

Symposium "Innovativer Güterverkehr" - Ergebnisse der Lärm- und Energiemessungen

Kevin Born

11.04.2019



AGENDA

- Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018)
 - Investigative Lärmmessungen
 - Zulassungsmessungen gemäß TSI Lärm
 - Arraymessungen
- Lärmmessungen während der Betriebserprobung (inkl. PCW II Okt 2018)
- Energieverbrauchsmessungen
 - Beladungszustand „leer“ PCW I (Jan/Feb 2018)
 - Beladungszustand „voll“ PCW II (Okt 2018)
 - Messungen Radsatzlenken (Containertragwagen & Kesselwagen)
 - Messungen ep-Light-Bremse

Lärmmessungen PCW I

(Jan/Feb 2018)

*Investigative Messungen
&
Zulassungsmessungen gemäß TSI Lärm*

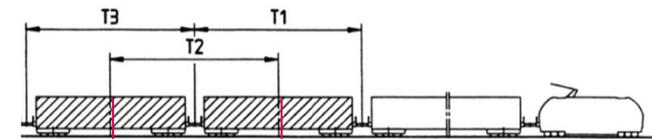


[Quelle: PROSE]

Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018) - Durchführung

Vorbeifahrgeräusche gemäß TSI Lärm bzw. DIN EN ISO 3095

- Fahrversuche auf geradem Gleis (Messung einseitig, links)
- Konst. Geschwindigkeiten (60, 80, 100, 120 km/h),
- Schienenrauheit und TDR, Bedingungen für Referenzgleis
- Mindestens drei Versuche pro Geschwindigkeit
- Messung von jeweils zwei Wagen einer Konfiguration
(Referenzwagen und innovative Güterwagen) -> **20 Konfigurationen**



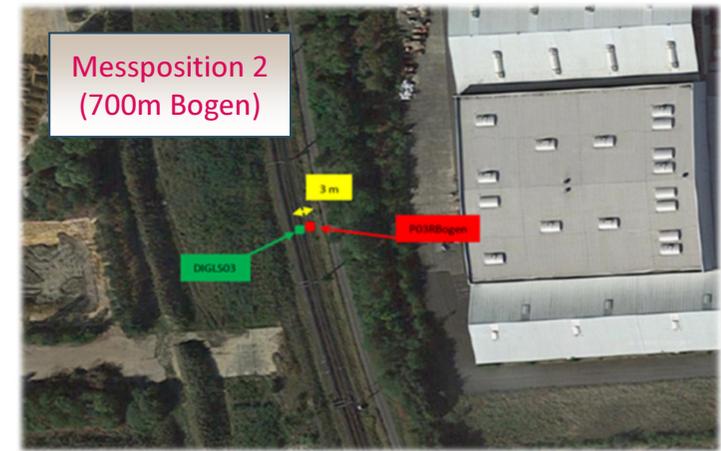
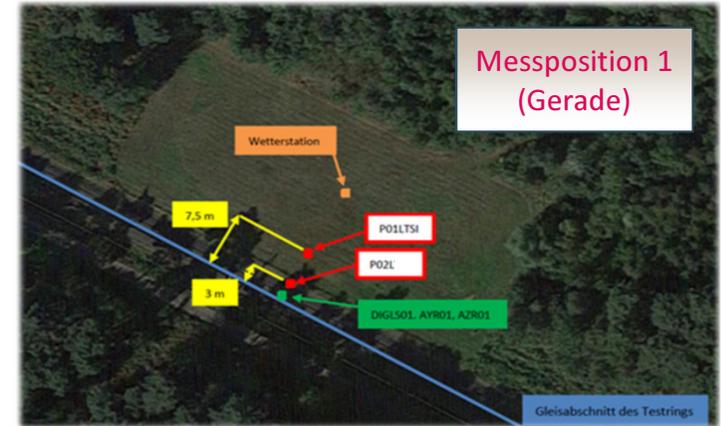
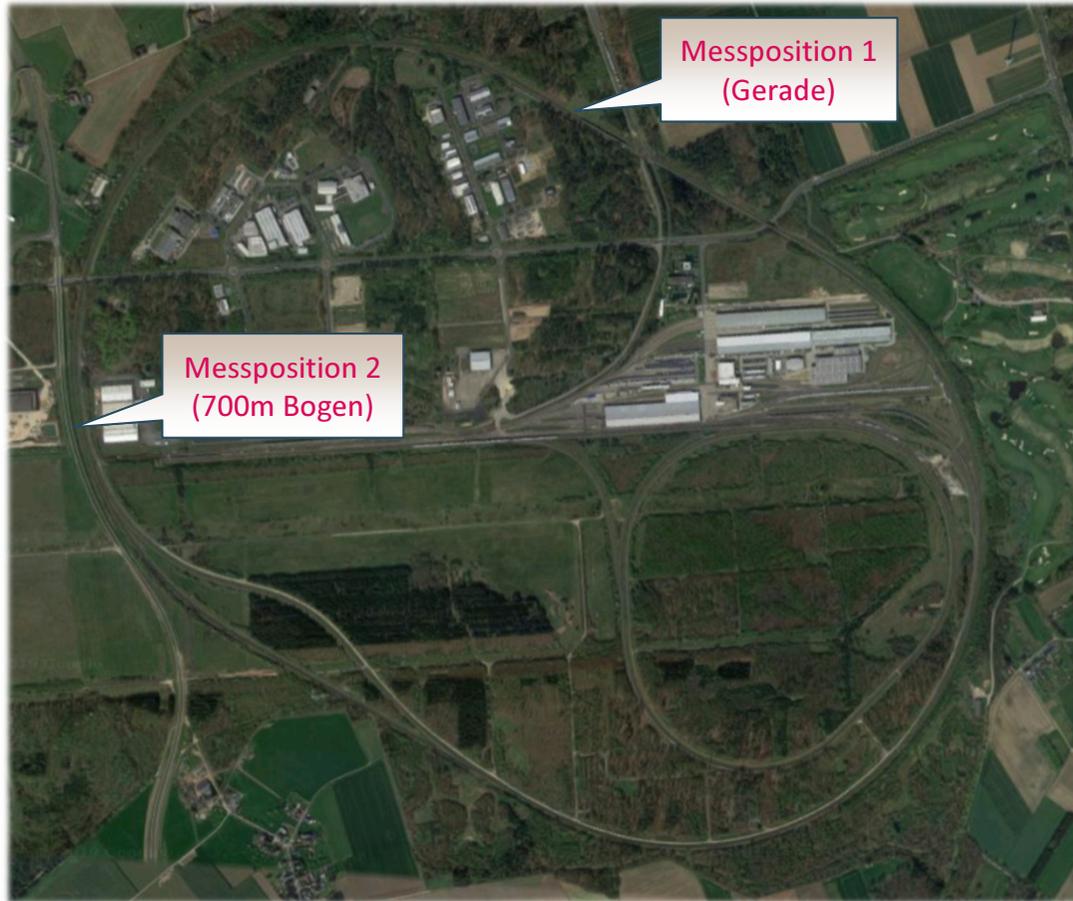
[Quelle: EN3095]

Auswerte-
abschnitt

Vorbeifahrgeräusche zusätzliche Messpositionen

- Bogen: 3m Entfernung (700m Bogen, innen, rechts)
- Gerade: Gleisnahes Mikrophon in 3m Entfernung
- Mikrofonarraymessungen

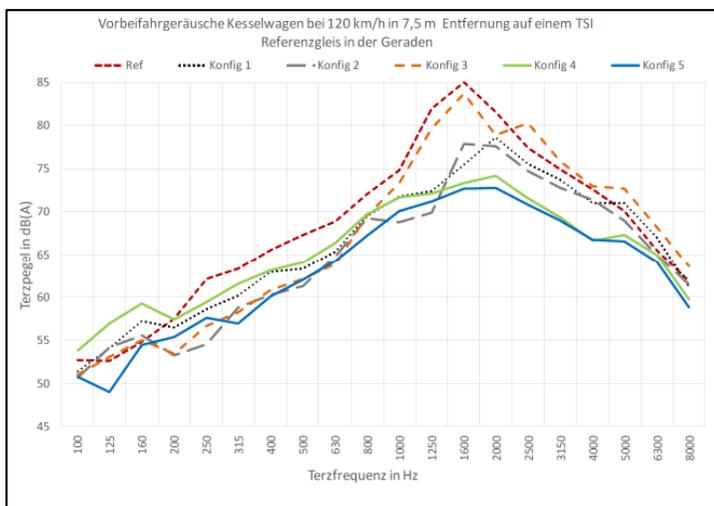
Kesselwagen ¹⁾	Containertragwagen ¹⁾²⁾	Autotransportwagen	6-achsiger Flachwagen
ELH RC25NT	WBN DRRS25L		
V1: Lucchini Radsatz mit Syope-Absorber	V6: Bonatrans Radsatz mit Ringelement und Absorber	V9: Bonatrans Radsatz	V13: Bonatrans Radsatz
V2: Lucchini Radsatz ohne Syope-Absorber	V7: Bonatrans Radsatz mit Ringelement ohne Absorber	V10: Bonatrans Radsatz mit Ringelement	V14: Bonatrans Radsatz mit Ringelement
V3: Bonatrans Radsatz		V11: Lucchini Radsatz mit Absorber	V15: GHH Radsatz mit Absorber
V4: Bonatrans Radsatz mit Ringelement und Absorber			
V5: "beste" Radsatzlösung mit Lärmschürze	V8: "beste" Radsatzlösung mit Lärmschürze	V12: "beste" Radsatzlösung mit Lärmschürze	



[Quelle: Google Maps]

Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018) – Ergebnisse Kesselwagen

	Achse im Auswerte abschnitt	Geschwindigkeit in km/h	Referenzwagen					
			Konfig. 1	Konfig. 2	Konfig. 3	Konfig. 4	Konfig. 5	
A_{d1} (gemittelt pro Rad über alle Fahrten mit 80 km/h)	1	80	4,0	5,2	6,1	3,5	3,9	2,7
	2		3,4	5,2	7,4	4,5	3,2	4,9
	3		4,4	7,5	5,0	2,8	3,9	3,2
	4		3,8	6,9	8,4	3,9	4,7	6,3



	Einheit	Referenzwagen				
		Konfig. 1	Konfig. 2	Konfig. 3	Konfig. 4	Konfig. 5
		RS Lucchini „R60“ mit Syope-Absorber	RS Lucchini „R60“ ohne Syope-Absorber	RS Bonatrans „R38“	RS Bonatrans „R38“ mit Ringelement und Absorber	RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement und Absorber + Lärmschürze
Anzahl Achsen		4	4	4	4	4
APL	1/m	0,268	0,278	0,278	0,278	0,278
Länge über Puffer $L_{üP}$	m	14,92	14,40	14,40	14,40	14,40
Vorbeifahrpegel $L_{pAeq,Tp,7.5m}$	dB(A)	83,3	78,1	78,6	82,0	74,8
$L_{pAeq,Tp,7.5m}$ bei 80 km/h	dB(A)	80,6	78,1	78,4	80,5	74,8
$L_{pAeq,Tp,7.5m}$ bei 100 km/h	dB(A)	81,0	77,6	78,4	80,6	74,4
$L_{pAeq,Tp,7.5m}$ bei 120 km/h	dB(A)	83,3	78,0	78,6	82,0	74,1
$L_{pAeq,Tp,3m,Gerade}$ bei 80 km/h	dB(A)	85,6	83,8	83,8	85,6	79,4
$L_{pAeq,Tp,3m,Gerade}$ bei 100 km/h	dB(A)	86,4	83,3	84,2	85,5	78,9
$L_{pAeq,Tp,3m,Gerade}$ bei 120 km/h	dB(A)	89,0	84,0	84,2	86,9	78,9
$L_{pAeq,Tp,3m,Bogen}$ bei 80 km/h	dB(A)	88,4	88,1	88,9	88,3	87,4
$L_{pAeq,Tp,3m,Bogen}$ bei 100 km/h	dB(A)	88,7	87,9	88,4	87,7	86,7
$L_{pAeq,Tp,3m,Bogen}$ bei 120 km/h	dB(A)	90,4	87,5	88,0	88,3	86,8
$L_{pAeq,Tp,7.5m} - 83,0$ (TSI-Grenzwert)	dB	0,3	-4,9	-4,4	-1,0	-6,8
$L_{pAeq,3m,IGW} - L_{pAeq,3m,Ref}$	dB	86,8	-3,1	-2,7	-0,8	-6,2
$L_{pAeq,3m,Bogen,IGW} - L_{pAeq,3m,Bogen,Ref}$	dB	88,9	-1,1	-0,5	-0,8	-2,1

Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018) – Ergebnisse Kesselwagen

 <small>[Quelle: PROSE]</small>	Einheit	Referenzwagen	Konfig. 1	Konfig. 2	Konfig. 3	Konfig. 4	Konfig. 5
			RS Lucchini „R60“ mit Syope-Absorber	RS Lucchini „R60“ ohne Syope-Absorber	RS Bonatrans „R38“	RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement und Absorber	RS Bonatrans „R61“ mit Ringelement und Absorber + Lärmschürze
Anzahl Achsen		4	4	4	4	4	4
APL	1/m	0,268	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278
Länge über Puffer $L_{\text{üP}}$	m	14,92	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40
Vorbeifahrpegel $L_{\text{pAeq,Tp,7.5m}}$	dB(A)	83,3	78,1	78,6	82,0	76,2	74,8
$L_{\text{pAeq,Tp,7.5m}} - 83.0$ (TSI-Grenzwert)	dB	0,3	-4,9	-4,4	-1,0	-6,8	-8,2
$L_{\text{pAeq,3m,IGW}} - L_{\text{pAeq,3m,Ref}}$	dB	86,8	-3,1	-2,7	-0,8	-6,2	-7,7
$L_{\text{pAeq,3m,Bogen,IGW}} - L_{\text{pAeq,3m,Bogen,Ref}}$	dB	88,9	-1,1	-0,5	-0,8	-2,0	-2,1

Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018) – Ergebnisse Containertragwagen

 <small>[Quelle: PROSE]</small>	Einheit	Referenzwagen	Konfig. 1	Konfig. 2	Konfig. 3	Konfig. 4
			RS Bonatrans „BA 314“ mit Ringelement und Absorber	RS Bonatrans „BA 314“ mit Ringelement ohne Absorber	RS Bonatrans „BA 314“ mit Ringelement +Lärmschürze (Stahl)	DG ELH (RS Bonatrans „BA 314“ mit Ringelement ohne Absorber)
Anzahl Achsen		4	4	4	4	4
APL	1/m	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154
Länge über Puffer $L_{üp}$	m	25,94	25,94	25,94	25,94	25,94
Vorbeifahrpegel $L_{pAeq,Tp,7.5m}$	dB(A)	82,7	77,5	76,4	76,3	77,7
$L_{pAeq,Tp,7.5m} - 83.0$ (TSI-Grenzwert)	dB	-0,3	-5,5	-6,6	-6,7	-5,3
$L_{pAeq,3m,IGW} - L_{pAeq,3m,Ref}$	dB	87,5	-5,0	-6,3	-6,5	-5,0
$L_{pAeq,3m,Bogen,IGW} - L_{pAeq,3m,Bogen,Ref}$	dB	89,5	-2,4	-2,5	-2,2	-3,1

Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018) – Ergebnisse **Autotransporter**

 <small>[Quelle: PROSE]</small>	Einheit	Referenzwagen	Konfig. 1	Konfig. 2	Konfig. 3	Konfig. 4
			RS Bonatrans „BA 375“	RS Bonatrans „BA 370“ mit Ringelement	RS Lucchini „BA 371“ mit Absorber	RS Bonatrans „BA 370“ mit Ringelement + Lärmschürze
Anzahl Achsen		4	4	4	4	4
APL	1/m	0,129	0,121	0,121	0,121	0,121
Länge über Puffer $L_{üp}$	m	31,00	33,00	33,00	33,00	33,00
Vorbeifahrpegel $L_{pAeq,Tp,7.5m}$ (höchster Wert)	dB(A)	86,8	80,4	78,9	80,3	79,1
$L_{pAeq,Tp,7.5m} - 83.0$ (TSI-Grenzwert)	dB	3,8	-2,6	-4,1	-2,7	-3,9
$L_{pAeq,3m,IGW} - L_{pAeq,3m,Ref}$	dB	88,6	-3,9	-5,9	-3,7	-4,5
$L_{pAeq,3m,Bogen,IGW} - L_{pAeq,3m,Bogen,Ref}$	dB	88,8	-0,8	-1,7	-1,5	-

Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018) – Ergebnisse Flachwagen

 <small>[Quelle: PROSE]</small>	Einheit	Referenzwagen	Konfig. 1	Konfig. 2	Konfig. 3
			RS Bonatrans „BA 303“	RS Bonatrans „BA 320“ mit Ringelement	RS GHH „BA 308“ mit Absorber
Anzahl Achsen		6	6	6	6
APL	1/m	0,366	0,366	0,366	0,366
Länge über Puffer L_{üP}	m	16,40	16,40	16,40	16,40
Vorbeifahrpegel L_{pAeq,Tp,7.5m} (höchster Wert)	dB(A)	82,4	81,1	76,4	77,2
L_{pAeq,Tp,7.5m} – 83.0 (TSI-Grenzwert)	dB	-0,6	-1,9	-6,6	-5,8
L_{pAeq,3m,IGW} - L_{pAeq,3m,Ref}	dB	87,6	-0,8	-6,1	-5,2
L_{pAeq,3m,Bogen,IGW} - L_{pAeq,3m,Bogen,Ref}	dB	89,3	-1,6	-3,7	-4,4

Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018) - Ergebnisse

Vergleich Lärmschürzen

- Der Kesselwagen mit Schallschürzen stellt die beste gemessene Variante mit 75 dB(A) dar, die zusätzliche Wirkung der Schallschürzen beträgt hier **1.4 dB**
- Die Schallschürzen am Containertragwagen und Autotransporter hatten aufgrund ihrer geringen Abdeckung keinen zusätzlich nachweisbaren Effekt



[Quelle: PROSE]



[Quelle: PROSE]



[Quelle: PROSE]

Lärmmessungen PCW I (Jan/Feb 2018) - Ergebnisse

Zusammenfassung (Vorbeifahrpegel)

- Innovativer Kesselwagen: **4 - 7 dB** unterhalb TSI Lärm Grenzwert - 83 dB(A)
- Innovativer Containertragwagen: **5 - 7 dB** unterhalb TSI Lärm Grenzwert - 83 dB(A)
- Innovativer Autotransporter: **3 - 4 dB** unterhalb TSI Lärm Grenzwert - 83 dB(A)
- Innovativer Flachwagen: **6 - 7 dB** unterhalb TSI Lärm Grenzwert - 83 dB(A)

- Im Bogen weist der BraCoil **4 dB** und die übrige IGWs **2 dB** geringere Vorbeifahrpegel auf als zugehörige Referenzwagen
- Der Pegelunterschied Bogen (700m) zu Gerade beträgt ca. **4 – 6 dB**

Lärmessungen PCW I (Jan/Feb 2018)

Mikrofonarray



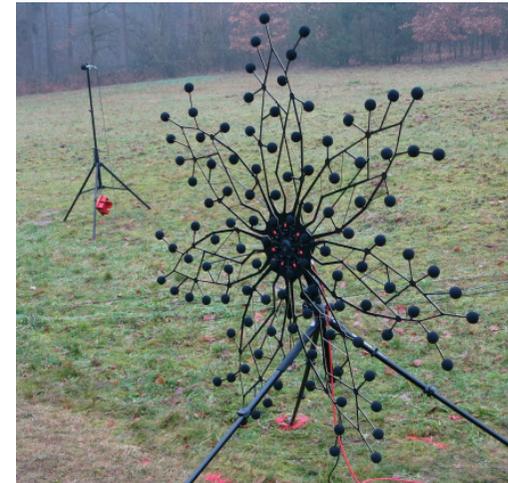
Lärmmessungen PCW I – Array - Durchführung

Mikrofonarraymessungen

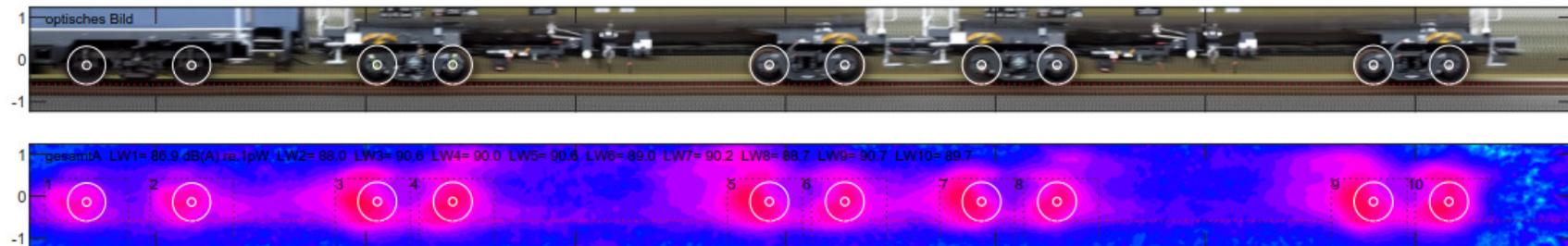
- Auslegung auf Drehgestell relevanten Frequenzbereich: 315 Hz – 4000 Hz
- Fokus auf Drehgestelle bzw. Rollgeräuschanteile (Rad und Schiene)
- Für Kesselwagen auch Messung des gesamten Wagens
- Messungen in 3.2m und 6.8m zum Rad bzw. Schienenkante
- 20 Güterwagenvarianten mit jeweils 80, 100 und 120 km/h

Mikrofonarray Auswahl (CAE Bionic L Array)

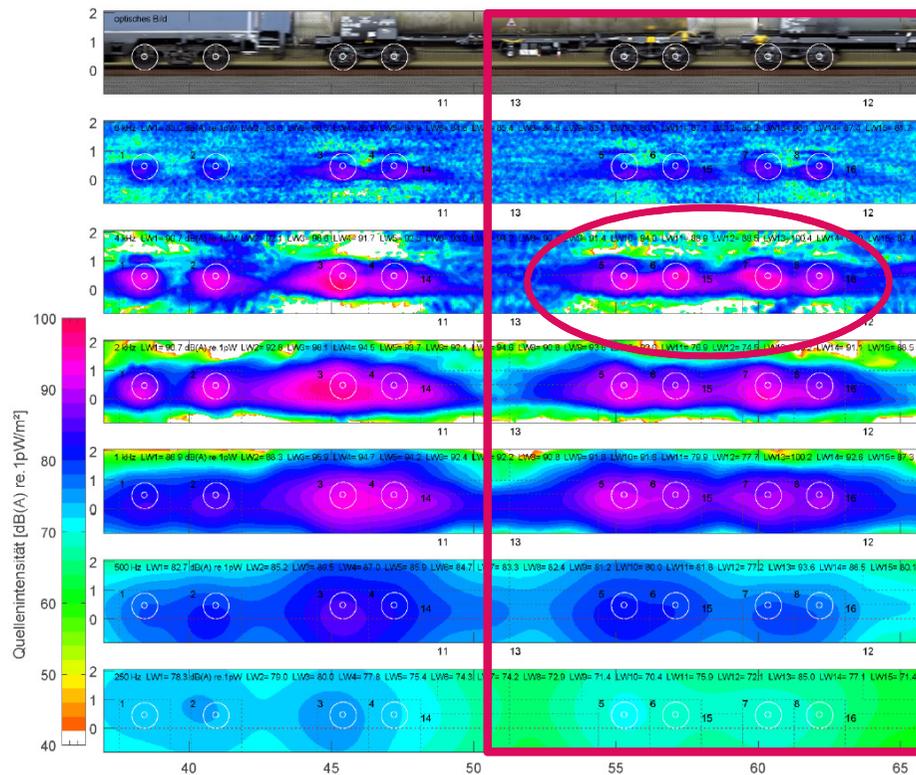
- 112 Mikrofone, 48 kHz; 24 bit PCM
- Durchmesser 1.7m
- Analysefrequenzbereich: 150 Hz bis 10 kHz



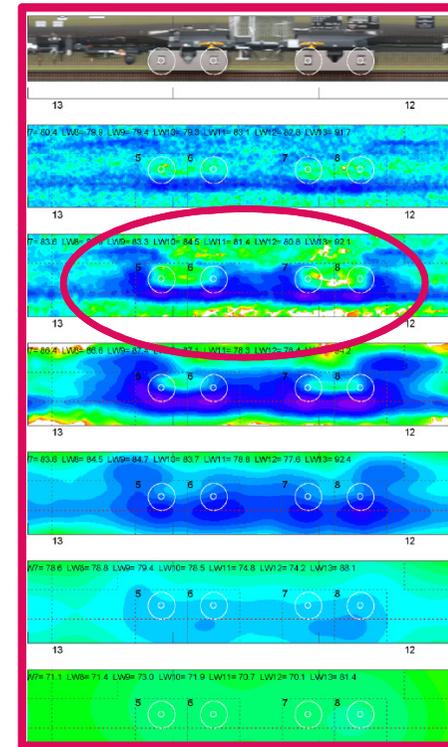
[Quelle: PROSE]



Lärmmessungen PCW I – Array - Ergebnisse

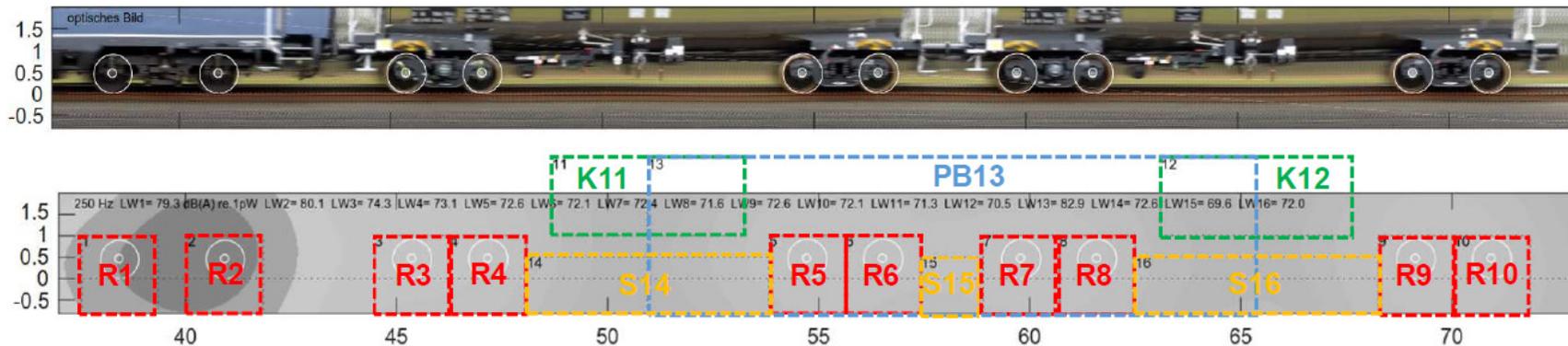


Referenz-Kesselwagen



Innovativer Kesselwagen mit Lärmschürze

Lärmmessungen PCW I – Array - Ergebnisse



dB(A)	VTG KW		80 km/h				LpAeq,Tp,80		LpAeq,Tp		80.6 dB(A)				Vorbeifahrfäche			
298 B.R.	R5	R6	R7	R8	R9	R10	K11	K12	PB13	S14	S15	S16	R5..8	K11,12	S14-16	TEL		
Lw'	86.4	86.9	87.2	86.8	88.6	86.6	78.6	79.7	83.0	82.2	85.4	83.3	86.9	79.2	84.2	83.1		
Lw	92.0	92.5	92.8	92.4	94.2	92.1	87.9	89.1	101.0	91.5	88.9	92.6	98.4	94.6	94.6	101.0		
8 kHz	81.3	81.5	81.5	80.9	80.1	80.1	83.9	83.6	93.1	84.1	79.2	83.7	87.3	89.7	85.5	92.6		
4 kHz	84.4	84.9	85.5	84.3	84.2	84.3	82.2	81.6	93.3	84.7	81.3	84.7	90.8	88.0	87.1	93.7		
2 kHz	87.7	88.7	88.9	88.8	87.9	87.6	78.5	79.4	96.0	85.5	84.6	86.1	94.6	85.0	89.7	96.1		
1 kHz	86.5	86.7	87.0	86.6	90.7	86.9	79.9	83.7	95.1	85.9	83.2	88.1	92.7	88.2	89.1	95.3		
500 Hz	80.7	80.0	80.6	80.3	85.7	81.8	74.6	78.5	89.6	79.7	77.1	83.0	86.4	83.0	83.2	89.3		
250 Hz	74.1	73.3	72.5	72.6	79.5	77.1	71.4	76.1	83.8	72.9	69.6	77.1	79.2	80.3	76.2	83.7		

Erkenntnisse / Weiteres Lärminderungspotenzial

Kesselwagen

- Weitere Reduktion des Rad-Schiene Schalls
- Wirksame Vermeidung seitlicher Reflexionen vom Kessel durch z.B.:
 - Drehgestelle nach oben geschlossen gestaltet (z.B. Radhäuser ähnlich zu PKW)
 - Kesseloberfläche im Bereich über dem DG absorbierend ausgestalten

Containertragwagen

- Das Gesamtgeräusch vom CTW kann nur über eine weitere Reduktion des Rad-Schiene Schalls erfolgen.
- Der übrige Aufbau am CTW hat keinen relevanten Anteil am Vorbeifahrgeräusch

Autotransport

- Potential für Lärminderung insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten (Pegeldifferenz Wagenaufbau zu Radschall geringer)
 - Entdröhnmaßnahmen am Stahlrahmen für zusätzliche Dämpfung
 - Absorber im Bereich der Achsen die Schallabstrahlung reduzieren

Flachwagen

- Das Gesamtgeräusch vom FW kann nur über eine weitere Reduktion des Rad-Schiene Schalls erfolgen.
- Der übrige Aufbau am FW hat keinen relevanten Anteil am Vorbeifahrgeräusch

Lärmmessungen während Betriebserprobung

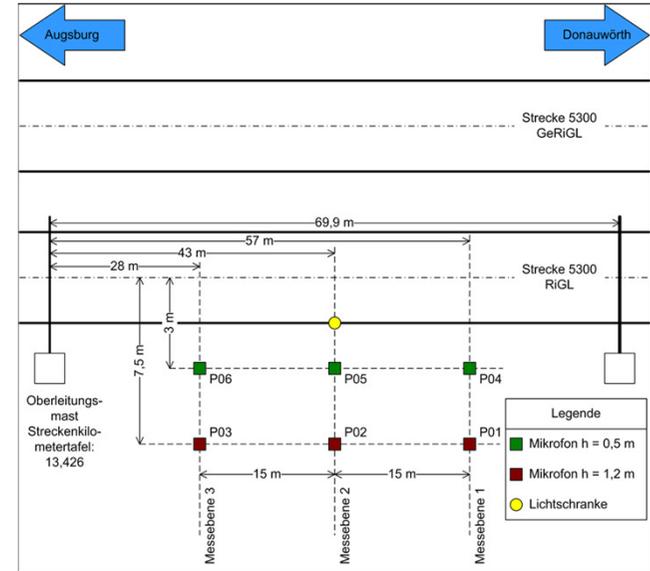


[Quelle: PROSE]

Lärmmessungen Betriebserprobung - Durchführung

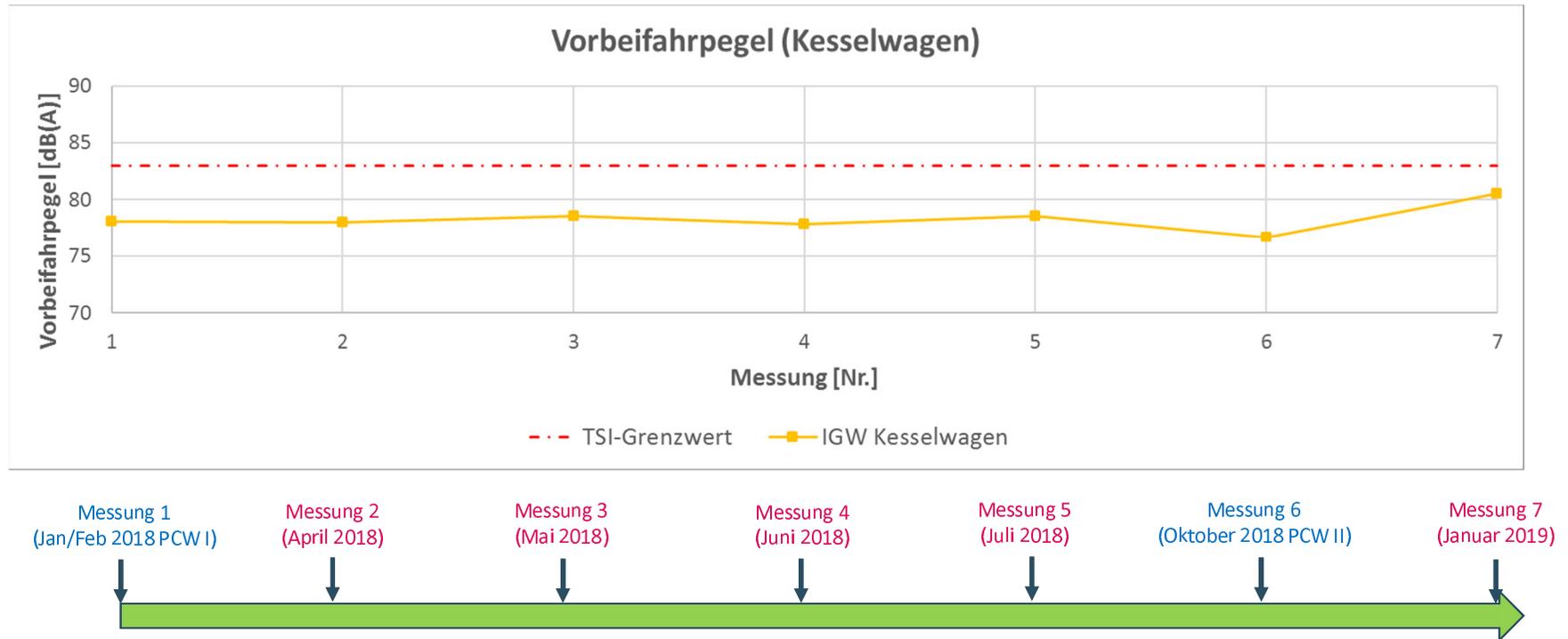
Fahrgeräusche gemäß TSI Lärm / DIN EN ISO 3095

- Periodische Lärmmessungen mit der gesamter Zugkombination
- Fahrversuche auf TSI Referenzgleis bei Langweid am Lech
- Konstante Geschwindigkeiten bei 80 km/h und 100 km/h
- Pro Geschwindigkeit min. 2 Messungen in 3 Messebenen
- 5 Messungen während Südschleifen der Betriebserprobung
 - 2018: April, Mai, Juni, Juli, Oktober (PCW II)
 - 2019: Januar

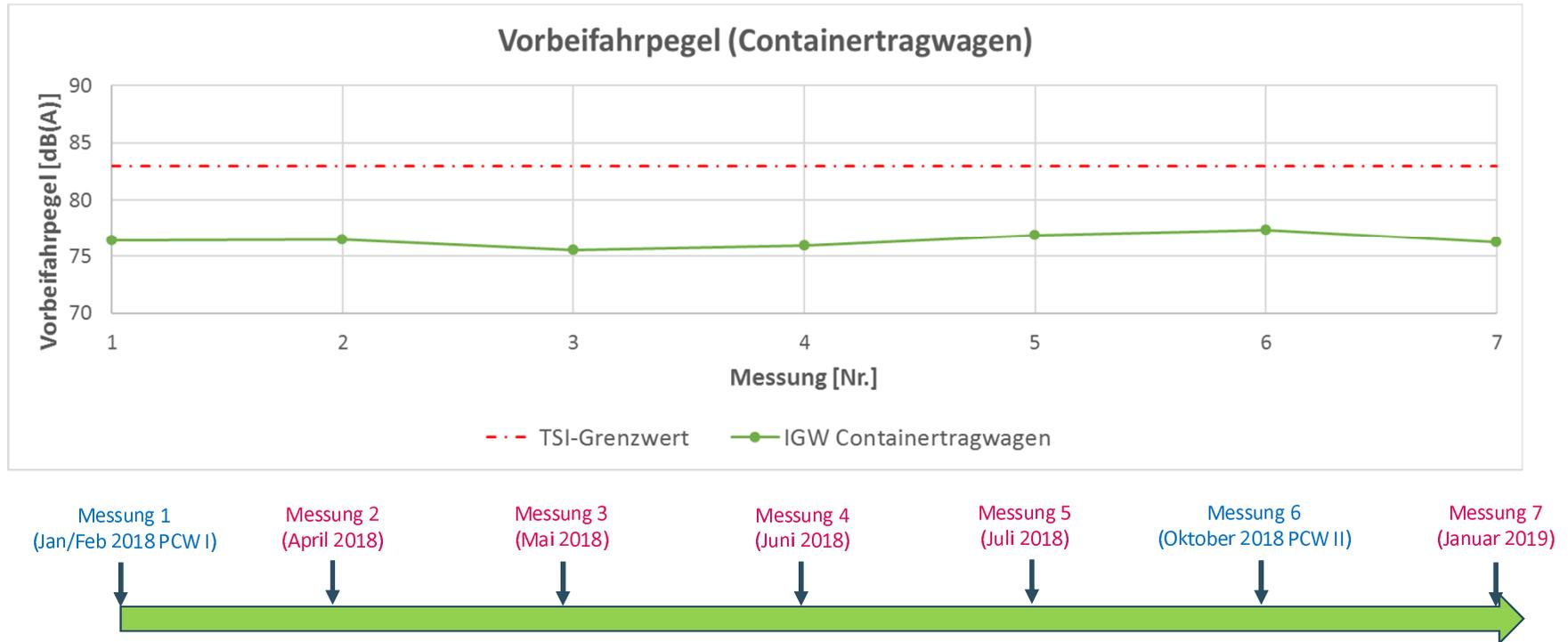


[Quelle: PROSE]

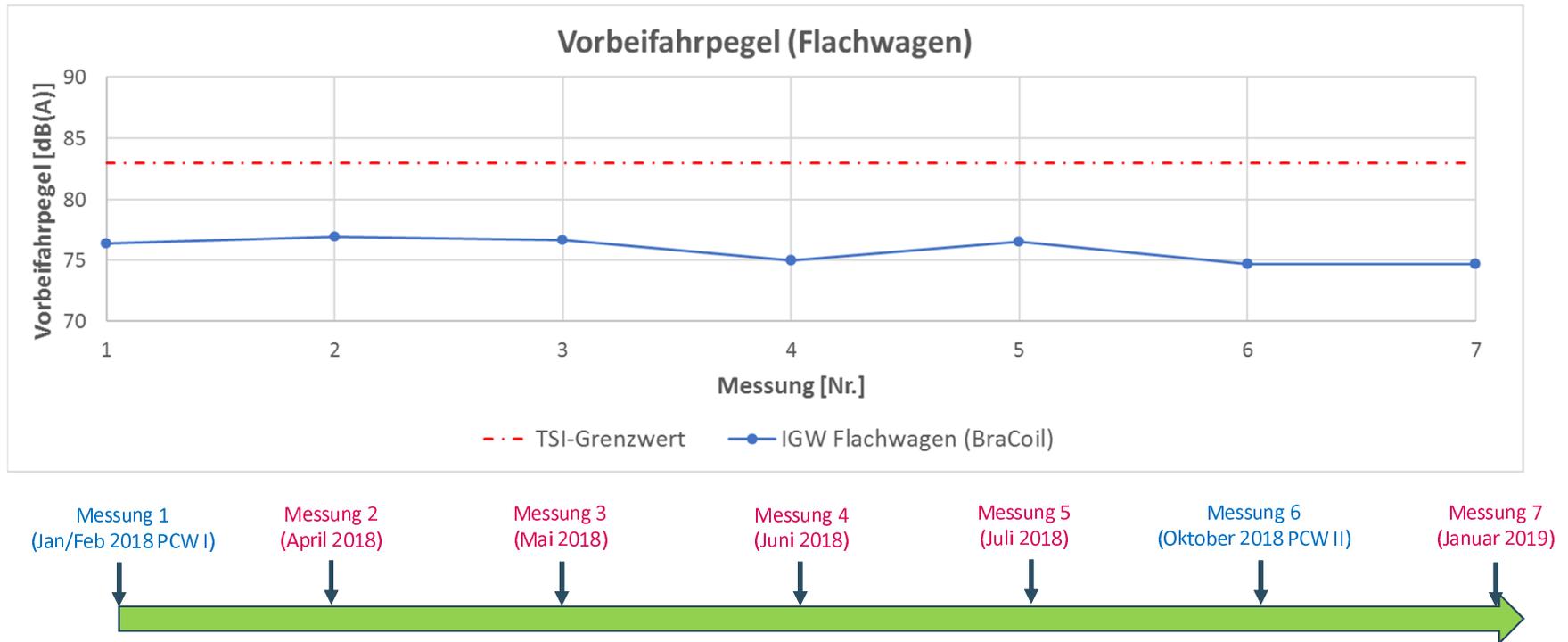
Lärmmessungen Betriebserprobung - Ergebnisse



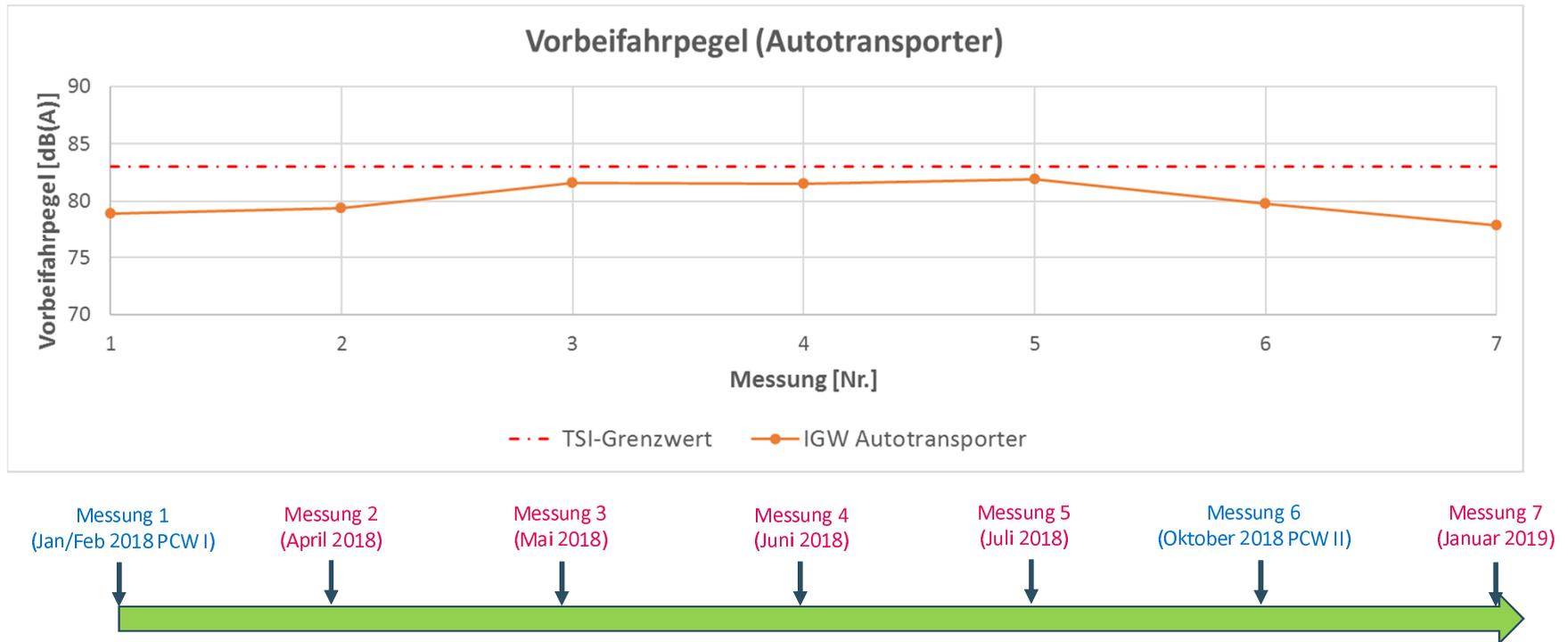
Lärmmessungen Betriebserprobung - Ergebnisse



Lärmmessungen Betriebserprobung - Ergebnisse



Lärmmessungen Betriebserprobung - Ergebnisse



Lärmmessungen Betriebserprobung - Ergebnisse

Lärmpegel im Vergleich zum TSI Grenzwert

	Bereich über alle Konfigurationen (PCW I)	Gewählte Konfiguration für Betriebserprobung (+ PCW II)	Betriebserprobung (Mittelwert)
Innovativer Kesselwagen	-4 bis -7 dB	-5 dB	-5 dB
Innovativer Containertragwagen	-5 bis -7 dB	-7 dB	- 6 dB
Innovativer Autotransporter	-3 bis -4 dB	-4 dB	- 3 dB
Innovativer Flachwagen	-6 bis -7 dB	-7 dB	-7 dB



Energieverbrauchsmessungen

PCW I (Jan/Feb 2018) - leer

PCW II (Okt 2018) - beladen

[Quelle: PROSE]

Energieverbrauchsmessung - Konzept



PCW I (Jan/Feb 18)

- Beladungszustand: **leer**
- Ermittlung Laufwiderstand in:
 - Gerade
 - Bogen (700m)

-> Vergleich (kWh/km)



PCW II (Okt 18)

- Beladungszustand: **voll beladen**
- Ermittlung Laufwiderstand in:
 - Gerade
 - Bogen (700m)

-> Vergleich (kWh/tkm)

- Zusätzlich:
 - Bewertung ep-Light-Bremse
 - Radsatzlenkung (KW/CTW)
 - Bogen (700m/300m)



Betriebserprobung (Nov 18)

- Ermittlung:
 - Fahrprofil
 - Streckenprofil
- > Input für "virtuelle Fahrt"
- Bewertung Einfluss ep-Light-Bremse

Energieverbrauchsmessung Testring (PCW I &II) - Durchführung

- Durchführung der Messungen im Jan/Feb 2018 (leer) & Okt 2018 (beladen)
 - Zugverband PCW I (leer): Lokomotive (BR120) – (Messwagen) – 2 IGW Wagen/Referenzwagen
 - Zugverband PCW II (voll beladen): Lokomotive (BR185 „TRAXX“) – 2 IGW Wagen/Referenzwagen
- Ermittlung der Zugkraft per Messschraubenkupplung
- Rundfahrten bei 60, 80, 100, 120 km/h bei konstanter Lok-Leistung (Zugkraft)

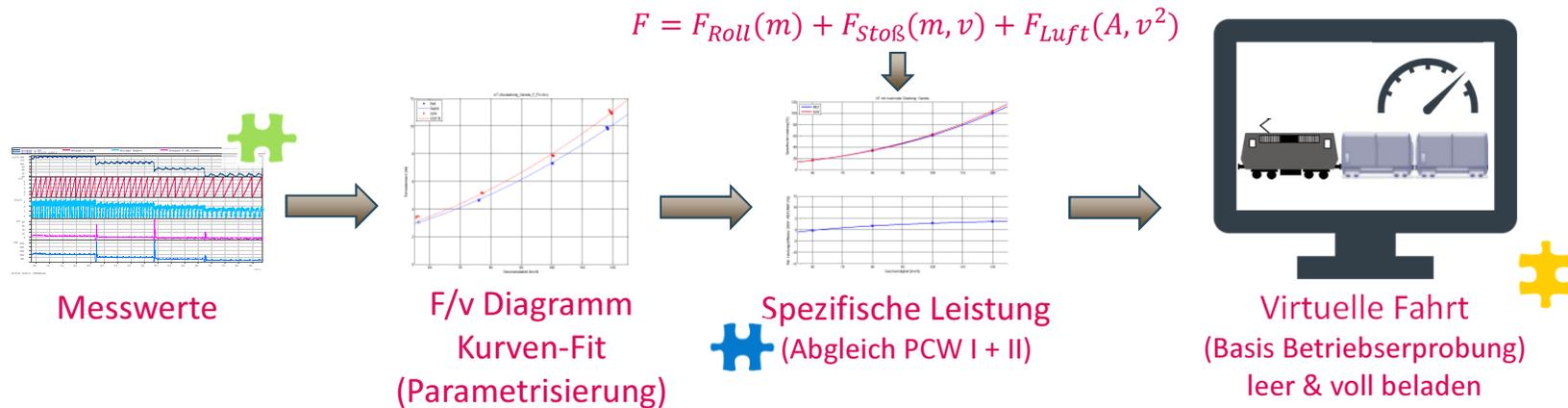


[Quelle: PROSE]



- DAQ (Datenerfassung)
- FZ (Zugkraft per Messschraubenkupplung)
- imc Luxact: AbsVelocity, Distance, Angular_velocity, Acceleration (Geschwindigkeit, Strecke, 3xDrehrate, 3xBeschleunigung)
- a_q (unausgeglichene Querbeschleunigung)
- GPS (Geschwindigkeit, Position)
- imc NEMO: I_N und U_N (vor TEMA-Box)
- s_by1 (Ausdrehwinkel nur für jeweils ein Drehgestell der Kessel- und Containerwagen)
- s_a11 bis s_a22 (Längswege Radsatzlager nur für jeweils ein Drehgestell der Kessel- und Containerwagen)
- * Lichtschranke (Rundenzähler)

Energieverbrauchsmessung Testring (PCW I & II) - Auswertung



Wagengattung (Vergleich in % von kWh/tkm)	100% Auslastung			50% Auslastung			Mittelwert
	10% Bögen	50% Bögen	Mittelwert	10% Bögen	50% Bögen	Mittelwert	
Containertragwagen	-2.3	-2.7	-2.5	-1.9	-2.3	-2.1	-2.3
Kesselwagen	-2.2	-2.9	-2.6	-1.2	-1.7	-1.4	-2.0
Flachwagen/BraCoil*	-3.5	-3.1	-3.3	-0.2	0.2	0.0	-1.7
Autotransporter	4.3	5.3	4.8	7.8	8.9	8.3	6.6

Energieverbrauchsmessung Testring (PCW I &II) - Ergebnisse

Ergebnisse aus virtueller Fahrt (Vergleich kWh/tkm)

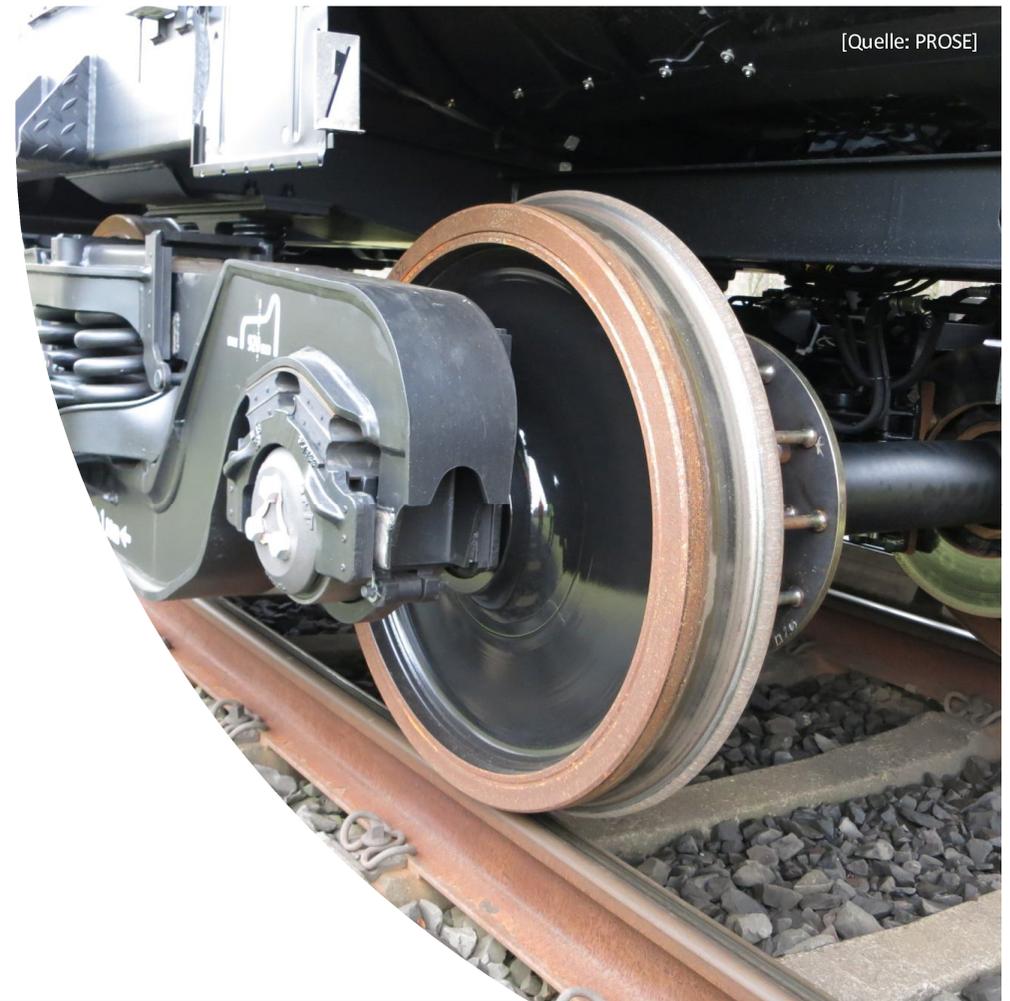
Wagengattung (Vergleich in % von kWh/tkm)	100% Auslastung			50% Auslastung			Mittelwert
	10% Bögen	50% Bögen	Mittelwert	10% Bögen	50% Bögen	Mittelwert	
Containertragwagen	-2.3	-2.7	-2.5	-1.9	-2.3	-2.1	-2.3
Kesselwagen	-2.2	-2.9	-2.6	-1.2	-1.7	-1.4	-2.0
Flachwagen/BraCoil*	-3.5	-3.1	-3.3	-0.2	0.2	0.0	-1.7
Autotransporter **	4.3	5.3	4.8	7.8	8.9	8.3	6.6

* Energievorteil durch Differenz der Zuladungskapazität Referenz/IGW

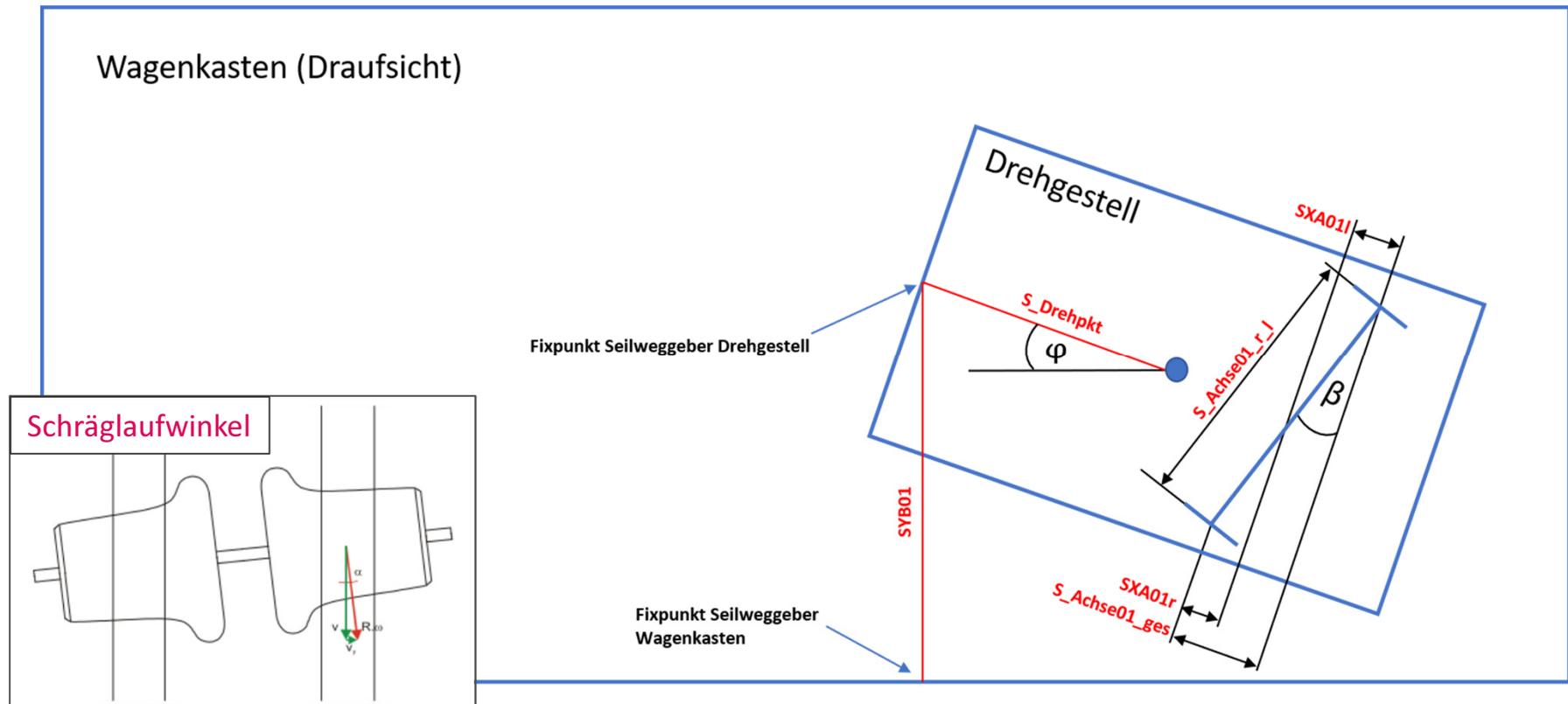
** Direkter Vergleich (Betrachtung bezogen auf Ladeeinheiten -> SCI)

Messungen Radsatzlenkung

PCW II (Okt 2018)

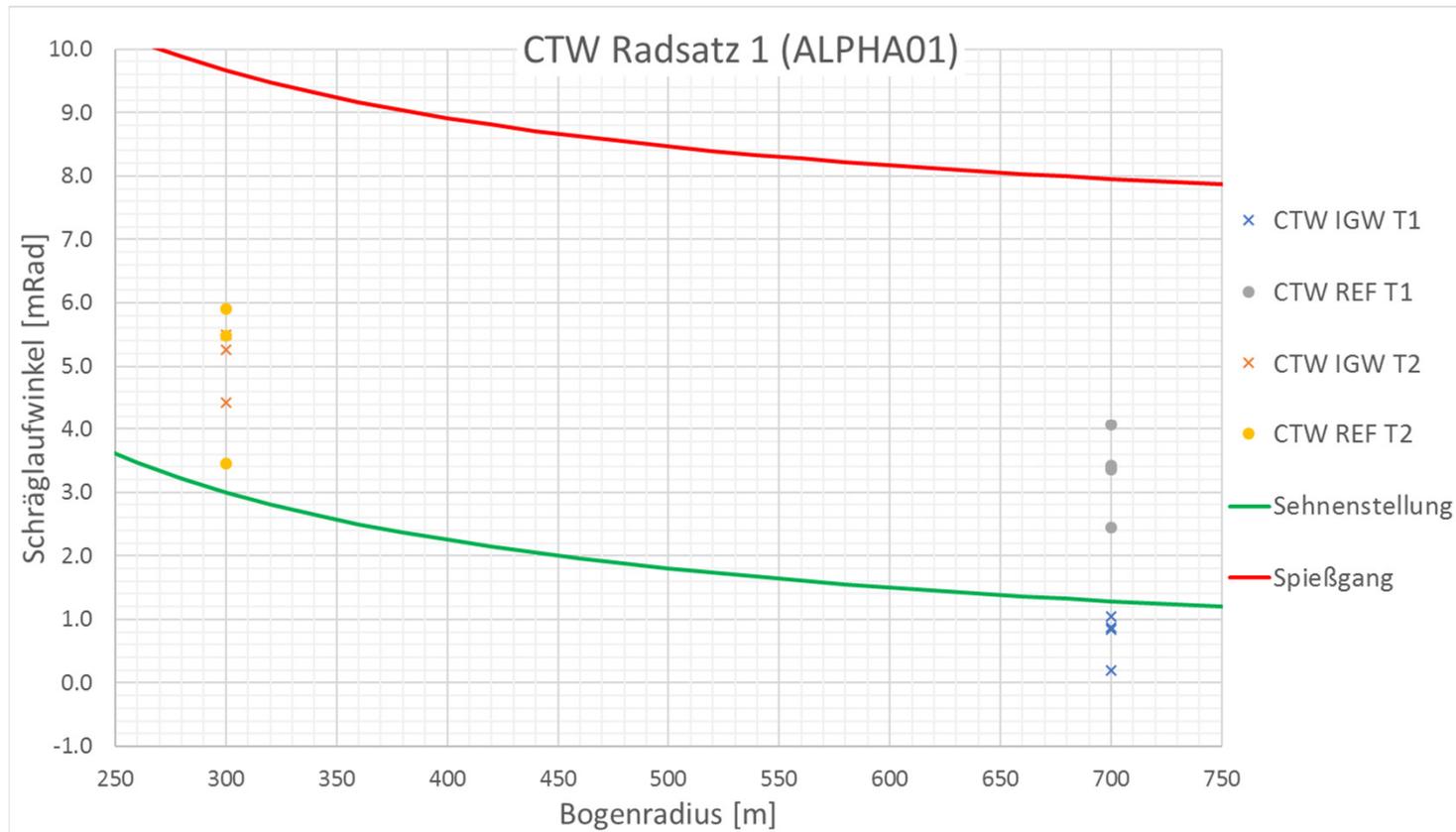


Energieverbrauchsmessung – Radsatzlenkung - Durchführung

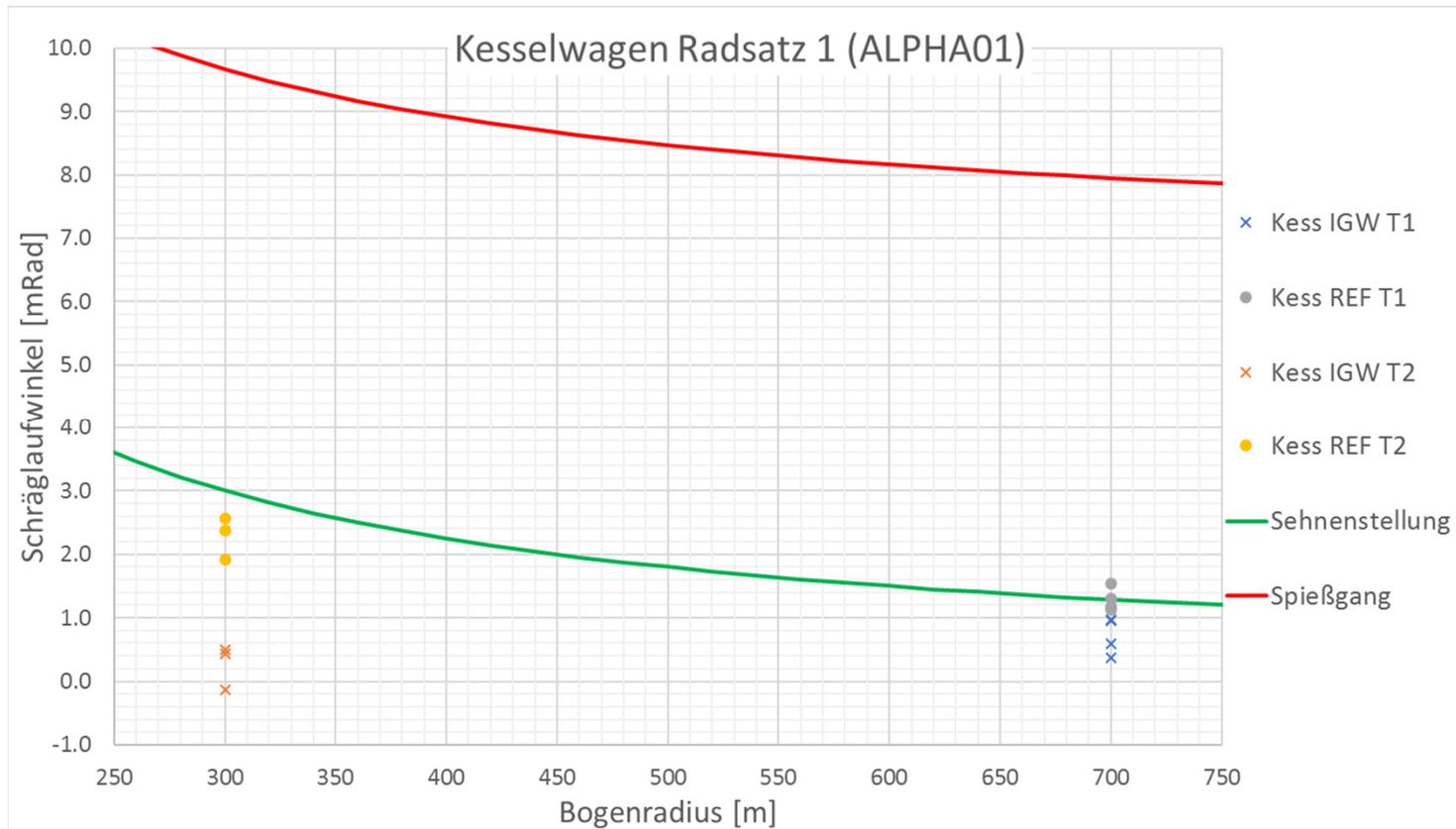


[Quelle: Skript TU Graz, Haigemoser]

Energieverbrauchsmessung – Radsatzlenkung - Ergebnisse



Energieverbrauchsmessung – Radsatzlenkung - Ergebnisse



Bewertung ep-Light-Bremse

*PCW II (Okt 2018)
&
Betriebserprobung (Nov 2018)*

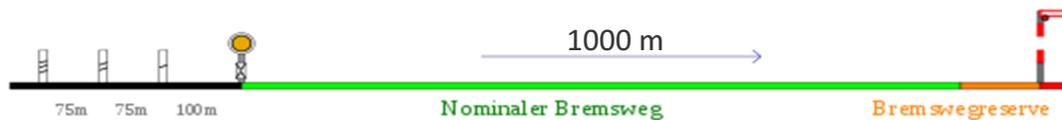


[Quelle: PROSE]

Energieverbrauchsmessung (PCW II) - ep-Light-Bremse - Durchführung

Testkonfigurationen

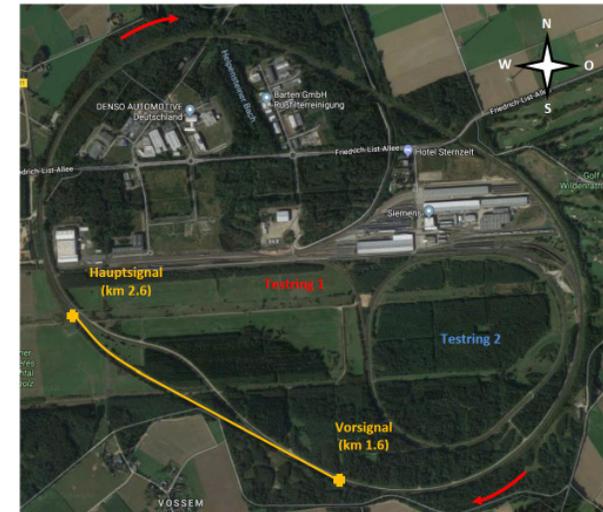
1. Lok (BR120) + 8 IGW (beladen)
 - Länge: 200 m Gesamtgewicht: 775 t
2. Lok (BR120) + 8 IGW (beladen) + 8 Referenzwagen (beladen)
 - Länge: 375 m Gesamtgewicht: 1444 t



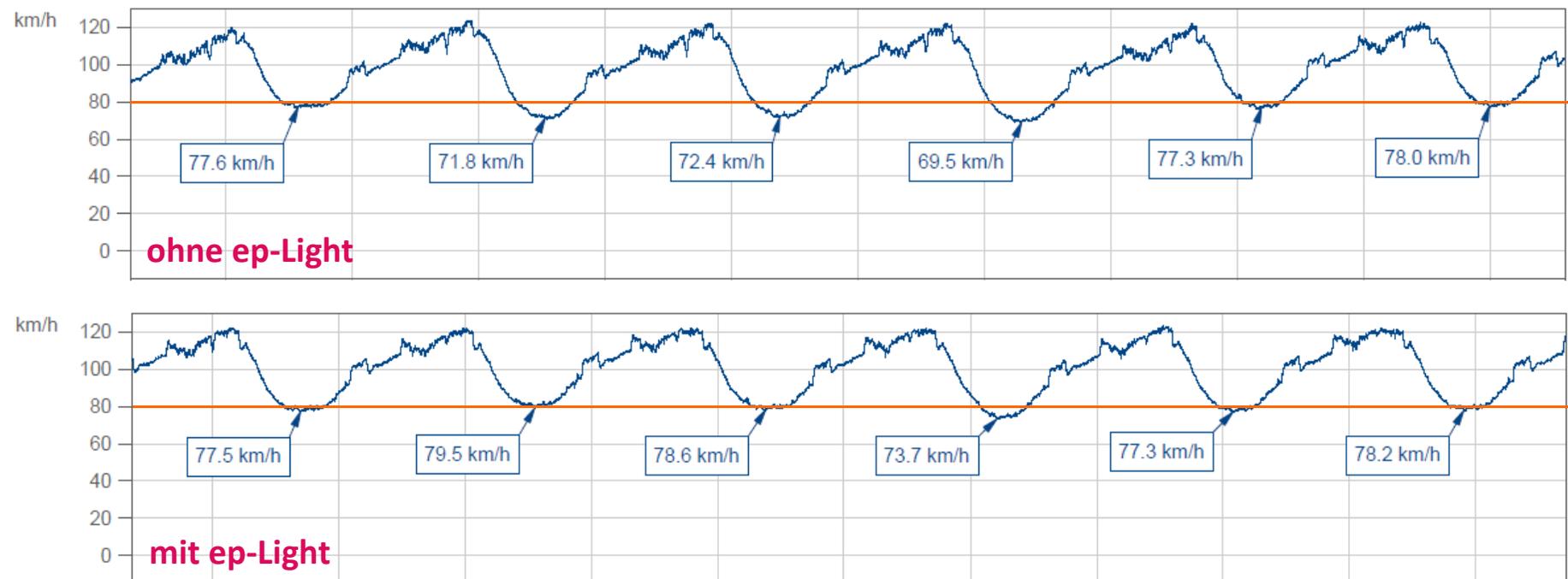
Testablauf (mit und ohne ep-Light)

Testfahrten für Konfiguration 1 & 2 auf Testring 1 (PCW)

1. Beschleunigung auf $v = 120$ km/h und Zugverband auf $v = \text{konst.}$ halten
2. Einbremsen bei km 1.6 (Vorsignal) auf Zielgeschwindigkeit 40/60/80 km/h ab km 2.6 (Hauptsignal)
3. Zugverband für ca. 1 km auf $v = \text{konst.}$ halten
4. Beginn wieder bei 1) (Zyklus min. 6mal)



Energieverbrauchsmessung (PCW II) - ep-Light-Bremse - Durchführung



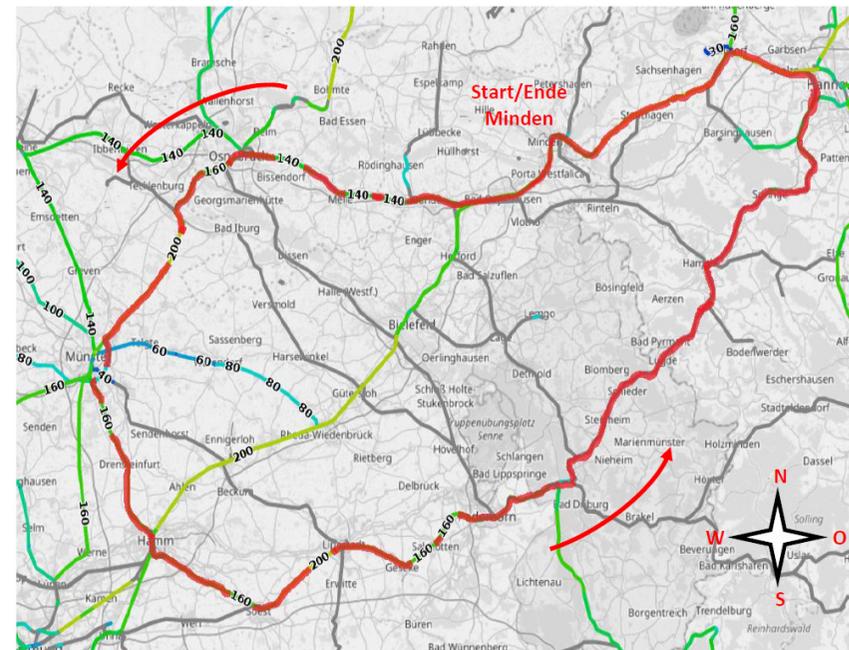
Energieverbrauchsmessung Betriebserprobung (ep-Light-Bremse)

Messaufbau während Betriebserprobung (Lok-BR120)

- Geschwindigkeit/Position/Höhe per GPS
- Gleiskrümmung per Drehratengeber
- Energieverbrauch per TEMA-Box
- Stellung Bremshebel, HL-Druck
- Signal 110V Leitung (ep-light Bremse)

Durchführung

- 6 Schleifen à 410 km (Gesamt 2460 km)
- Erfassung Statistik Bremsgründe
- Erfassung Fahrprofil als Input für „virtuelle Fahrt“
- Vergleich Soll- gegen Ist-Endgeschwindigkeiten



[Quelle: www.openrailwaymap.org]

Energieverbrauchsmessung - ep-Light-Bremse - Ergebnisse

Nr.	Betrieblicher Bremsgrund	Anzahl während 6 Nordschleifen (2460 km)	Positiver Effekt auf Energieverbrauch mit ep-Light-Bremse	Positiver Effekt auf Energieverbrauch mit ep-Bremse
1	vorübergehende Geschwindigkeitsreduzierung 100 km/h -> 80 km/h -> Beschleunigung 100 km/h -> 60 km/h -> Beschleunigung 100 km/h -> 40 km/h -> Beschleunigung	16	ja	ja
2	gestufte Geschwindigkeitsreduzierung ohne anschließenden Halt (z.B. 100 km/h -> 60 km/h -> 40 km/h)	9	(nein)	(nein)
3	Halt bzw. Geschwindigkeitsreduzierung erwartet (z.B. 100 km/h -> Reduzierung -> 100 km/h)	41	nein	ja
4	Bahnhofsdurchfahrt (z.B. 100 km/h -> <=40 km/h -> Laufen lassen)	47	nein	nein
5	Halt (z.B. 100 km/h -> Halt)	63	nein	nein

Reduzierung des Energieverbrauchs durch Einsatz ep-Light-Bremse: **0.15% - 0.43%**

Energieverbrauchsmessung - Zusammenfassung

Energieeffizienz gegenüber Referenzwagen (Differenz kWh/tkm [%])

- Innovativer Kesselwagen: Energieersparnis bis zu **-2.3%**
- Innovativer Containertragwagen: Energieersparnis bis zu **-2.0%**
- Innovativer Autotransporter: Energieverbrauch bis zu **+6.6%**
- Innovativer Flachwagen: Energieersparnis bis zu **-1.7%** (Energievorteil durch Differenz der Zuladungskapazität Referenz/IGW)

Radsatzlenkung

- Messungen an innovativen Kessel- und Containertragwagen bestätigen qualitativ die positiven Erkenntnisse aus den parallel durchgeführten Laufwiderstands- bzw. Energieverbrauchsmessungen im Bogen

ep-Light-Bremse

- Zusätzliche Energieersparnis für mittellange bis lange Zugkompositionen von bis zu **0.3%**
- Schulung der Lokführer im Bezug auf Verwendung der ep-Light-Bremse nötig



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

kevin.born@prose.one

