

Praktische Anwendung der TSI Lärm

Dargestellt am Beispiel von Güterwagen

Dr. Hans-Jürgen Beckmann – TÜV NORD Gruppe, Hannover
Stefan Meinhold – Siemens AG, Transportation Systems, Wegberg
Reinhard Bühl – TÜV NORD Gruppe, Hannover

- **Messung von Geräuschen**
 - Geräuschmessungen nach DIN EN ISO 3095 / TSI-Lärm
- **Geräuschmessung an Fahrzeugen**
 - Standgeräusch
 - Messverfahren
 - Grenzwerte
 - Fahrgeräusch
 - Anforderung an die Messstrecke
 - Anforderung an die Messgeräte
 - Randbedingungen der Messung
 - Grenzwerte
- **Messungen an Güterwagen**
 - Praktische Durchführung einer Messung

Messung von Geräuschen – dB statt DB

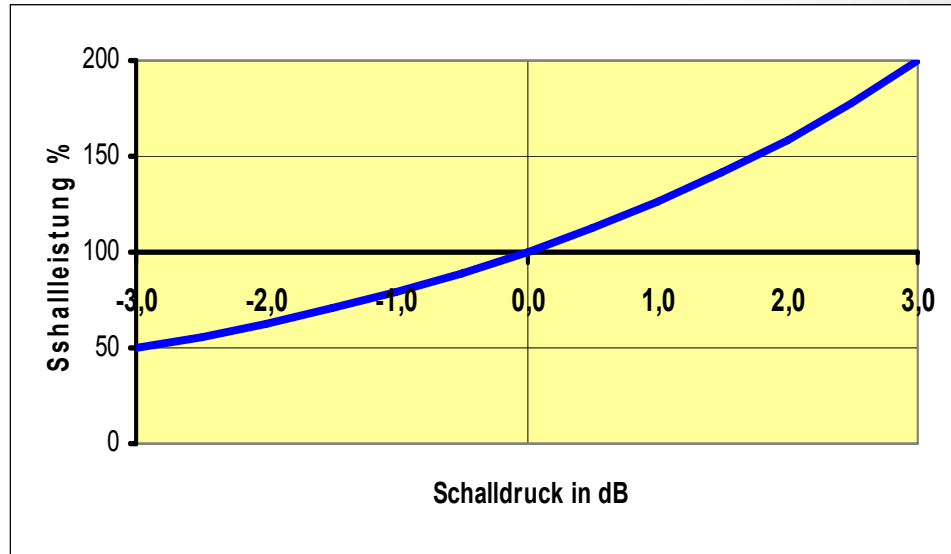
Physikalisch:	Schalldruck $p(t)$, Effektivwert $p(t)$
Physiologisch:	Frequenzbereich 16 Hz bis 16 kHz Hörschwelle bei $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ Schmerzgrenze bei $p = 200 \text{ Pa}$ Starke Frequenzabhängigkeit
Technisch:	Schalldruckpegel $L_p = 20 * \log (p/p_0)$ in dB A-Bewertung zur Frequenzbewertung L_{pA} Energie-äquivalenter Mittelwert L_{pAeq}

Lärm ist eine nicht messbare, subjektive Empfindung



Messung von Geräuschen – dB statt DB

Logarithmisches Maß:



Gefühlte Lautheit:

**Verdoppelung
für + 10 dB**

Addition von Pegeln:

$$\begin{array}{ccccc} 90 \text{ dB} & & 90 \text{ dB} & & 93 \text{ dB} \\ \text{Speaker} & + & \text{Speaker} & = & \text{Two Speakers} \end{array}$$

Verdoppelung des Abstands:

- 6 dB

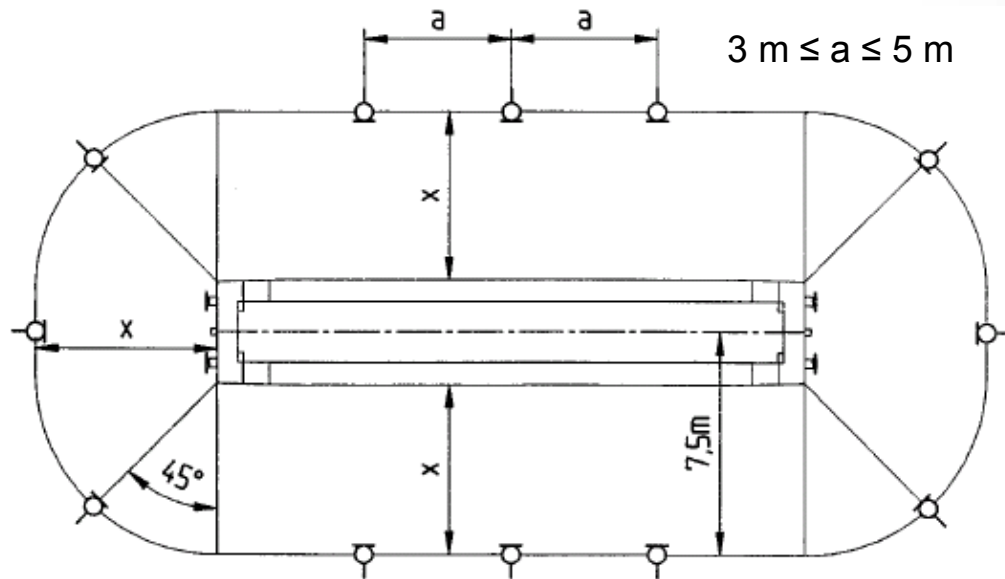
Normative Anforderungen für Geräuschmessungen an Schienenfahrzeugen

- DIN EN ISO 3095:
Geräuschmessung von spurgebundenen Fahrzeugen,
November 2005 (Entwurf April 2001)
- DIN EN ISO 3381
Geräuschmessung in spurgebundenen Fahrzeugen,
August 2005
- TSI Noise
Entscheidung der Kommission vom 23.12.2005 über die
Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI)
zum Teilsystem „Fahrzeuge – Lärm“

Die TSI Noise bezieht sich explizit auf die **Entwurfssfassung** der DIN EN ISO 3095 vom April 2001.

Messung des Standgeräuschs

- Mikrofonabstand zur Gleismitte 7,5 m
- Mikrofonhöhe über Schienenoberkante 1,2 m
- Messdauer 60 s
- Energetischer Mittelwert über alle Messpunkte



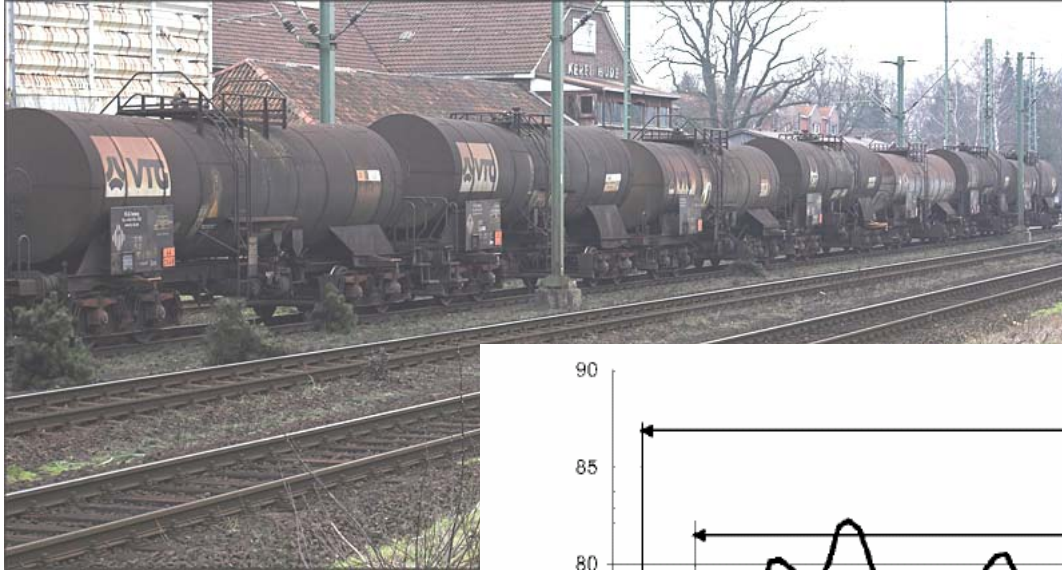
$$L_m = 10 * \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{(L_i/10)} \right]$$

TSI Noise: Grenzwerte für das Standgeräusch

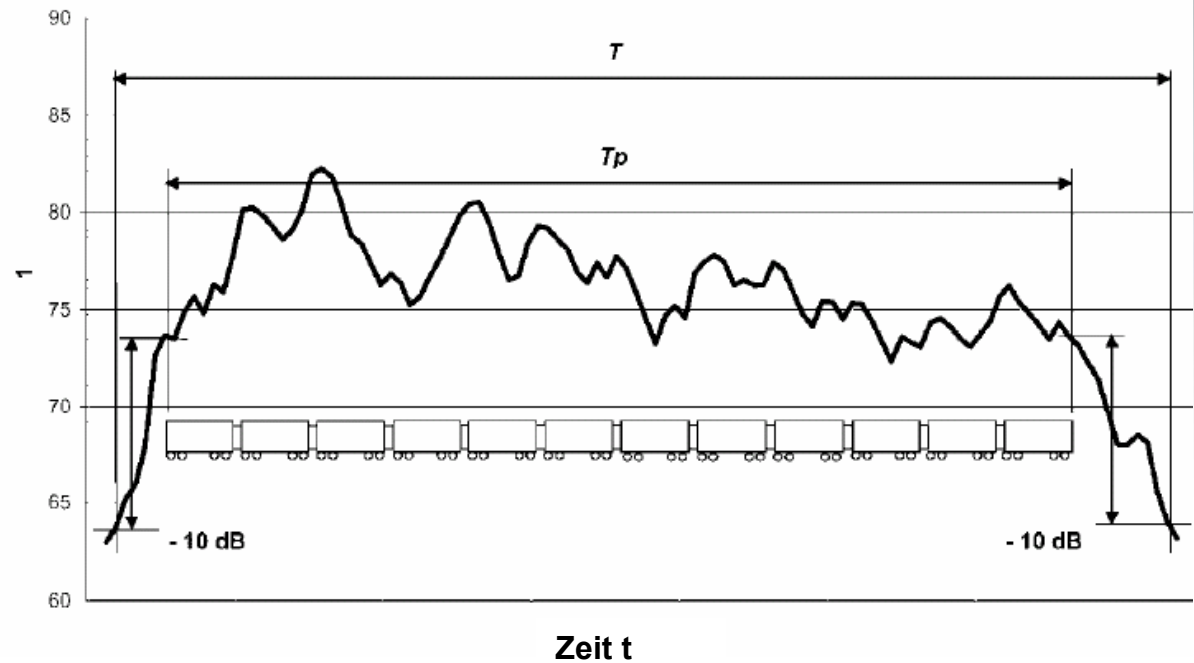
- Messung nach prEN ISO 3095:2001 in 7,5 m Abstand
- Alle Hilfsaggregate, die im Stand des Fahrzeugs betrieben werden können (außer Bremsluftkompressor)
- Hilfsaggregate bei normaler Last
- Simulation von 20 °C

Fahrzeuge	$L_{pAeq, T}$
Elektrolokomotiven	$\leq 75 \text{ dB(A)}$
Diesellokomotiven	$\leq 75 \text{ dB(A)}$
Elektrotriebzug	$\leq 68 \text{ dB(A)}$
Dieselttriebzug	$\leq 73 \text{ dB(A)}$
Reisezugwagen	$\leq 65 \text{ dB(A)}$
Güterwagen	$\leq 65 \text{ dB(A)}$

Messung von Geräuschen nach DIN EN ISO 3095



Schalldruckpegel L_{pAF}



TSI Noise: Grenzwerte für das Fahrgeräusch

Grenzwerte $L_{pAeq, Tp}$ für Lokomotiven, Triebwagen und Reisezugwagen

Fahrzeug	$L_{pAeq, Tp}$
Elektrolokomotiven	$\leq 85 \text{ dB(A)}$
Diesellokomotiven	$\leq 85 \text{ dB(A)}$
Elektrotriebzug	$\leq 81 \text{ dB(A)}$
Dieselttriebzug	$\leq 82 \text{ dB(A)}$
Reisezugwagen	$\leq 80 \text{ dB(A)}$

Messung in 7,5 m Abstand
bei 80 km/h und $v_{max} (\leq 190 \text{ km/h})$

Umrechnung: $L_{pAeq, Tp} (80 \text{ km/h}) =$
 $L_{pAeq, Tp} (v) - 30 * \log (v/80 \text{ km/h})$

Beispiel: $v_{max} = 160 \text{ km/h} \rightarrow -9,0 \text{ dB}$

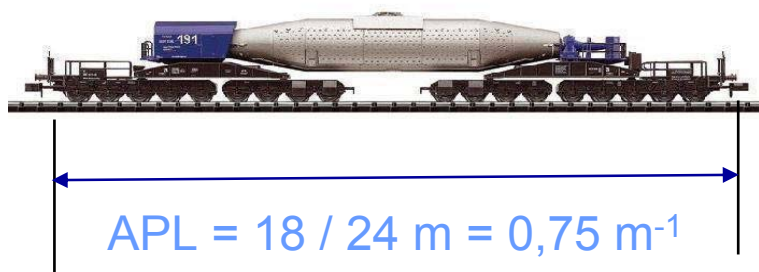
Übergangsregelungen festgelegt

Weitere Grenzwerte für Stand- und Anfahrgeräusch
sowie Innengeräusch im Führerstand beachten

TSI Noise: Grenzwerte für das Fahrgeräusch

Grenzwerte $L_{pAeq, Tp}$ für neue Güterwagen

APL / m ⁻¹ APL = Axles per length Radsätze / LÜP	$L_{pAeq, Tp}$
$APL \leq 0,15 \text{ m}^{-1}$	$\leq 82 \text{ dB (A)}$
$0,15 < APL \leq 0,275 \text{ m}^{-1}$	$\leq 83 \text{ dB (A)}$
$0,275 \text{ m}^{-1} < APL$	$\leq 85 \text{ dB (A)}$



Messung in 7,5 m Abstand
bei 80 km/h und $v_{max} (\leq 190 \text{ km/h})$

Umrechnung: $L_{pAeq, Tp} (80 \text{ km/h}) =$
 $L_{pAeq, Tp} (v) - 30 * \log (v/80 \text{ km/h})$

Beispiel: $v_{max} = 120 \text{ km/h} \rightarrow -5,3 \text{ dB}$

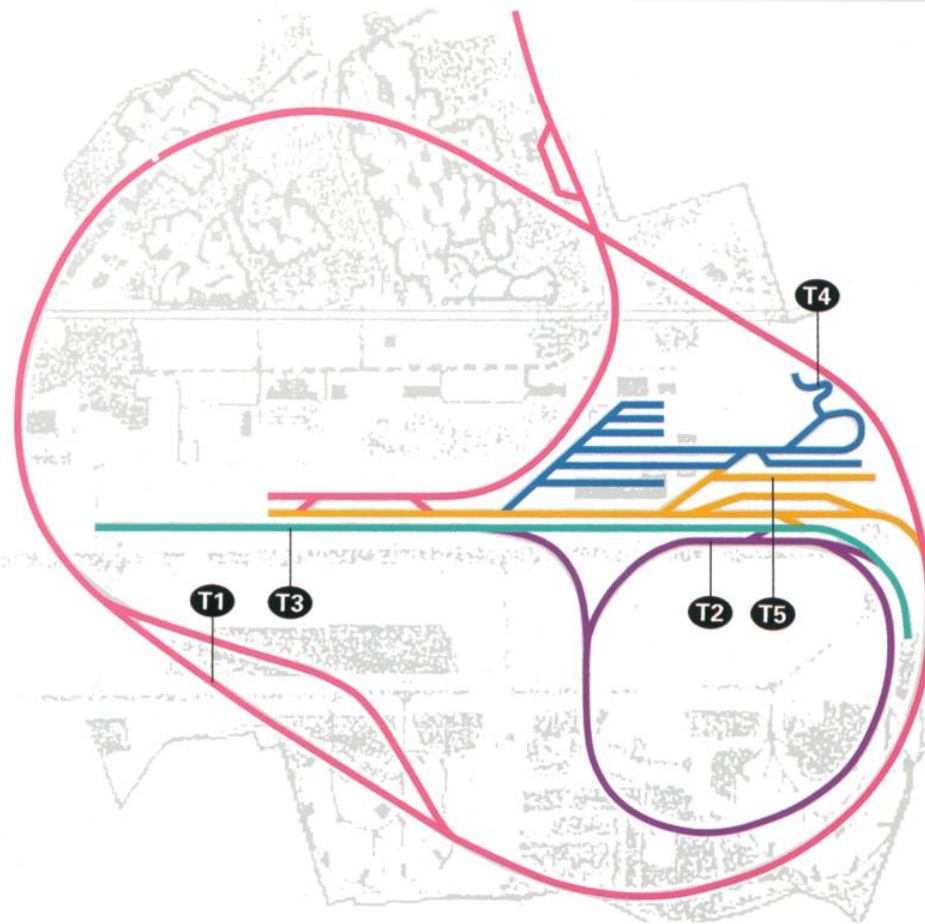
Erneuerte und umgerüstete Wagen:
+ 2 dB

EG-Recht gilt ab 2006-06-23 und sieht keine
Übergangsregelung für Güterwagen vor

Fahrgeräusche: Anforderungen an die Messstrecke

- Lückenlos verschweißtes Gleis im Schotterbett mit Beton- oder Holzschwellen
- Grenzkurven für Schienenrauheit und dynamisches Verhalten definiert
- Steigung $< 1 : 100$
- Radius ≥ 3 km für $v < 120$ km/h; Radius ≥ 5 km für $v \geq 120$ km/h
- Kein Gleis zwischen Prüfgleis und Mikrofon
- Mikrofonabstand 7,5 m zur Gleismitte; Mikrofonhöhe 1,2 m
- Freie Schallausbreitung im Bereich 3 x Messradius
- Schallharter Untergrund (trocken, kurzer Bewuchs)
- Höhenniveau im Bereich $\pm 1,0$ m über Schienenoberkante
- Fremdgeräuschabstand > 10 dB
- Witterungsbedingungen beachten (kein Regen oder Schneefall)

Siemens Prüfcenter Wegberg-Wildenrath



Als modernstes Prüfcenter seiner Art bietet das PCW unter anderem:

- ca. 28 km Gleise in Normalspur, z. T. auch in Meterspur
- 2 Testringe, 3 Testgleise
- Stromversorgungen für alle gängigen Systeme
- Sicherungs- und Signaltechnik
- Zugbildungshallen und Werkstätten
- Druckwasserstrahlanlagen, Drehgestellsenken, Ausdrehtisch, Waage
- Messeinrichtungen für elektrische Parameter, Schall, EMV etc.
- Zugänglich für interne und externe Kunden

Lage des Akustik-Messplatzes

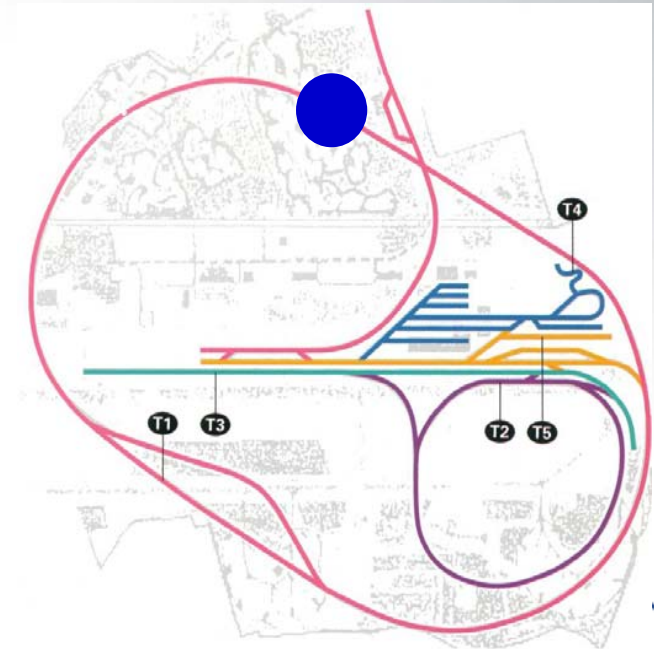
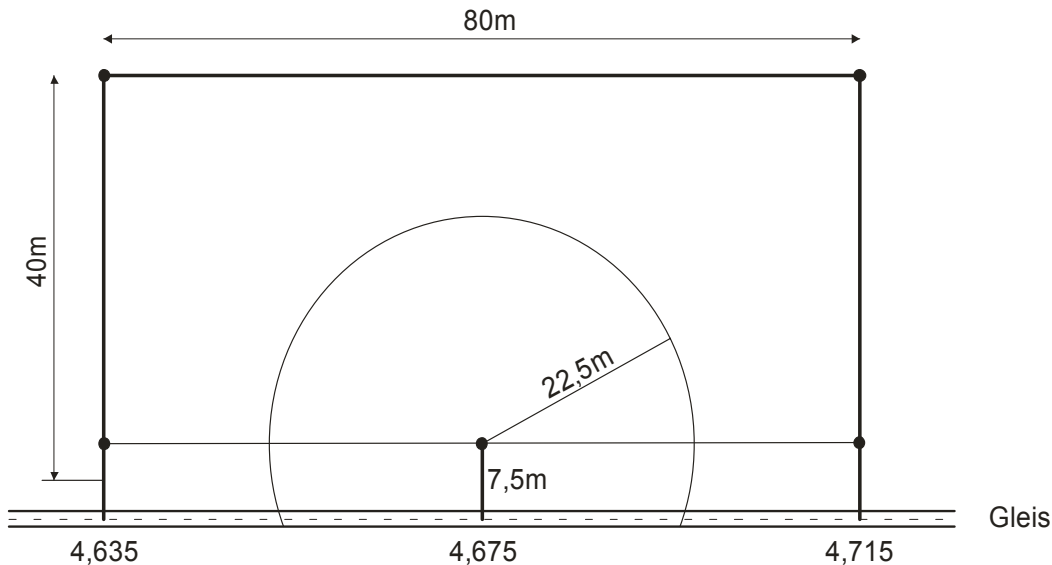
Optimaler Standort im Prüfcenter

Anforderung DIN EN ISO 3095 für einen Messabstand von 7,5 m:
Radius der freien Fläche 22,5 m

⇒ Erweitert auf 40 m x 80 m

Lage am großen Prüfring

⇒ hohe Prüffrequenz (Vorbeifahrt alle 3 – 6 Minuten)





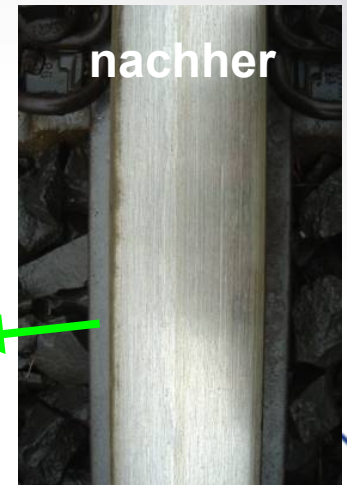
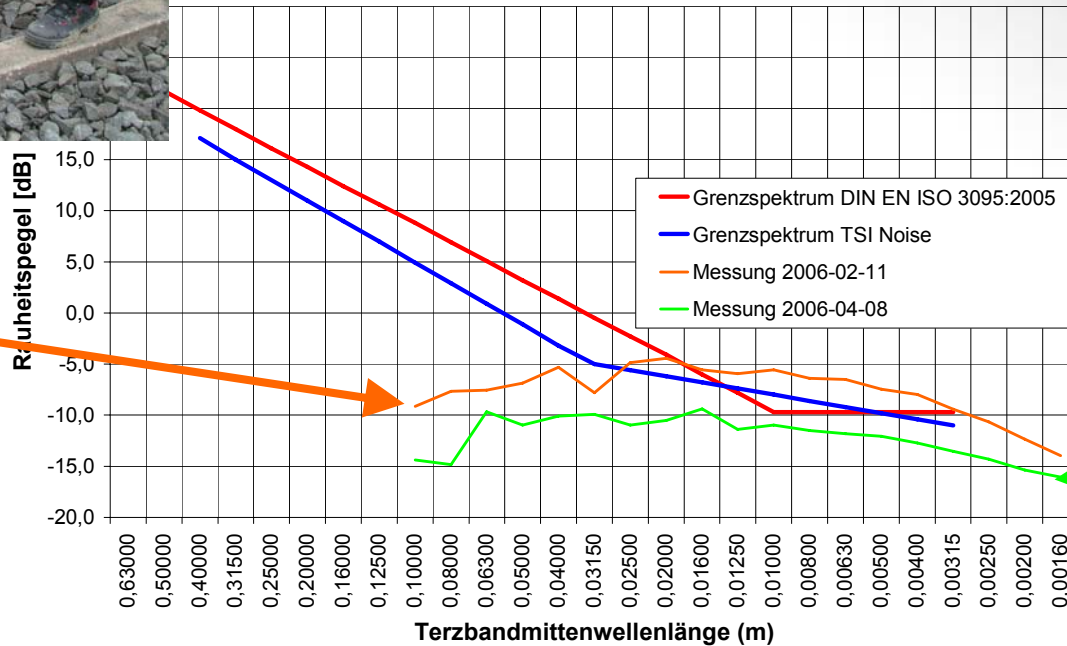
Messung der Schienen-Rauheit



Verringerung der Schienenrauheit durch oszillierendes Schleifen

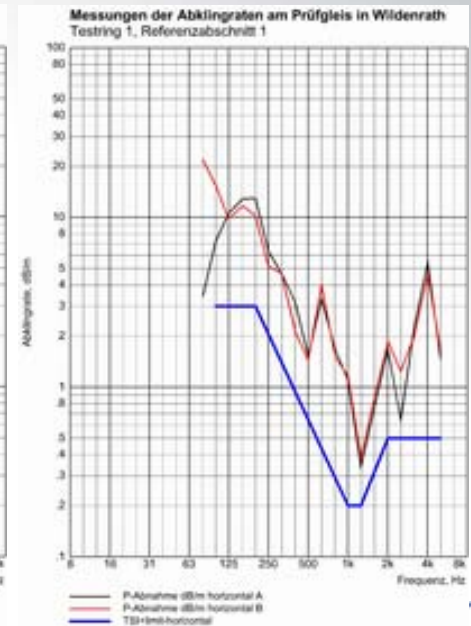
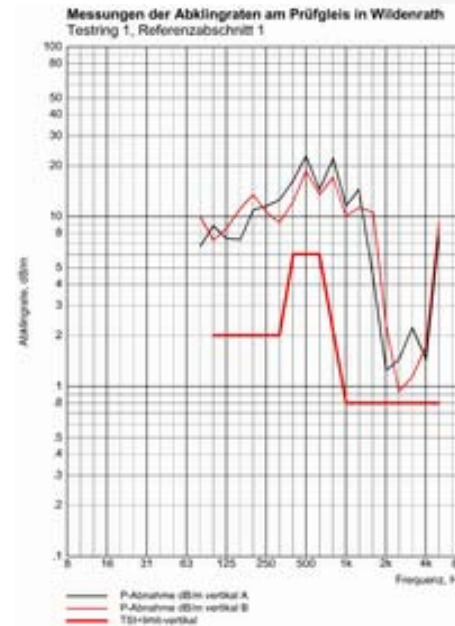
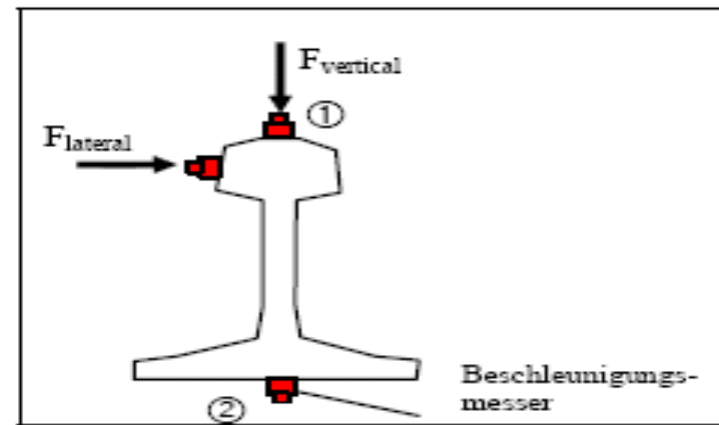
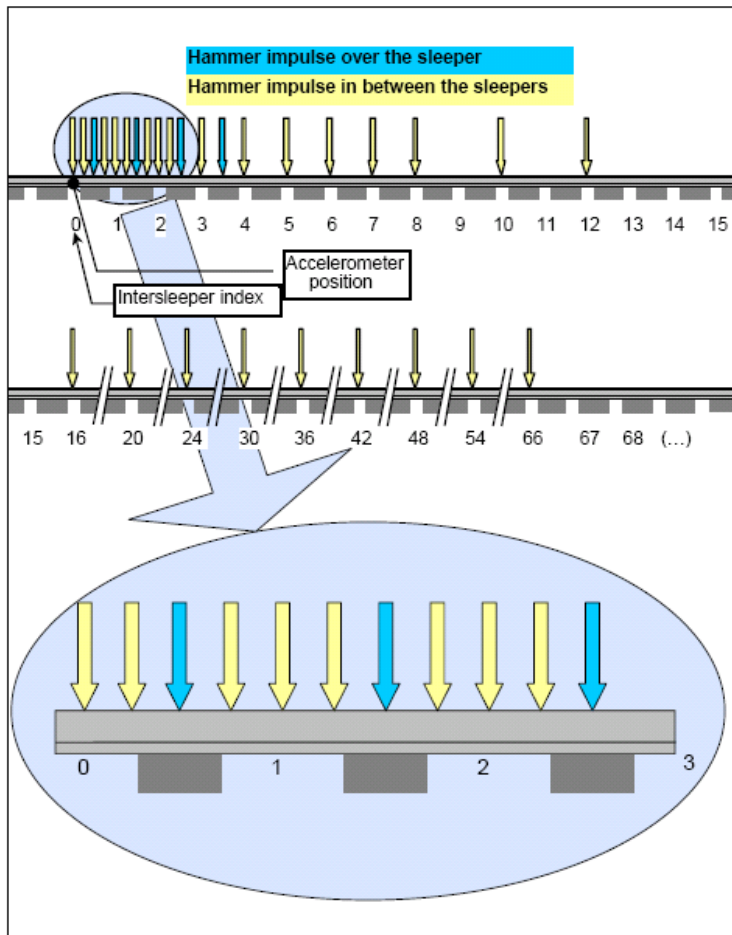


vorher



nachher

Messung der vertikalen und lateralen Dämpfungsrate (TDR)



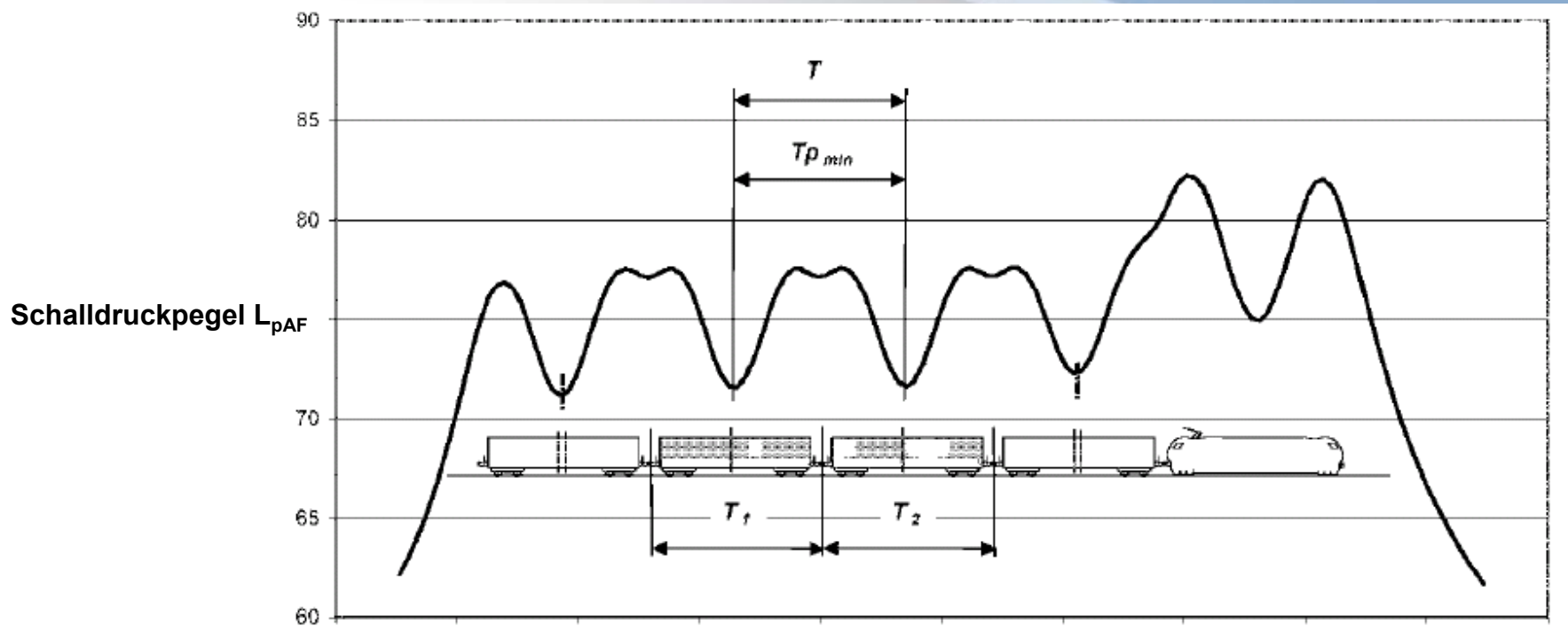
EG-Prüfung TSI Lärm

Messung des Fahrgeräusches –

Anforderungen an die Messgeräte und weitere Randbedingungen

- Schallpegelmesseinrichtung gemäß Klasse 1 nach EN 60804
- Schall-Kalibrator nach EN 60942, Überprüfung jährlich
- Konstante Fahrgeschwindigkeit $\pm 3 \%$ in den 60 s vor und während der Vorbeifahrt (Messung erforderlich)
- Bei Wagen mindestens 2 Prüflinge erforderlich
- Wagen müssen 1.000 km gelaufen sein
- Messung im unbeladenen Zustand
- „Akustisch gleichwertige“ Wagen vor und hinter den Prüflingen
- Praxis: Start/Stop Trigger erforderlich (Messzeiten z. T. < 1 s)

Messung von Geräuschen nach DIN EN ISO 3095



L_{pAeq,T_p} der A-bewertete äquivalente Dauerschalldruckpegel während der Vorbeifahrtzeit, in Dezibel (dB);

$T_p = T_2 - T_1$ die Messdauer während der Vorbeifahrt, beginnend bei T_1 und endend bei T_2 , in Sekunden

$$L_{pAeq,T_p} = 10 \lg \left(\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right)$$

Warum 2 Prüflinge?



Messpunkt in 7,5 m
Abstand zur Gleismitte

Fahrzeug kann nur dann „richtig“ gemessen werden, wenn 2
Prüflinge + 2 gleichwertige Wagen davor/dahinter eingestellt sind

Exakte Positionsbestimmung



Versuchszug

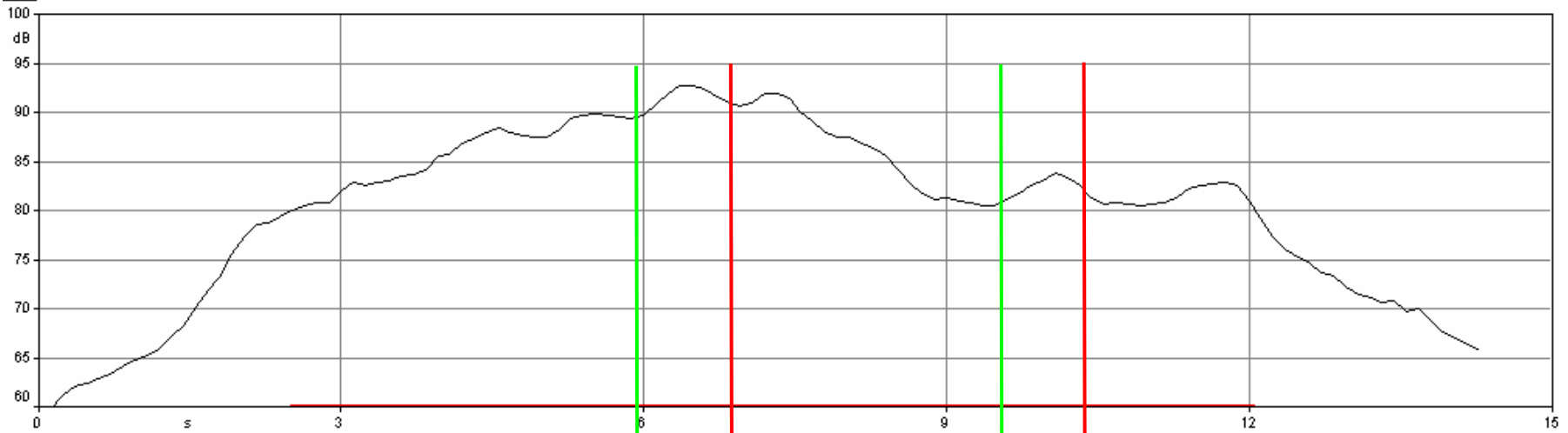
	Wagen 2 - 5	Wagen 6 - 9
Fahrzeugtyp	Sgjs 712	Sffgmss
Länge über Puffer	21000 mm	19365 mm
Radsatzzahl	4	
APL	0,190 m ⁻¹	0,207 m ⁻¹
Grenzwert für das Fahrgeräusch	$L_{pAeq, Tp} \leq 83 \text{ dB}$	
Bremssystem	GG Klotzbremsen	
Laufleistung bei Messung	> 3000 km	

Messung

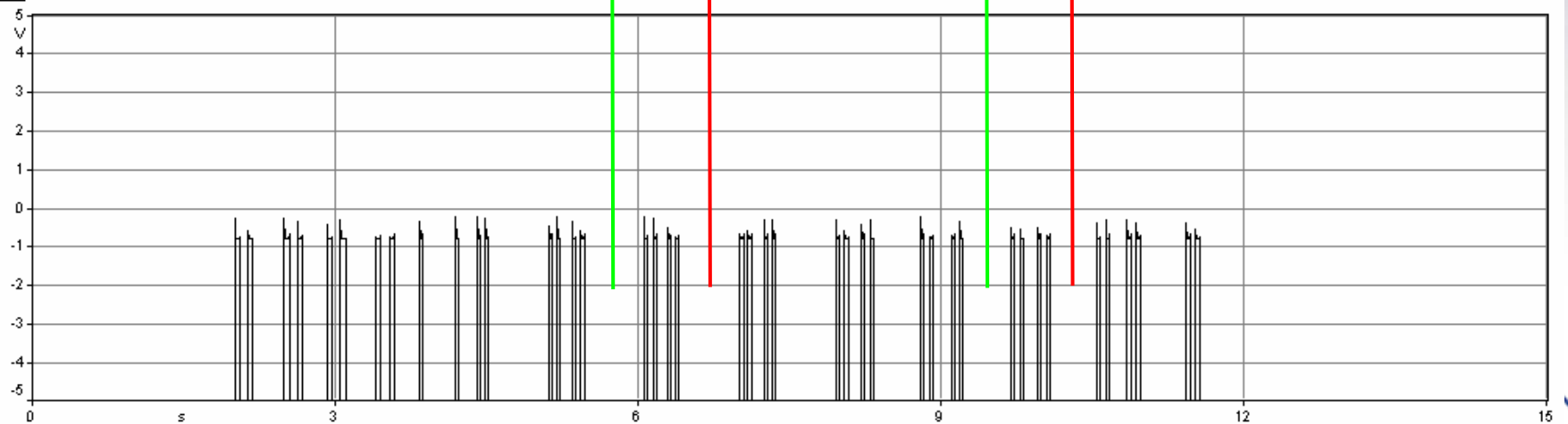


Vorbeifahrt des Messzugs

13 SPM Kanal 1 Fast A=65.8dB



10 Signal Kanal 3=-7.4V



Messergebnisse Versuchszug

	$L_{pAeq, Tp}$ in dB	
Wagentyp	Sgjs	Sffgmss
1. Messung	91,4	83,0
2. Messung	91,9	82,7
3. Messung	91,8	82,8
Mittelwert	92	83