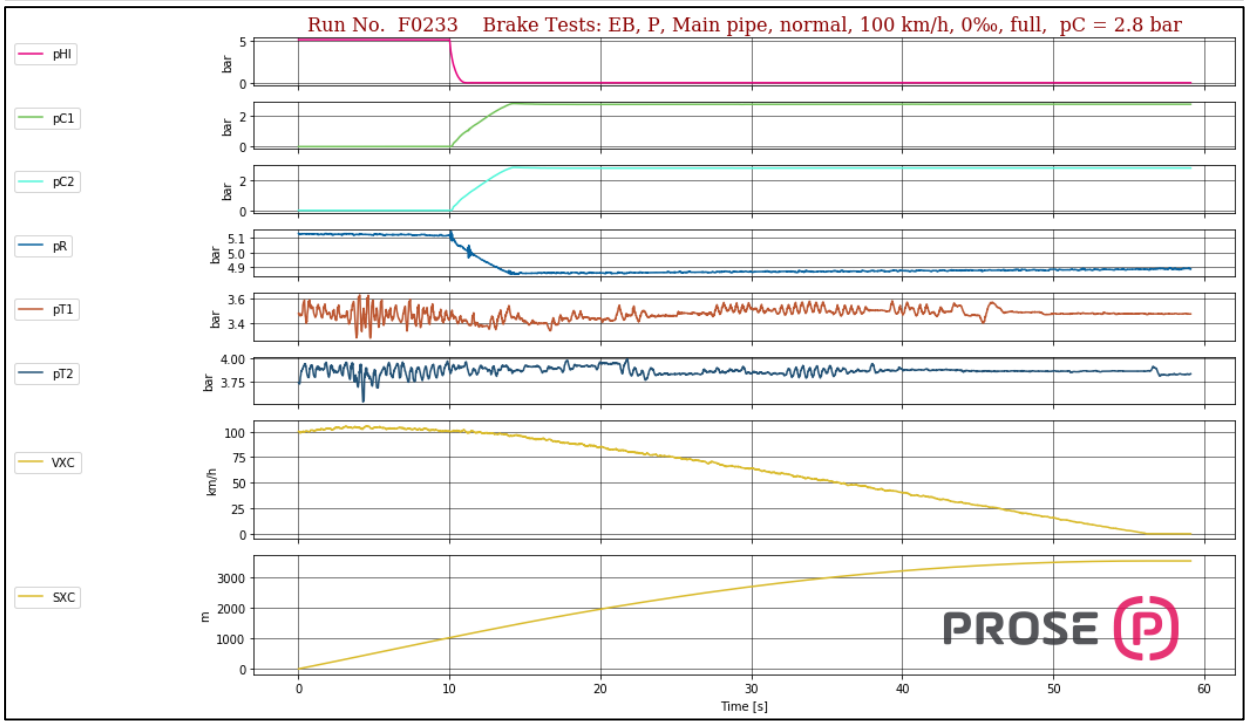

Run No. C0117 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 120 km/h, 0‰, tare, pC = 1.28 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

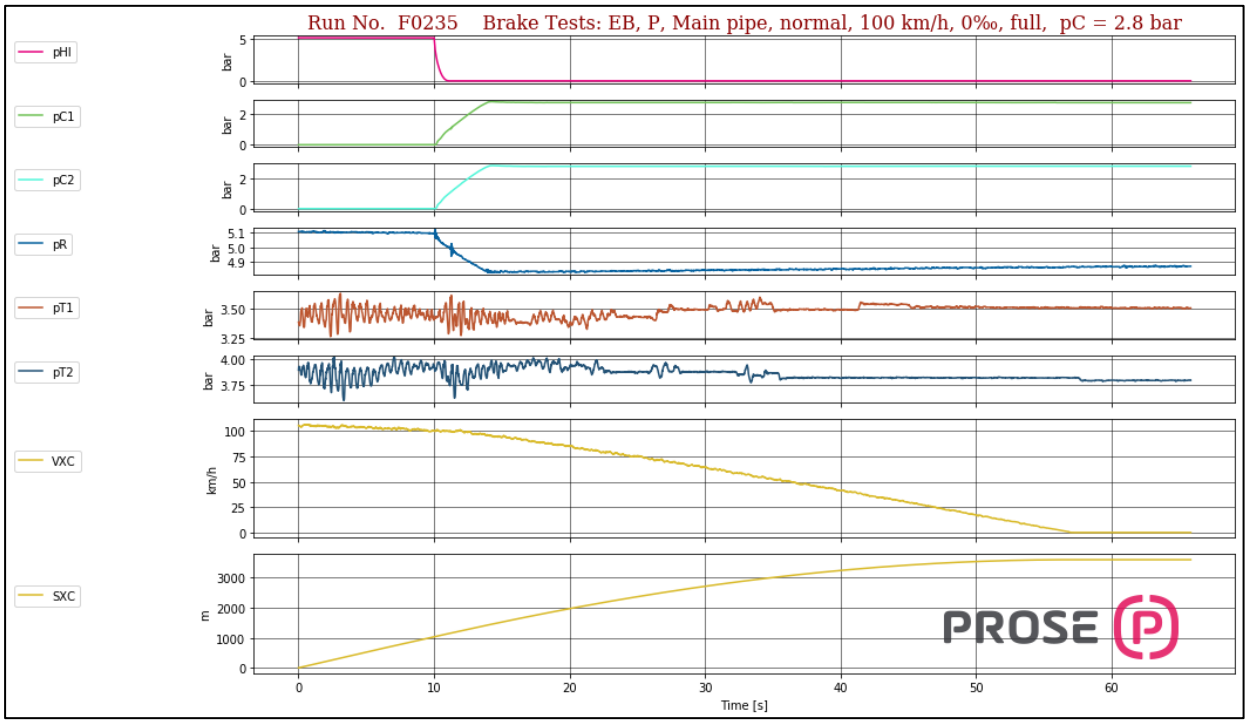

Run No. C0119 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 120 km/h, 0‰, tare, pC = 1.28 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

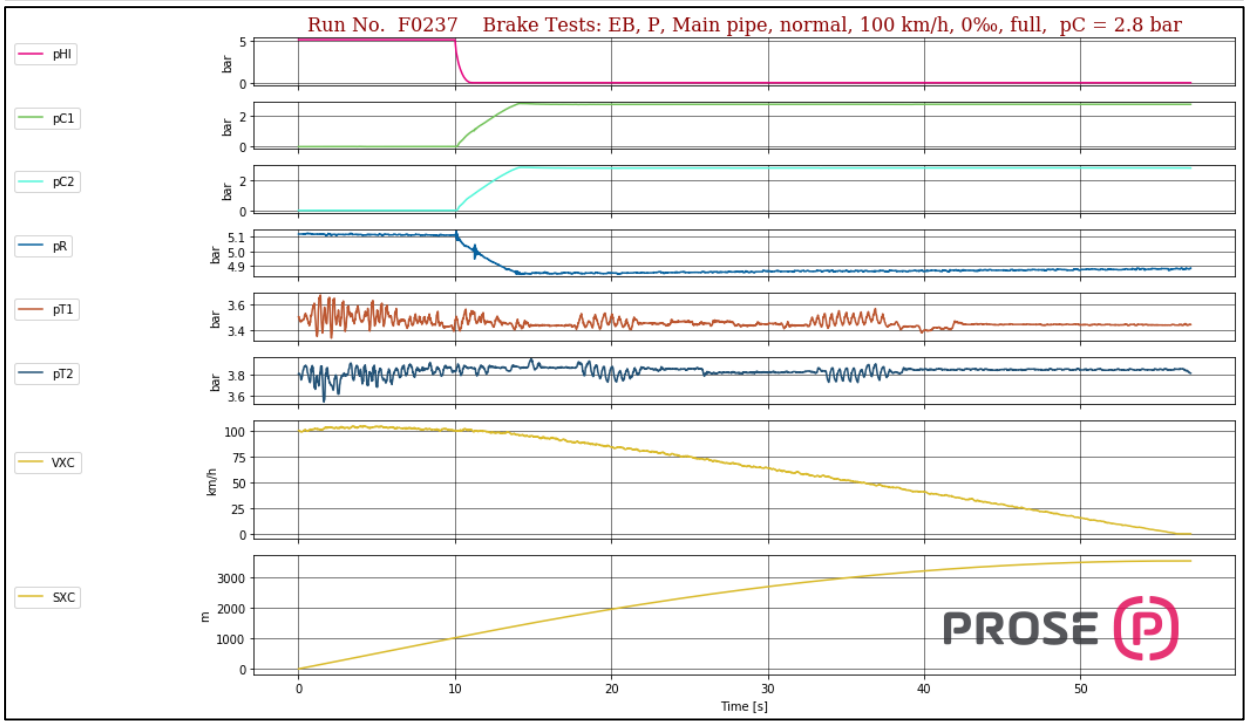

Run No. C0121 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 120 km/h, 0‰, tare, pC = 1.28 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

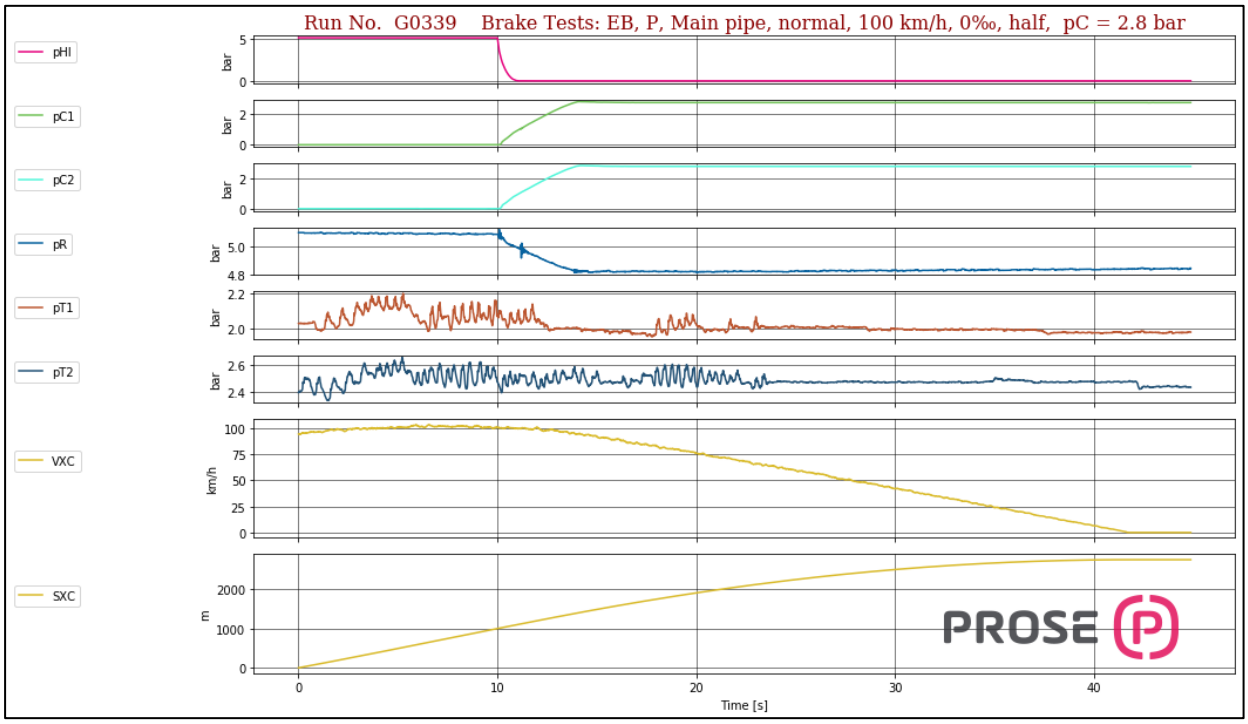

Run No. C0123 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 120 km/h, 0‰, tare, pC = 1.28 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

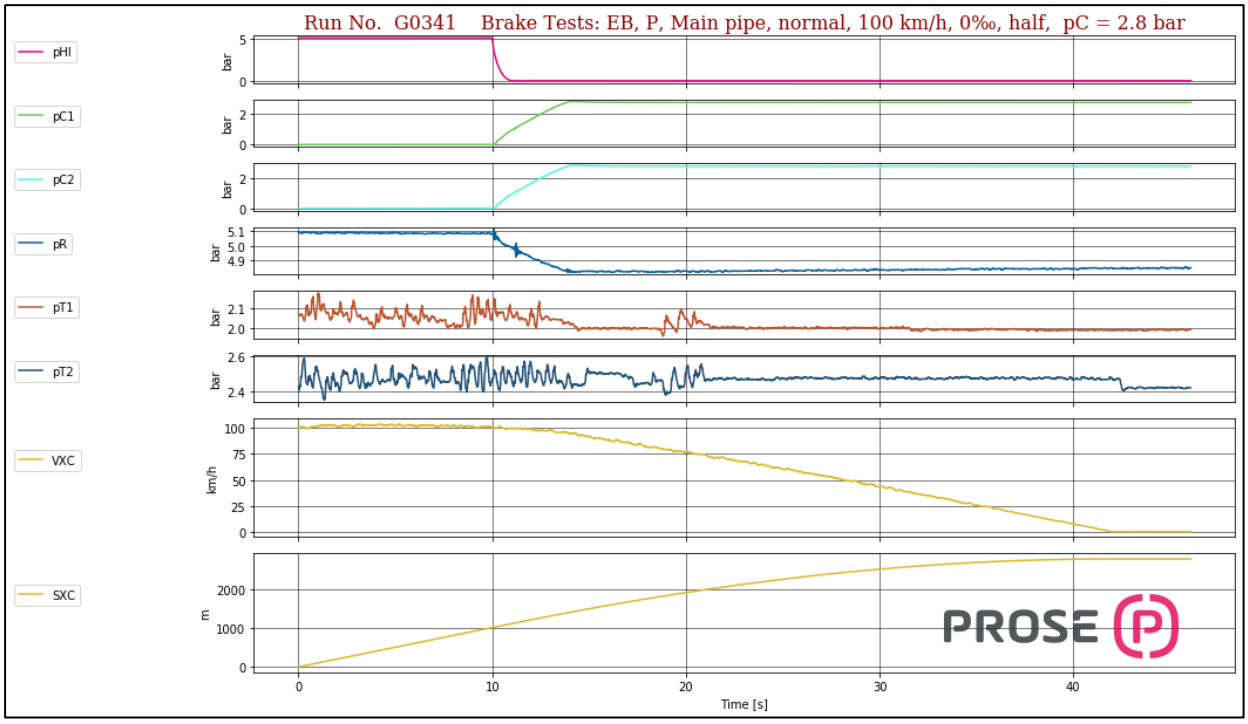

Run No. F0231 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, full, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

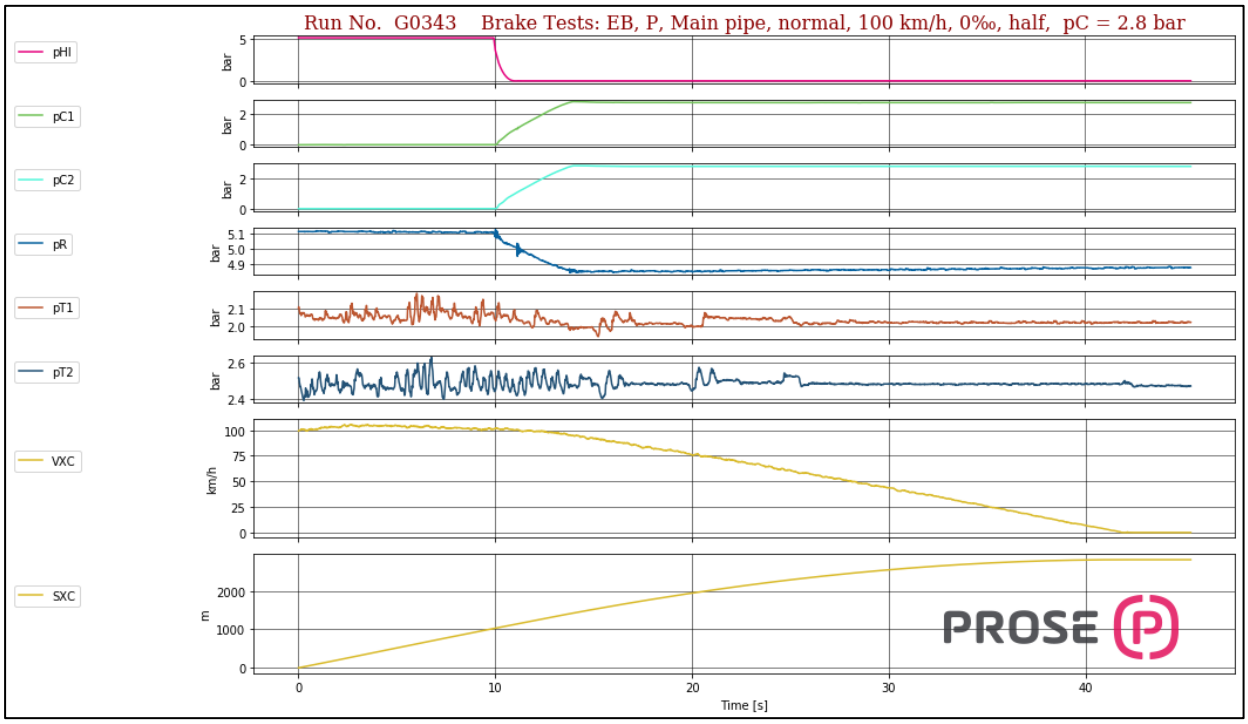

Run No. F0233 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, full, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

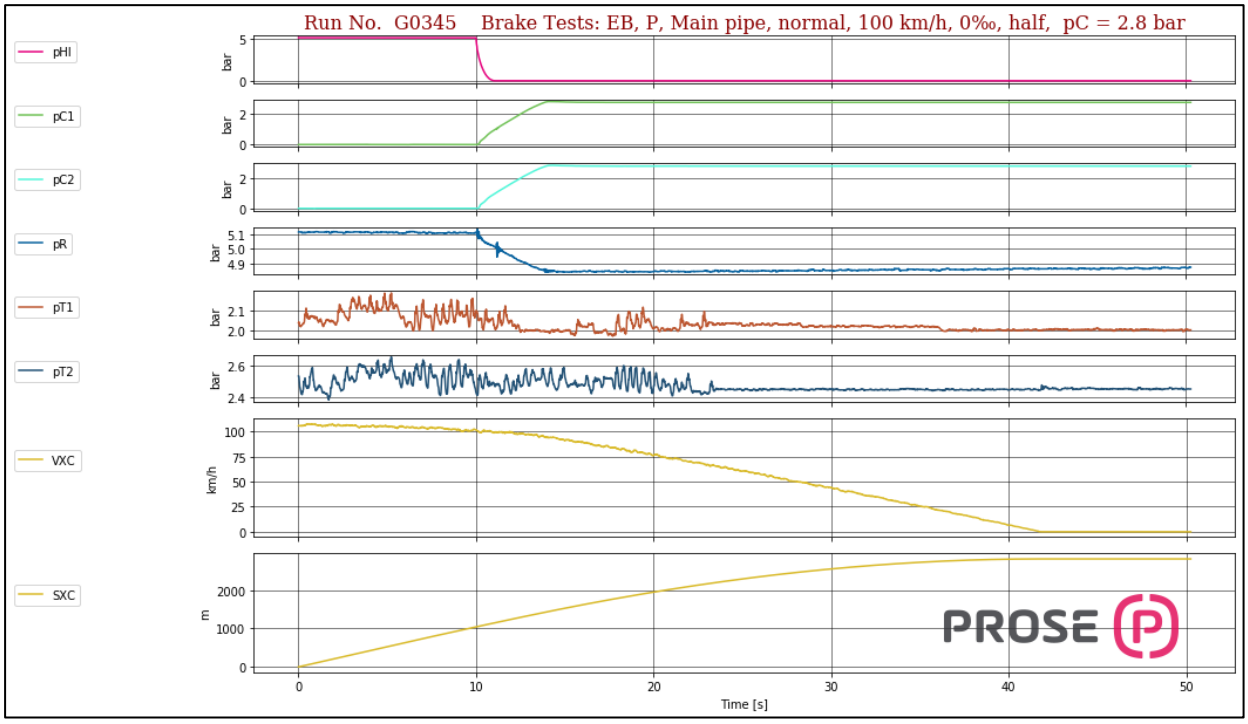

Run No. F0235 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, full, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

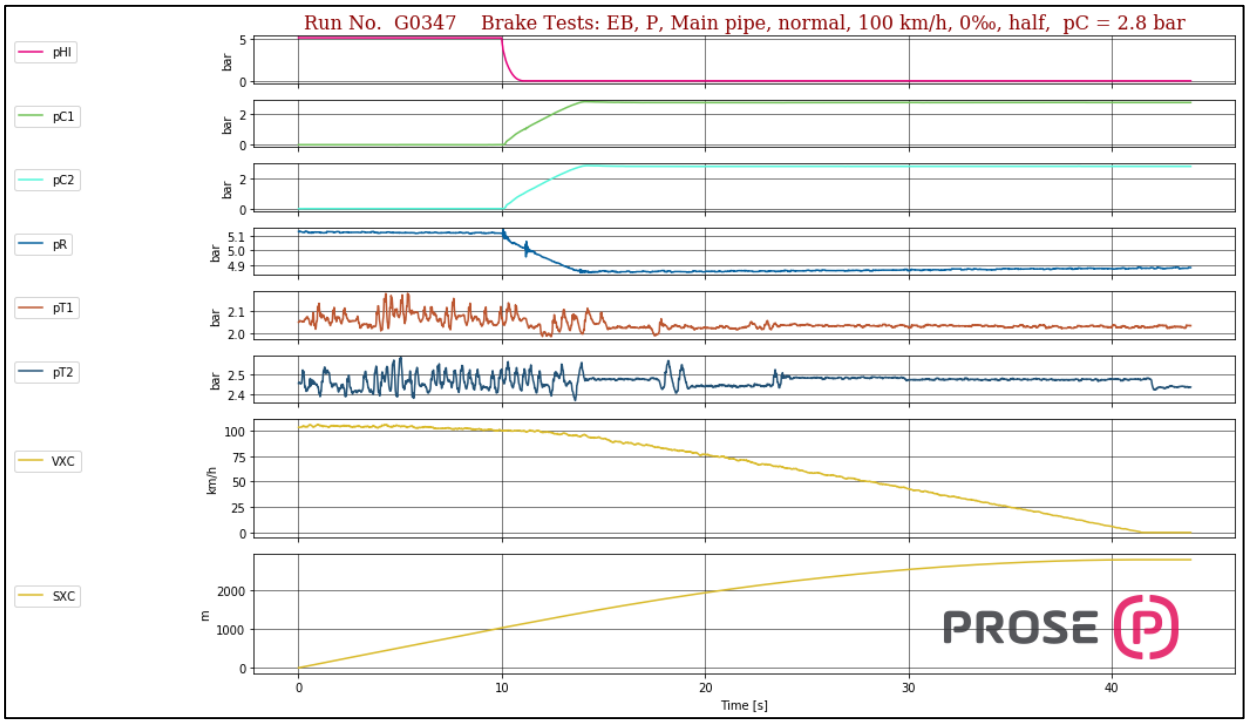

Run No. F0237 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, full, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE


Run No. G0339 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, half, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE


Run No. G0341 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, half, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE


Run No. G0343 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, half, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE


Run No. G0345 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, half, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE


Run No. G0347 Brake Tests: EB, P, Main pipe, normal, 100 km/h, 0‰, half, pC = 2.8 bar
pHI
pC1
pC2
pR
pT1
pT2
VXC
SXC
bar
km/h
m
Time [s]
PROSE

6.3 Prüfbericht zur Simulationsberechnung

ARGECARE



MKS-Simulation zur Preisberechnung nach 2016-09-21_NZV-BAV_TP2017_Anleitung_DE_Verschleissfaktor _Fahrbahn

Auftraggeber: ELH GmbH
Bestellung: 201861980

Ing. Büro Kik - ArgeCare, Templin, 28.10.2019
Dipl.-Ing. Bernd Fischer
Dr.-Ing. Walter Kik

Kontaktadresse:
Walter Kik
Ing.-Büro Kik - ArgeCare
Gandenitzer Weg 9
17268 Templin

Tel. : +49 3987 201937
Fax. : +49 3987 201938
e-mail : walter.Kik@argecare.eu

09.10.2019

1. Aufgabenstellung

Das Modell des 4-achsigen Containertragwagen Sgnss, Typ 9-539 mit dem 2-achsigen Drehgestell RC25NT-D
wurde mit dem Mehrkörperprogramm MEDYNA 9.3.1 entsprechend den Vorgaben in NZV-BAV_TP2017_Anleitung DE Verschleissfaktor Fahrbahn für die Beladungsstufen

1. #AL 4_8 Leerer Wagen – 4,4 t
2. #Al 8_12 10,0 t
3. #AL12_16 14,0 t
4. #AL16_20 18,0 t
5. #AL20_24 22,0 t

in den Radienbändern

1. R ≤ 300 270 m
2. 300 < R ≤ 400 343 m
3. 400 < R ≤ 600 480 m
4. 600 < R ≤ 1200 800 m

simuliert.

Die Simulationen wurden von:

1. Dr.-Ing. Walter Kik

- 1965 – 1971 Studium der Luft- und Raumfahrt, TU-Berlin.
- 1972 - 1977 Assistent an der TU-Berlin, Fachbereich Verkehrswesen
- 1977/78 Mitarbeit im Railway Technical Centre, Derby
- 1979 – Dissertation: Numerische Untersuchung laufstabilisierender Massnahmen an Eisenbahnfahrzeugen
- 1978 -1986 Wiss. Mitarbeiter TU-Berlin, Forschungsprojekt: Grenzen des Rad-Schiene Systems, Mitarbeit an Simulationswerkzeug MEDYNA, Durchführiung Bogenlaufuntersuchung RSVD
- 1986 Ing. Büro Kik - ArgeCare - Arbeitsgemeinschaft Computer Aided Railways Engineering Vertrieb und Weiterentwicklung des Simulationswerkzeugs MEDYNA
  1998 Entwicklung der Rad-Schiene Verbindungselemente ADAMS-Rail heute VI-Rail
  2010 Elastisches Rad-Schiene Verbindungselement für Simpack
- Vorhaben mit DB-System München,
  1. Konzeptstudie ‚Integrales Langfahrzeug‘
  2. Entwicklung Verschleissmodul, Spannungsberechnung
  3. DYSAF WP2.5 Multiparameterkriterien der Entgleisungssicherheit,
  4. Und weitere Projekte …
- Auslegungs- und Nachweisrechnungen für Fahrzeugmodelle von:
  1. MAN-NT Koppelrahmendrehgestell
  2. Waggon-Union MD52
  3. Vossloh G6, HSG
  4. ELH RC25NT, …

2. Dipl.-Ing. Bernd Fischer
   - 1965 - 1972 Studium d. Maschinenbaus an d. TU Berlin, im Hauptstudium.
     Spezialisierung auf Theoret. Maschinenbau - Techn. Mechanik
   - 1970 - 1972 Stud. Mitarbeiter am ILR d. TU Berlin, Prof. Giencke
     Arbeitsinhalte: Finite Berechnungsverfahren, Programmierung
     entsprechender Algorithmen
   - 1972 - 1977 Wiss. Mitarbeiter / wiss. Assistent am vorgenannten Institut.
     Weiterarbeit an den als o.g. Arbeiten. Mitarbeit in der Lehre.
     Ab ende 1973 Mitarbeit in der Rad-/Schiene-Arbeitsgruppe am ILR (Prof. Knothe, Prof. Gasch) Entwicklung eines Programms zur Erfassung elastischer Eigenschaftenvon Körpern in MKS-Systemen.
   - 1977 - 1979 Abschluß der vorgenannten Arbeit
   - 1979 - 1991 Freier Mitarbeiter der MAN-Technologie GmbH. Dabei Entwicklung
     der Kopplung eines MKS-Programms mit dem genannten Präprozessor,
     Beratung bei der Anwendung der entstandenen "hybriden" Software
     bei Windturbinen und grossen Druckanlagen.
     Eigenschwingungsrechnungen für das RSVD (im Rahmen von ZFF II);
     Ergebnisse als Eingaben für das MKS-Programm MEDYNA.
   - 1985 - 1994 Lehrbeauftragter an der TFH Berlin im Fach "Problemorientiertes
     Programmieren und numerische Mathematik (parallel zu den anderen Tätigkeiten.
   - 1991 - 1993 Freiberufliche Arbeit, u. a. Zusammenarbeit mit Dr.Ing. W.Kik.
   - Ab 1993 Arbeit im Rahmen von ArgeCare mit Dr.Ing. Kik, Dr.Ing. Moelle, Dipl.Ing. Rainer Menssen
     Arbeitsinhalte (u.a.):
     - Portierung von MEDYNA auf UNIX-Systeme
     - Erweiterungen von MEDYNA,
       Entwicklung von Prä- und Postprozessoren für MEDYNA
     - Mitarbeit bei verschiedenen Auslegungs-/Nachweisrechnungen
       (Modellierung , Eingabedatensätze für MEDYNA, Testrechnungen etc.)

Inhalt

1. Aufgabenstellung 2

2. Radaufstandskräfte / Wiegeprotololl 7

3. Eigenwertanalyse des beladenen Fahrzeugmodells (22 t Achslast) 8

4. Ergebnisplots der relevanten führenden Radsätze 20

4.1 Verschleisskennziffern 20

5. Querkraft in Weichen Yw185 44

6. Modellbeschreibung 48

6.1 Körper 48

6.1 Verbindugselemente 49

6.1.1 Geometriedaten 49

6.2.2 Eigenschaften der Koppelelemente 51

6.1.3 Kenndaten der Koppelelemente 52

6.2.4 Kennlinien der Koppelelemente 53

7. Anhang 58

7.1 Modellnummern 58

7.2 Unterlagen 59

Abbildungsverzeichnis

Tab. 1: Leeres Fahrzeug (14t) 7 6
Tab. 2: Fahrzeug beladen (22 t) 7 6
Tab. 3: Mittlere Verschleißkennziffern 20 6
Tab. 4: Massendaten 49 6
Tab. 5: Eigenschaften der Koppelelemente 53 6
Bild 1: Eigenformen bis 20 Hz 19
Bild 2: Mittleren Verschleißkennziffer bei verschiedenen Achslasten als Funktion des Bogenradius 20
Bild 3: Radius 1200 m , v =120 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 21
Bild 4: Radius 1200 m , v =120 km/h, Achslast 10 t 21
Bild 5: Radius 1200 m , v =120 km/h, Achslast 14 t 22
Bild 6: Radius 1200 m , v =120 km/h, Achslast 18 t 22
Bild 7: Radius 1200 m , v =120 km/h, Achslast 22 t 23
Bild 8: Radius 800 m, v = 120 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 23
Bild 9: Radius 800 m, v = 120 km/h, Achslast 10 t 24
Bild 10: Radius 800 m, v = 120 km/h, Achslast 14 t 24
Bild 11: Radius 800 m, v = 120 km/h, Achslast 18 t 25
Bild 12: Radius 800 m, v = 120 km/h, Achslast 22 t 25
Bild 13: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 26
Bild 14: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Achslast 10 t 26
Bild 15: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Achslast 14 t 27

Bild 16: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Achslast 18 t 27
Bild 17: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Achslast 22 t 28
Bild 18: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 28
Bild 19: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Achslast 10 t 29
Bild 20: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Achslast 14 t 29
Bild 21: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Achslast 18 t 30
Bild 22: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Achslast 22 t 30
Bild 23: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 31
Bild 24: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Achslast 10 t 31
Bild 25: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Achslast 14 t 32
Bild 26: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Achslast 18 t 32
Bild 27: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Achslast 22 t 33
Bild 28: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 33
Bild 29: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Achslast 10 t 34
Bild 30: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Achslast 14 t 34
Bild 31: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Achslast 18 t 35
Bild 32: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Achslast 22 t 35
Bild 33: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 36
Bild 34: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Achslast 10 t 36
Bild 35: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Achslast 14 t 37
Bild 36: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Achslast 18 t 37
Bild 37: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Achslast 22 t 38
Bild 38: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 38
Bild 39: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Achslast 10 t 39
Bild 40: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Achslast 14 t 39
Bild 41: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Achslast 18 t 40
Bild 42: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Achslast 22 t 40
Bild 43: Radius 250 m, v = 77 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t 41
Bild 44: Radius 250 m, v = 77 km/h, Achslast 10 t 41
Bild 45: Radius 250 m, v = 77 km/h, Achslast 14 t 42
Bild 46: Radius 250 m, v = 77 km/h, Achslast 18 t 42
Bild 47: Radius 250 m, v = 77 km/h, Achslast 22 t 43
Bild 48: Maximalwerte der Querkraft Yw185 als Funktion der Achslast 44
Bild 49: Querkraft Y_{w185} bei leerem Fahrzeug, Achslast 4,4 t 44
Bild 50: Querkraft Y_{w185} bei einer Achslast von 10 t 45
Bild 51: Querkraft Y_{w185} bei einer Achslast von 14 t 46
Bild 52: Querkraft Y_{w185} bei einer Achslast von 18 t 47
Bild 53: Querkraft Y_{w185} bei einer Achslast von 22 t 47
Bild 54: Verwandte Koordinatensysteme 48
Bild 55: MEDYNA elastisches Kontaktmodell, relative Lage der Rad-Schienenprofile, in die Zeichenebene geklappte Kontaktflächen, Kräfte in den kontaktflächen und resultierende Quer-, Vertikalkraft und Momentkraftvektor aus Längskraft 52
Bild 56: 3 D Symmetrischer Anschlag 80 in x, y, z 53
Bild 57: 1 dimensionaler Anschlag 81 54

Bild 58: Achsfeder, oben Vertikalkraft fz als Funktion der vertikalen Deformation z, unten Längs- und Quersteifigkeiten kx, ky als Funktion der Vertikalkraft fz 55
Bild 59: Hydraulische Dämpfer cy und cz, Kraft als Funktion der Deformationsgeschwindigkeit ... 56
Bild 60: Coulombscher Reiber mit Spiel 56
Bild 61: TKS-Sekundärfeder, Kraft als Funktion der Eindrückung 57

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Leeres Fahrzeug (14t) 7
Tab. 2: Fahrzeug beladen (22 t) 7
Tab. 3: Mittlere Verschleißkennziffern 20
Tab. 4: Massendaten 49
Tab. 5: Eigenschaften der Koppelelemente 52

2. Radaufstandskräfte / Wiegeprotololl

	Simulation		Messung ????	
	Qi1 kN	Qi2 kN	Qi1 kN	Qi2 kN
Q1j	22,49	22,58	34,5	33,1
Q2j	22,50	22,63	33,5	34,3
Q3j	20,51	20,60	34,4	32,8
Q4j	20,52	20,65	32,9	34,8

Tab. 1: Leeres Fahrzeug (6,9t)

	Simulation		Messung / es liegen keine vor	
	Qi1 kN	Qi2 kN	Qi1 kN	Qi2 kN
Q1j	108,88	108,89		
Q2j	108,90	108,93		
Q3j	106,90	106,91		
Q4j	106,91	106,96		

Tab. 2: Fahrzeug beladen (22 t)

3. Eigenwertanalyse des beladenen Fahrzeugmodells (22 t Achslast)

Methode: Taylor-Linearisierung um Nullpunkt.

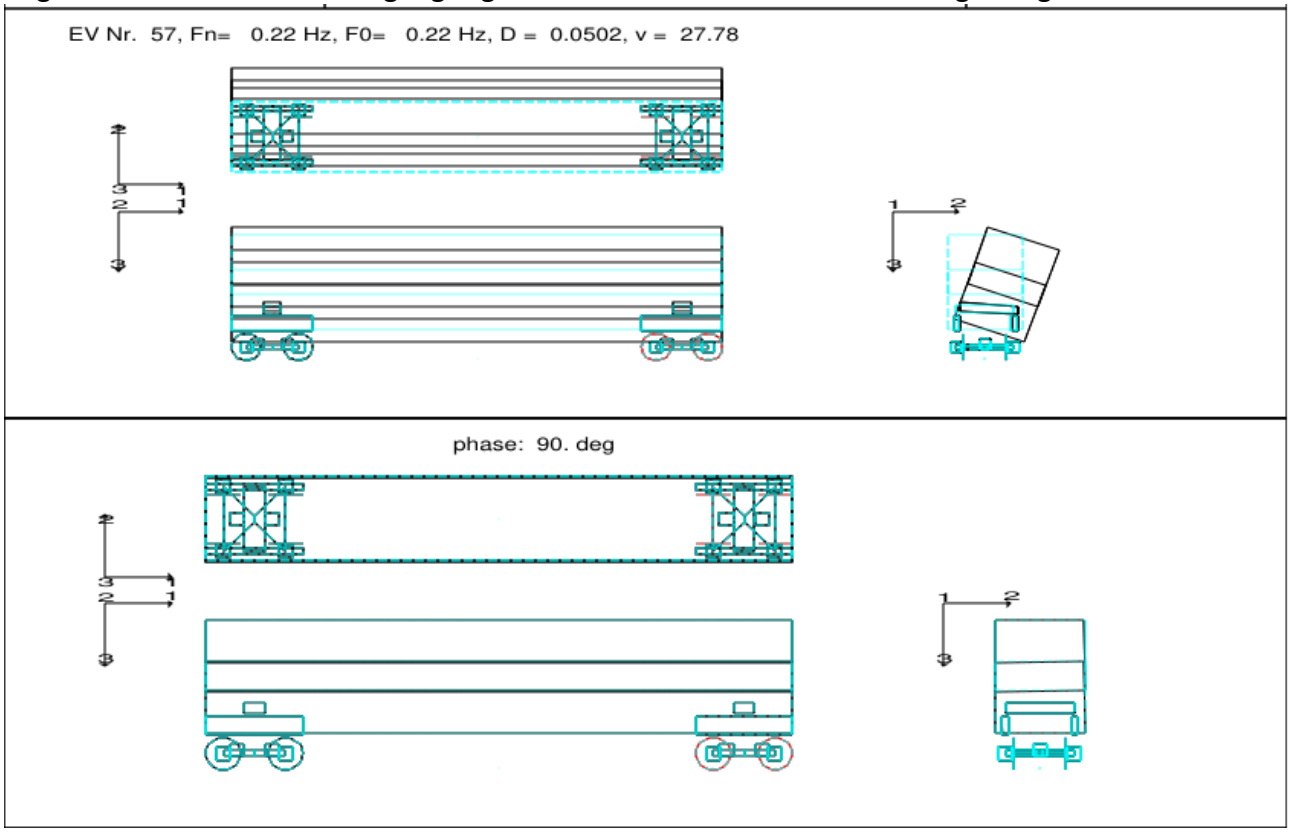
- Aperiodische Eigenwerte sind nicht aufgeführt. Deswegen beginnen die Eigenwerte mit dem Index 57.
- Fn ist die natürliche Frequenz, Imaginärteil des Eigenwerts durch 2 Pi.
- F0 die Frequenz aus Imaginärteil dividiert durch Betrag aus Imaginärteil und Realteil des Eigenwerts
- D ist das Dämpfungsmass, Realteil dividiert durch Betrag aus Imaginärteil und Realteil des Eigenwerts

In den Schwingungsdiagrammen sind 90 Grad phasenverschoben die Körper

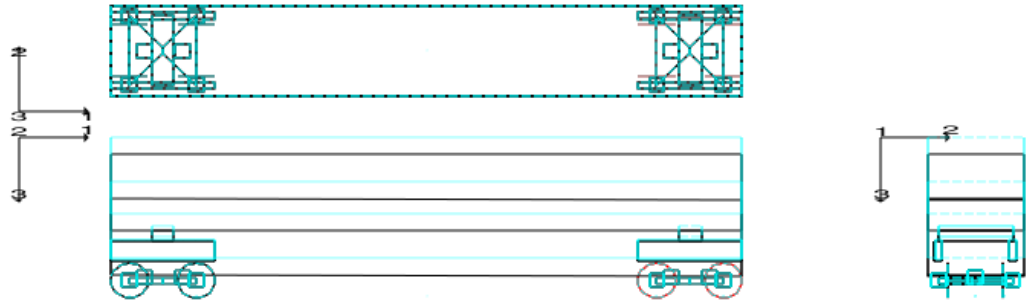
1. Untergestell
2. Container / Aufbau
3. DG Querträger
4. DG Längsträger
5. Deichseln
6. Achslager
7. Radsätze

dargestellt.

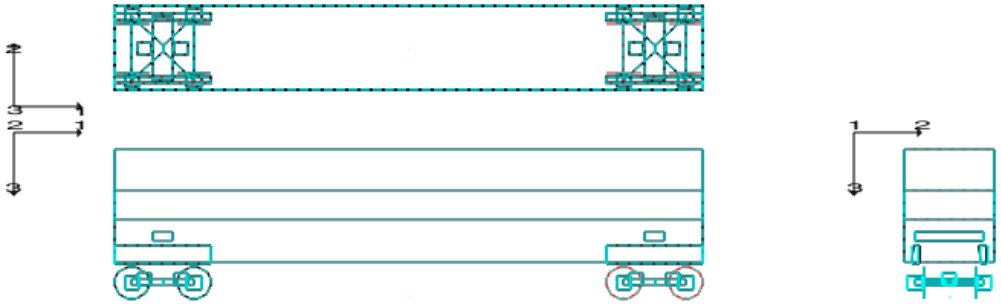
In grünen Strichen ist die Ausgangslage und schwarz die verschobenen Lage dargestellt.



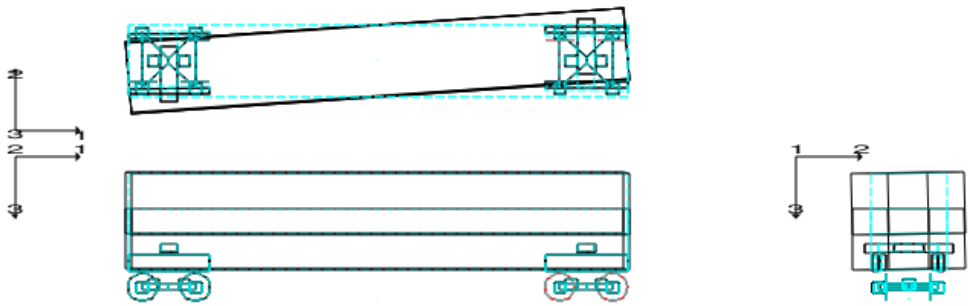
EV Nr. 59, Fn= 0.75 Hz, F0= 0.75 Hz, D = 0.0582, v = 27.78



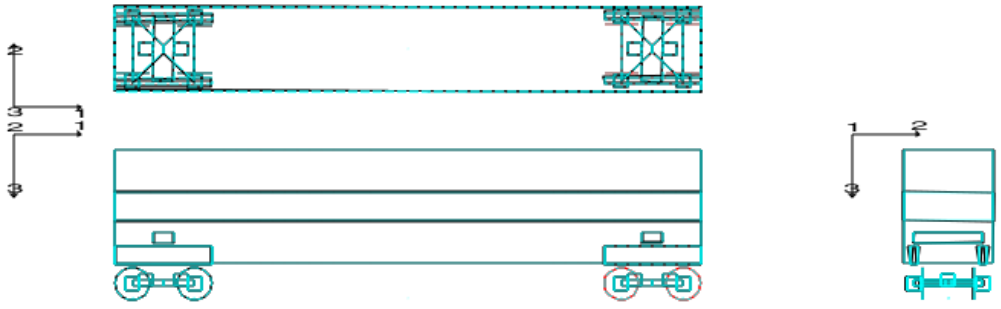
phase: 90. deg

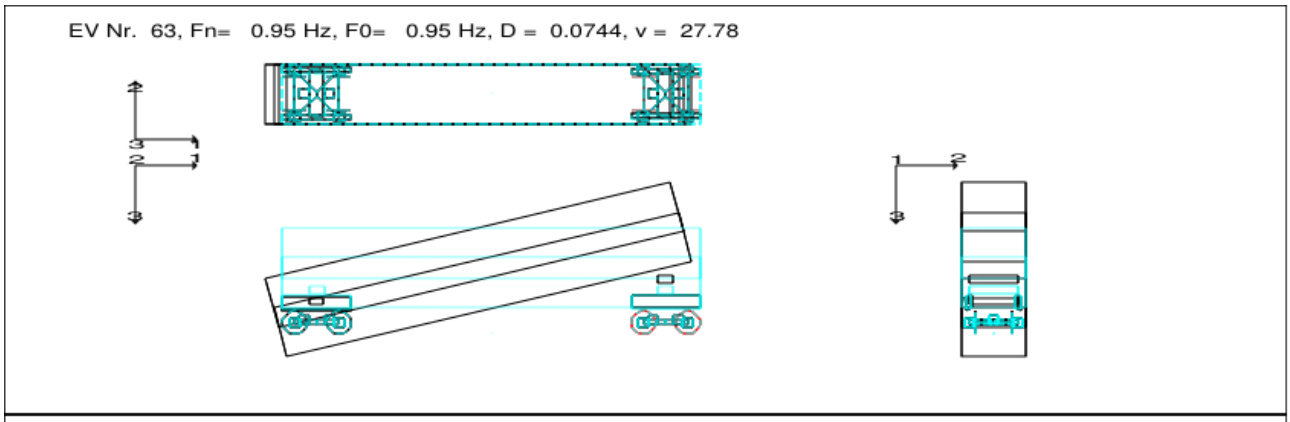


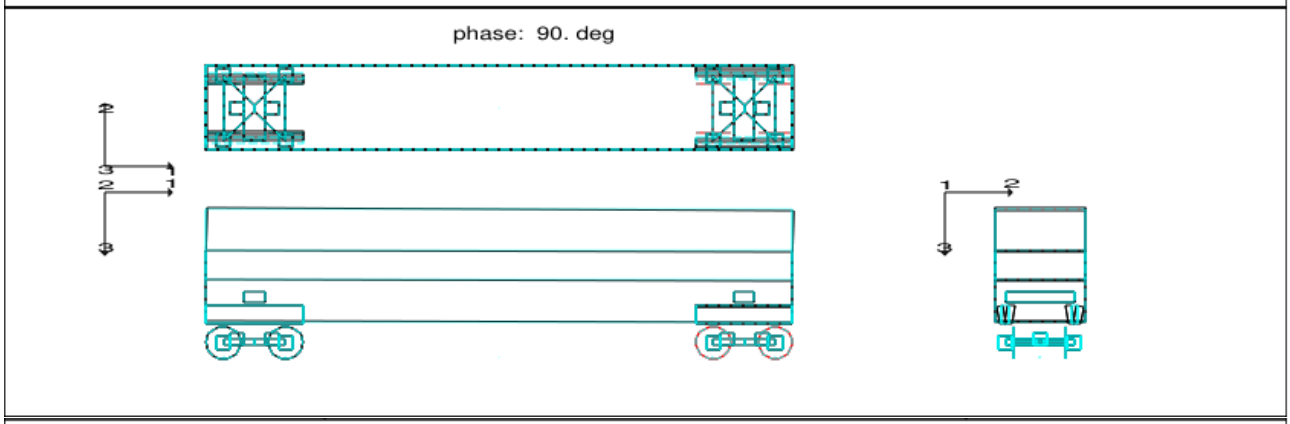
EV Nr. 61, Fn= 0.85 Hz, F0= 0.88 Hz, D = 0.2337, v = 27.78

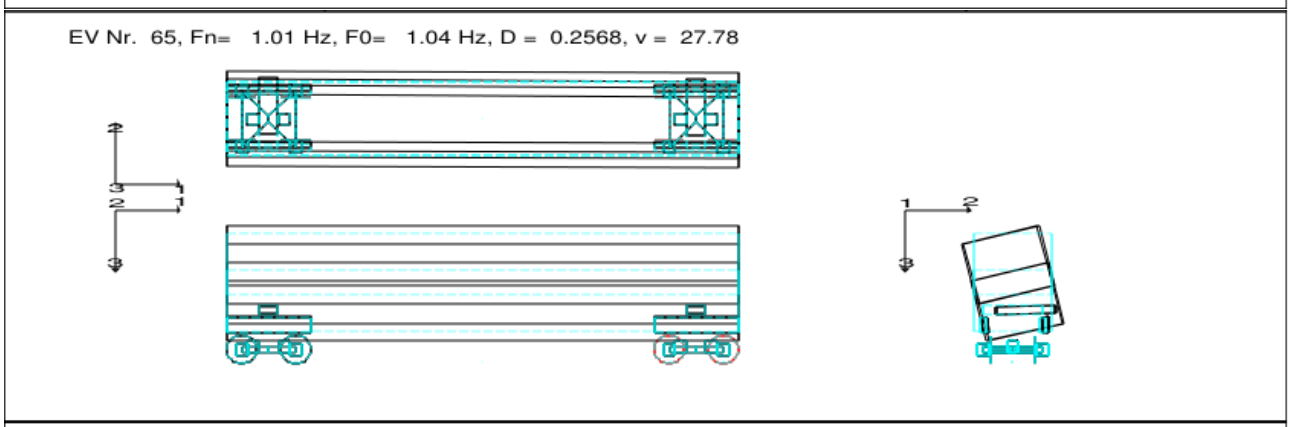


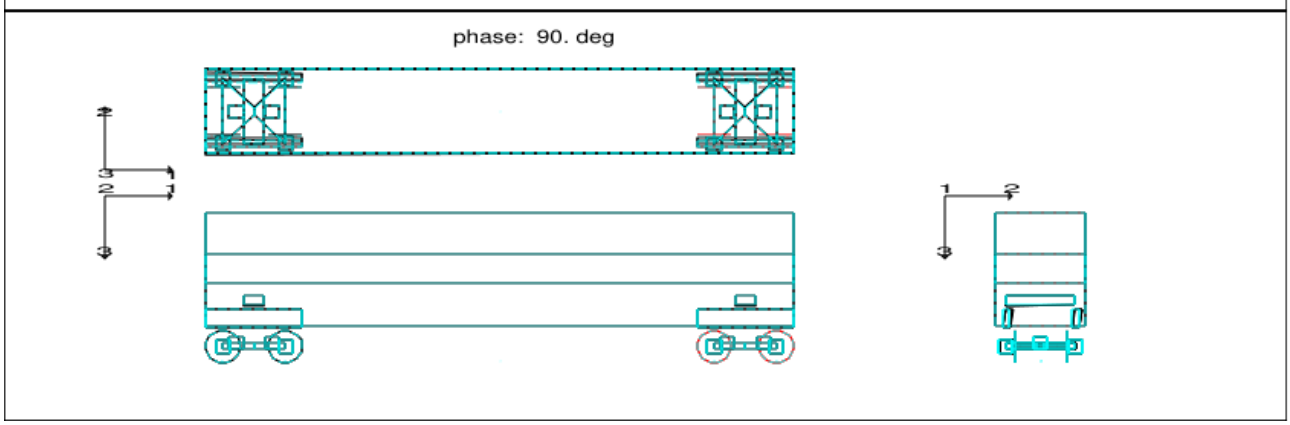
phase: 90. deg

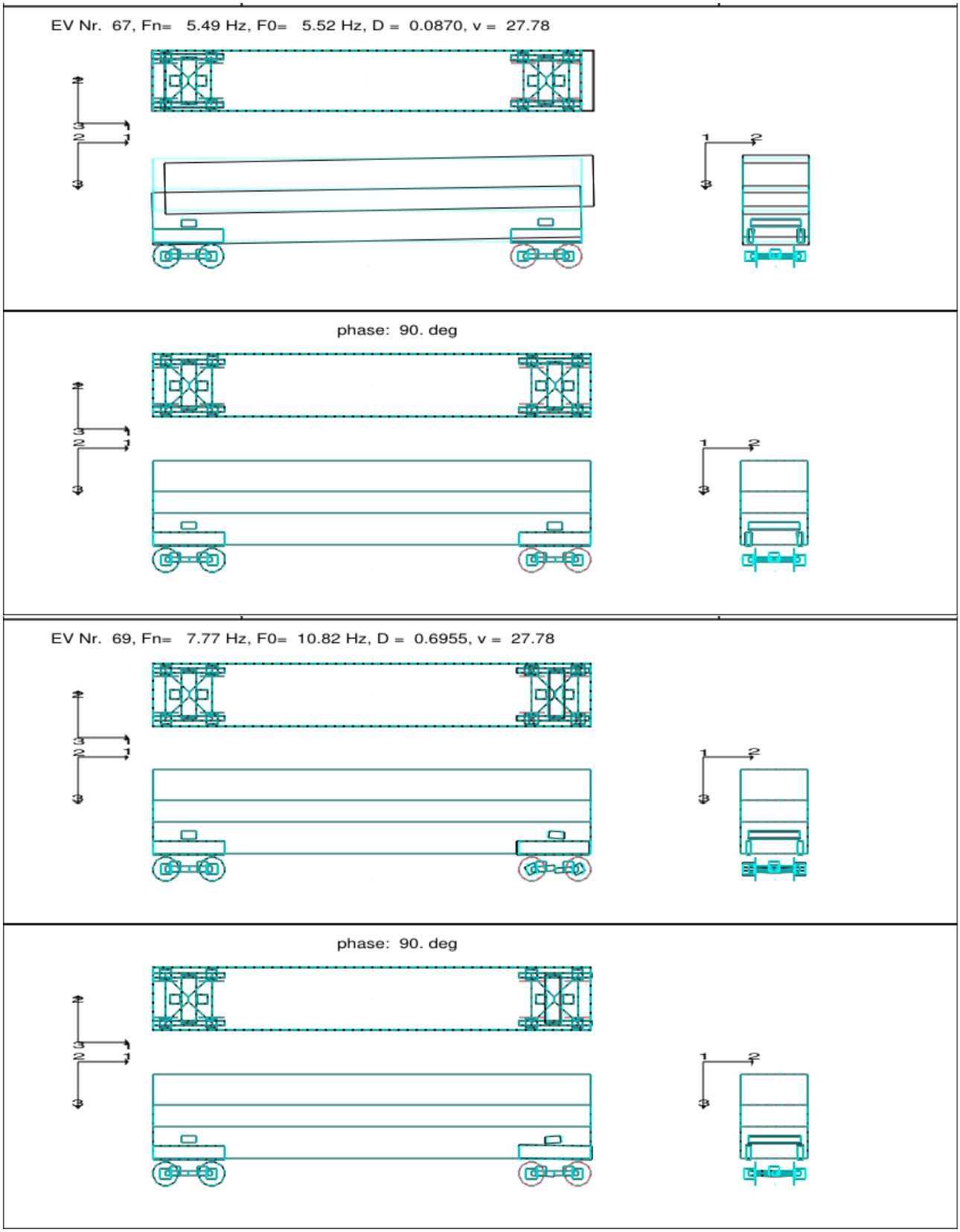



EV Nr. 63, Fn= 0.95 Hz, F0= 0.95 Hz, D = 0.0744, v = 27.78

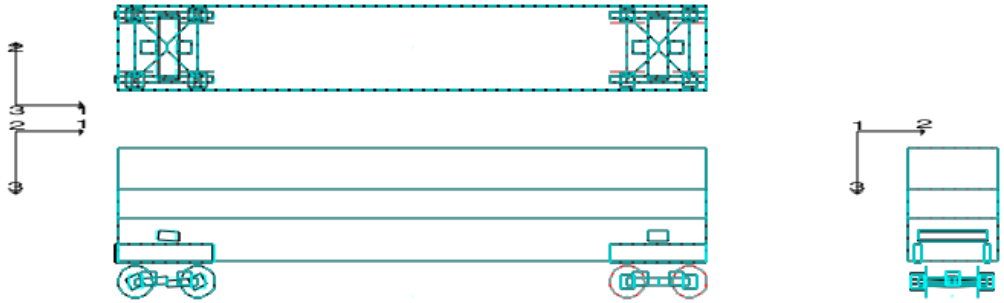

phase: 90. deg


EV Nr. 65, Fn= 1.01 Hz, F0= 1.04 Hz, D = 0.2568, v = 27.78

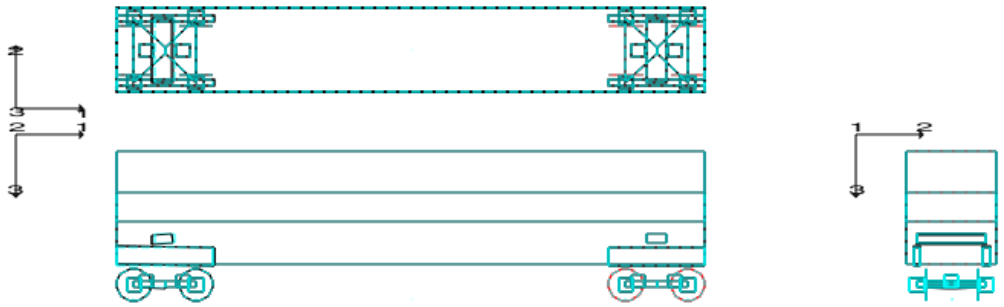

phase: 90. deg


EV Nr. 67, Fn= 5.49 Hz, F0= 5.52 Hz, D = 0.0870, v = 27.78
phase: 90. deg
EV Nr. 69, Fn= 7.77 Hz, F0= 10.82 Hz, D = 0.6955, v = 27.78
phase: 90. deg

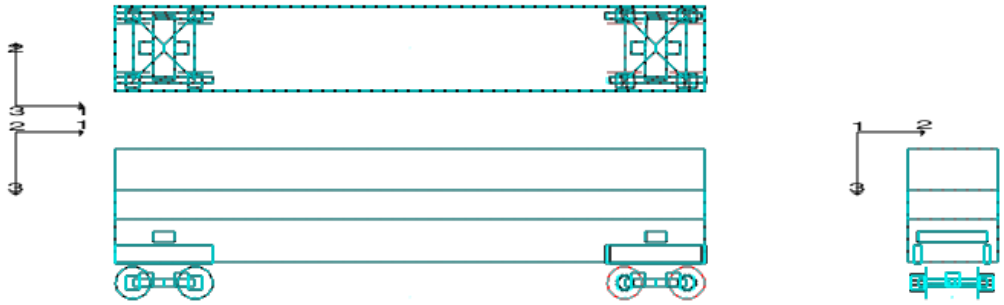
EV Nr. 71, Fn= 7.80 Hz, F0= 10.83 Hz, D = 0.6943, v = 27.78



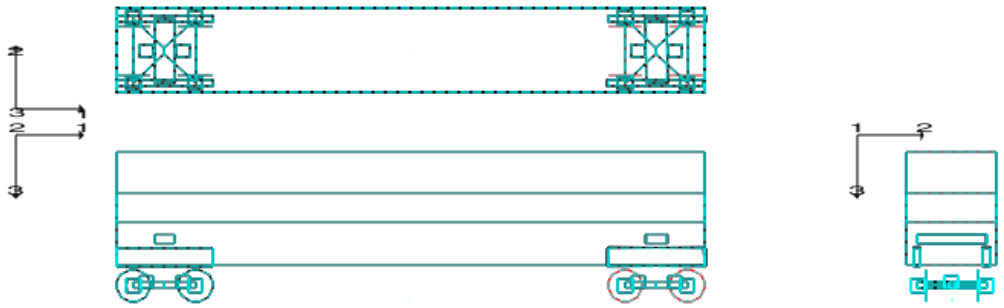
phase: 90. deg

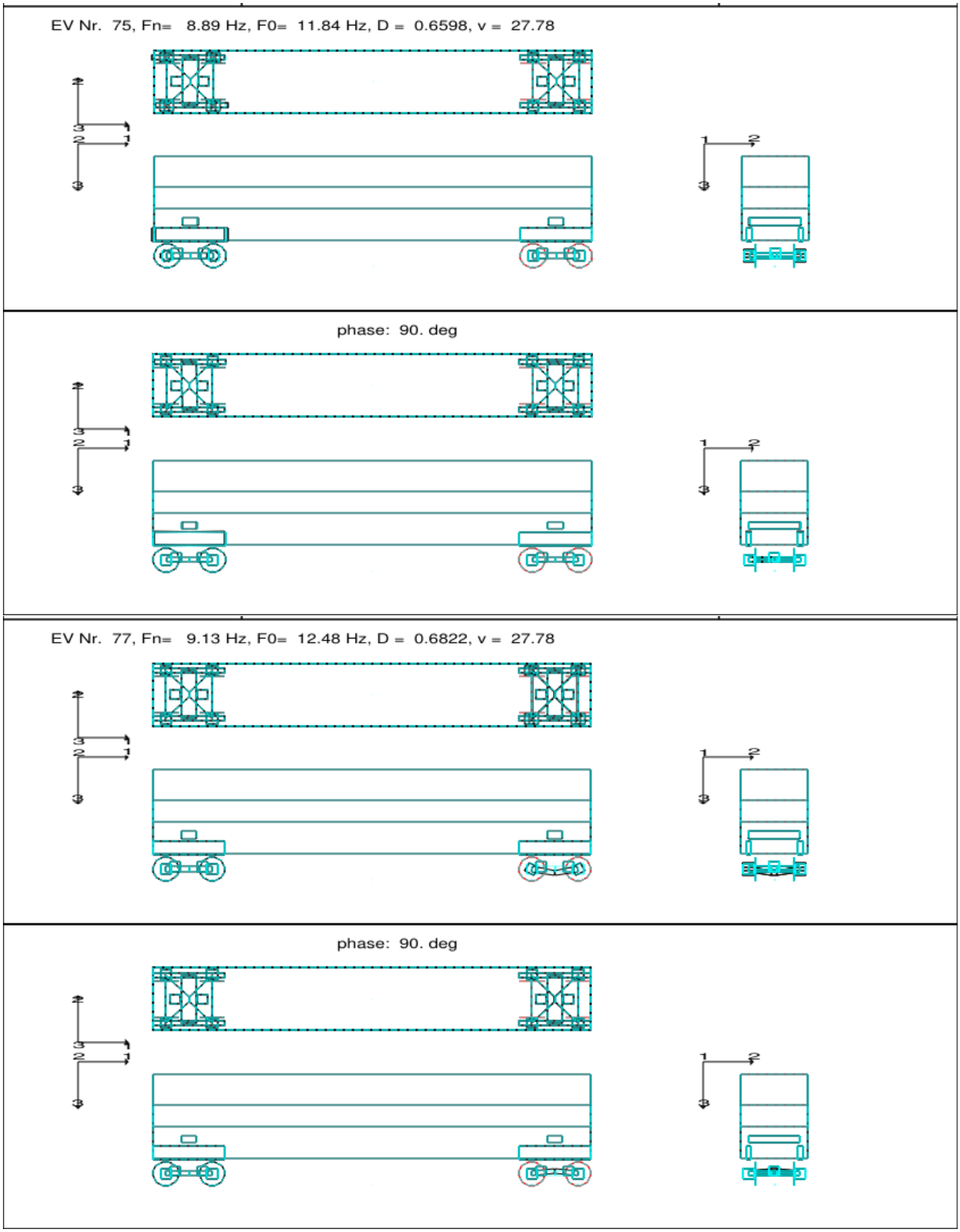


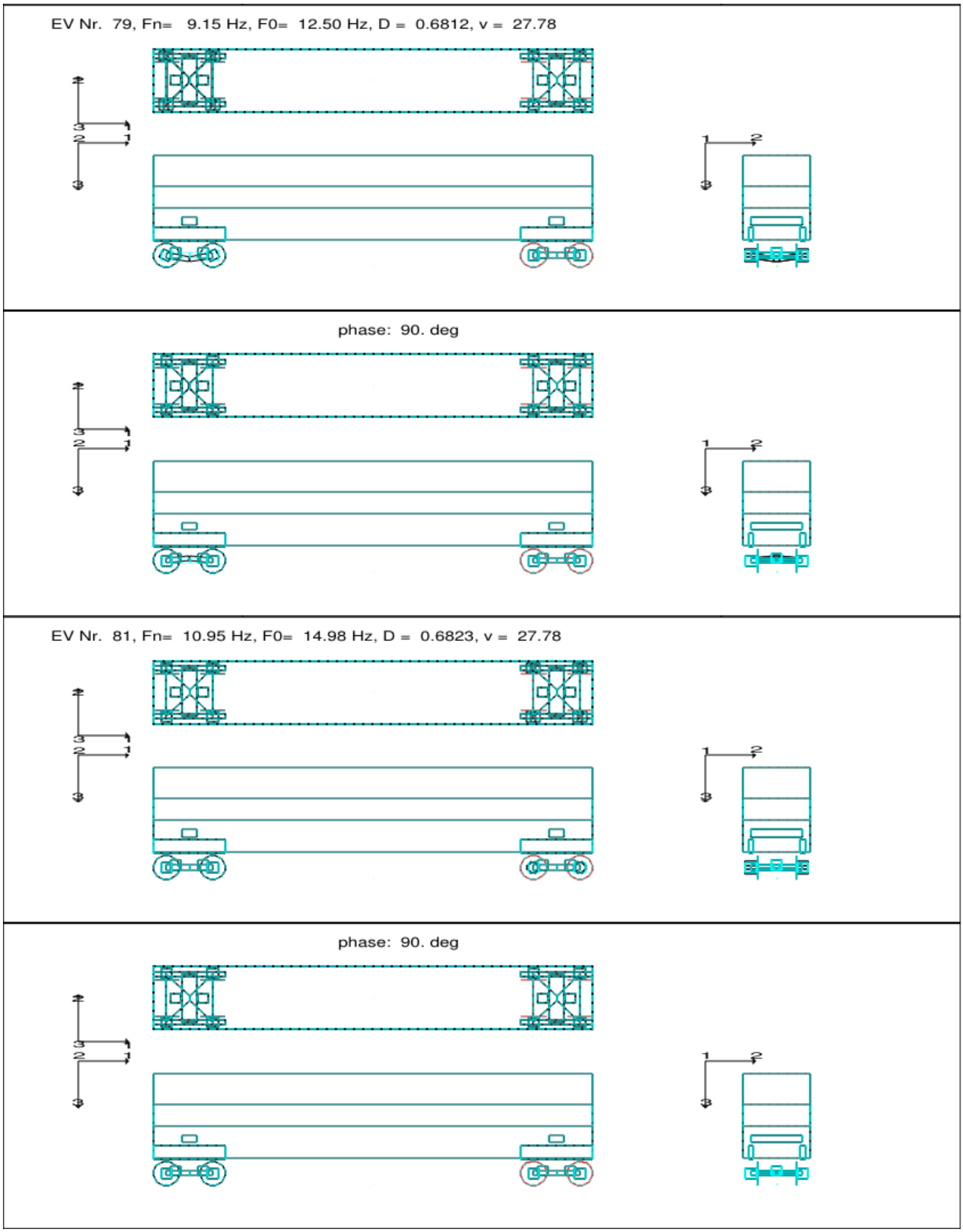
EV Nr. 73, Fn= 8.87 Hz, F0= 11.82 Hz, D = 0.6608, v = 27.78



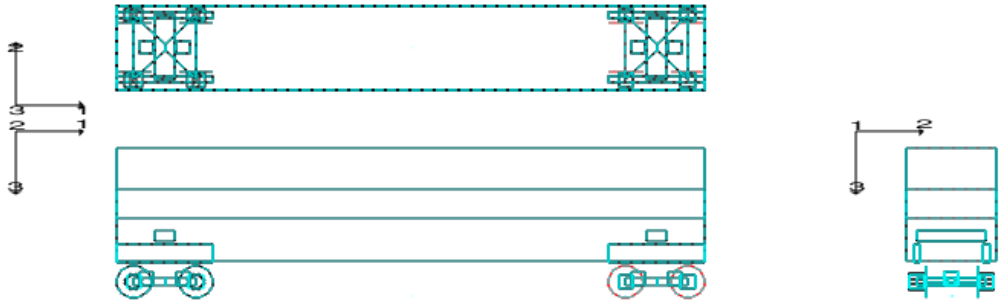
phase: 90. deg



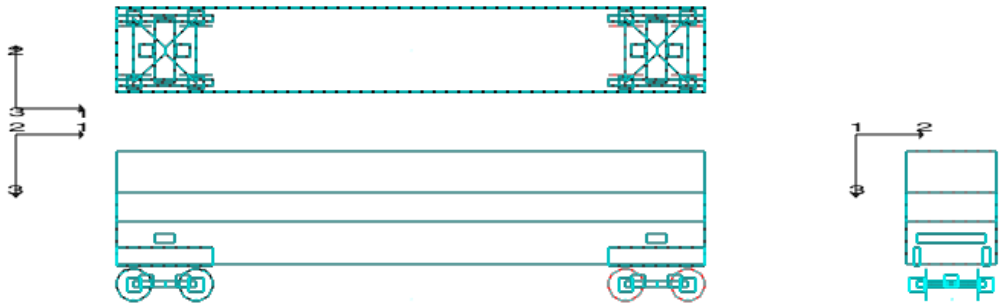

EV Nr. 75, Fn= 8.89 Hz, F0= 11.84 Hz, D = 0.6598, v = 27.78
phase: 90. deg
EV Nr. 77, Fn= 9.13 Hz, F0= 12.48 Hz, D = 0.6822, v = 27.78
phase: 90. deg


EV Nr. 79, Fn= 9.15 Hz, F0= 12.50 Hz, D = 0.6812, v = 27.78
phase: 90. deg
EV Nr. 81, Fn= 10.95 Hz, F0= 14.98 Hz, D = 0.6823, v = 27.78
phase: 90. deg

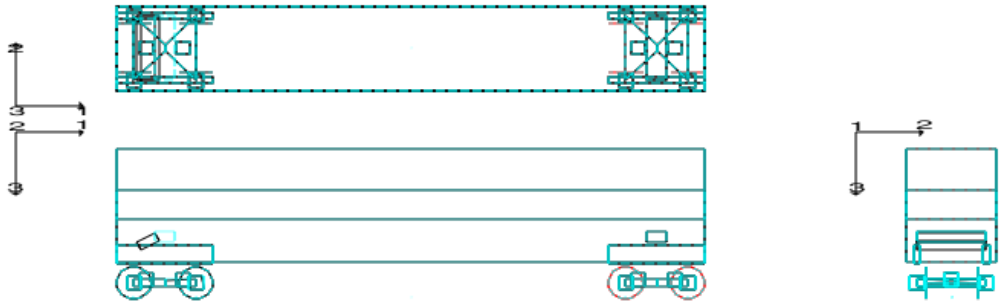
EV Nr. 83, Fn= 10.97 Hz, F0= 14.99 Hz, D = 0.6817, v = 27.78



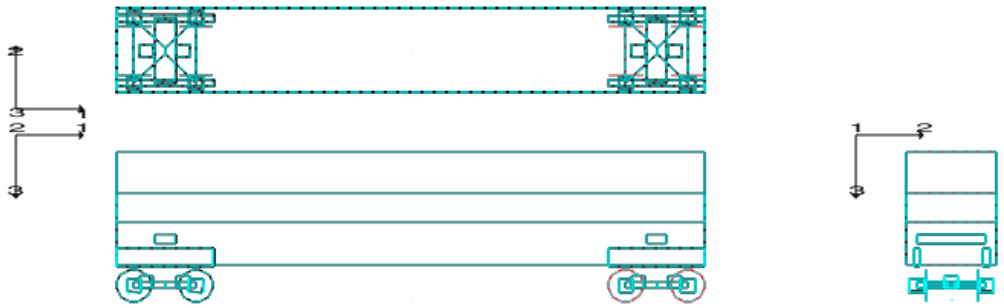
phase: 90. deg



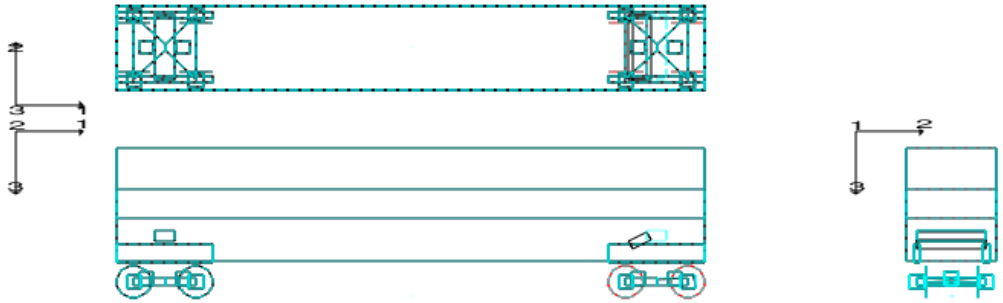
EV Nr. 85, Fn= 15.32 Hz, F0= 15.33 Hz, D = 0.0408, v = 27.78



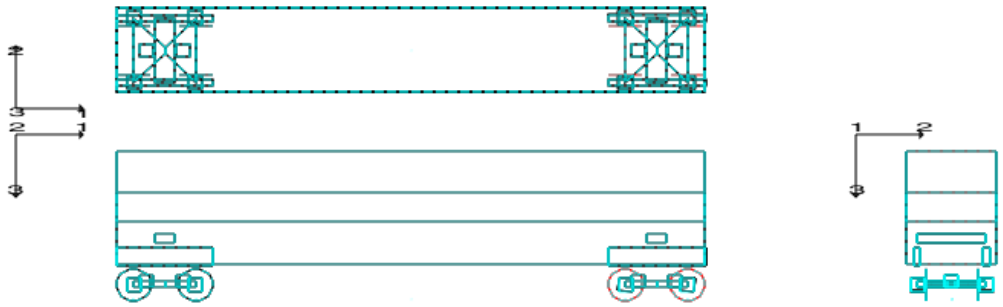
phase: 90. deg



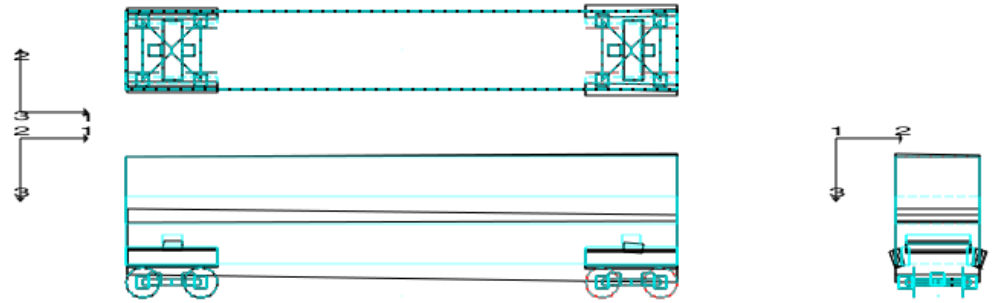
EV Nr. 87, Fn= 15.35 Hz, F0= 15.37 Hz, D = 0.0408, v = 27.78



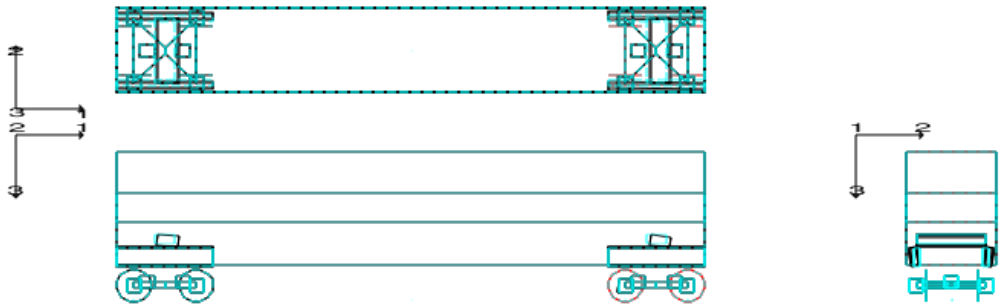
phase: 90. deg



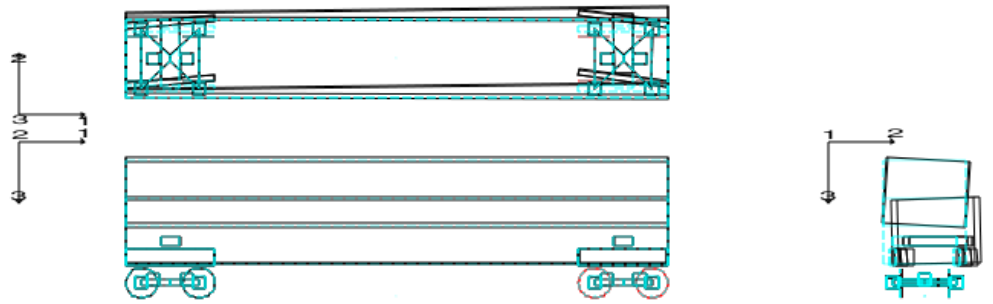
EV Nr. 89, Fn= 15.58 Hz, F0= 16.17 Hz, D = 0.2682, v = 27.78



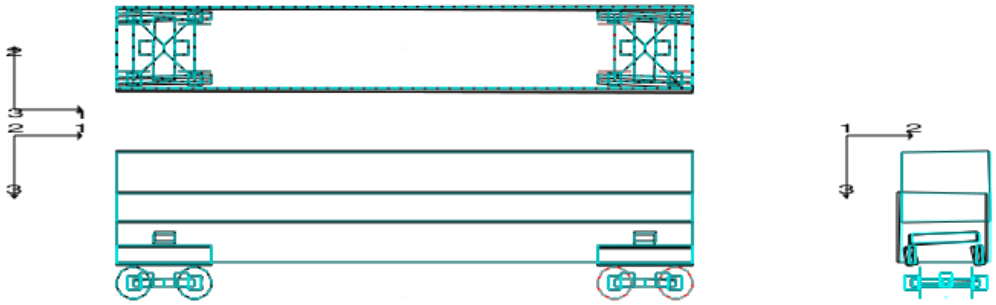
phase: 90. deg



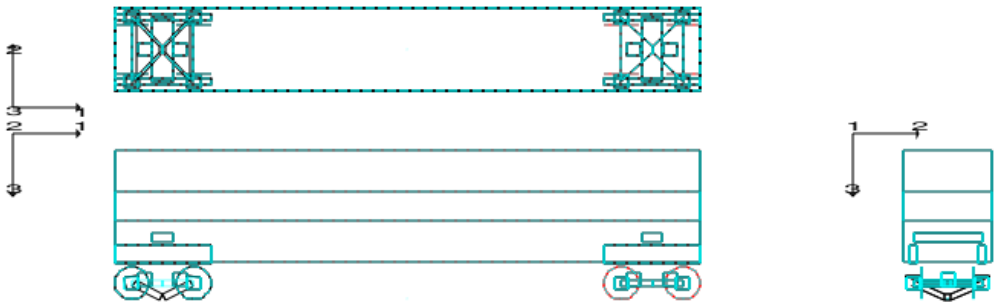
EV Nr. 91, Fn= 15.56 Hz, F0= 16.25 Hz, D = 0.2876, v = 27.78



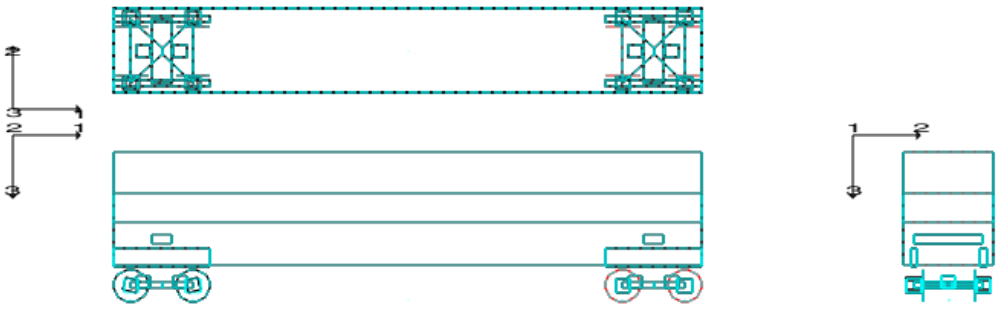
phase: 90. deg



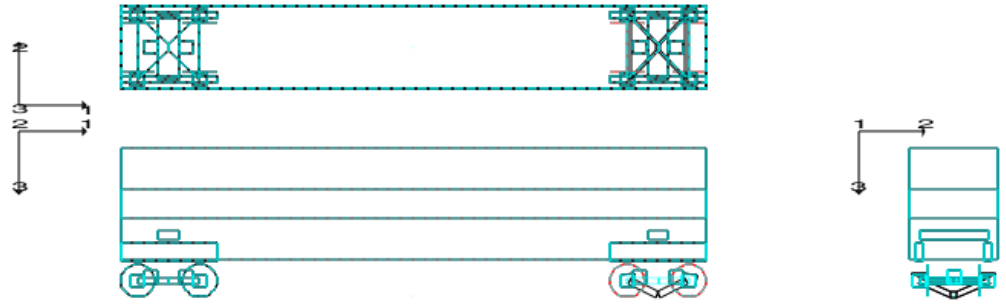
EV Nr. 93, Fn= 16.12 Hz, F0= 16.31 Hz, D = 0.1536, v = 27.78



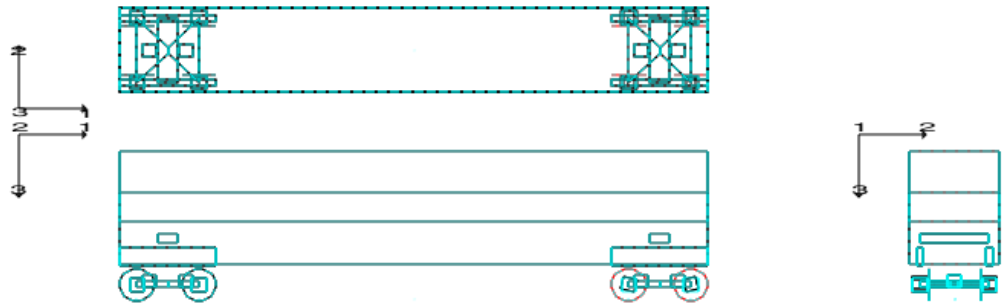
phase: 90. deg



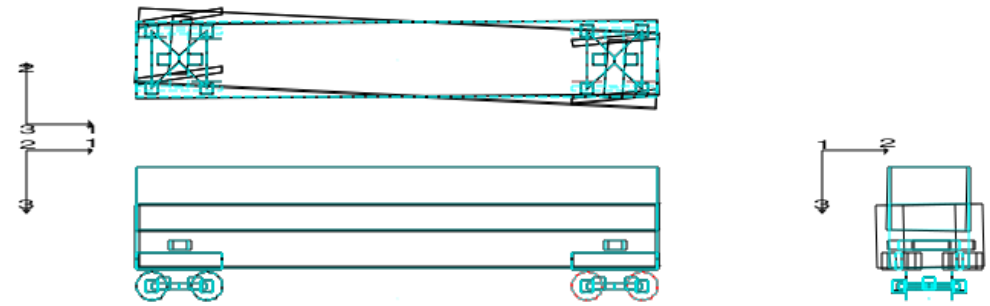
EV Nr. 95, Fn= 16.12 Hz, F0= 16.31 Hz, D = 0.1534, v = 27.78



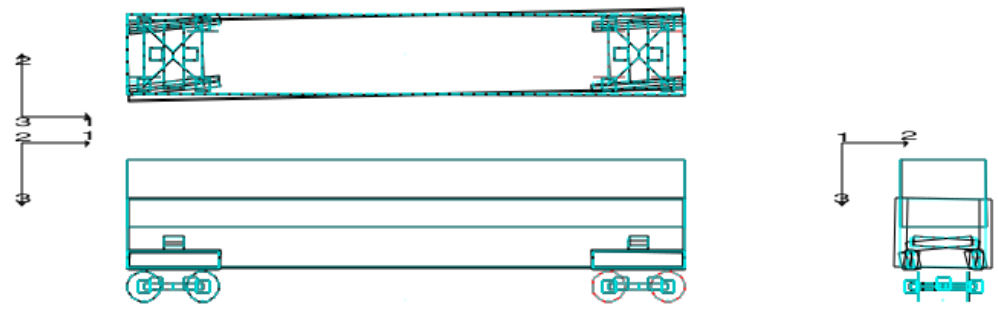
phase: 90. deg



EV Nr. 97, Fn= 18.11 Hz, F0= 19.53 Hz, D = 0.3749, v = 27.78



phase: 90. deg



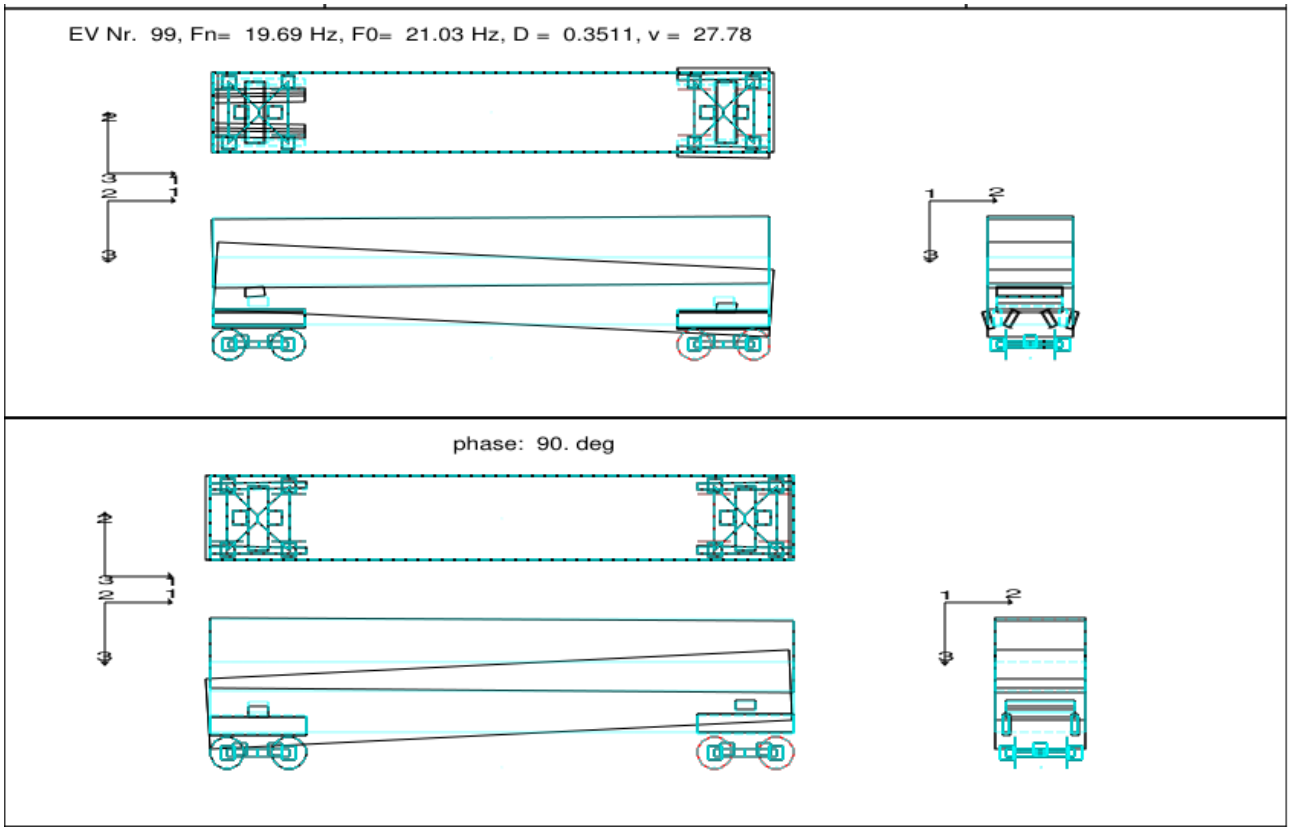


Bild 1: Eigenformen bis 20 Hz

4. Ergebnisplots der relevanten führenden Radsätze

4.1 Verschleisskennziffern

R m	Leer (4,4 t)	10t	14t	18t	22t
250	32,845	47,425	47,045	57,22	81,02
270	30,065	35,565	38,105	54,45	78,38
300	27,365	25,805	36,535	58,875	85,29
343	24,12	23,08	37,275	56,7	78,35
400	19,11	20,85	31,98	48,035	67,825
480	15,725	16,945	26,47	37,01	47,755
600	11,62	13,965	19,68	22,995	34,03
800	7,2	7,35	9,09	10,195	14,39
1200	3,23	2,71	3,21	4,01	5,55

Tab. 3: Mittlere Verschleißkennziffern

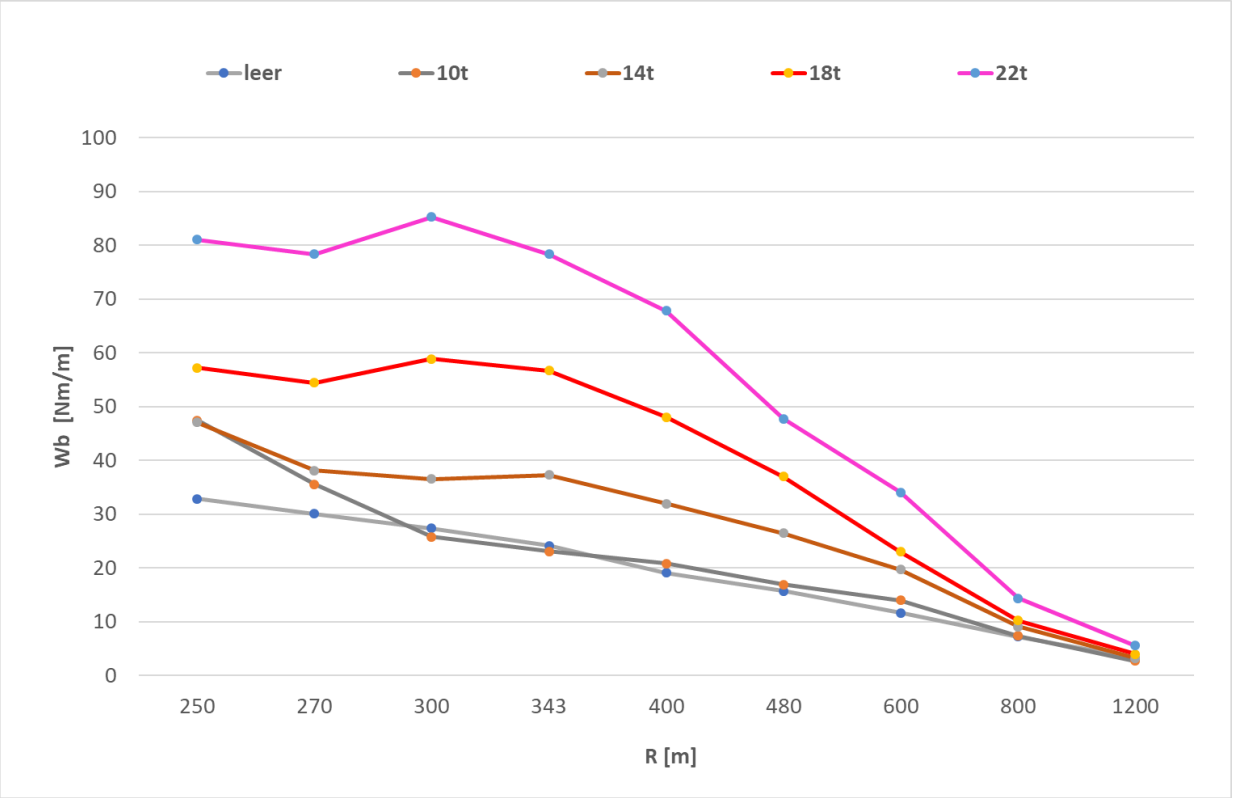


Bild 2: Mittleren Verschleißkennziffer bei verschiedenen Achslasten als Funktion des Bogenradius

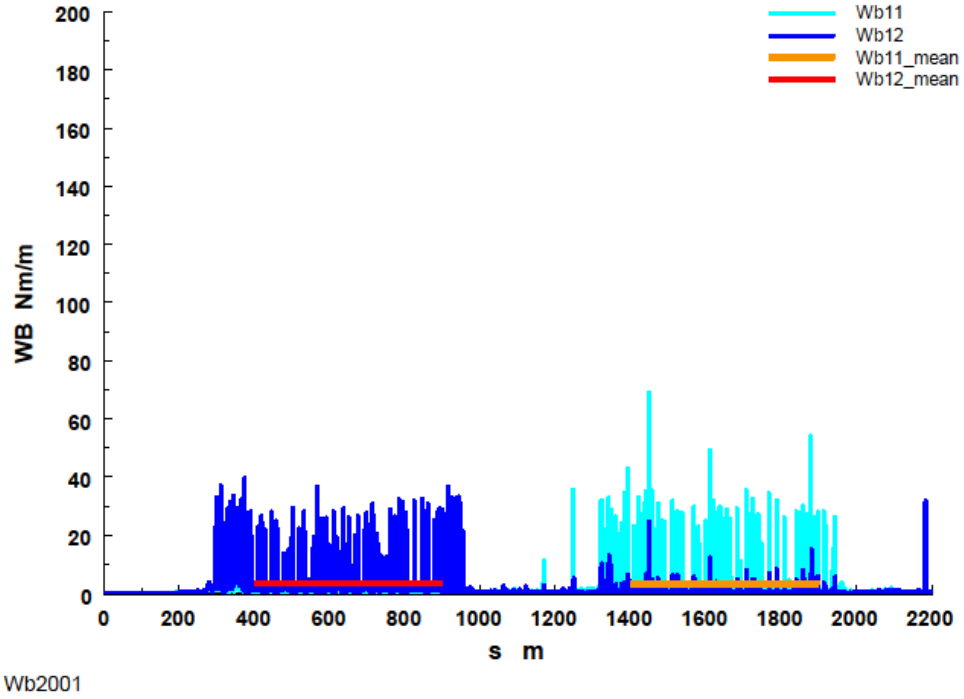


Bild 3: Radius 1200 m , v =120 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

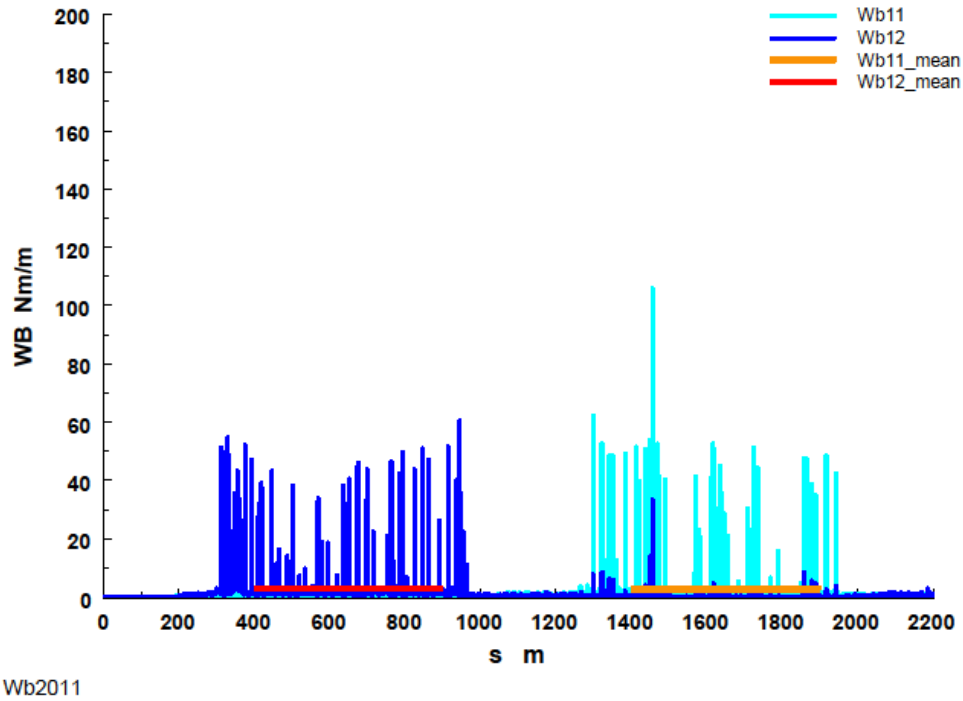


Bild 4: Radius 1200 m , v =120 km/h, Achslast 10 t

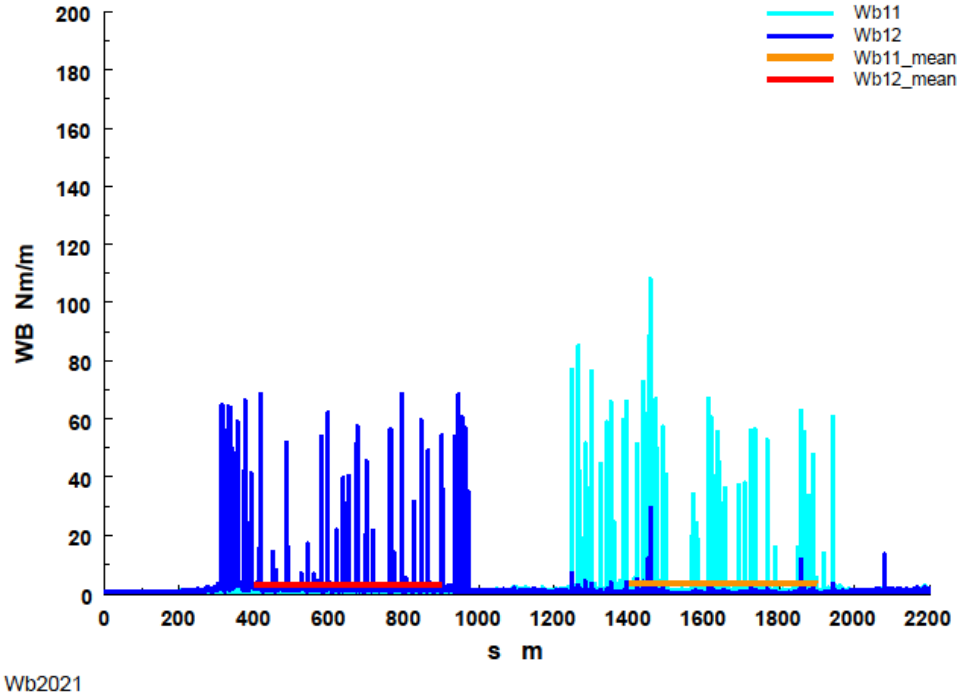


Bild 5: Radius 1200 m , v =120 km/h, Achslast 14 t

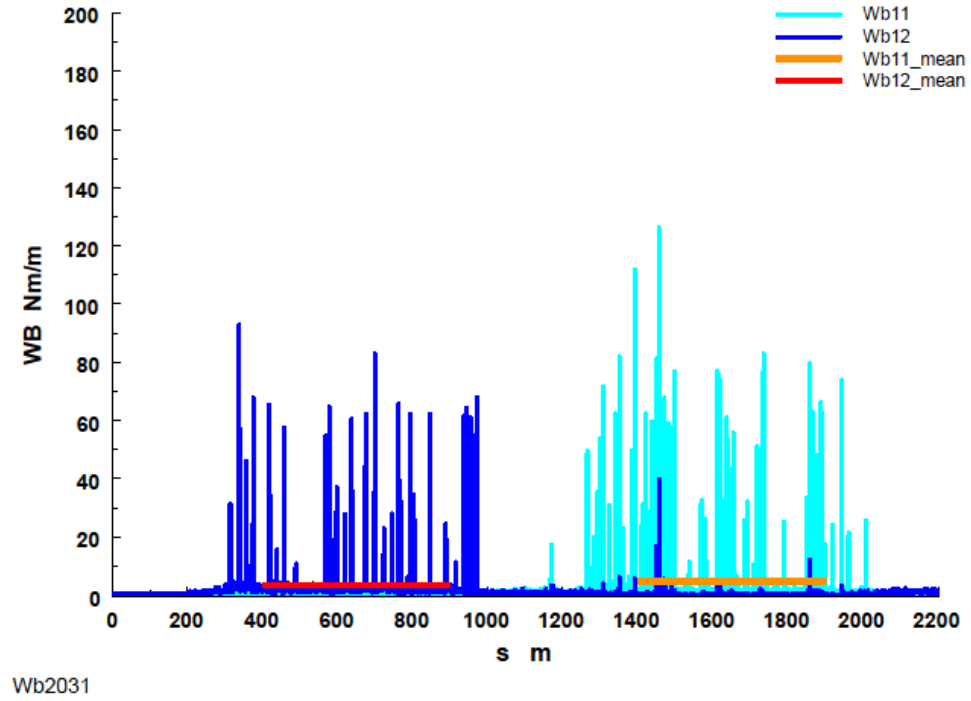


Bild 6: Radius 1200 m , v =120 km/h, Achslast 18 t

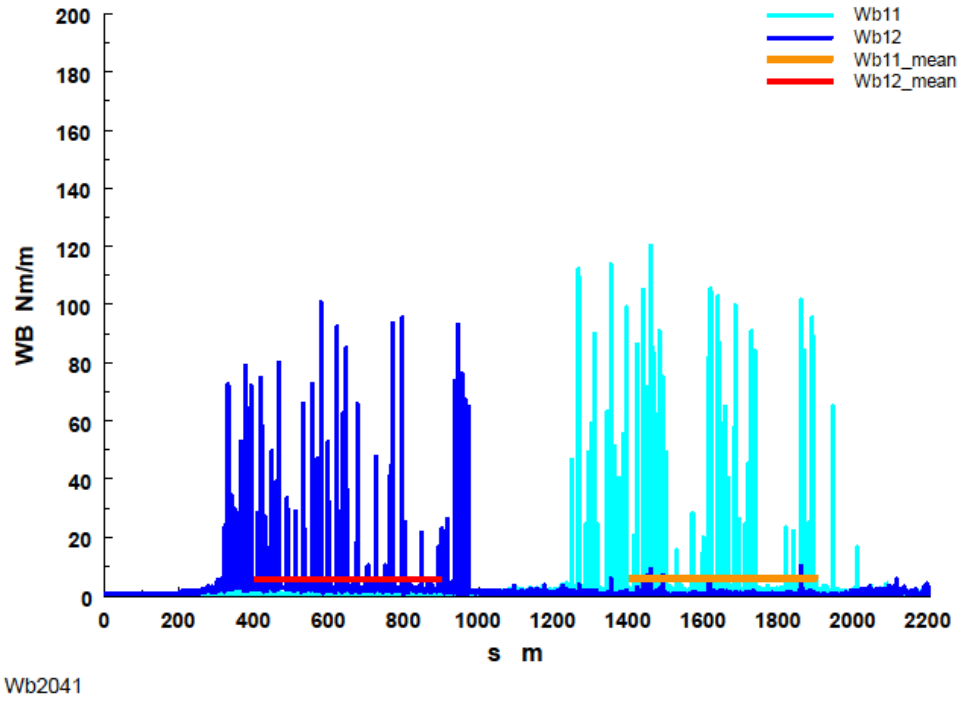


Bild 7: Radius 1200 m , v =120 km/h, Achslast 22 t

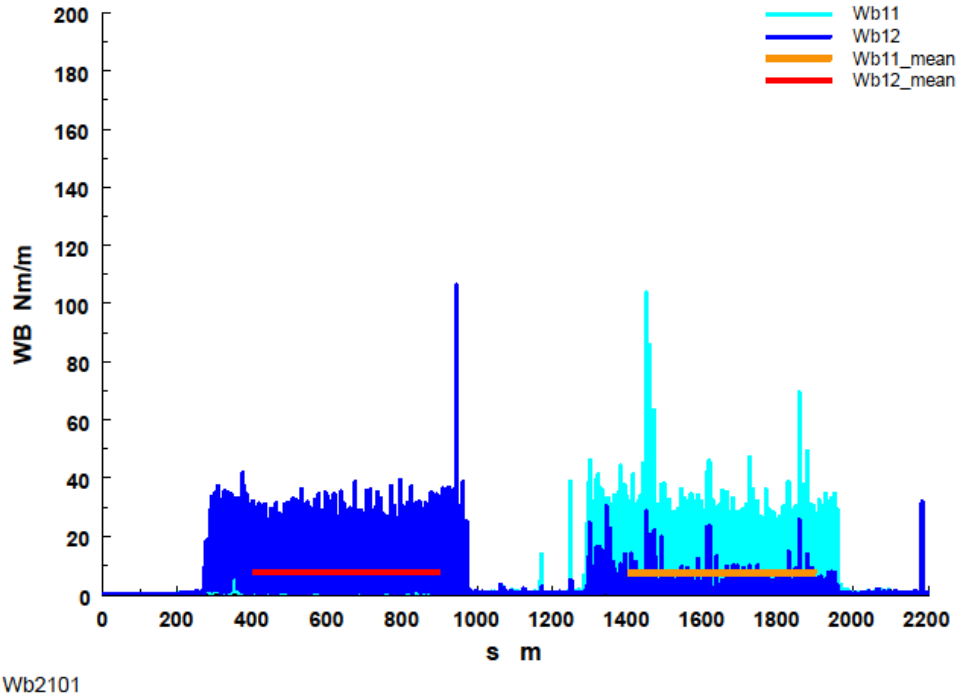


Bild 8: Radius 800 m, v = 120 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

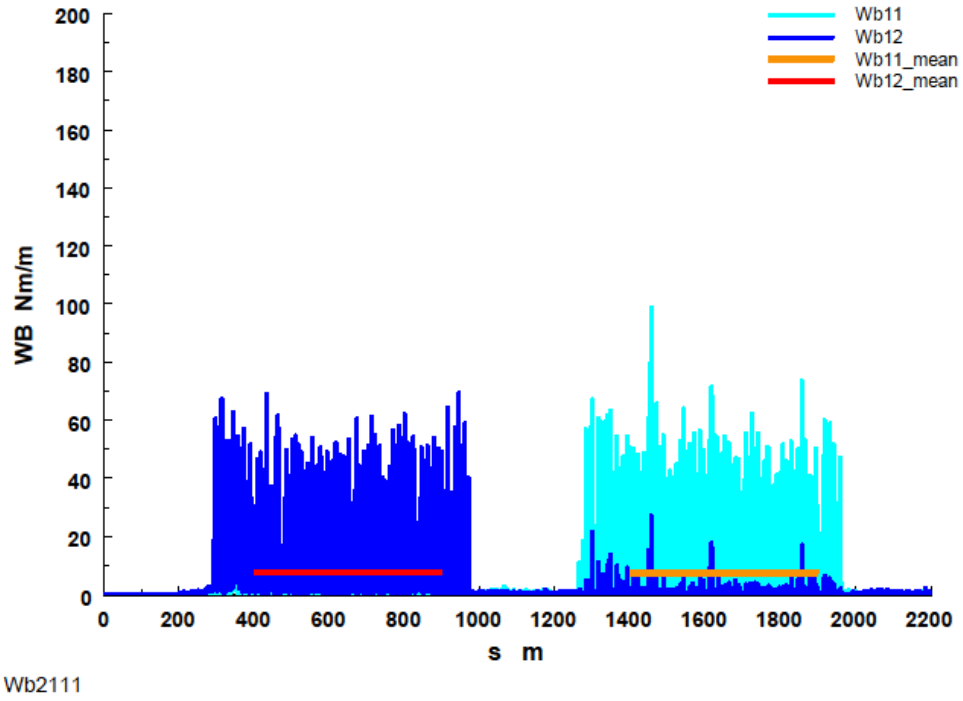


Bild 9: Radius 800 m, v = 120 km/h, Achslast 10 t

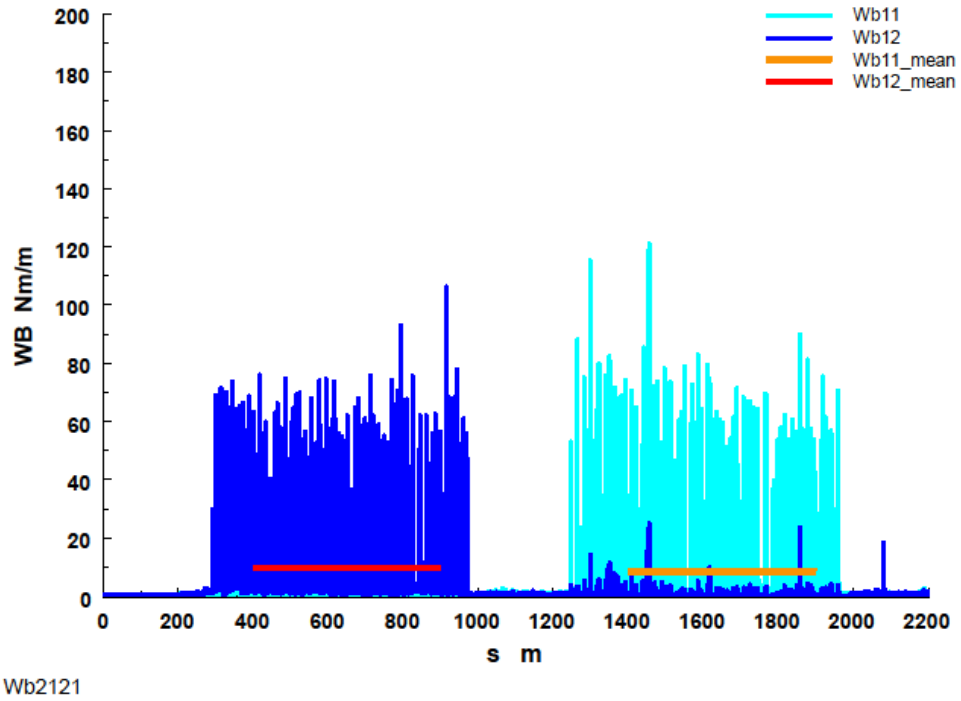


Bild 10: Radius 800 m, v = 120 km/h, Achslast 14 t

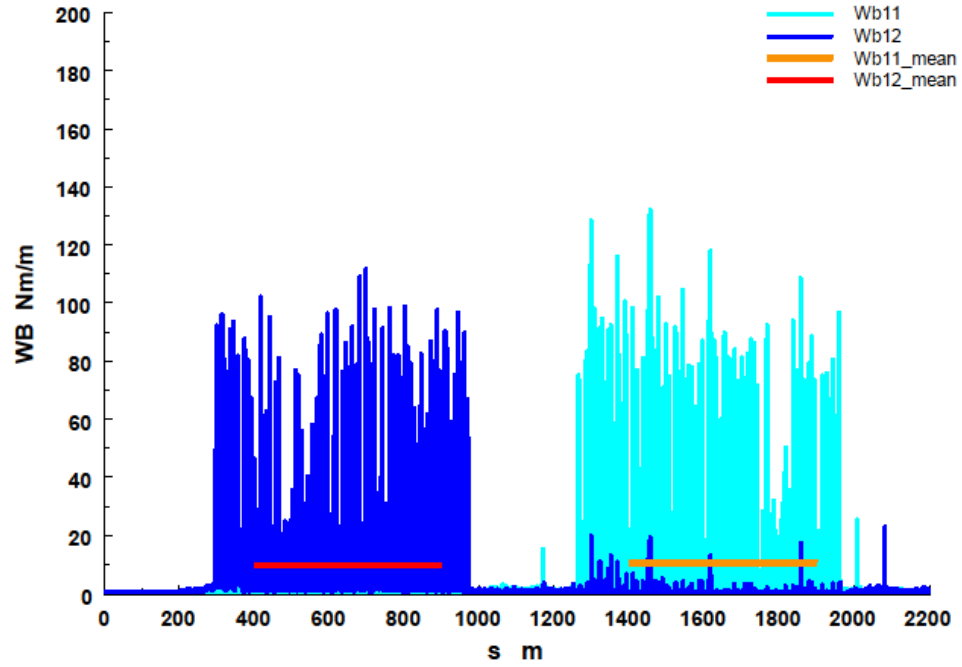


Bild 11: Radius 800 m, v = 120 km/h, Achslast 18 t

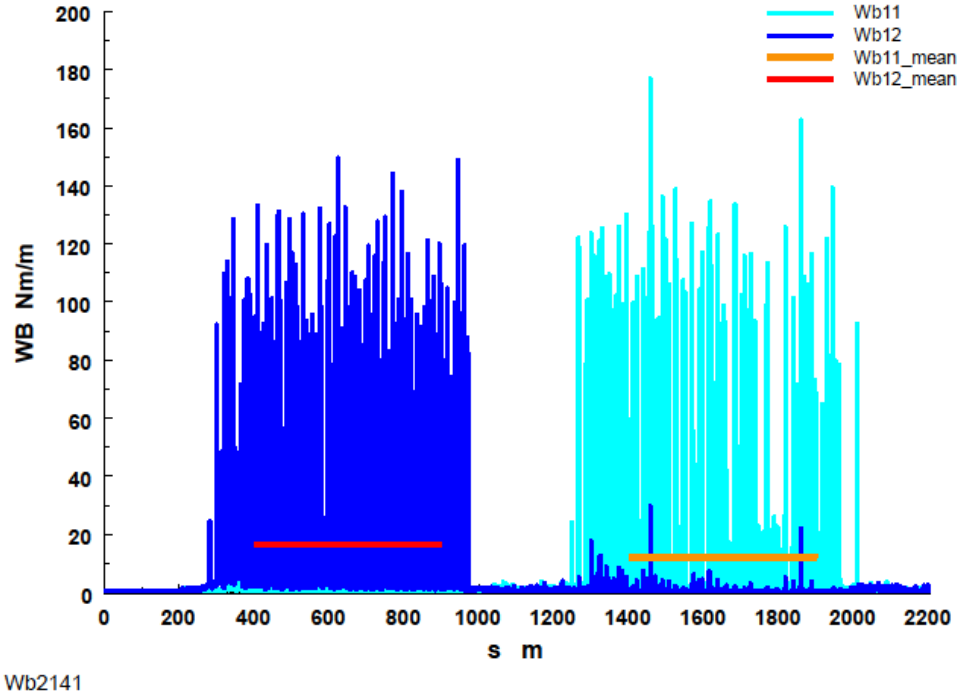


Bild 12: Radius 800 m, v = 120 km/h, Achslast 22 t

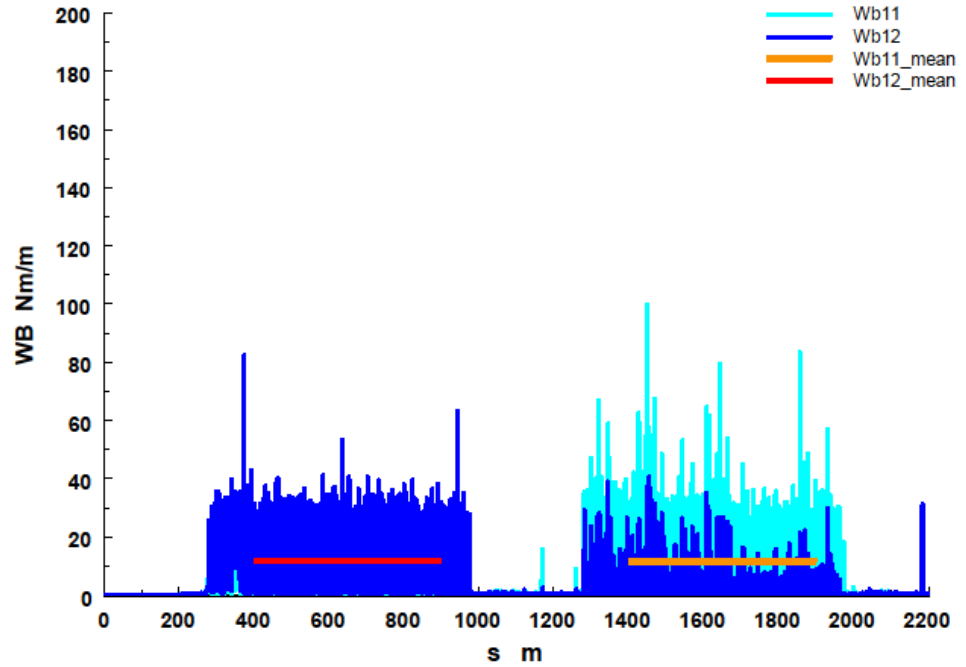


Bild 13: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

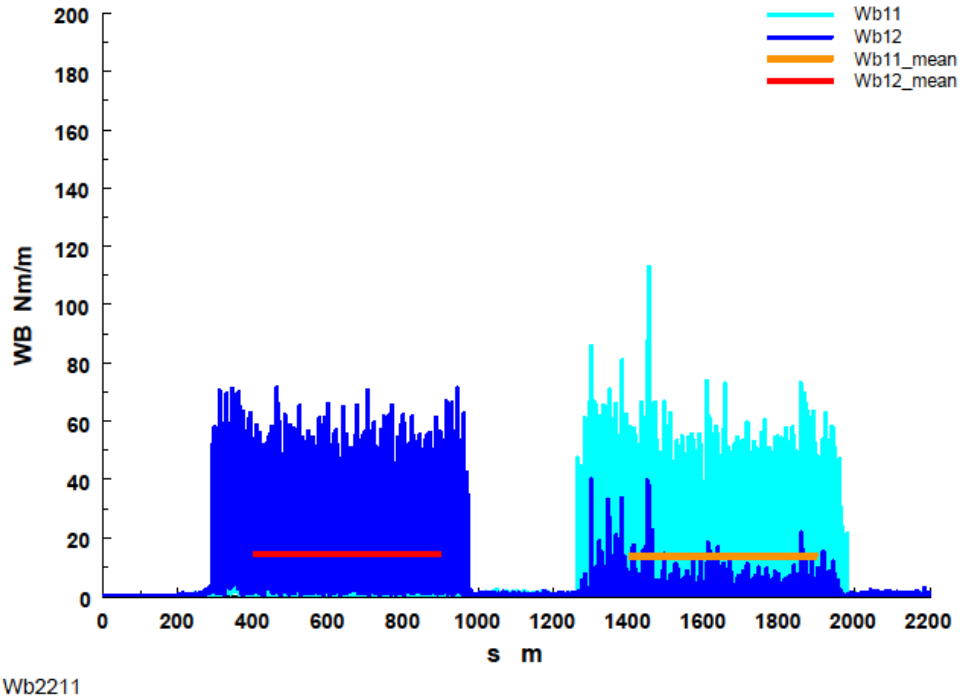


Bild 14: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Achslast 10 t

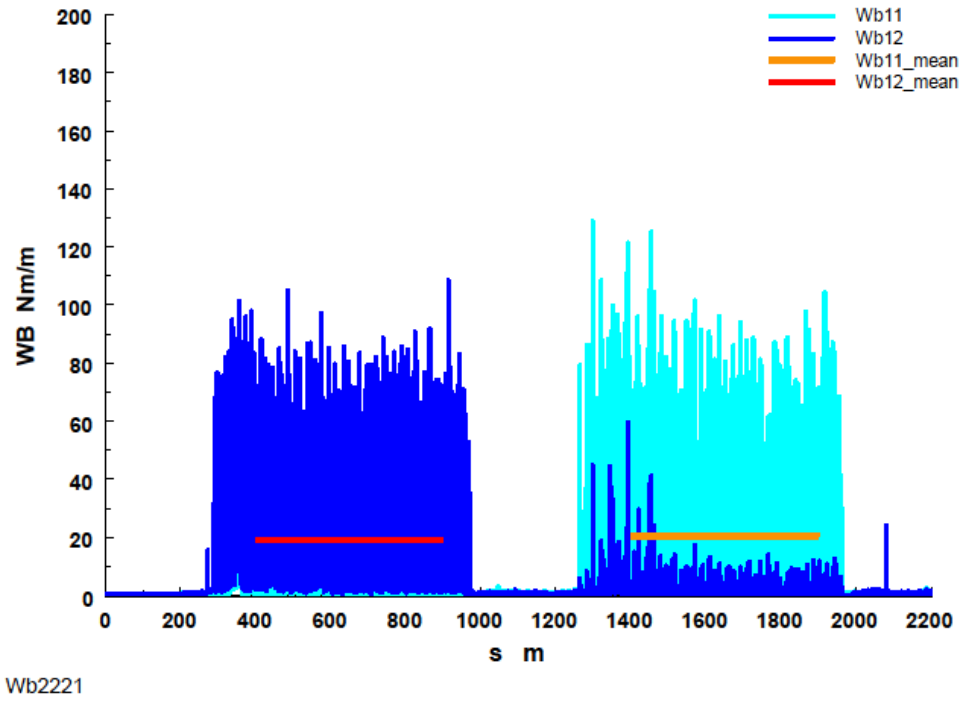


Bild 15: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Achslast 14 t

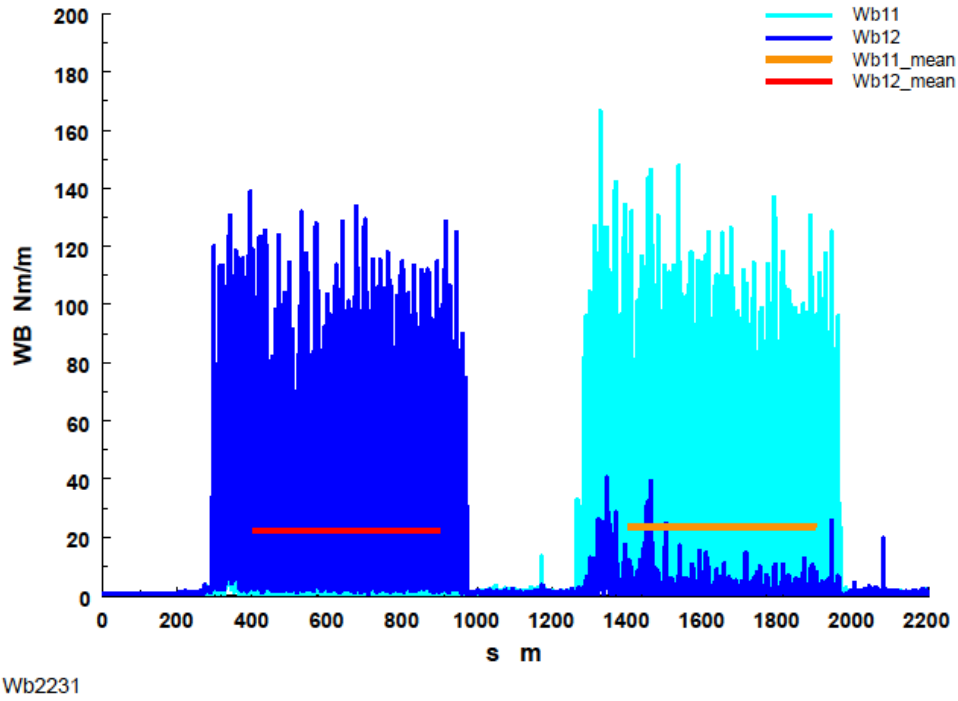


Bild 16: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Achslast 18 t

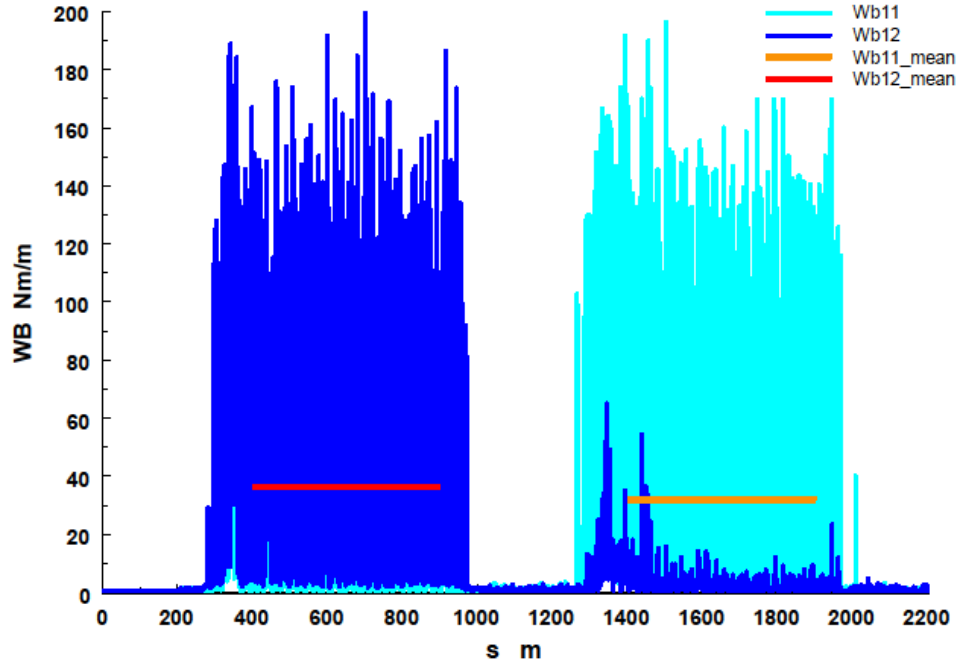


Bild 17: Radius 600 m, v = 119,32 km/h, Achslast 22 t

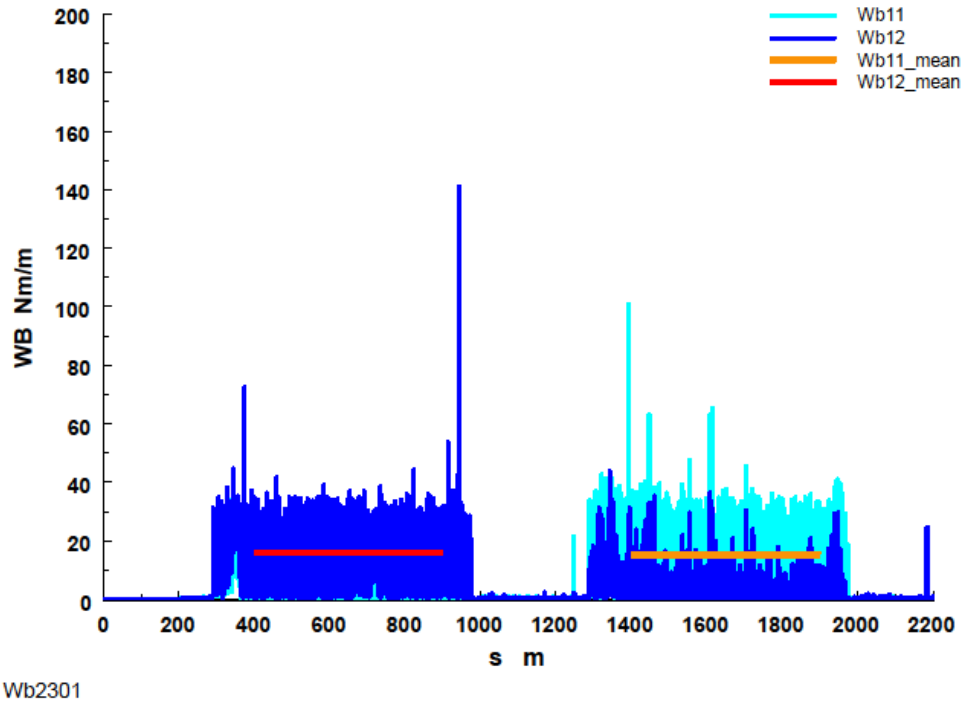


Bild 18: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

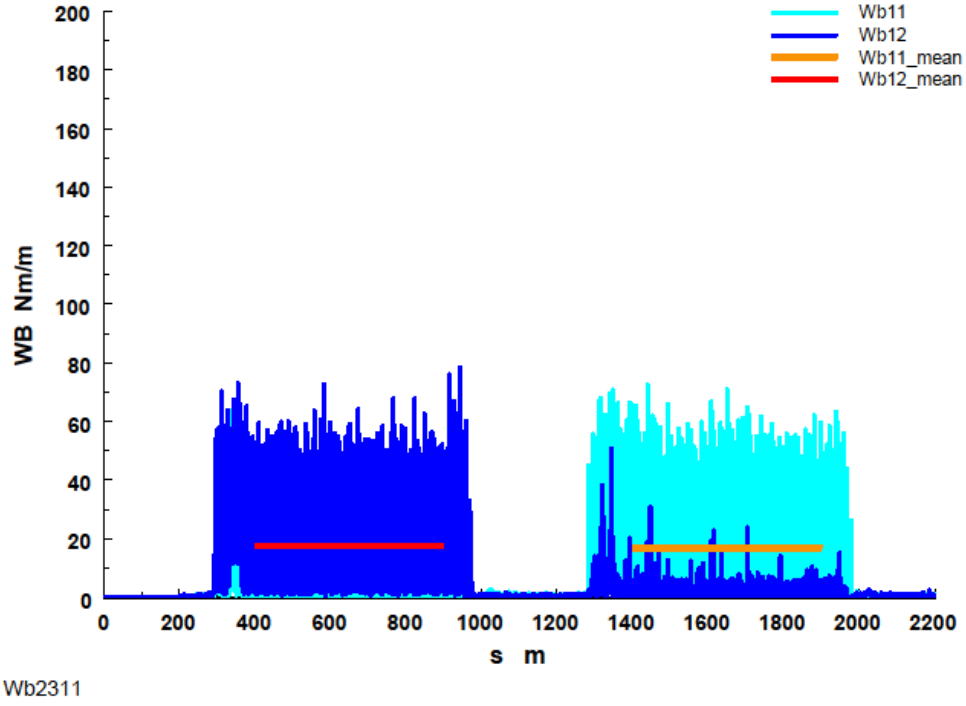


Bild 19: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Achslast 10 t

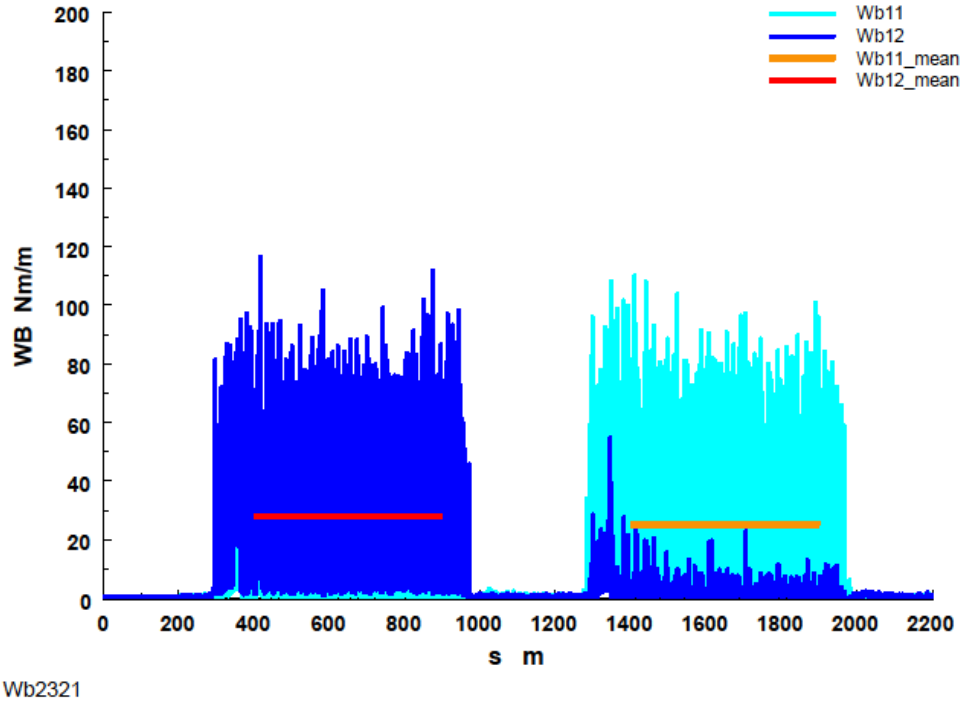


Bild 20: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Achslast 14 t

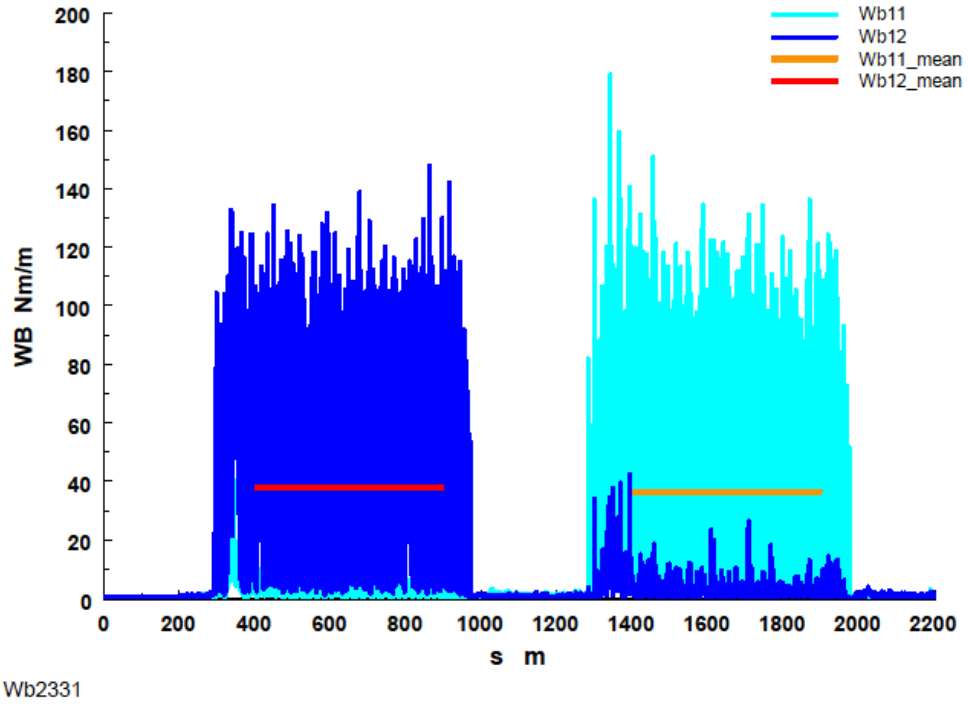


Bild 21: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Achslast 18 t

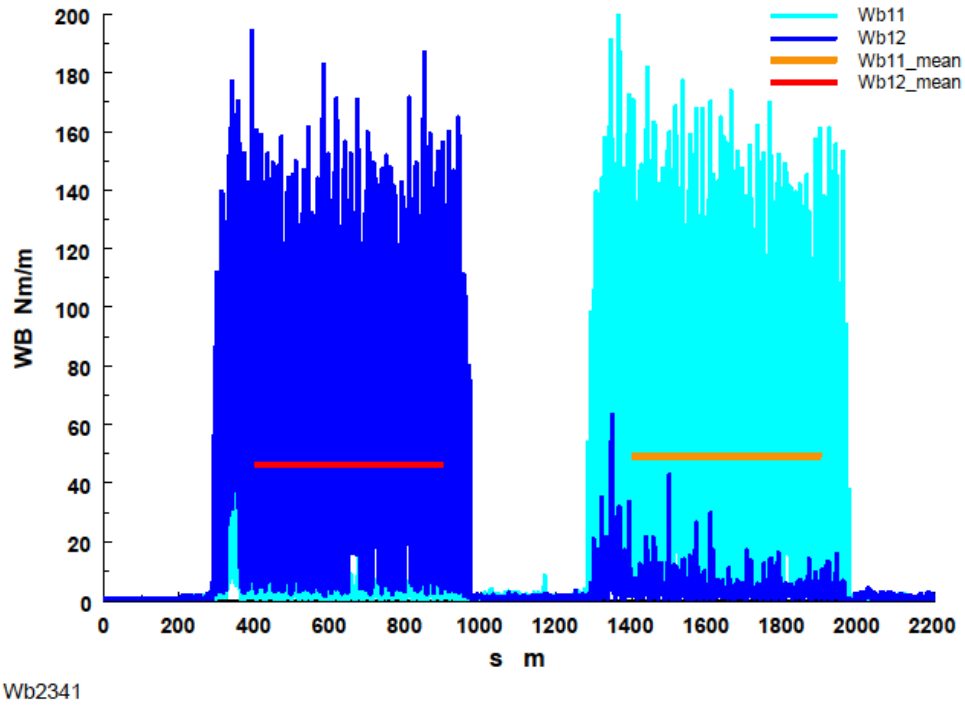


Bild 22: Radius 480 m, v = 106,73 km/h, Achslast 22 t

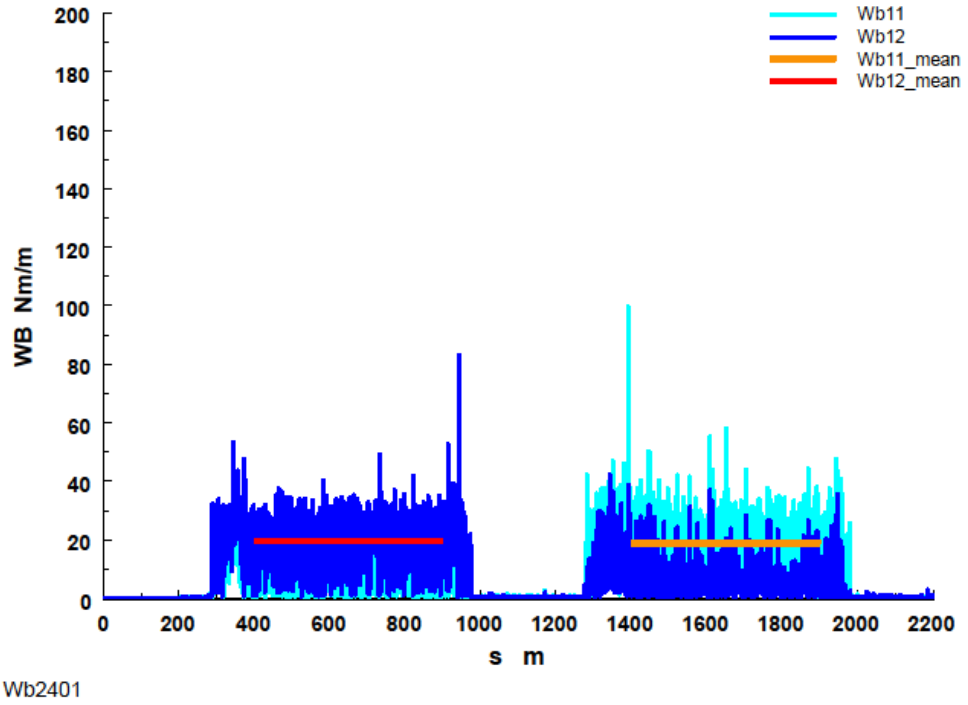


Bild 23: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

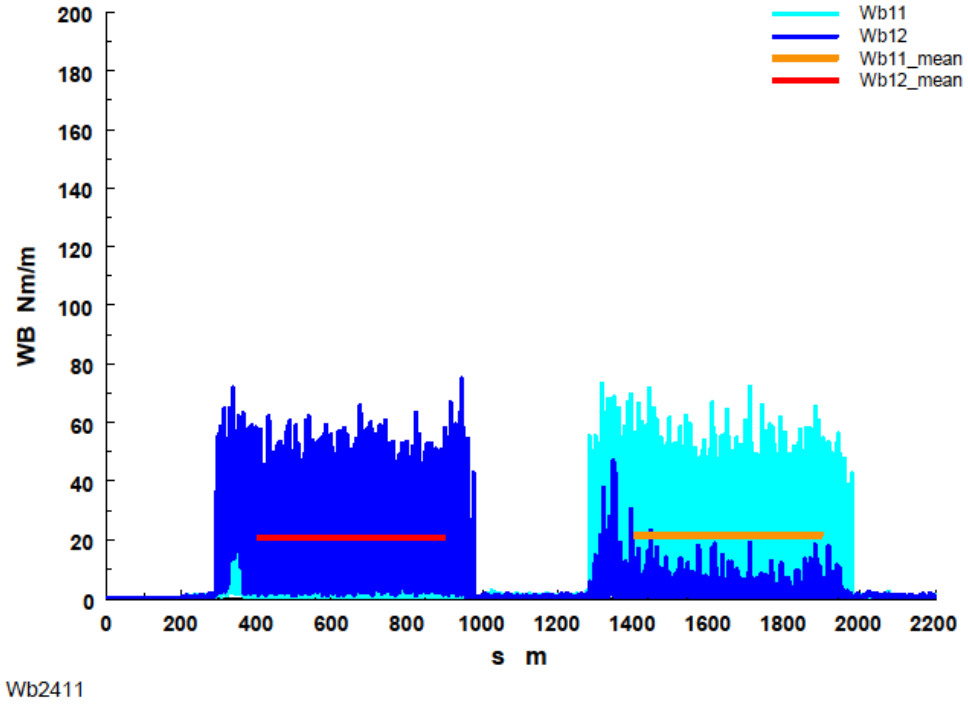


Bild 24: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Achslast 10 t

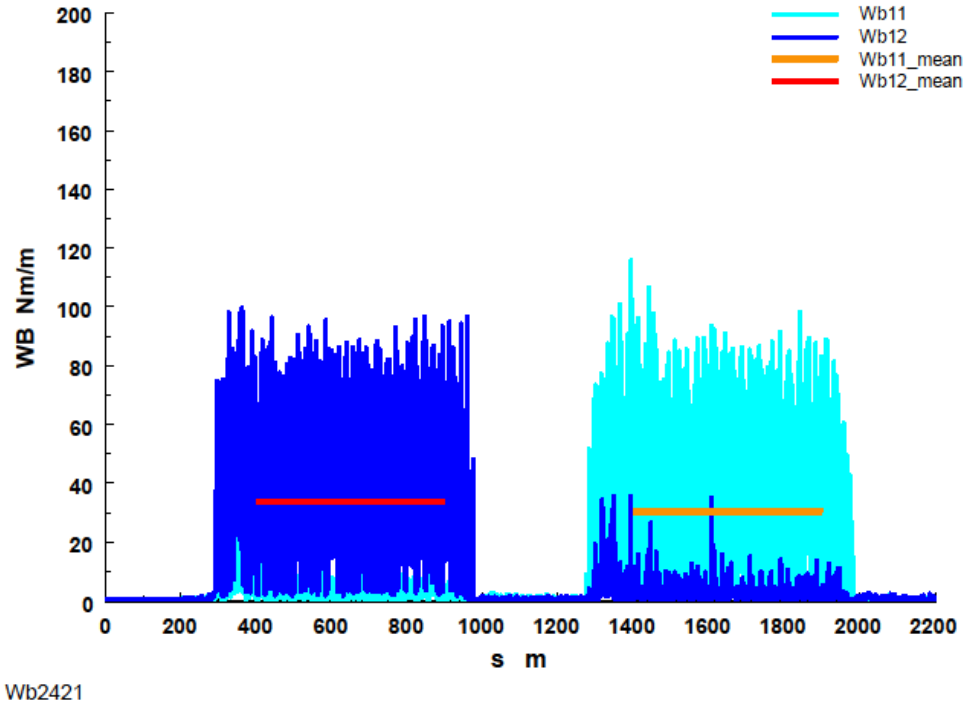


Bild 25: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Achslast 14 t

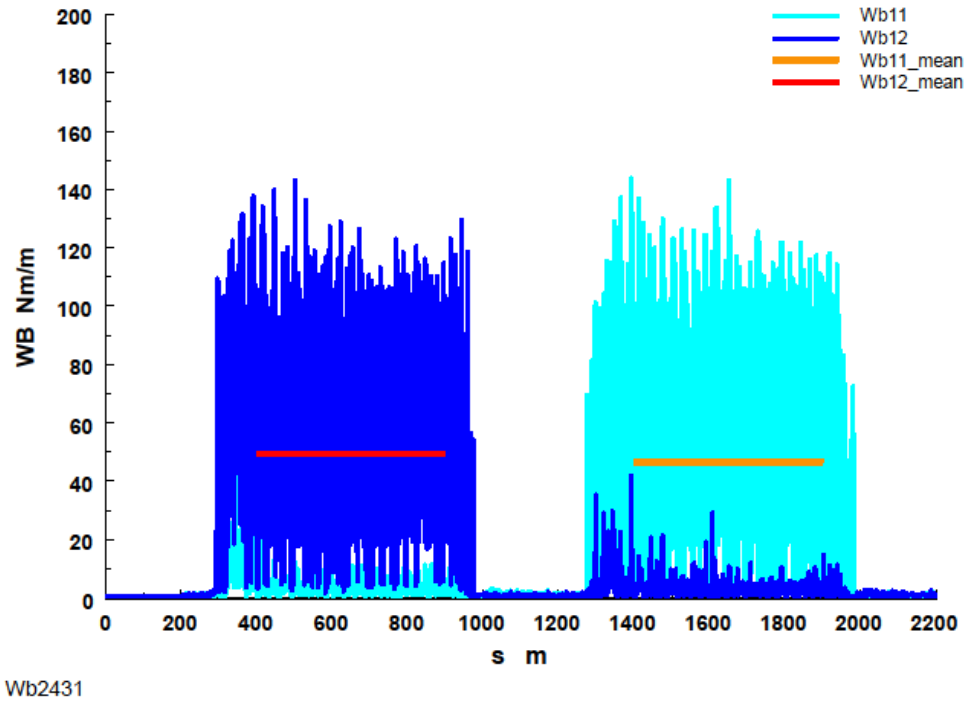


Bild 26: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Achslast 18 t

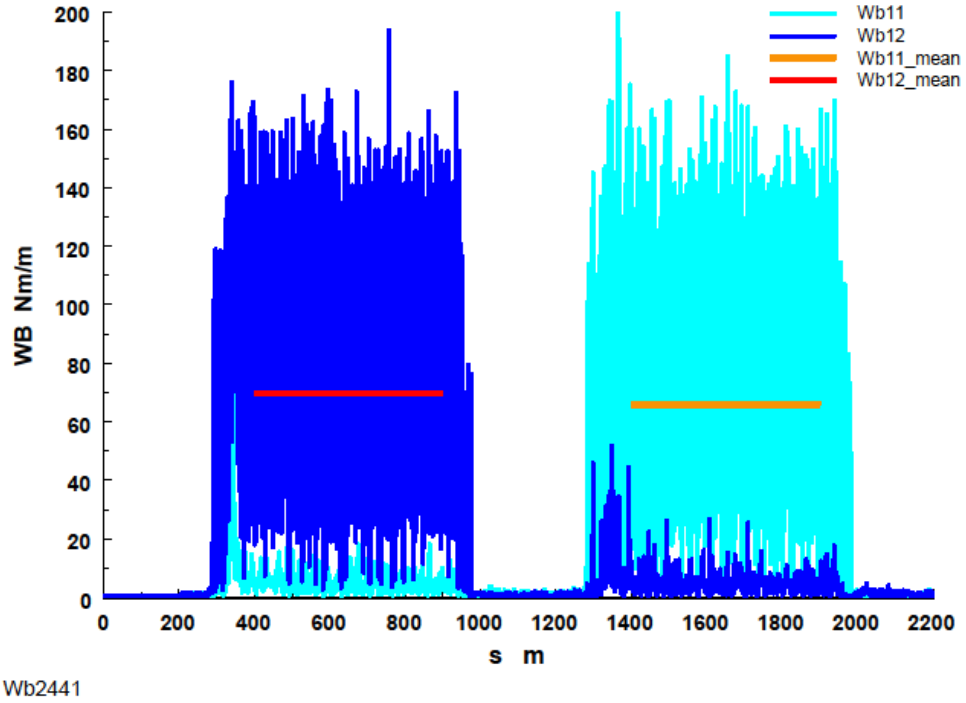


Bild 27: Radius 400 m, v = 97,43 km/h, Achslast 22 t

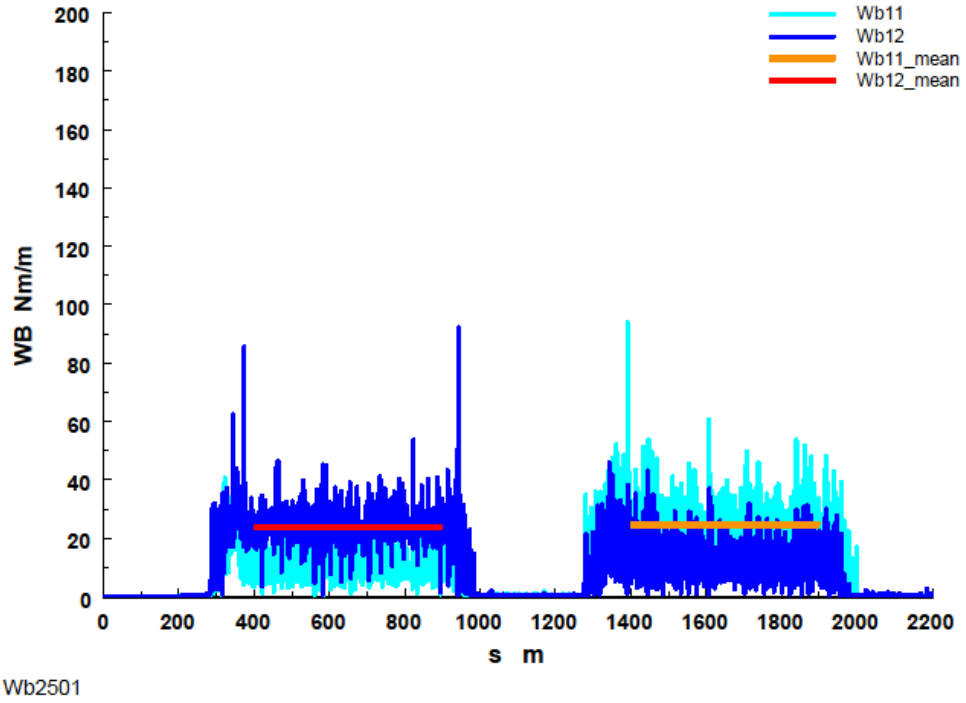


Bild 28: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

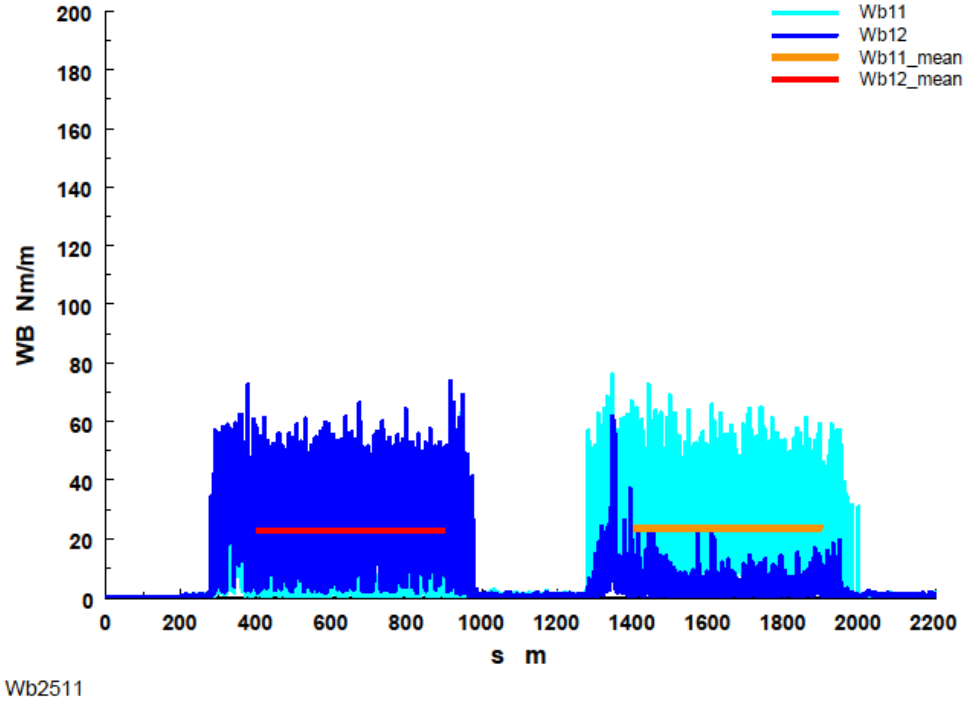


Bild 29: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Achslast 10 t

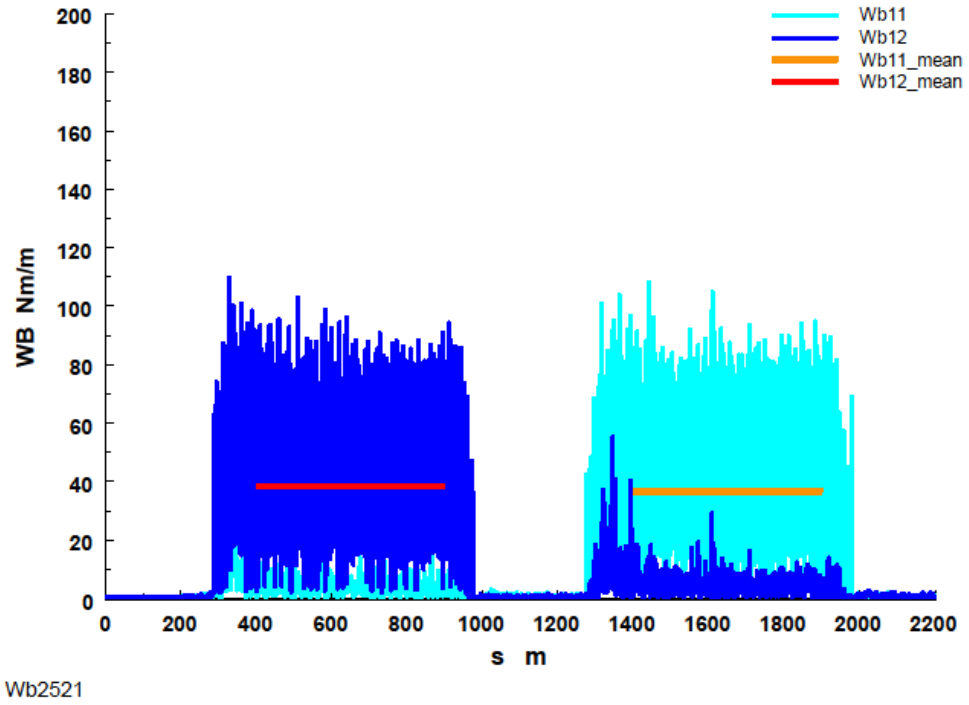


Bild 30: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Achslast 14 t

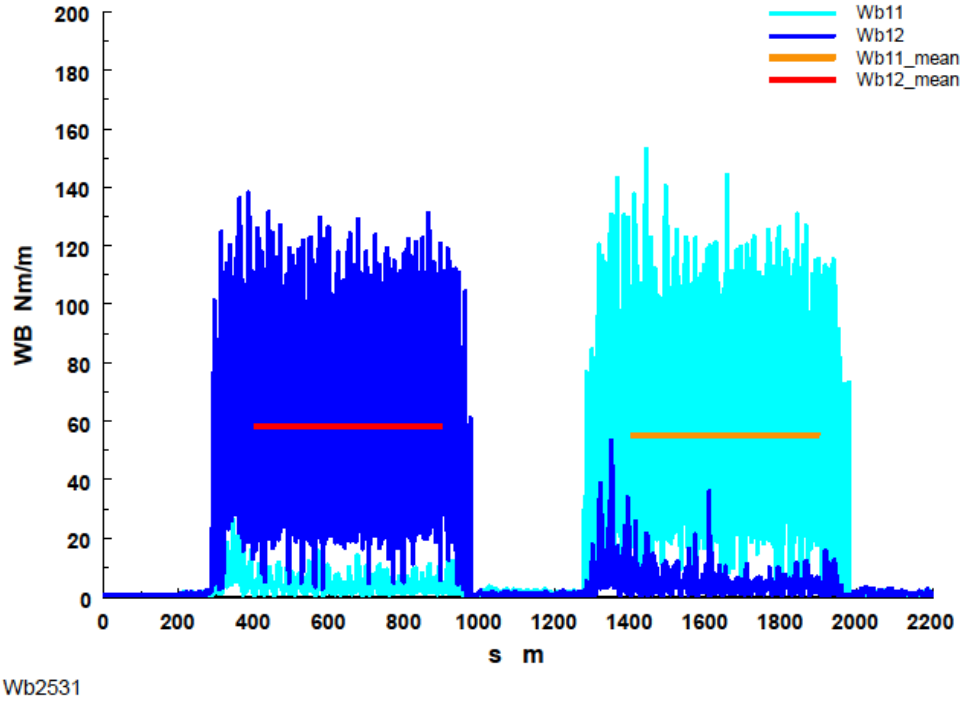


Bild 31: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Achslast 18 t

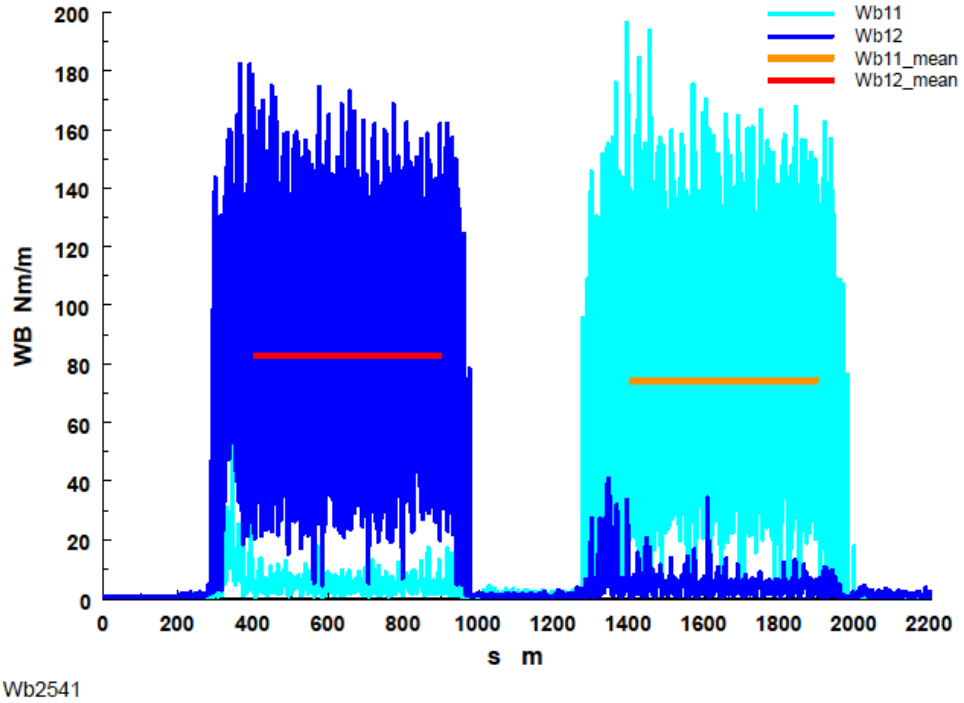


Bild 32: Radius 343 m, v = 90,22 km/h, Achslast 22 t

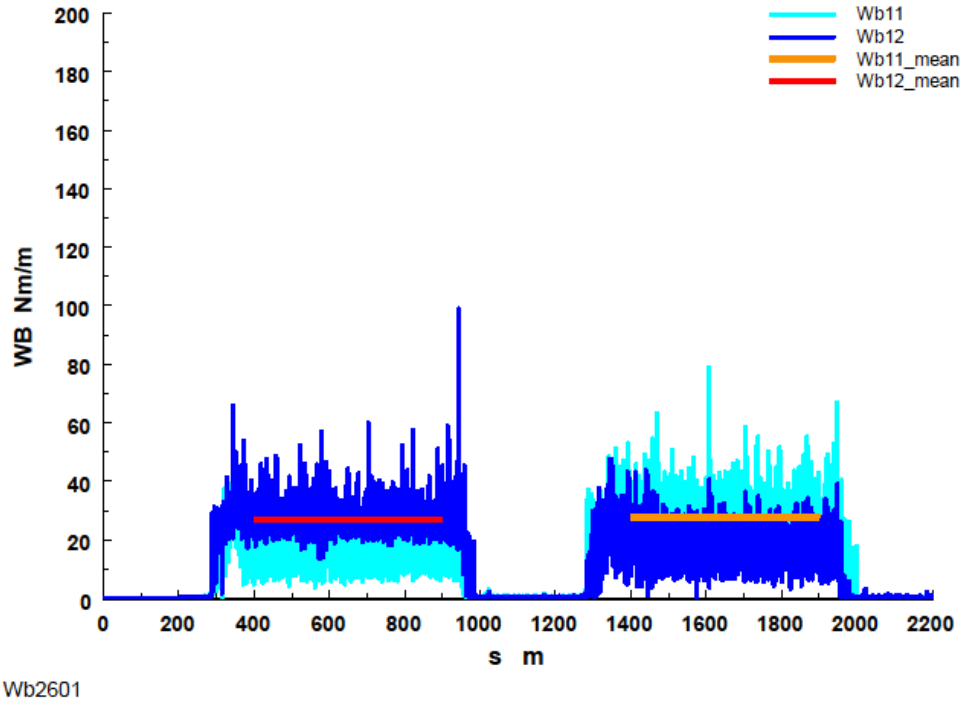


Bild 33: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

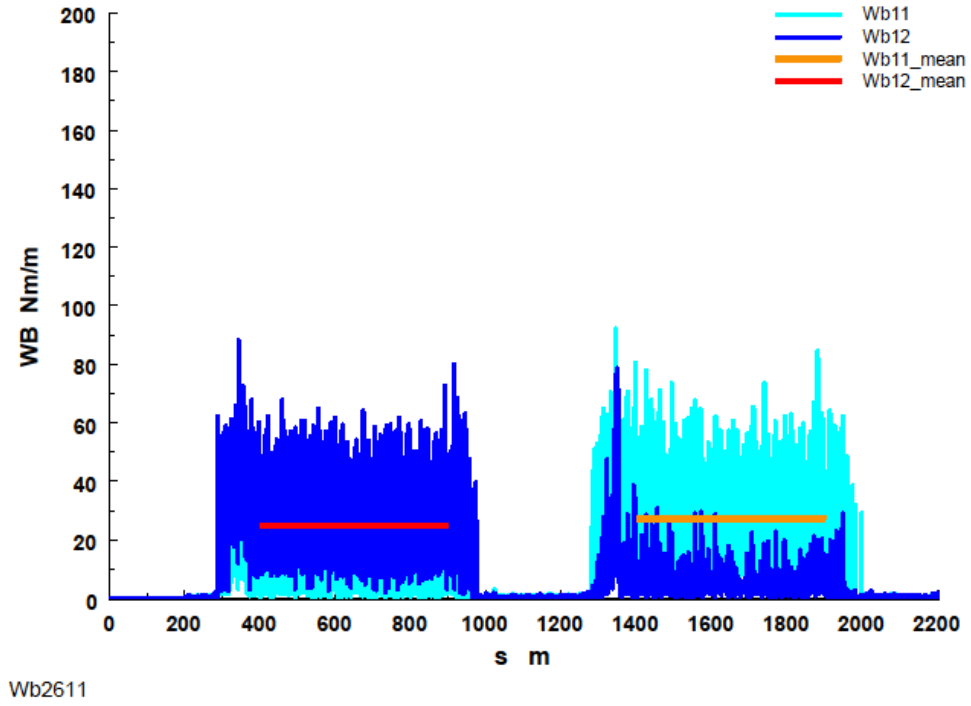


Bild 34: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Achslast 10 t

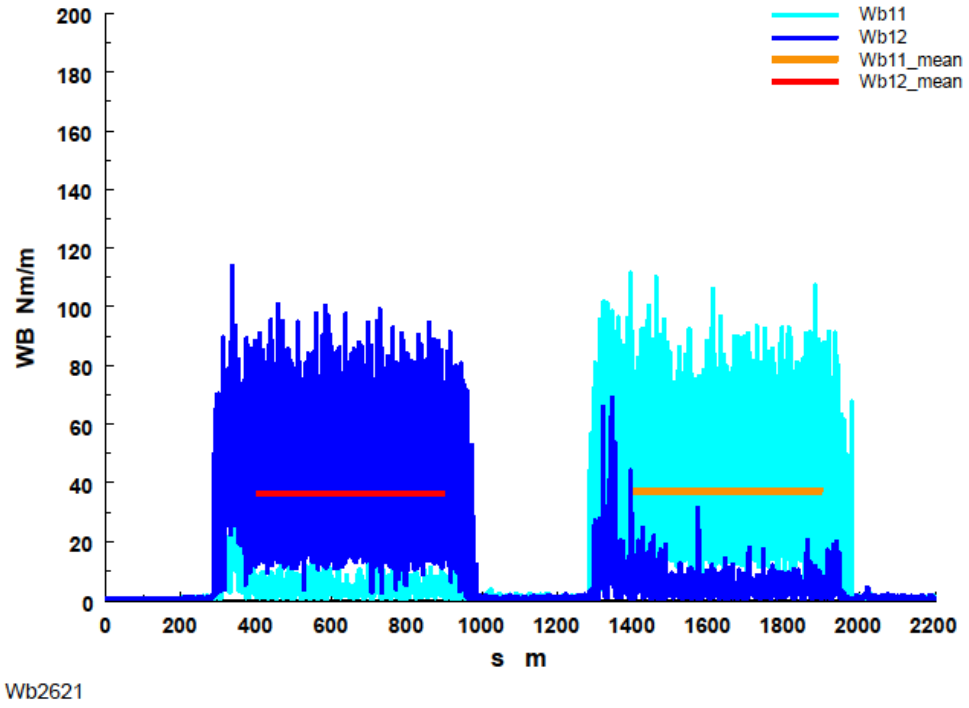


Bild 35: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Achslast 14 t

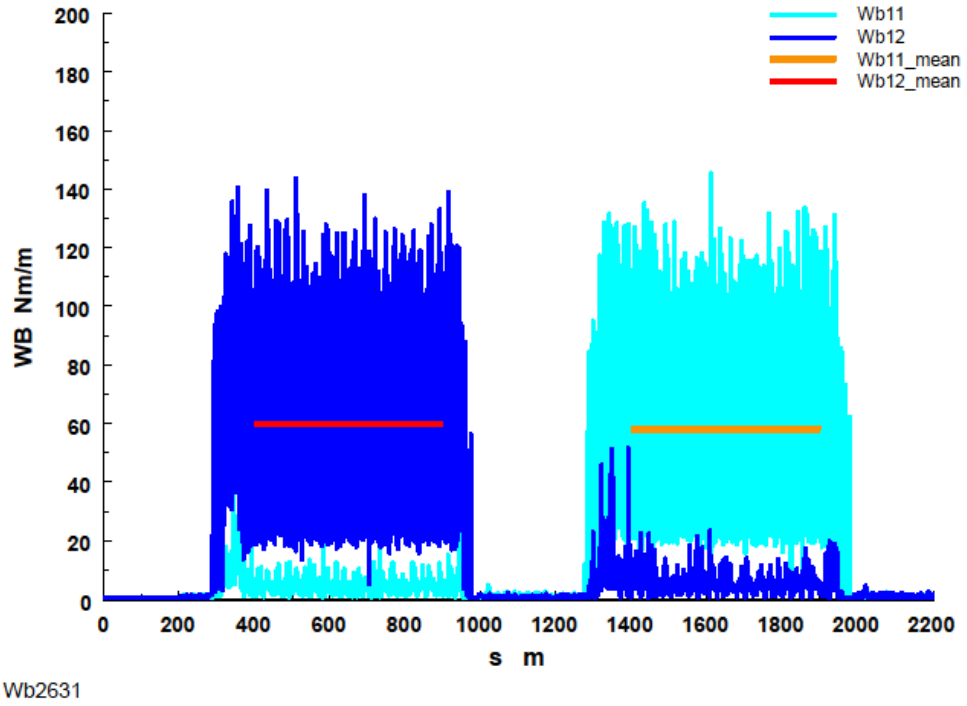


Bild 36: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Achslast 18 t

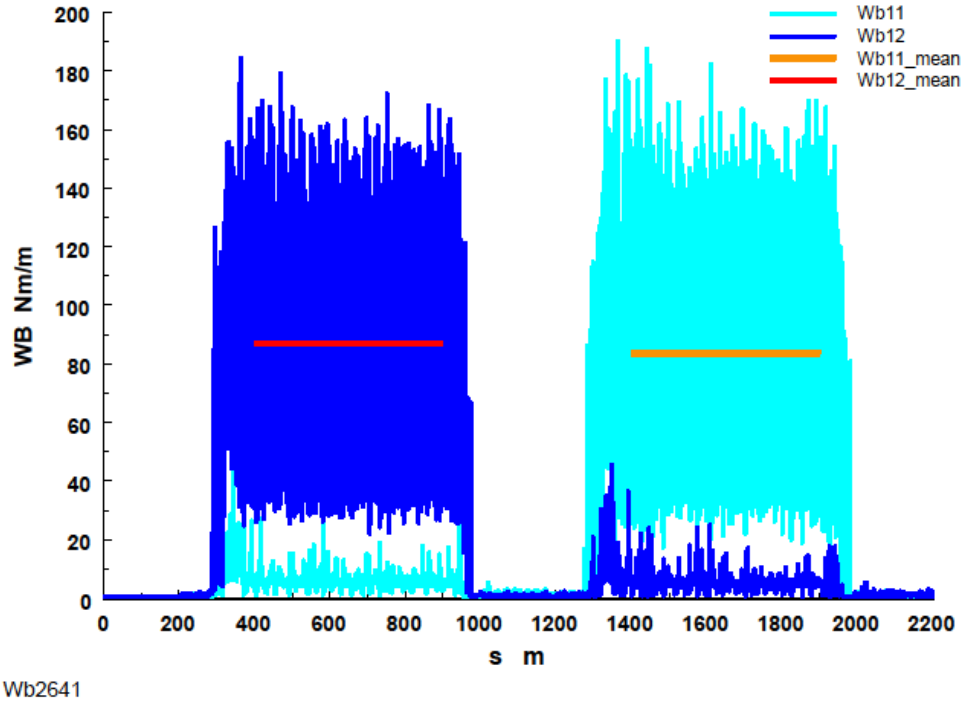


Bild 37: Radius 300 m, v = 84,37 km/h, Achslast 22 t

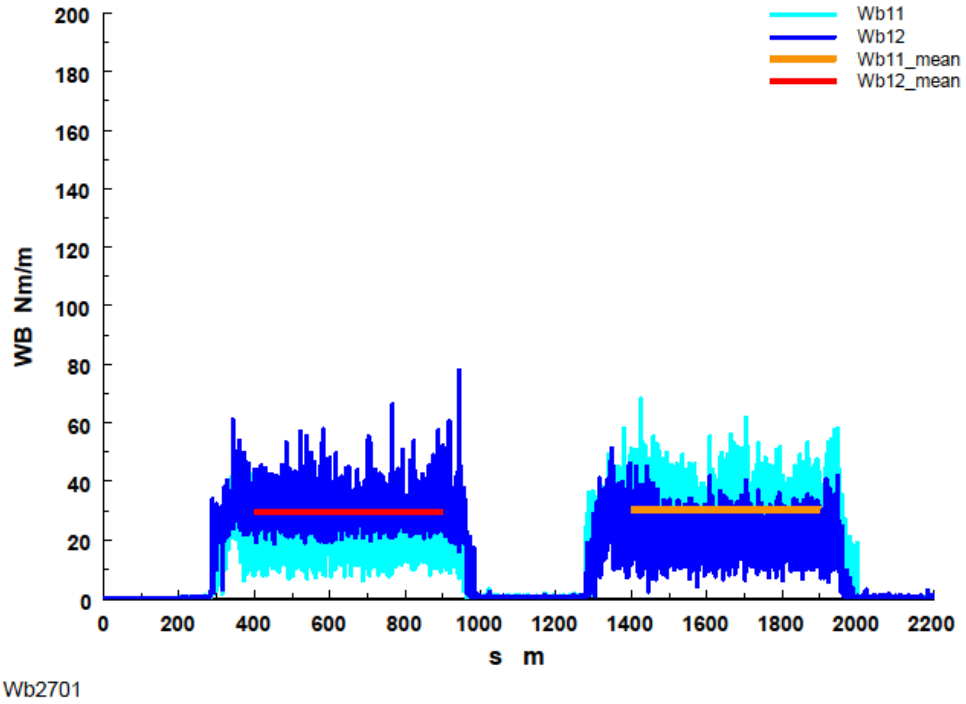


Bild 38: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

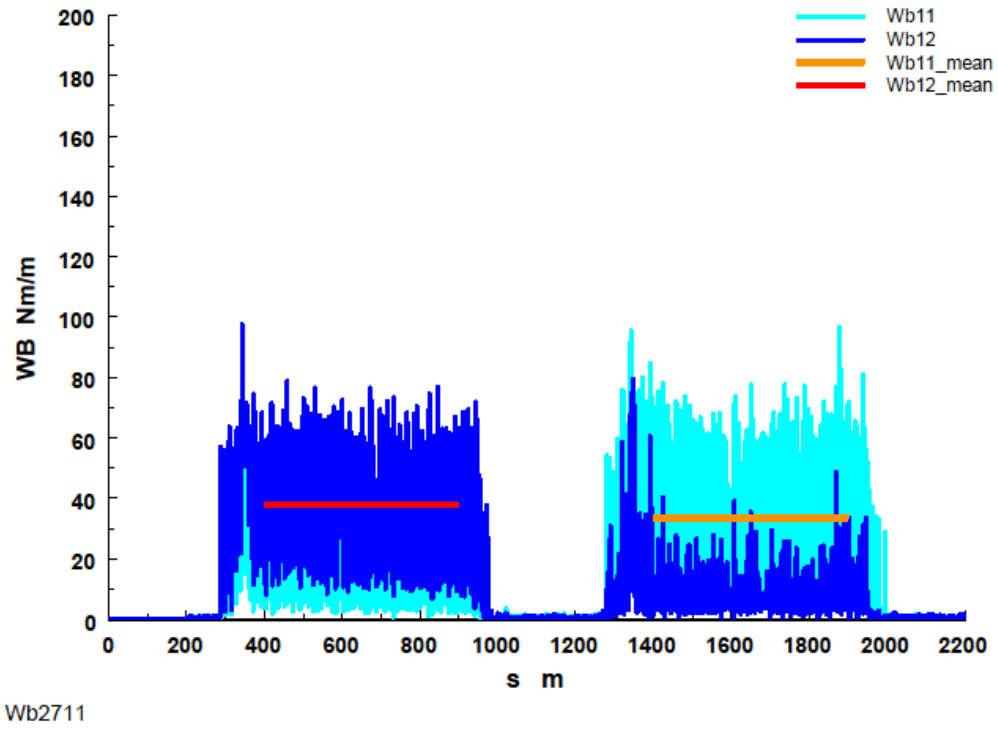


Bild 39: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Achslast 10 t

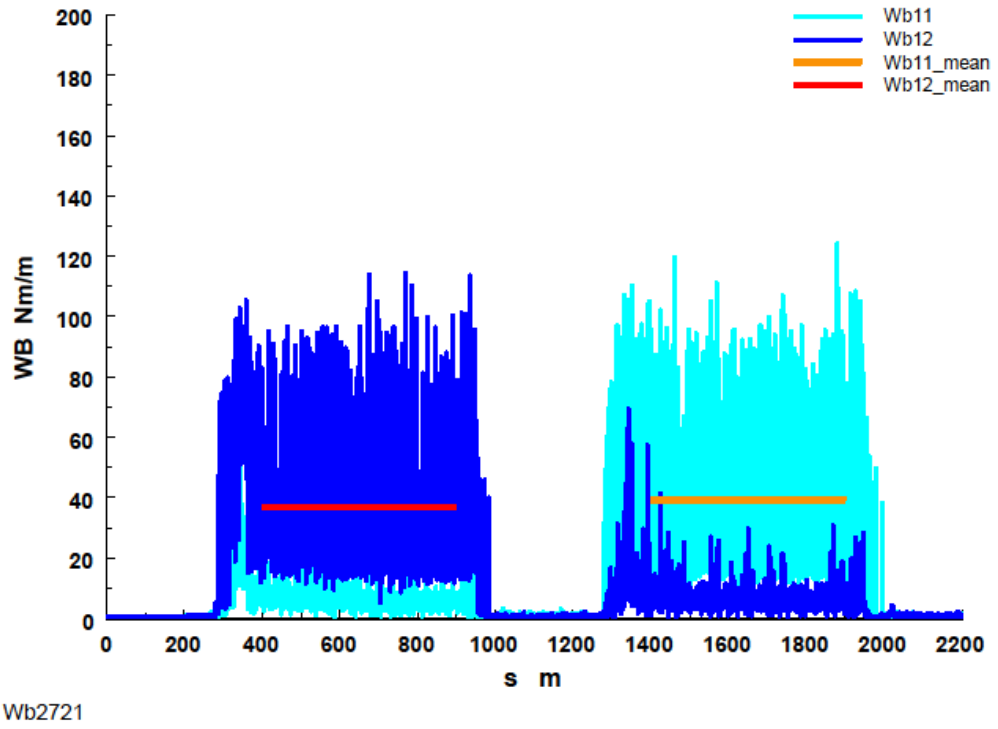


Bild 40: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Achslast 14 t

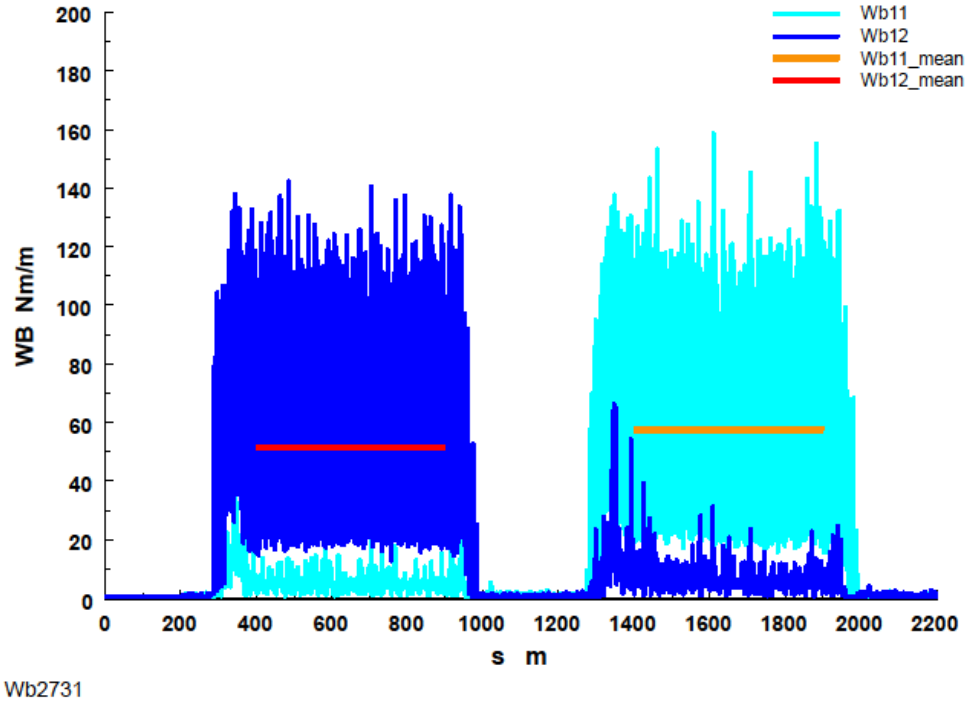


Bild 41: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Achslast 18 t

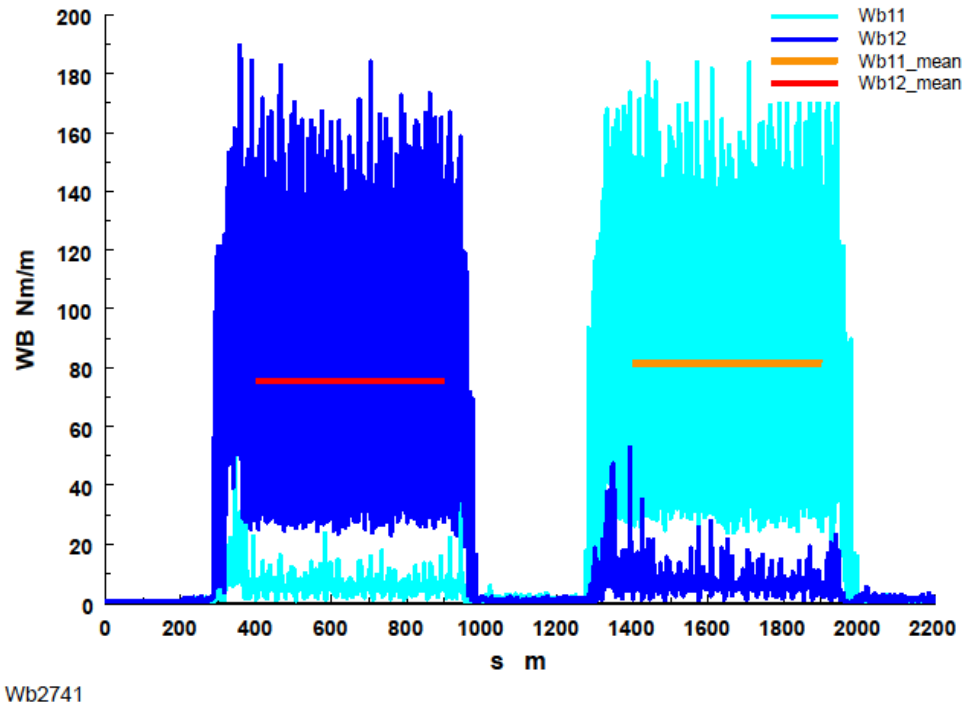


Bild 42: Radius 270 m, v = 80,04 km/h, Achslast 22 t

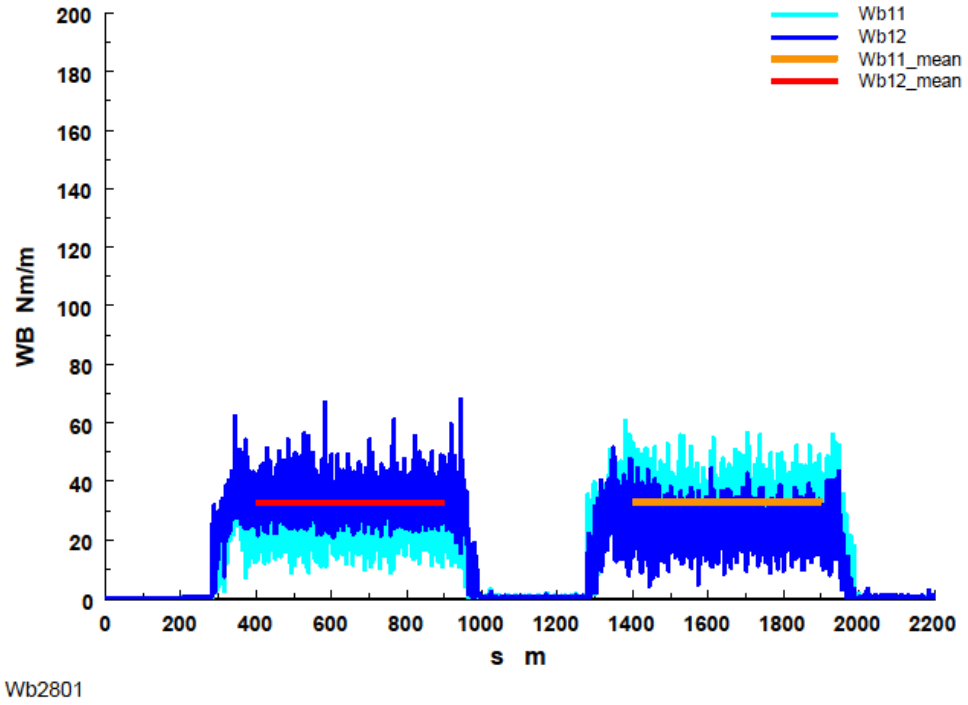


Bild 43: Radius 250 m, v = 77 km/h, Fahrzeug ohne Container, Achslast 4,4 t

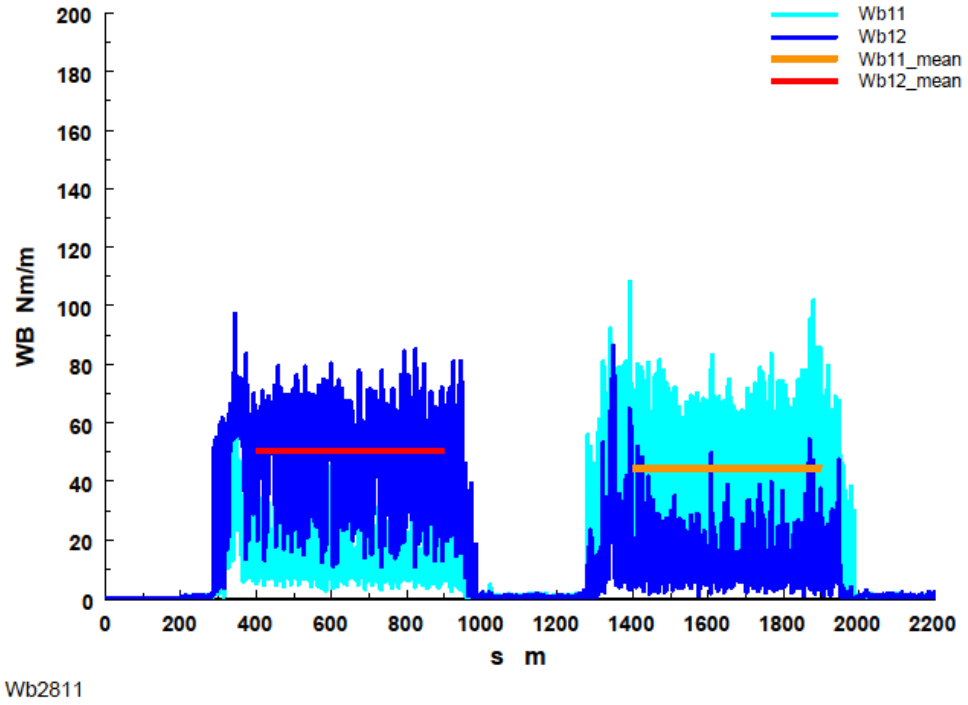


Bild 44: Radius 250 m, v = 77 km/h, Achslast 10 t

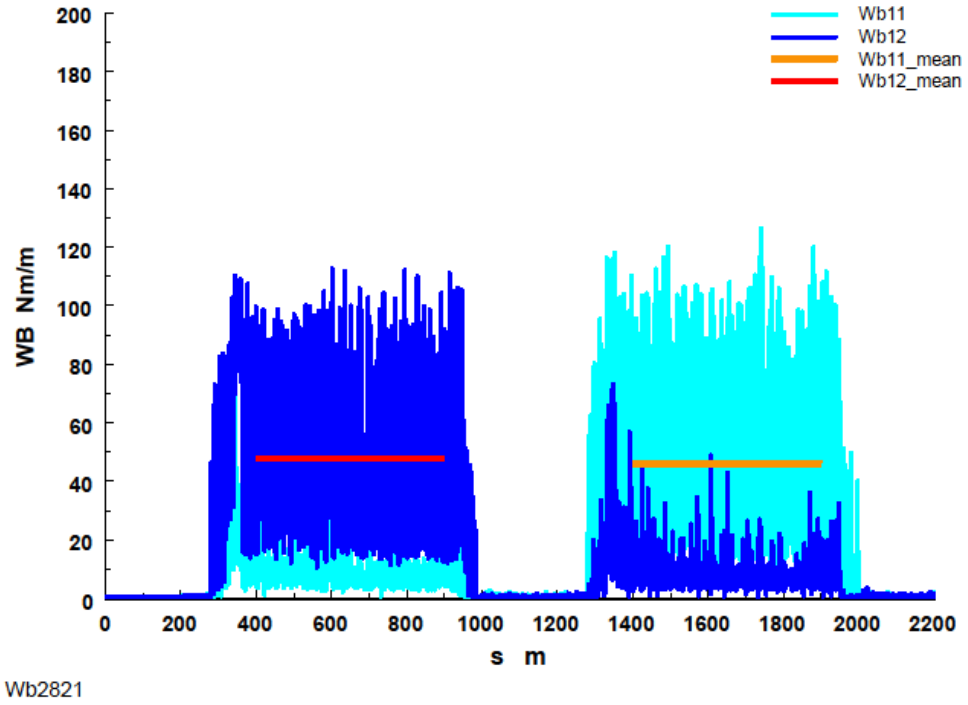


Bild 45: Radius 250 m, v = 77 km/h, Achslast 14 t

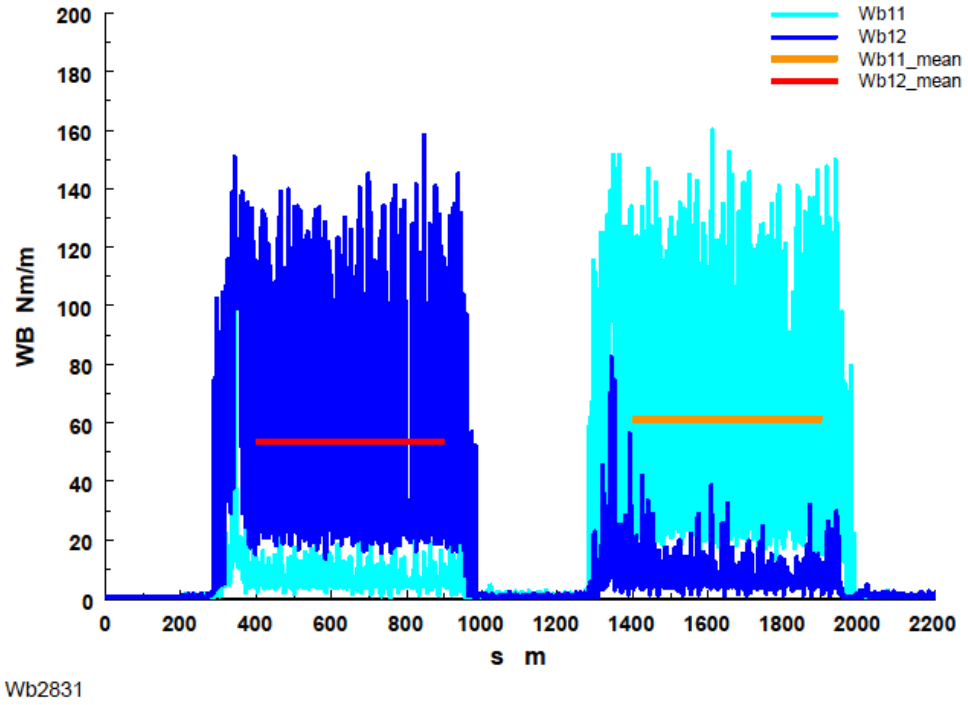


Bild 46: Radius 250 m, v = 77 km/h, Achslast 18 t

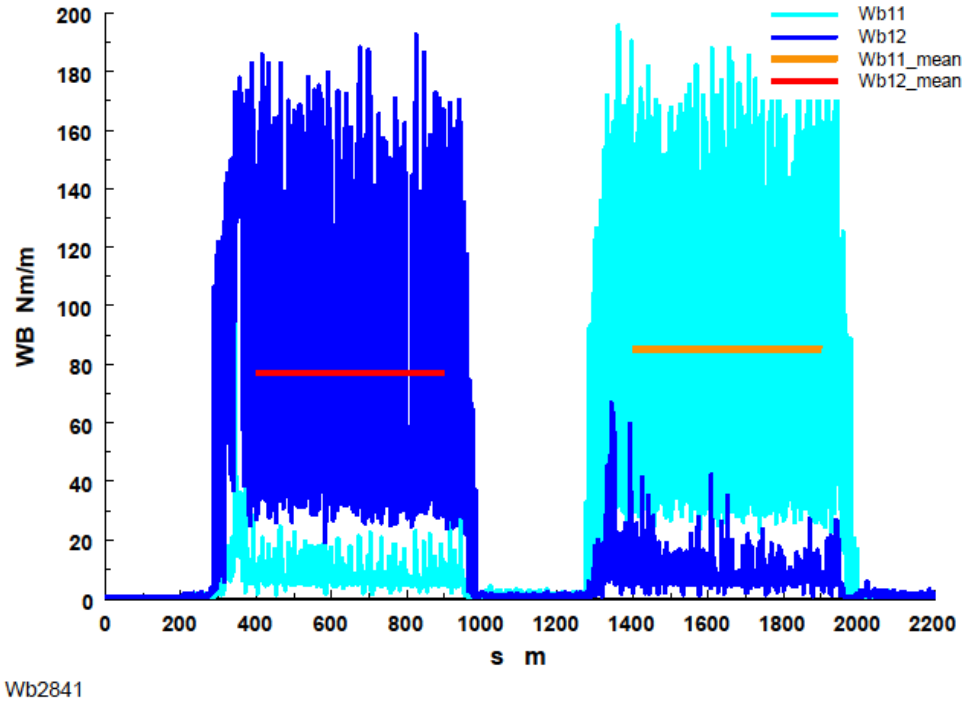


Bild 47: Radius 250 m, v = 77 km/h, Achslast 22 t

5. Querkraft in Weichen Yw185

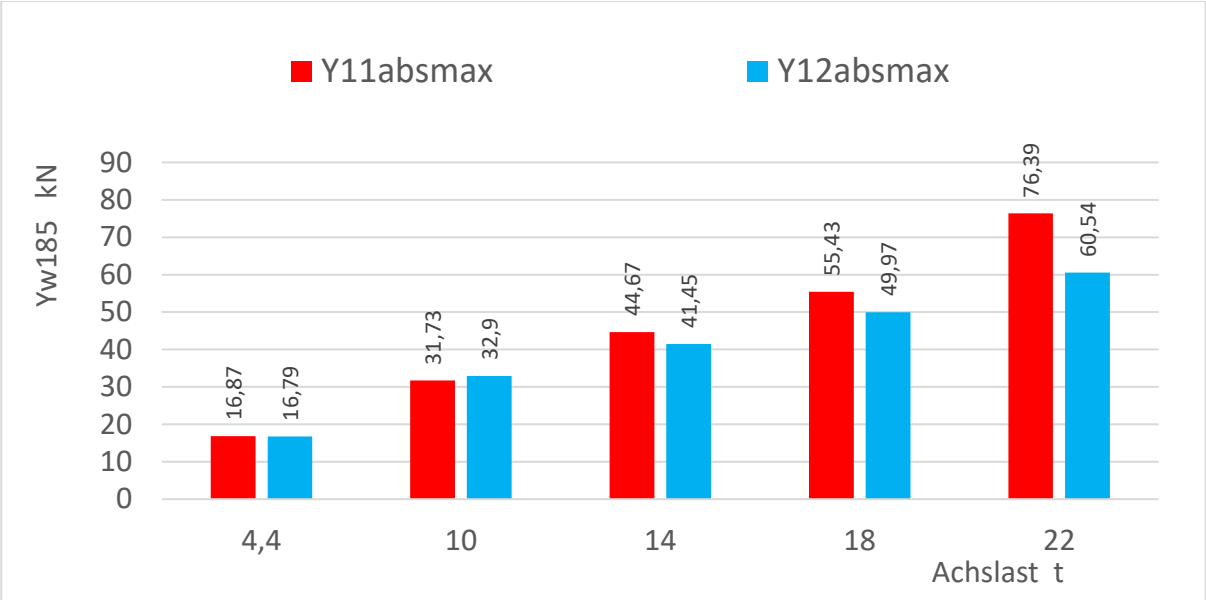


Bild 48: Maximalwerte der Querkraft Yw185 als Funktion der Achslast

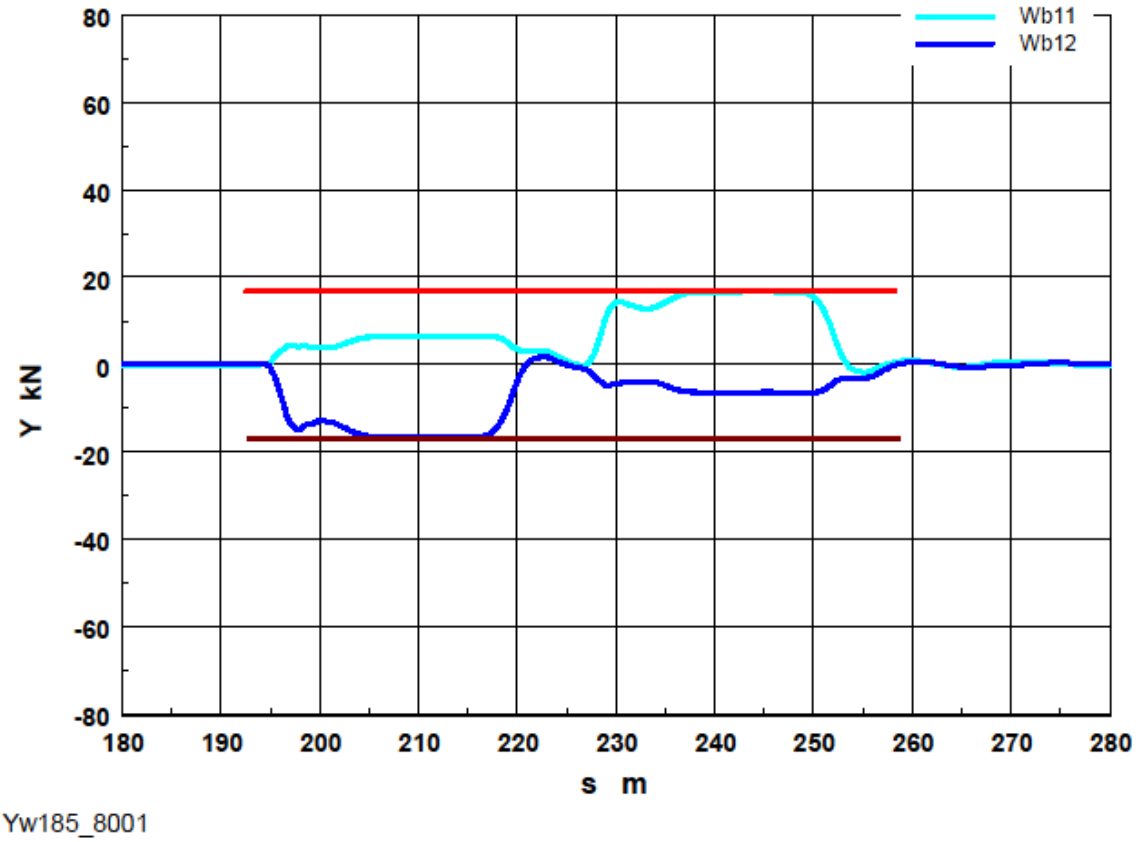


Bild 49: Querkraft Y_{w185} bei leerem Fahrzeug, Achslast 4,4 t

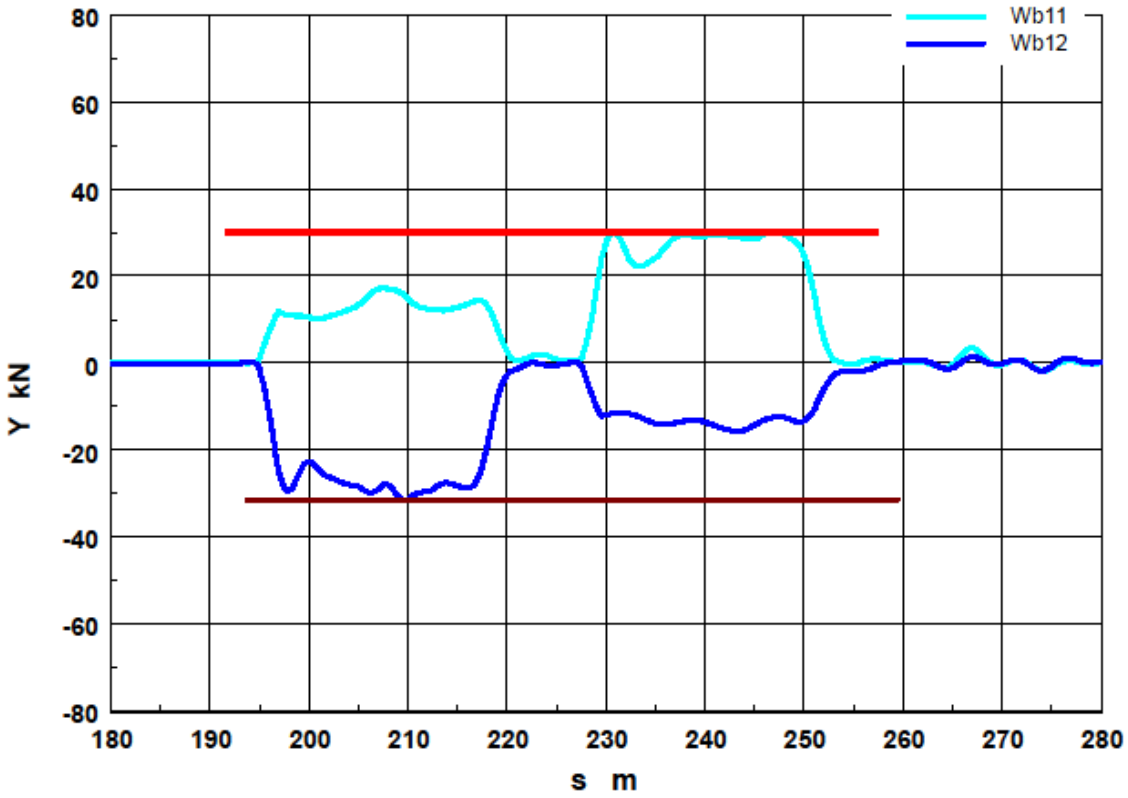


Bild 50: Querkraft Y_{w185} bei einer Achslast von 10 t

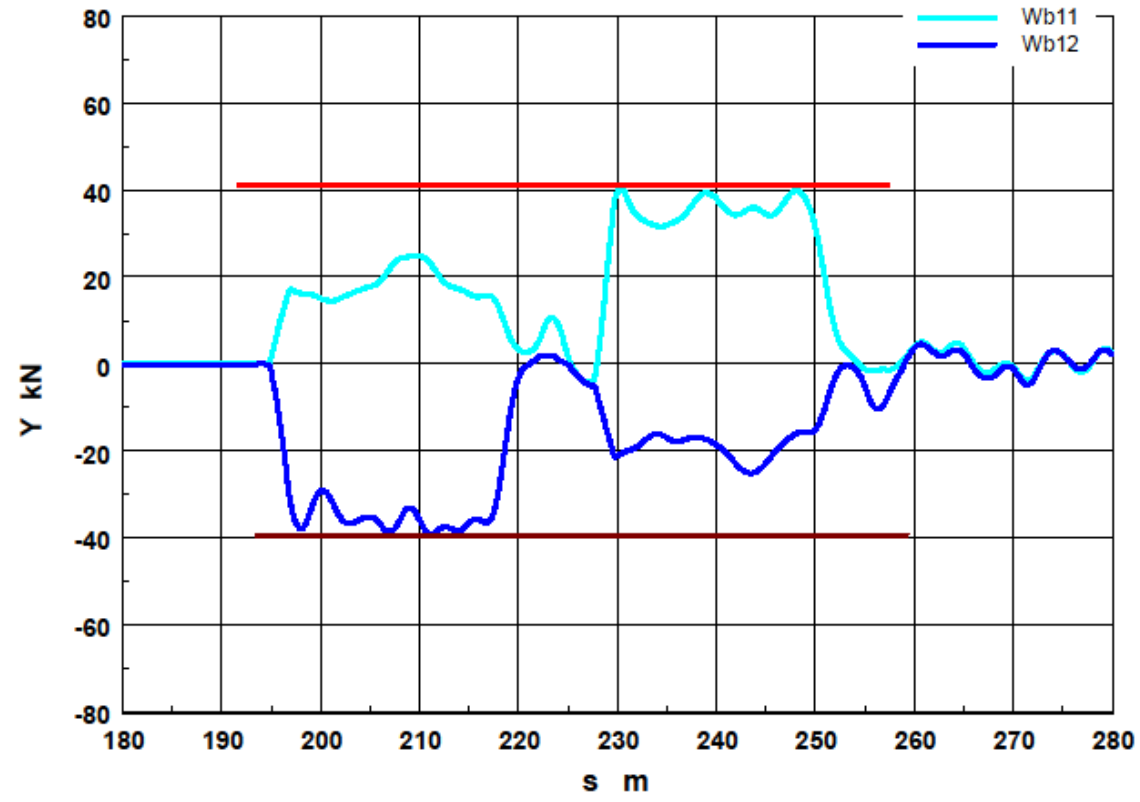


Bild 51: Querkraft Y_{w185} bei einer Achslast von 14 t

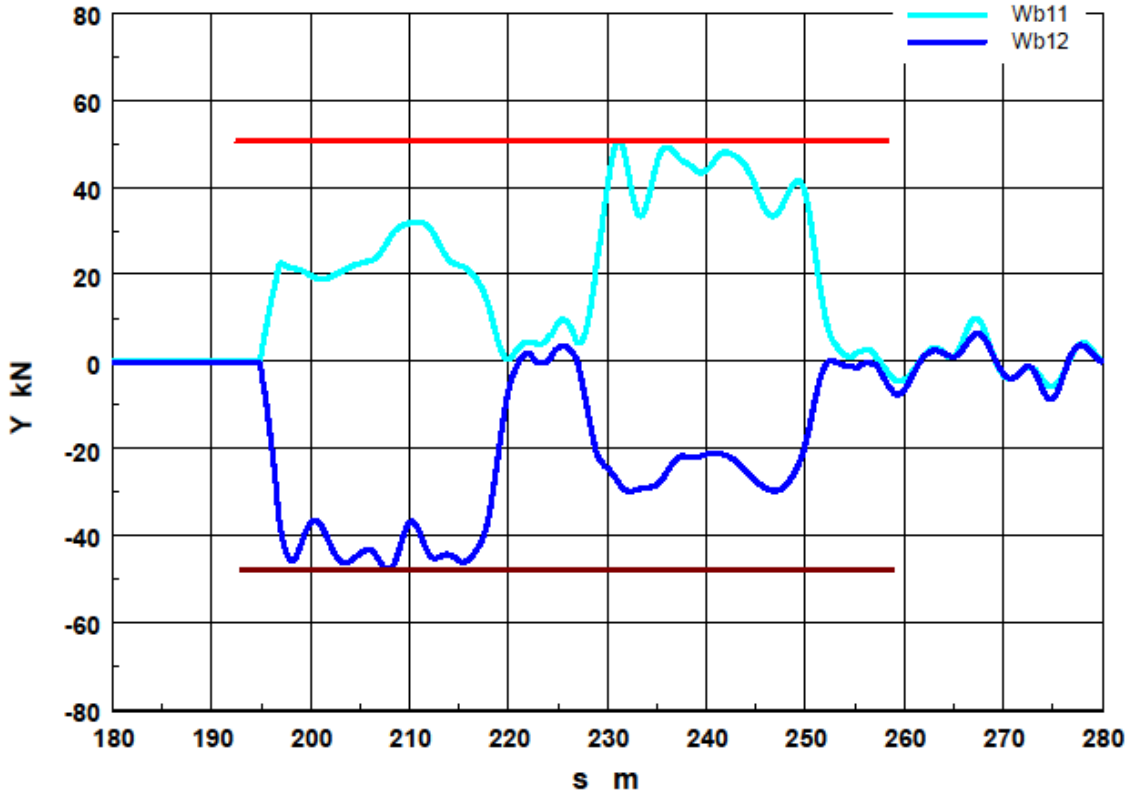


Bild 52: Querkraft Y_{w185} bei einer Achslast von 18 t

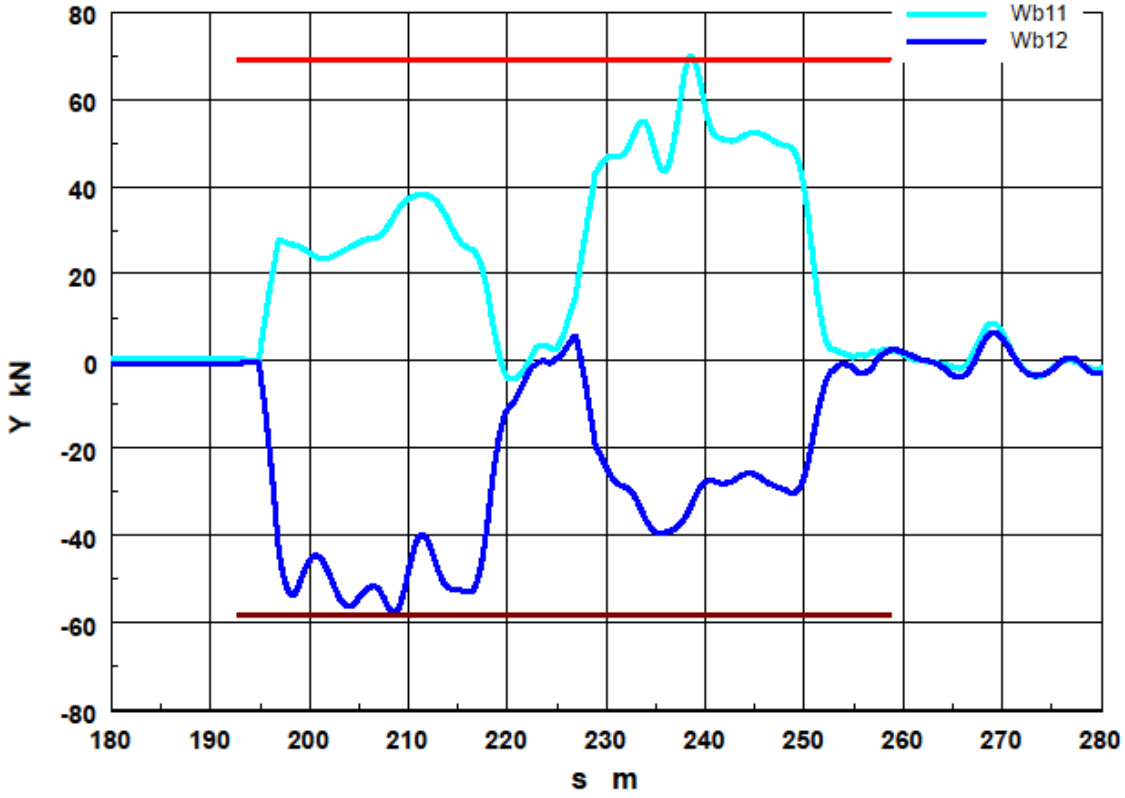


Bild 53: Querkraft Y_{w185} bei einer Achslast von 22 t

6. Modellbeschreibung

6.1 Körper

Die Körper sind starr und durch nachgiebige oder Zwangselemente verbunden.
In MEDYNA werden verschieden Bezugskoordinatensysteme verwandt:

1. Referenzsystem e_0 auf das sich alle Körperkoordinnatensysteme beziehen
2. Nominale Körperkoordinatensysteme e_{iN} auf die sich alle Verschiebungen und Verdrehungen des Integrators beziehen und die fest im Referenzsystem sind.
3. Körperfeste Koordinatensysteme e_i in denen die Knoten auf den Körpern für Verbindungen angegeben sind sofern keine Hilfsbasis vorhanden ist.
4. Hilfsbasensysteme, bezogen auf die nominalen Koordinatensysteme, zur Definition der Knotenkoordinaten auf den Körpern inkl. des Schwerpunkts z.B. definiert auf Schienenoberkante (SOK)

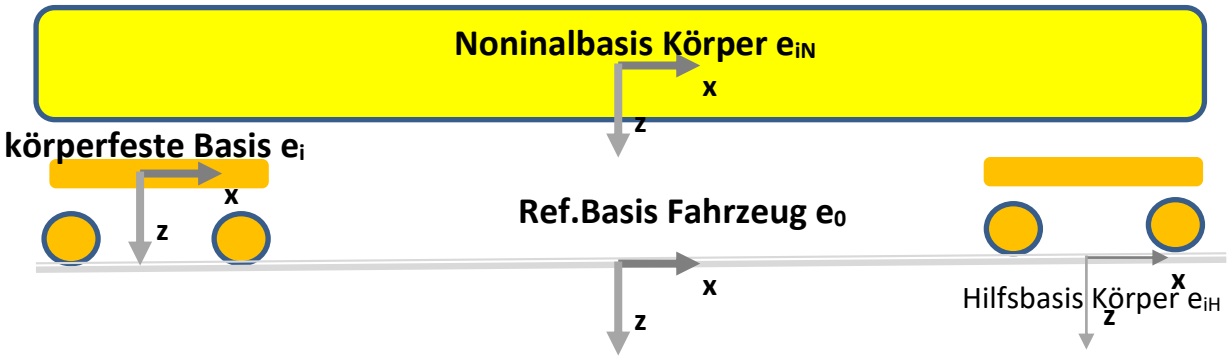


Bild 54: Verwandte Koordinatensysteme

		Masse	Schwerpunktskoordinaten 1)			Massenträgheitsmomente um Schwerpunkt		
	Modell benennung	m kg	x m	y m	z m	Jxx kgm²	Jyy kgm²	Jzz kgm²
Unabgefederte Massen								
Radsatz Inkl Bremsscheiben	Radsatz	1.330	±8,000 ±6,200	0,000	-0,460	1200	150	1200
Deichsel	Deixl	85	±7,550 ±6,650	0,000	-0,460	60*	25*	60*
Achslager	AS	60	±8,000 ±6,200	±1,000	-0,460	15*	20*	20*
Primärgefederte Massen								
Längsträger	Latra	240	±7,100	±1,000	-0,523	10	92	84
Bremsträger	BrTr	234	±7,615 ±6,585	0,000	-0,565	62	10	61
Querträger	Quetra	444	±7,100	0,000	-0,678	230	18	236
Sekundärgefederte Massen								
Untergestell	U_gestell	8.657	0,000	0,000	-0,800	7.754	264.185	271.104
Container beladen	Aufbau	70.000	0,000	0,000	-2,100	73.800	2048.560	2048.560
1) Schienenoberkante, Referenzkoordinatensystem Fahrzeugmitte * geschätzte Werte								

Tab. 4: Massendaten

6.1 Verbindugselemente

6.1.1 Geometriedaten

Koppelpunkt	Koordinaten					
	x m	y m	z m	x m	y m	z m
Radsatz	eiN					
Achslager	0,000	1,000	0,000	0,000	-1,000	0,000
Bremscheibe1	0,300	0,680	0,000	0,300	-0,680	0,000
Bremscheibe2	-0,300	0,680	0,000	-0,300	-0,680	0,000
Deichsel vorne	eiN					
Achslager vorne	0,450	1,000	0,000	0,450	-1,000	0,000
Deichselverbindung	-0,450	0,000	0,090			
Querdämpfer Längsträger	0,200	0,000	0,090			
Deichsel hinten	eiN					
Achslager hinten	-0,450	1,000	0,000	-0,450	-1,000	0,000
Deichselverbindung	0,450	0,000	0,090			
Querdämpfer Längsträger	0,200	0,000	0,090			
Achslager	eiN					
Gummielement	0,000	0,000	0,153			

Längsträger	SOK					
Primärsteifigkeit vorne	0,900	0,000	-0,613	0,900	0,000	-0,613
Primärsteifigkeit hinten	-0,900	0,000	-0,613	-0,900	0,000	-0,613
Sekundärquerdämpfer	0,000	-0,147	-0,481	0,000	0,147	-0,481
Sekundärvertikaldämpfer	0,000	0,175	-0,342	0,000	-0,175	-0,342
Sekundärsteifigkeit vorne aussen	0,160	0,100	-0,462	0,160	-0,100	-0,462
Sekundärsteifigkeit vorne innen	0,160	-0,100	-0,462	0,160	0,100	-0,462
Sekundärsteifigkeit hinten aussen	-0,160	0,100	-0,462	-0,160	-0,100	-0,462
Sekundärsteifigkeit hinten innen	-0,160	-0,100	-0,462	-0,160	0,100	-0,462
Primäranschlag vorne	0,900	0,000	-0,460	0,900	0,000	-0,460
Primäranschlag hinten	-0,900	0,000	-0,460	-0,900	0,000	-0,460
Sekundäranschlag	0,000	0,000	-0,720	0,000	0,000	-0,720
Bremsträger vorne	0,715	0,000	-0,460	0,715	0,000	-0,460
Bremsträger hinten	-0,715	0,000	-0,460	-0,715	0,000	-0,460
Querdämpfer Deichsel	0,650	0,000	-0,370	0,650	0,000	-0,370
Querdämpfer Deichsel	-0,650	0,000	-0,370	-0,650	0,000	-0,370
Bremsträger vorne	SOK					
Längsträger	0,200	1,000	-0,460	0,200	-1,000	-0,460
Bremsen Radscheibe	0,085	0,680	-0,460	0,085	-0,680	-0,460
Bremsträger hinten	SOK					
Längsträger	-0,200	1,000	-0,460	-0,200	-1,000	-0,460
Bremsen Radscheibe	-0,085	0,680	-0,460	-0,085	-0,680	-0,460
Querträger	SOK					
Sekundärsteifigkeit vorne außen	0,160	1,100	-0,798	0,160	-1,100	-0,798
Sekundärsteifigkeit vorne innen	0,160	0,900	-0,798	0,160	-0,900	-0,798
Sekundärsteifigkeit hinten außen	-0,160	1,100	-0,798	-0,160	-1,100	-0,798
Sekundärsteifigkeit hinten innen	-0,160	0,900	-0,798	-0,160	-0,900	-0,798
Vertikaldämpfer	0,000	1,175	-0,676	0,000	-1,175	-0,676
Gleitstück	0,000	0,850	-0,800	0,000	-0,850	-0,800
Kugelschale	0,000	0,000	-0,835			
Anschlag* xyz	0,000	1,000	-0,720	0,000	-1,000	-0,720
Querdämpfer	0,000	0,468	-0,510	0,000	-0,468	-0,510
Untergestell	SOK					
Kugelschale vorne	7,100	0,000	-0,835			
Kugelschale hinten	-7,100	0,000	-0,835			
Gleitstück vorne	7,100	0,850	-0,800	7,100	-0,850	-0,800
Gleitstück hinten	-7,100	0,850	-0,800	-7,100	-0,850	-0,800
Auflager vorne	7,100	1,300	-1,200	7,100	-1,300	-1,200
Auflager hinten	-7,100	1,300	-1,200	-7,100	-1,300	-1,200
Aufbau/Container	SOK					
k1i	7,100	1,300	-1,200	7,100	-1,300	-1,200
k2i	-7,100	1,300	-1,200	-7,100	-1,300	-1,200

6.2.2 Eigenschaften der Koppelelemente

	Verbindung	Name Nummer	Beschreibung
1.	Gleismodul / Rad	WR 21	Bild 55 • Elastisches Kontaktmodell, • Kontaktfläche über starre Durchdringung der Profile, • räumlcher Kontakt durch Hüllkurvenberechnung • Verschleisskennziffer durch Summation Längs-und Querspannung * lokaler Schlupf
2.	Achslager / Radsatz Zynderrollenlager	Achslager 13	Zwangsbedingung mit freier Drehung um Radsatzwelle
3.	Achslager / Längsträger Anschlag	AS+xyz 80	Bild 56, 3-dimensionaler Anschlag symmetrisch
4.	Achslager / Längsträger Anschlag	AS+xyz 81	Bild 57, 1- dimensionaler Anschlag unsymmetrisch
5.	Achslager / Längsträger Primärsteifigkeit	k+ 267	Bild 58, Achsfederelement mit lastabhängiger Längs-und Quer Steifigkeit)
6.	Längsträger / Querträger Sekundärfeder / TKS-Feder	k*+a, k*+i k*-a, k*-i 263	Bild 61, bilineare Zylinderfeder
7.	Querträger / Untergestell Gleitstück	Gleitst 298	Bild 60, Coulomb'sches Reibelement translatorisch mit 1 mm Spiel und vertikaler Steifigkeit mit 16 mm Blocklänge
8.	Querträger / Untergestell Kugelschale	Kugelsch l 298	Bild 60 Spiel 0 mm, Coulomb'sches Reibelement Drehung,
9.	Schiene / Gleiskörper Simpack-Gleiselement	SC 61	Schwelle mit Schienenknoten und kompaktem parallelen Feder-Dämpfer
10.	Querträger / Längsträger Anschläge	ASxyz ASyz* 80, 81	1 und 3-dimensionale Anschläge
11.	Längsträger / Querträger Sekundärer Quer- und Vertikaldämpfer	cy*, cz* 246	Bild 59, nichtlineares Dämpferelement
12.	Deichsel / Deichsel Deichselkopplung	Deixl_ 61	kompaktes paralleles Feder-Dämpfer Element
13.	Deichsel / Achslager Deichselanbindung	Deixl_ 61	kompaktes paralleles Feder-Dämpfer Element
14.	Untergestell / Aufbau Auflager Container	AOC 61	kompaktes paralleles Feder-Dämpfer Element
15.	Längsträger / Deichsel Hydraulischer Dämpfer	cydl 46	Lineares Element, Feder Dämpfer in Reihe

16.	Längsträger / Querträger Sekundärdämpfer vertikal	cz* 246	Bild 59, nichtlineares Dämpferelement
17.	Bremsträger / Längsträger Bremsträgerbefestigung und Momentenstützung	BT - LTz BT – LTm 61	kompaktes paralleles Feder-Dämpfer Element

Tab. 5: Eigenschaften der Koppelelemente

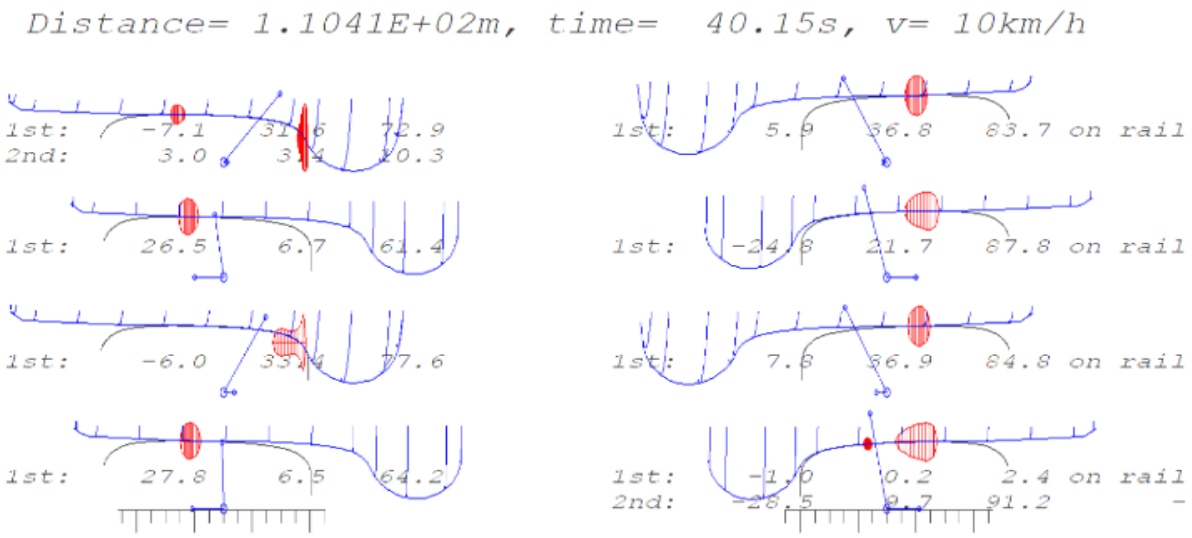


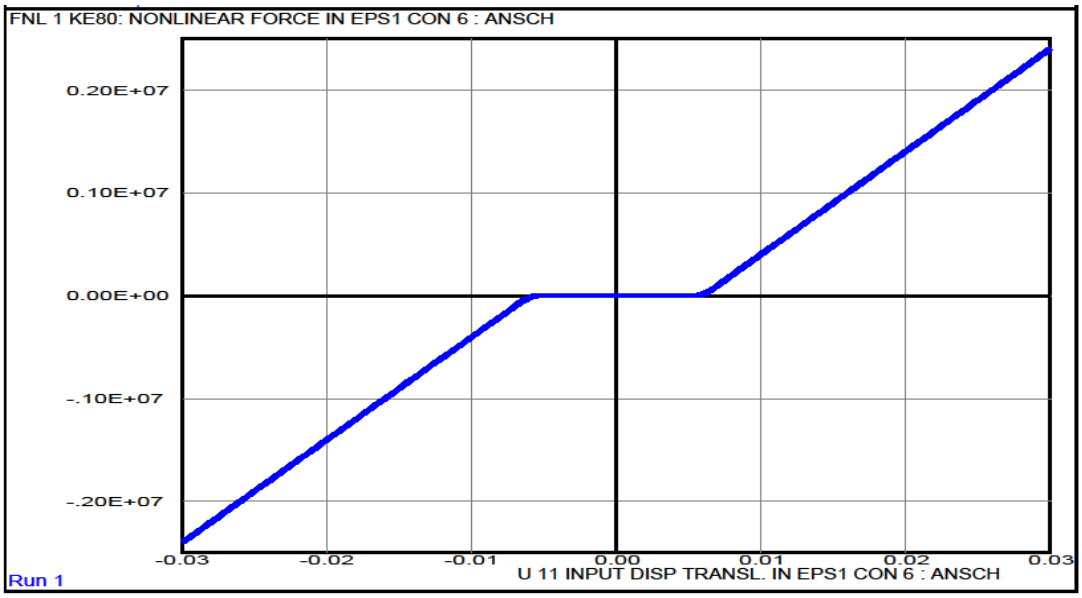
Bild 55: MEDYNA elastisches Kontaktmodell, relative Lage der Rad-Schienenprofile, in die Zeichenebene geklappte Kontaktflächen, Kräfte in den kontaktflächen und resultierende Quer-, Vertikalkraft und Momentkraftvektor aus Längskraft

6.1.3 Kenndaten der Koppelelemente

Koppelelement	Einheit	Richtung		
		x	y	z
Primärstufe				
Achslager/Längsträger	Steifigkeit Bild 58			
Achslager/Längsträger	Anschläge Bild 56, **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**			
Direkte Radsatzkopplung				
Deichsel/Deichsel	kN/mm //	2,5	10	1
	Ns/m	2	4	2
Achslager/Deichsel	kN/mm	4,58	11,9	
Deichsel / Längsträger	kN/mm ->		5	
	kNs/m		10	
Bremsträger/Längsträger	kN/mm	2,5	10	1
	Ns/m	2	4	2
Sekundärstufe				
Längsträger / Querträger	Steifigkeit Bild 61			

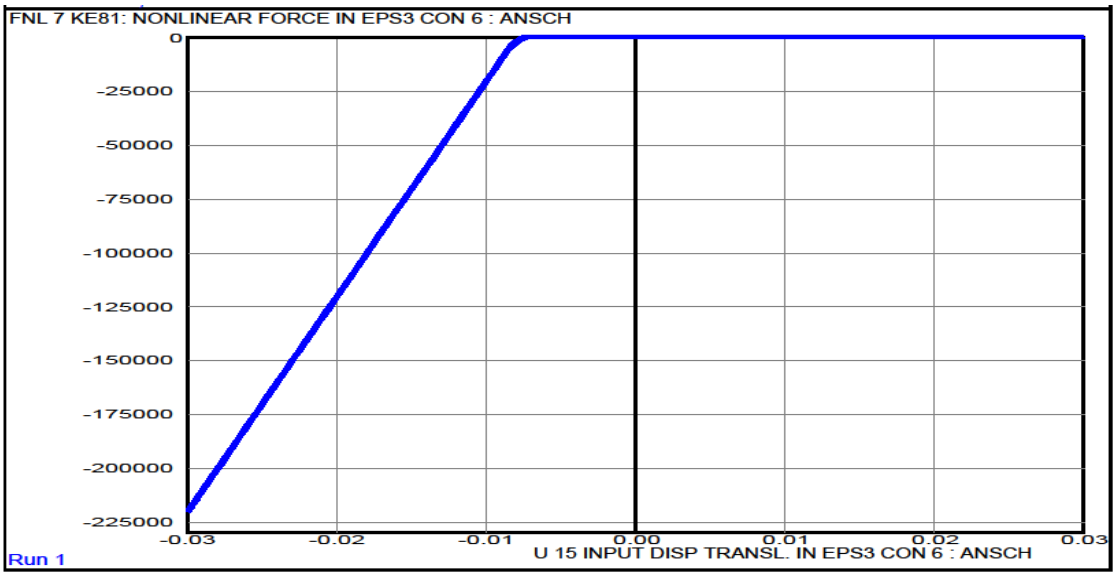
Längsträger / Querträger	kN/mm -> kNs/m		15 Bild 59	15 Bild 59
Längsträger / Querträger	Anschläge Bild 56, Bild 57			
Kastenanbindung				
Querträger / Kasten	Ausdrehmoment leer 10 kNm, Reibwert 0,3			
Serienschaltung Feder Dämpfer kN/mm -> kNs/m Parallelschaltung Feder Dämpfer kN/mm // kNs/m				

6.2.4 Kennlinien der Koppelelemente



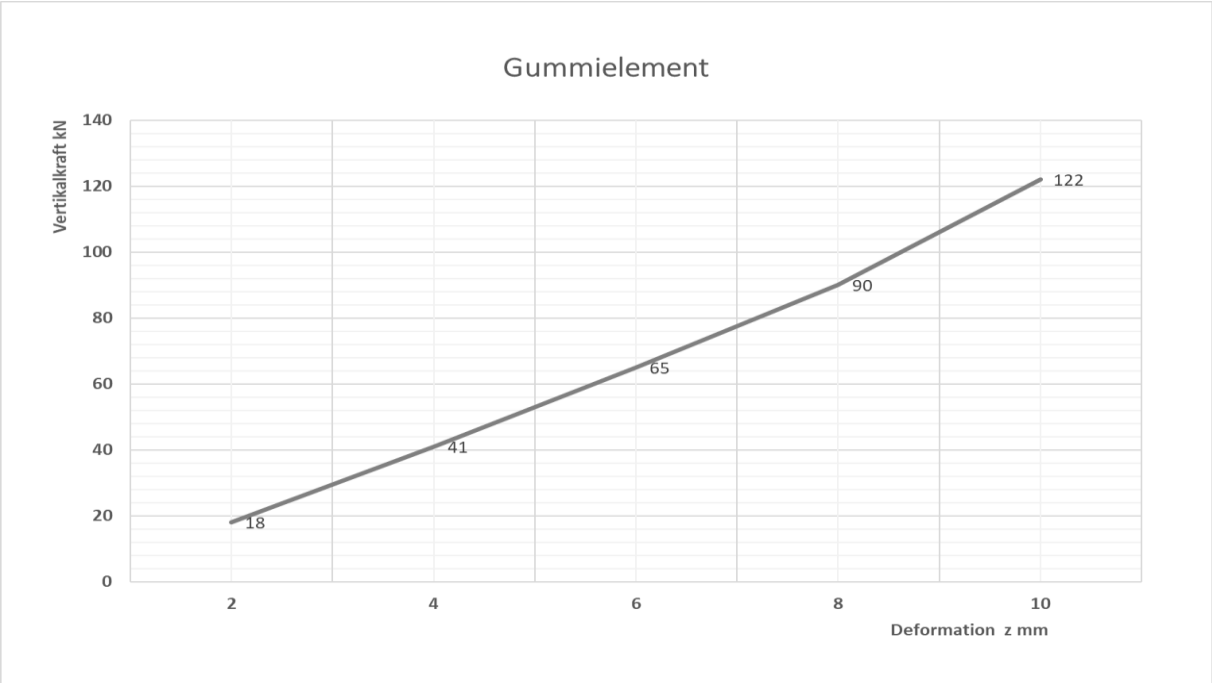
	±Δx mm	±Δy mm	±Δz mm
Primärstufe	6	10	8
Sekundärstufe	0,7	10	26

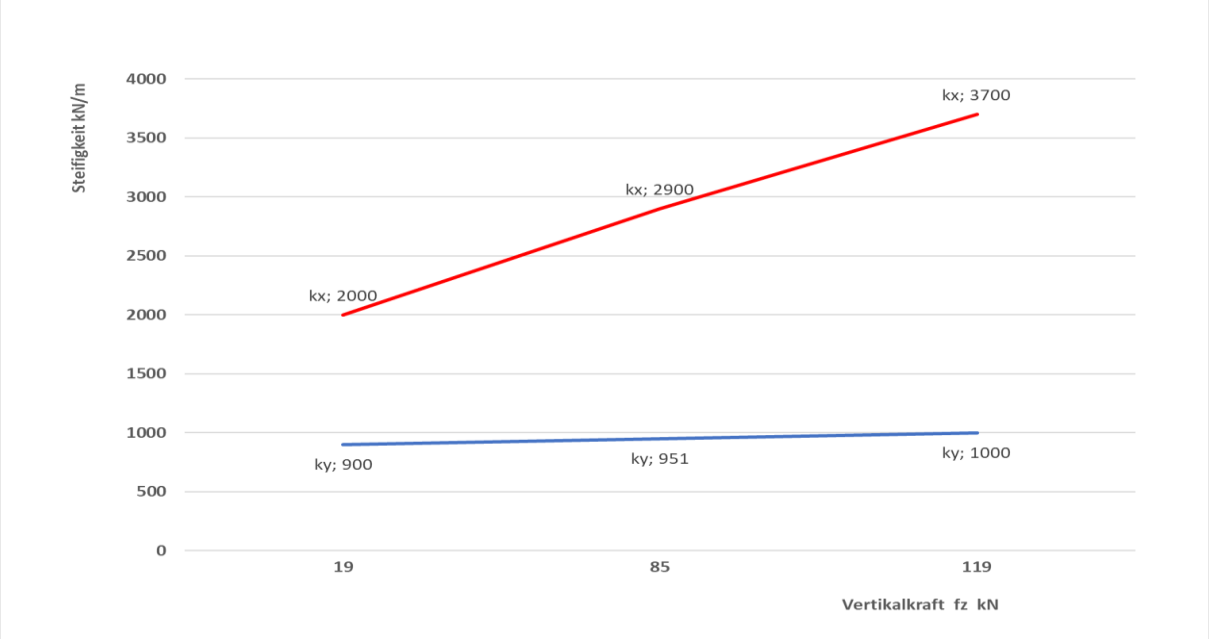
Bild 56: 3 D Symmetrischer Anschlag 80 in x, y, z



	Δs mm
Primärstufe	-8
Sekundärstufe	-67 <-> 34

Bild 57: 1 dimensionaler Anschlag 81





z mm	2	4	6	8	10
fz kN	18	41	65	90	122
Fz kN	19	85	119		
Kx kN/mm	2	2,9	3,7		
Ky kN/mm	0,9	0,95	1		

Bild 58: Achsfeder, oben Vertikalkraft fz als Funktion der vertikalen Deformation z, unten Längs- und Quersteifigkeiten kx, ky als Funktion der Vertikalkraft fz

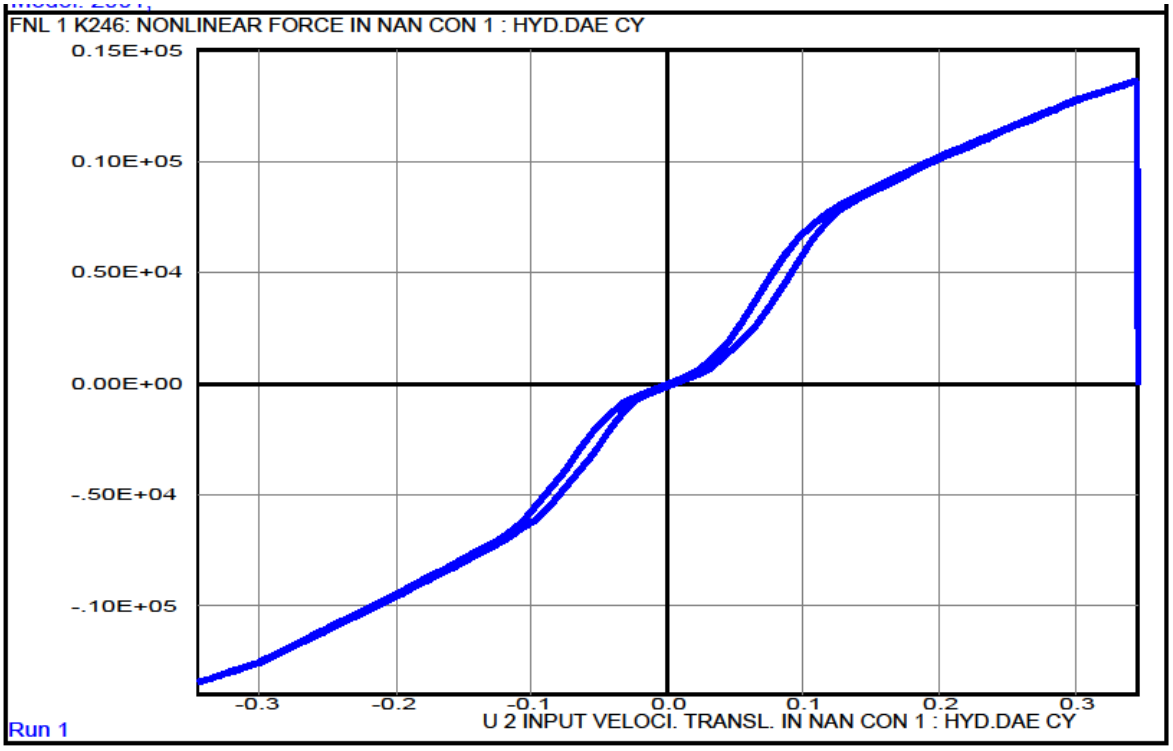


Bild 59: Hydraulische Dämpfer cy und cz, Kraft als Funktion der Deformationsgeschwindigkeit

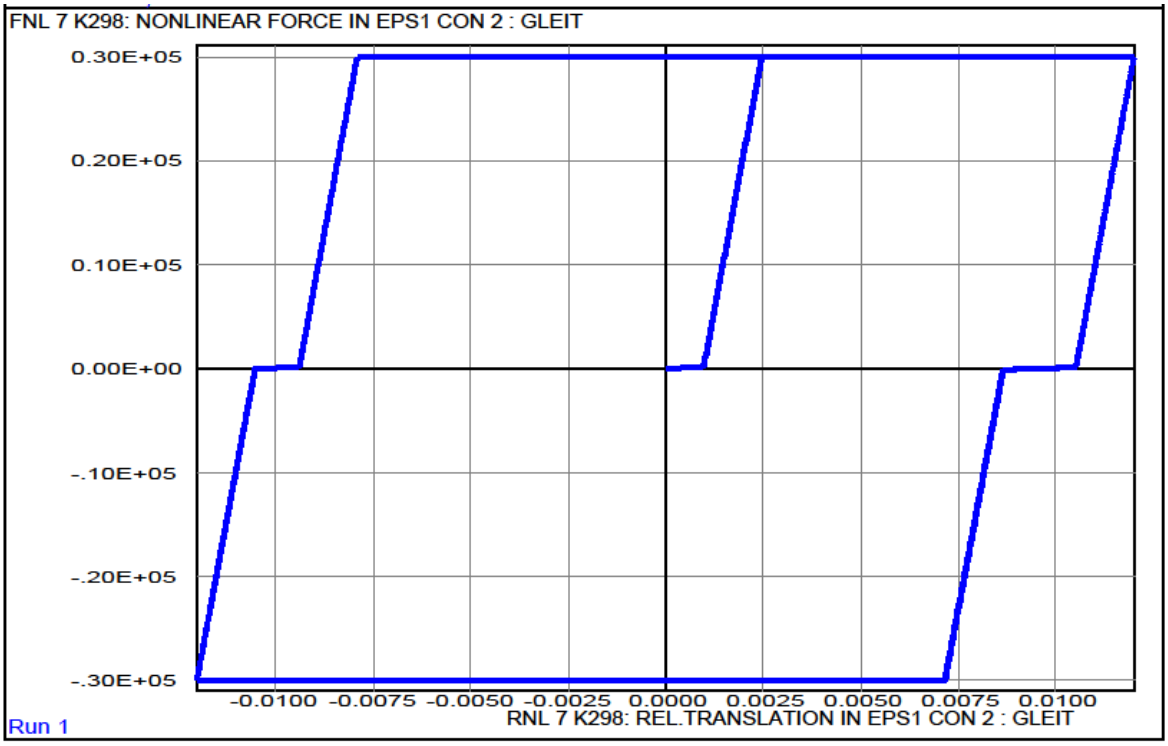
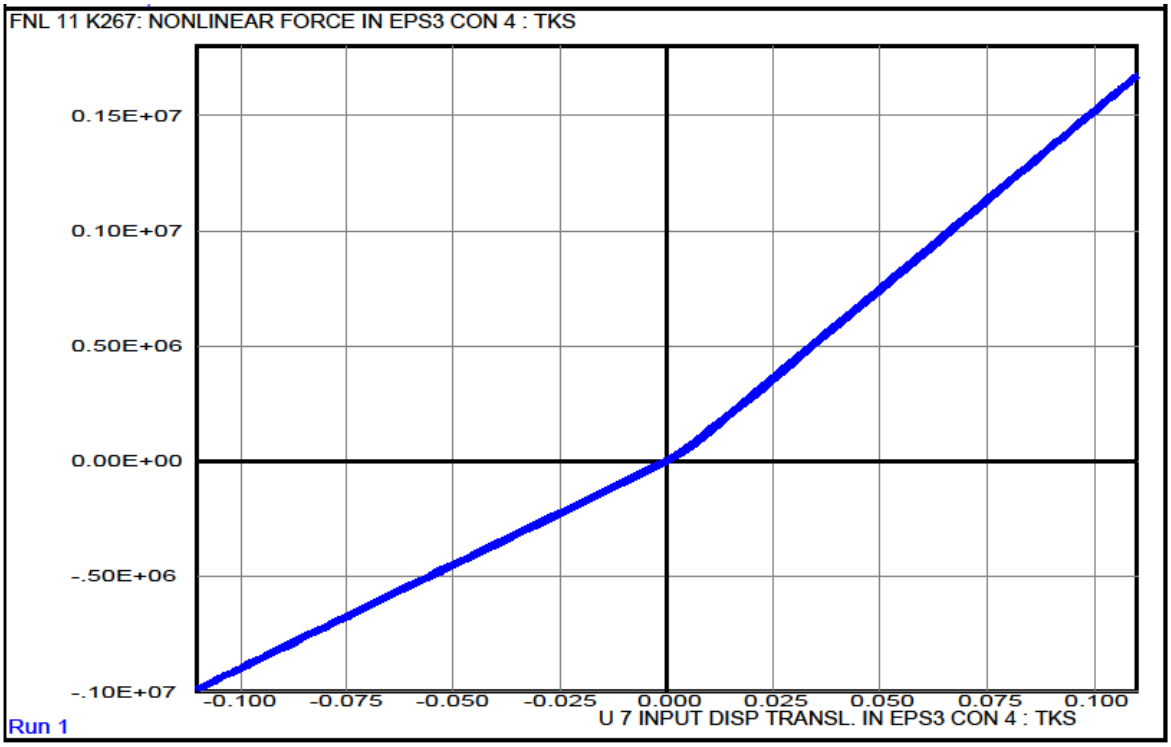


Bild 60: Coulombscher Reiber mit Spiel



z mm	Kx,y kN/mm	Kz kN/mm
0 - 21,5	0,177	0,431
21,5 -39	0,177-> 0,728	0,431->1,985
39 - 68	0,728	1,985

Bild 61: TKS-Sekundärfeder, Kraft als Funktion der Eindrückung

7. Anhang

7.1 Modellnummern

2xxx - Modelle zur Preisberecnung
2xx1 - Fahrzeugmodell mit RC25NT-H hydraulische Dämpfung
2x0x - Achslast 4,4 t leeres Fahrzeug ohne Container
2x1x - Achslast 10 t
2x2x - Achslast 14 t
2x3x - Achslast 18 t
2x4x - Achslast 22 t
20xx - Bogenradius 1200 Geschwindigkeit 120 km/h
21xx - Bogenradius 800 Geschwindigkeit 120 km/h
22xx - Bogenradius 600 Geschwindigkeit 119,32 km/h
23xx - Bogenradius 480 Geschwindigkeit 106,73 km/h
24xx - Bogenradius 400 Geschwindigkeit 97,43 km/h
25xx - Bogenradius 343 Geschwindigkeit 90,22 km/h
26xx - Bogenradius 300 Geschwindigkeit 84,37 km/h
27xx - Bogenradius 270 Geschwindigkeit 80,04 km/h
28xx - Bogenradius 250 Geschwindigkeit 77,02 km/h

Die Ergebnisdateien sind in 5 Verzeichnissen gespeichert

Tab1 wb_2xx1 Dateien mit den Variablen
t s Wb11 Wb12 Wb21 Wb22 Wb31 Wb32 Wb41 Wb42 vrel aq

Tab2 Y_Q_YoQ_2xx1 Dateien mit den Variablen
t s Y11 Y12 Y21 Y22 Y31 Y32 Y41 Y42 Q11 Q12 Q21 Q22 Q31 Q32 Q41 Q42 Y/Q11 Y/Q12 Y/Q21 Y/Q22 Y/Q31 Y/Q32 Y/Q41 Y/Q42

Tab3 Tn_2xx1 Dateien mit den Variablen
Tx11_1 Tx12_1 Tx21_1 Tx22_1 _1 Tx31_1 Tx32_1 Tx41_1 Tx42_1 Ty11_1 Ty12_1 Ty21_1 Ty22_1 _1 Ty31_1 Ty32_1 Ty41_1 Ty42_1 Tx11_2 Tx12_2 Tx21_2 Tx22_2 _2 Tx31_2 Tx32_2 Tx41_2 Tx42_2 Ty11_2 Ty12_2 Ty21_2 Ty22_2 _2 Ty31_2 Ty32_2 Ty41_2 Ty42_2
Die Schlupfkräfte werden in den Kontaktflächen erzeugt. Weil an Mehreren Stellen zwei Kontaktflächen am Rad auftreten, sind Spalten für zwei Kontaktflächen angegeben. Zeit und Wegspalten sind ncht angegeben. Sie können aus den Dateien in Tab1 oder Tab2 übernommen werden.

Tab4 nue_2xx1 Dateien mit den Variablen
nux11_1 nux12_1 nux21_1 nux22_1 nux31_1 nux32_1 nux41_1 nux42_1 nuy11_1 nuy12_1 nuy21_1 nuy22_1 nuy31_1 nuy32_1 nuy41_1 nuy42_1 nux11_2 nux12_2 nux21_2 nux22_2 _2 nux31_2 nux32_2 nux41_2 nux42_2
Der Kommentar in Tab3 gilt auch hier.

Tab5 alpha_a_2xx1 Dateien mit den Variablen
alpha_1 alpha_2 alpha_3 alpha_4 ayI ayII azI azII
Zeit und Wegspalte entsprechend tab1 oder tab2 Dateien

7.2 Unterlagen

13.06.2019 2016-09-21_NZV-BAV_TP2017_Anleitung_DE_Verschleissfaktor_Fahrbahn.pdf
22.07.2019 FT0120008-101_A00.pdf
17.02.2018 OSS_VehiclePriceCalculator_2017v1.xlsx
17.02.2018 OSS_VehiclePriceCalculator_Example.xlsx
09.07.2019 Trägheitsmomente Sgnss-2.pdf
28.06.2019 Trägheitsmomente Sgnss.pdf
14.05.2019 Wagenkasten.pdf
14.05.2019 Wagenzeichnung.PDF
16.05.2019 ZB_SBB_Flachwagen_Sgnss_Akustik_2b_2017-12-11_DU - kommentiert.pdf
12.09.2018 63-01.43.0047-a (0).PDF
13.09.2018 ELH760 1 02 073 010-B-Maáe.pdf
04.10.2018 ELH760.0.04.000.100-B.PDF
12.09.2018 ELH760.1.02.073.010-B.PDF
19.03.2010 Achsfeder_60001501EZ_000.pd

6.4 Prüfbericht für die Ausdrehversuche

	Dokumenttyp: **Prüfbericht**	
erstellt: Detlef Kappler	Dokument-Nr: **PB05/Sgns/2019**	Ausgabe: **01**
geprüft:		Datum: **15.08.2019**

Dokumentname:

Überprüfung Bogenfahrt
4achs. Containertragwagen Sgns

1. Ort: ELH Waggonbau Niesky GmbH
Drehscheibe vor Lokschuppen

2. Datum: 15.08.2019

3. Versuchsobjekt: 4achs. Containertragwagen Sgns (Umbau VTG-BAFU)
ausgerüstet mit Drehgestellen RC25NT-H-D
Wagen-Nr.: 3368 4557 090-0

4. Ziel der Versuche: Nachweis der Freigängigkeit des Drehgestells zum Untergestell bzw. Wagenkasten beim Befahren eines 75m-Bogens
Anlage 1 zeigt die Ermittlung des erforderlichen Winkels.

5. Teilnehmer:

Herr Göhring	ELH-WBN – Konstruktion
Herr Kappler	ELH-WBN – Konstruktion

6. Versuchsdurchführung:

Für den Versuch wurde ein Drehgestell des Wagens mittig auf die Drehscheibe gefahren.
Die horizontalen Ausschläge wurden durch Verdrehen der Drehscheibe um die jeweilige Gradzahl realisiert.
Durch die Versuchsteilnehmer erfolgte eine Sichtprüfung.
Fotos von der Versuchsdurchführung und von einigen ausgewählten Stellen zeigt Anlage 2.

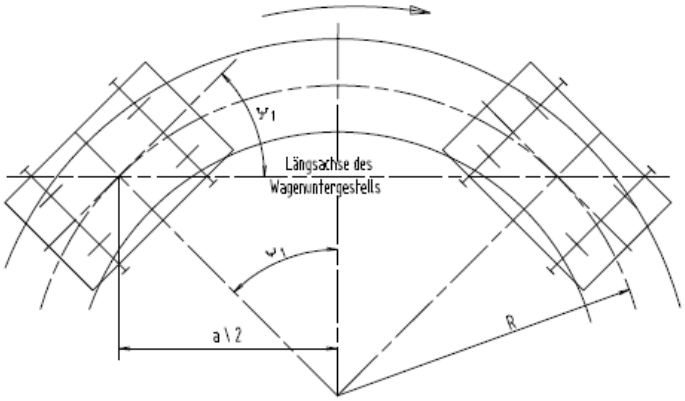
7. Ergebnisse und Zusammenfassung

Die Freigängigkeit der Drehgestelle zum Untergestell bzw. Wagenkasten ist beim 4achs. Containertragwagen Sgns (Umbau VTG-BAFU) nach Zeichnung 5.991, ausgerüstet mit Drehgestellen RC25NT-H-D, bis zu einem 75m-Bogen gewährleistet. Die Schläuche der C- und T-Leitungen müssen bei den Versuchsfahrten beobachtet werden und die Anordnung ggf. modifiziert werden.

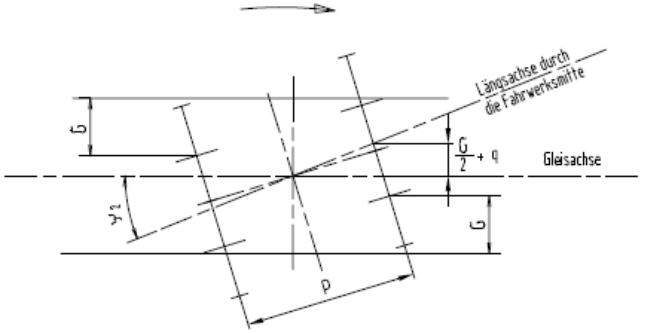
D. Kappler

Anlage 1 zu PB05/Sgns/2019

Ausdrehwinkel Ψ_1 durch Stellung der Drehgestelle im Gleisbogen



Ausdrehwinkel Ψ_2 durch Einstellung der Radsätze im Spurkanal und mögliche Querverschiebung der Radsätze gegenüber den Radsatzführungen



Gegenstand	Kurz-zeichen	Formel	Rechnung	Wert
Fahrzeug- und Gleismerkmale Drehzapfenabstand	a			14200 mm
Abstand der Radsätze im Drehgestell	p			1800 mm
Spurmaß der Radsätze 10 mm unter den Laufkreis (Mindestwert nach RIV)	2b			1410 mm
Spurweite (lt. UIC-Merkblatt 505-1)	2b *			1465 mm
Spurspiel	G	G = 2b * - 2b		55 mm
Querspiel der Radsätze gegeüber den Radsatzführungen	q			10 mm
Bogenhalbmeßer	R			75000 mm
Berechnung der Verdrehung Ausdrehwinkel durch Stellung der Drehgestelle in Gleisbogen	Ψ_1	$\sin \Psi_1 = \frac{a}{2R}$	$\frac{5000}{2 \times 80000}$	5° 26'
Ausdrehwinkel durch Einstellung Radsätze im Spurkanal und mögliche Querverschiebung der Radsätze gegeüber den Radsatzführungen	Ψ_2	$\sin \Psi_2 = \frac{2(\frac{G}{2}+q)}{p}$	$\frac{2(\frac{55}{2}+20)}{1800}$	2° 23'
Ausdrehwinkel des Drehgestelles gegenüber dem Wagenuntergestell im Gleisbogen R	Ψ_3	$\Psi_1 + \Psi_2$		7°49'

Verwendbar für:

Toleranzierung ISO 8015
Allgemeintoleranzen:

Oberflächen DIN ISO 1302

	Datum	Name
Bearb.	12.08.19	Göhring
Gepr.	12.08.19	Mebes
Statik	Kappler	13.08.19
Schweiss		

Ausgabe | Datum

Maßstab 1:1 | kg

300 M0057 0054

Verdrehung d. Güterwg.-Drehgest.
gegenüber d. Wagenuntergest. in kl. Gleisbögen

5.991-01.99.00:001/3

Blatt 1
1 Bl.

Zust. | Änderung | Datum | Name | Urspr. | Ers.f. | Ers.d.

Das Dokument und sein Inhalt sind Eigentum von WIEN WAGGONBAU NIESKY GMBH.
Dieses Dokument enthält vertrauliche und gesetzlich geschützte Informationen. Die Verbreitung, Weitergabe, Verwertung oder die Mitteilung des Inhaltes dieses Dokuments oder eines Teils davon ist ohne ausdrückliche Genehmigung strengstens verboten. Zuwiderhandlung verpflichten zu Schadenersatz.
(C) 2020, WIEN WAGGONBAU NIESKY GMBH, Alle Rechte vorbehalten.

Anlage 2 zu PB05/Sgns/2019



Bild 1: Wagen auf der Drehscheibe – Simulation 75m-Bogen



Bild 2: Abstand Schallschürze zu Radsatzlager im 75m-Bogen

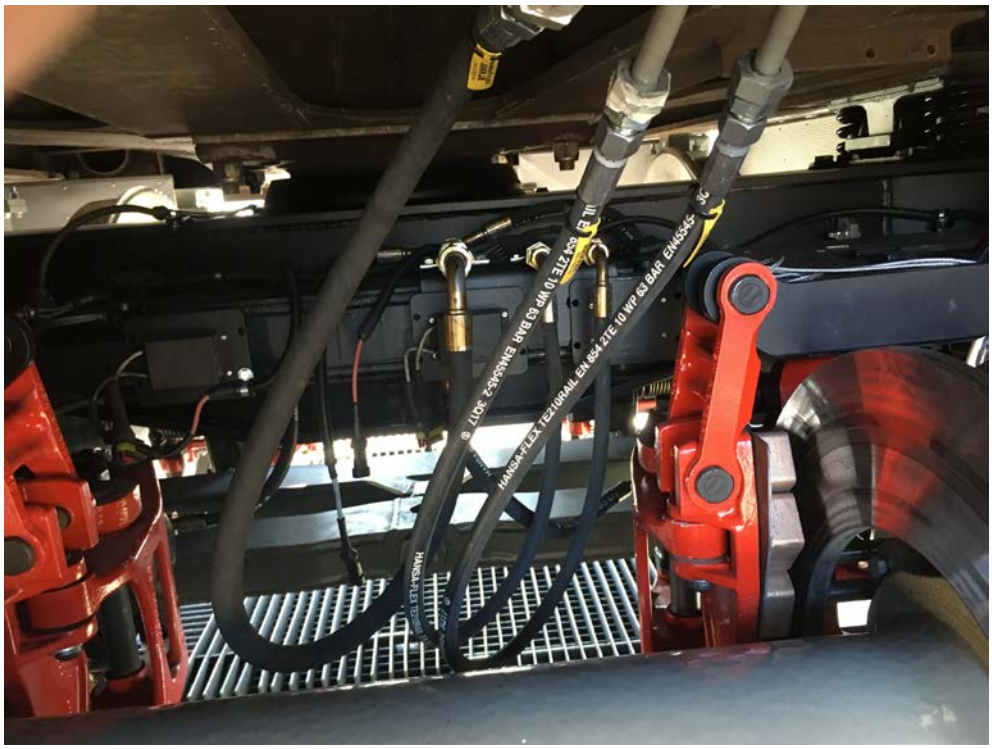


Bild 3: Anordnung Schläuche – Wagen im 75m-Bogen