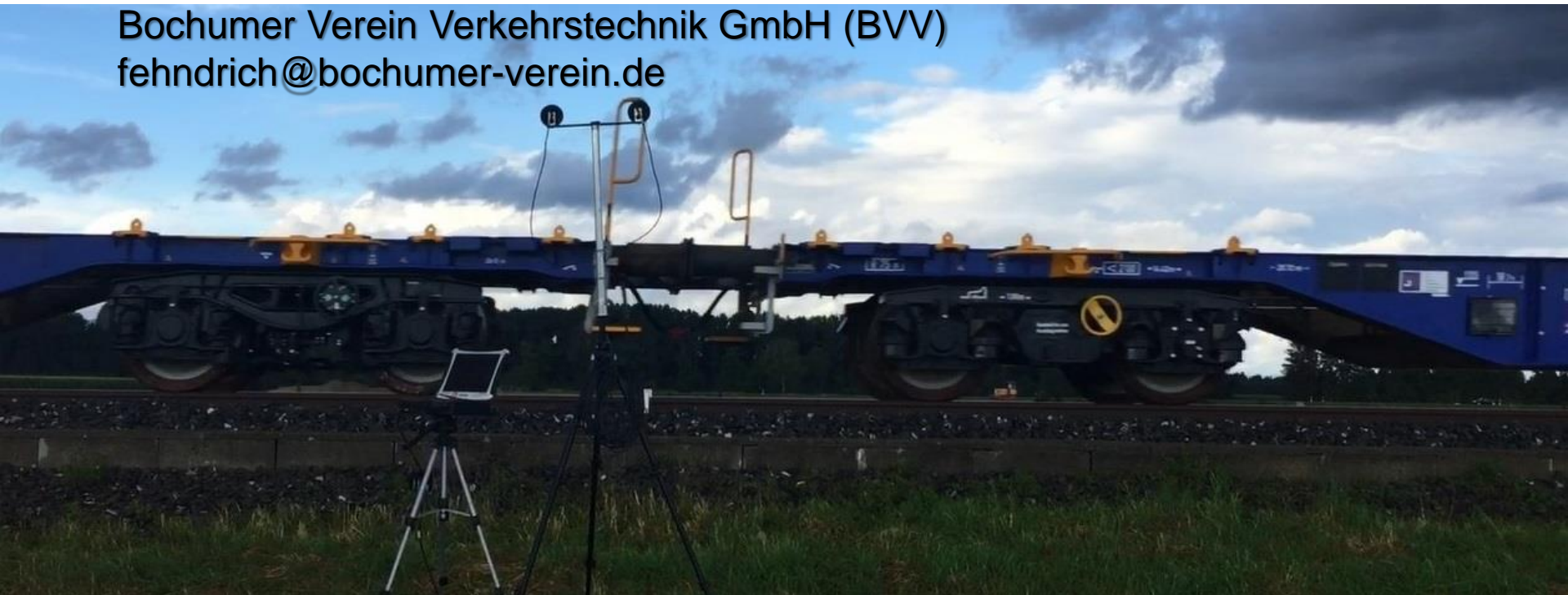


# Leiser als die Flüsterbremse, Regeln und Technik für besonders leise Güterwagen

Dr. Martin Fehndrich, 47. Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge“, Graz 2022  
Bochumer Verein Verkehrstechnik GmbH (BVV)  
[fehndrich@bochumer-verein.de](mailto:fehndrich@bochumer-verein.de)



# Inhalt

- Technik
  - Was ist umgesetzt („Leise“)? Umrüstung bei Klotzbremsen
  - Was ist möglich („besonders leise“)? Drei Beispiele
    - 5L-Projekt der SBB Cargo, Scheibengebremste Fahrzeuge mit BVV-Radsätze mit Radschallabsorbern, Messungen, Pegel
- Regeln, Anreizsysteme
  - Was kann, sollte, tut man machen damit besonders leise Technik eingesetzt wird?
  - Verbot, Lärmabhängige Vorteile/Einschränkungen oder Trassenpreise, Investitionshilfen

# Verbot lauter Güterwagen

## Umrüstung klotzgebremster Güterwagen

- „Leise“ definiert die TSI Lärm mit dem Grenzwert für Güterwagen: 83 dB\*  
\* A-Bewertung, umgerechnet auf 80 km/h / apl 0,225 1/m (d.h. bei 4 Achsen 17,77 m) auf TSI Gleis, 7,5 m ...
- Technisch Klotzbremse  
mit Verbundstoff-/ Kunststoffkompositbremssohlen (K, LL).
- Schweiz und in Folge Deutschland kündigen Verbot „lauter Güterwagen“  
an 2012/2013 für 2020
- Koalitionsvertrag 2013, Schienenlärmschutzgesetz (SchlärmschG) 2017
- Umrüstung von rund 170.000 Fahrzeugen, Austausch Bremsklötze  
von Grauguß auf Kunststoffkomposit (K, LL-Sohle, „Flüsterbremse“)

Dieses „Leise“ ist laut im Vergleich zu Personenverkehr

# Beispiele besonders leiser Güterwagen I

- Low-Noise-Train (LNT), 2002, ÖBB + SBB
  - modifizierter Y25 Drehgestelle, K-Sohle,
  - antidröhnbeschichteten Radsätzen,
  - schalloptimierte Drehgestellfederungen,
  - akustischer Entkopplung der Container und zeitweise Schallschutzschürzen.
  - Lärmpegelwerte von 76 dB
- Innovativer Güterwagen (IGW), 2016-2019, DB Cargo AG + VTG AG
  - BMVI Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“ (2016). 12 Prototypfahrzeuge in vier Wagengattungen (80'-Containertragwagen, Kesselwagen, sechssachsige Flachwagen und Autotransportwagen)
  - Beste Ergebnisse Kesselwagen mit Lärmschutzschürze 74,8 dB, bzw. ohne 76,2 dB Containertragwagen 76,4 dB.
  - Jeweils Scheibenbremsen und Raddämpfungsmaßnahmen

## Beispiele besonders leiser Güterwagen II

- 5L Projekt der SBB Cargo, 2016-2017 (mit BVV Beteiligung)
- Zug aus 16 Containertragwagen, 5L Demonstrator
- Kombinationen von Komponenten verschiedener Hersteller (Radsatz, Drehgestell, Bremse, Bremsbeläge, Kupplung)
- Alle Fahrzeuge mit **Scheibenbremsen** ausgerüstet (Ausnahme: Klotzgebremste Referenz)
- Vier Fahrzeuge mit BVV Radsätzen
  - Die niedrigsten Pegel erreichten die Fahrzeuge mit BVV Radsätzen
- Radsatz die maßgebliche Komponente mit Einfluss auf die Vorbeifahrtspegel
  - **Absorber/Raddämpfung** ist wichtigste pegelreduzierende Einzelmaßnahme
- Pegel entsprechend TSI Lärm: **75 dB**

## Waggons mit BVV-Radsätzen (5L Projekt SBB)

| ID | Wagen# | Drehgestell  | Bremse    | Beläge      | Kupplung |
|----|--------|--------------|-----------|-------------|----------|
| 3  | 003-8  | ELH          | DAKO-CZ   | BE_SP 140FF | Voith    |
| 10 | 010-3  | Greenbrier   | Knorr-Br. | JU707-11    | Faiveley |
| 8  | 008-7  | WBN          | Faiveley  | SWG36       | Faiveley |
| 4  | 004-6  | Tatr. poprad | Knorr-Br. | JU707-11    | Faiveley |

- Waggon 10 – 8 – 4 hintereinander im Zug



zwei „BVV“ Übergänge

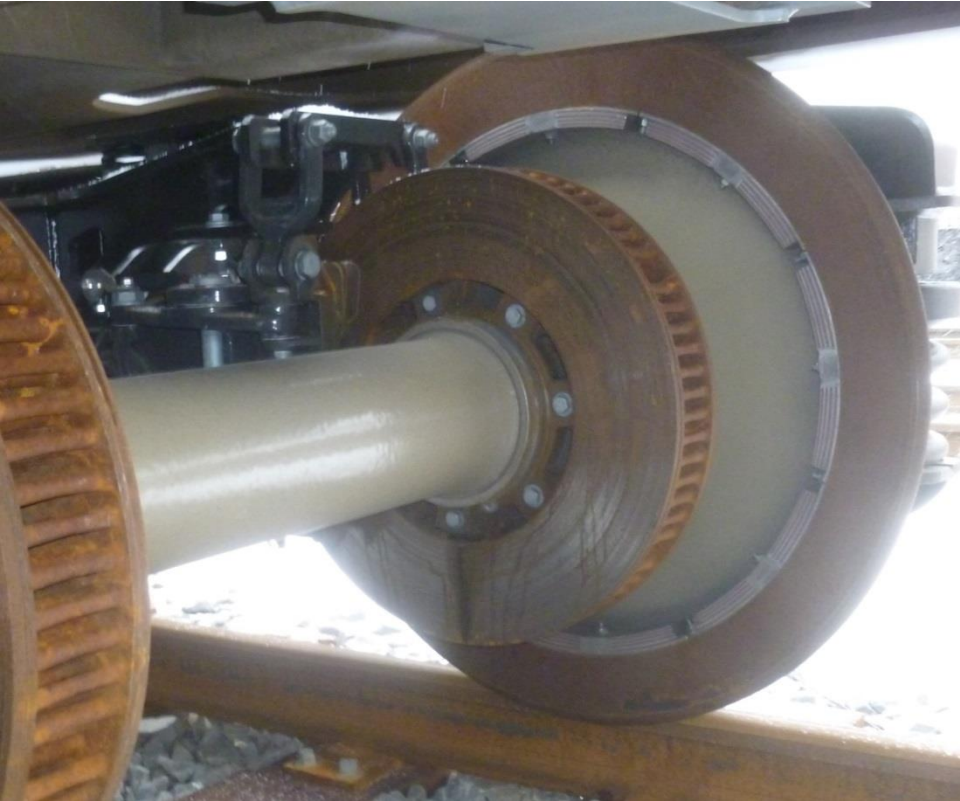
# 5L-Radsatz BVV



Muttenz, März 2018



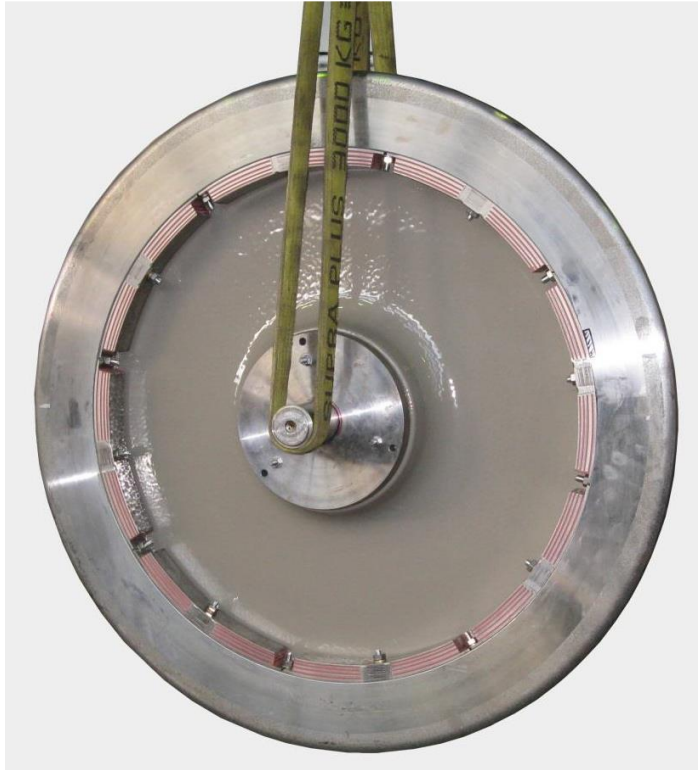
# BVV-Radsatz mit Radschallabsorbern im 5L-Fahrzeug



- Scheibenbremse
- Rad mit geradem Steg
- 8 Radschallabsorber pro Rad, Innenseite
- Beschichtung Relest® New Generation



# Absorber gedämpftes Güterwagenrad



- Vollrad, gerader Steg
- Spannungshomogenisierte Radkontur ähnlich wie bei HGV (ICE, ...)
- 25 t Achslast
- Stahlsorte: Exzellent
- 8 Radschallabsorber
- Absorberbefestigung mit Spezialschrauben in Nut (Schwalbenschwanznut) unter Radkranz
- Absorber und Befestigung wartungsfrei
- Absorber wiederverwendbar

# Drei akustische Hauptmerkmale für besonders leise Güterwagen

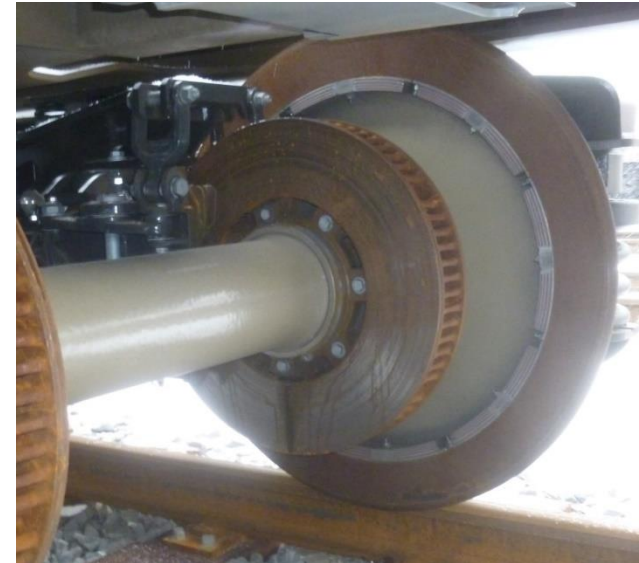
## 1. Scheibenbremse

- Keine Aufrauhung Laufflächen wie bei Klotzbremse
- Keine thermische Belastung der Räder und Absorber
  - Erlaubt gerade Radkontur (keine Wellenform klotzgebremster Räder)
  - Vereinfacht Montage von Radschallabsorbern

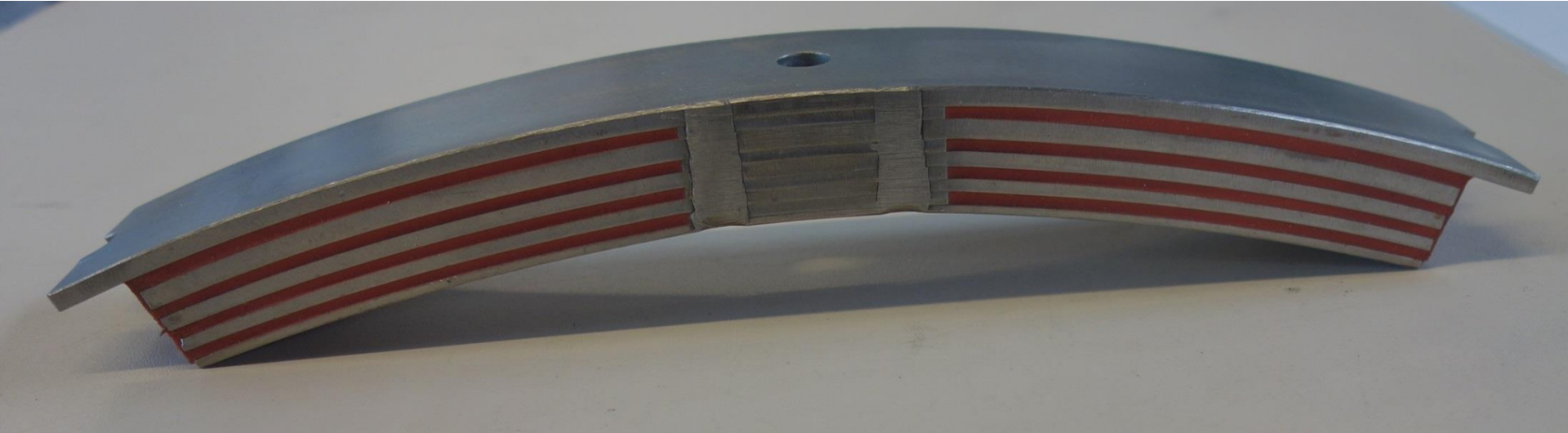
## 2. Radform/Gerader Steg

- Akustisch günstige, weil symmetrische Form
- Entkoppelt axiale und radiale Schwingungen

## 3. Dämpfung des Rades/Radschallabsorber



# Radiale Radschallabsorber



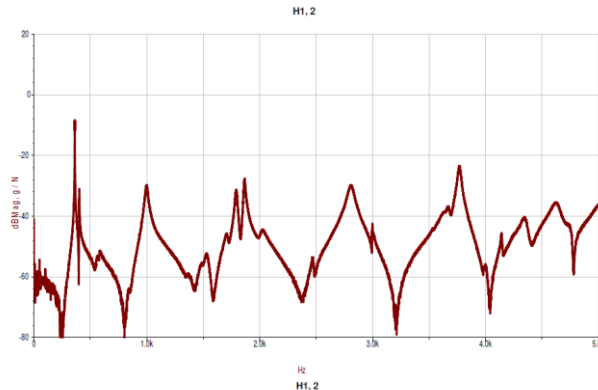
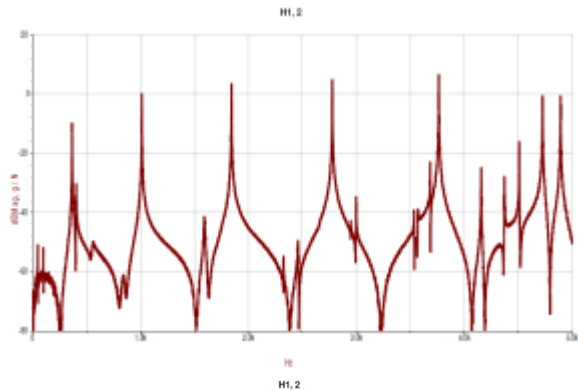
- Tilger Prinzip: Übergang der Schwingungen von Rad in Absorber
- Schwingung im Absorber wird gedämpft durch Dämpfungsmaterial
- Konversion Schwingungsenergie in thermische Energie, statt Schallenergie
- Jeder Radtyp hat seine eigene Art von Absorber
- Ähnlich wie Absorber für Hochgeschwindigkeitszüge (ICE, China, ...)

Leiser als die Flüsterbremse, Regeln und Technik für besonders leise Güterwagen

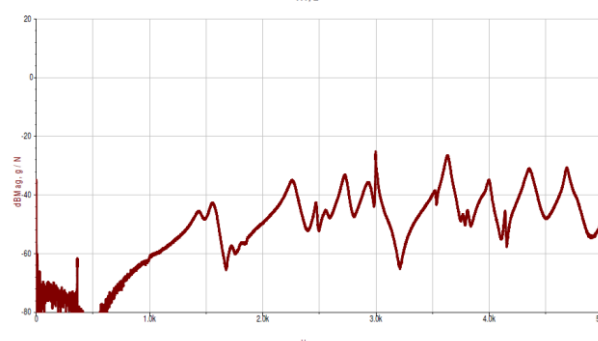
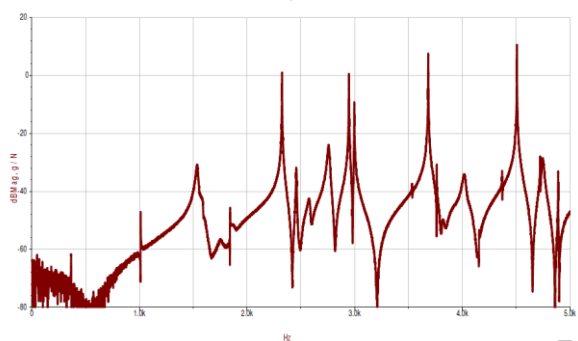
# Übertragungsfunktion zeigt Dämpfungswirkung

Ohne Absorber

Mit Absorber



Axial



Radial

5 kHz

5 kHz

# Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessung 2017

## SBB 5L-Projekt



Fahrzeuge im 5L-Zug mit BVV-Radsätzen, Kerzers



# Vorbeifahrtsmessung 2017, SBB 5L-Projekt



- Gerades Gleis, Kerzers, Kanton Freiburg

# Vorbeifahrtsmessung 2017, SBB 5L-Projekt



- Gerades Gleis, Kerzers
  - ~ angelehnt an TSI Lärm,
    - 7,5 m Abstand Gleismitte  
1,2 m über Schienenoberkante
    - 80, 100, 120 km/h
- Kurven
  - Willisau,  $R = 490$  m (Luzern)
  - Menznau,  $R = 290$  m
- Messung durch PJM, Wien

Leiser als die Flüsterbremse, Regeln und Technik für besonders leise Güterwagen



# 5L-Demonstrator – Überblick

## ■ Grafik mit Pegelverlauf siehe

- Ergebnisse und Ausblick 5L-Güterwagen, Stefan Christian Hofstetter, SBB Cargo AG  
VPI Technische Informationsveranstaltung, Hamburg, 21. Juni 2018  
[https://www.vpihamburg.de/attachment/3276/download/07ex-19-tiv-s-hofstetter\\_stand-5l\\_sbb.pdf](https://www.vpihamburg.de/attachment/3276/download/07ex-19-tiv-s-hofstetter_stand-5l_sbb.pdf)  
Folie 9

oder

- 5L Konzept – Güterwagen der nächsten Generation, Christoph von Ah, SBB Cargo AG  
Fachtagung Bahnakustik 2018, Abb. 3, S. 53

# Pegel gerades Gleis (Kerzers)

## Individuelle Vorbeifahrten

| M#  | R | v<br>km/h | Pegel dB(A) |        |                      |
|-----|---|-----------|-------------|--------|----------------------|
|     |   |           | DG 10/8     | DG 8/4 | Referenz<br>DG 15/16 |
| M05 | 2 | 76,4      | 74,5        | 73,9   | 79,2                 |
| M07 | 2 | 76,9      | 74,5        | 74,7*  | 77,6                 |
| M09 | 2 | 77,3      | 74,6        | 74,8*  | 77,6                 |
| M04 | 2 | 96,3      | 74,1        | 73,3   | 79,3                 |
| M11 | 2 | 98,0      | 74,0        | 74,2*  | 77,0                 |
| M08 | 1 | 98,1      | 74,2        | 74,4*  | 80,5                 |
| M13 | 2 | 98,6      | 74,0        | 74,1*  | 77,9                 |
| M02 | 2 | 99,9      | 74,4        | 73,5   | 80,3                 |
| M01 | 2 | 102,5     | 74,0        | 73,0   | 80,8                 |
| M06 | 1 | 118,0     | 74,1        | 74,4*  | 81,0                 |
| M12 | 1 | 118,7     | 74,2        | 74,6*  | 82,2                 |
| M10 | 1 | 120,3     | 74,1        | 74,9*  | 82,0                 |
| M03 | 1 | 120,9     | 74,1        | 73,7   | 81,9                 |

■ Mittelungspegel  
normalisiert auf 80 km / h

■ Keine APL Anpassung

\* Einfluß Flachstelle

# Pegel gerades Gleis (Kerzers)

## Mittelwerte

| v<br>km/h | Pegel dB(A) |        |                      |
|-----------|-------------|--------|----------------------|
|           | DG 10/8     | DG 8/4 | Referenz<br>DG 15/16 |
| 80        | 74,5        | 74,5   | 78,1                 |
| 100       | 74,1        | 73,8   | 79,3                 |
| 120       | 74,1        | 74,4   | 81,8                 |

- Mittelung (inkl. Einfluß benachbarter Flachstellen)
- Pegel normalisiert auf 80 km/h
- Keine APL-Anpassung

# Pegel gerades Gleis (Kerzers)

## Mittelwert, APL-Anpassung entsprechend TSI Lärm

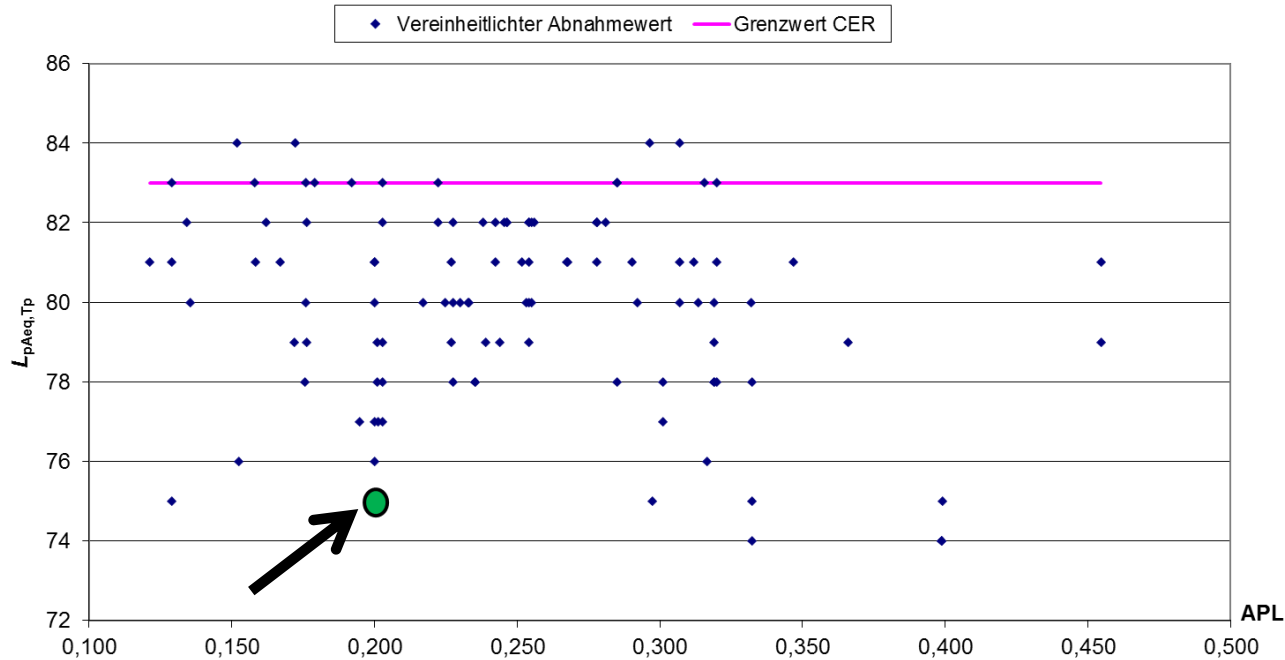
| v<br>km/h | Pegel dB(A) |        |                      |
|-----------|-------------|--------|----------------------|
|           | DG 10/8     | DG 8/4 | Referenz<br>DG 15/16 |
| 80        | 75,0        | 75,0   | 78,6                 |
| 100       | 74,6        | 74,3   | 79,8                 |
| 120       | 74,6        | 74,9   | 82,3                 |

- Mittelung (inkl. Einfluß benachbarter Flachstellen)
- Pegel normalisiert auf 80 km/h
- APL-Anpassung, Malus für Wagenlänge (20 m, APL=0,2) **+0,5 dB**

**75 dB**

# Vergleich mit TSI-Abnahme Pegeln neu zugelassener Güterwagen

CER (SNCF/DB) Vorschlag,  $L_{pAeq,Tp}(APL_{ref})$ ,  $APL_{ref}=0,225$ ,  $v = 80$  km/h



75 dB

## Ausblick – besonders leise Güterwagen – 75 dB

- Es ist möglich
- Es ist nicht ganz einfach
  - Nicht nur anderer Bremsblock aus anderem Material (keine Umrüstung)
  - Anderes Bremssystem (Scheibenbremse) – Neues Fahrzeug
- Technik wie bei Personenverkehr
  - Scheibenbremse,
  - Rad mit geradem Steg,
  - Radschallabsorber

# Regeln und Anreizsysteme für leisere Wagen

- Regeln, Anreizsysteme
  - Technische Vorteile nicht akustischer Art
  - Regulativ
    - Verbot
    - Lärmabhängige Vorteile
      - Direkt: Trassenpreissysteme
      - Indirekt: Betriebsvor-/nachteile
    - Investitionshilfen



## Nicht akustische Vorteile

- Vorteile von Scheibenbremse statt Klotzbremse
- Verschleiß: Scheibenbremse, geringere Abnutzung der Lauffläche
- Sicherheit:
  - Temperaturverteilung Klotzbremse Kunststoffkomposit – Rad (Radlastiger bei K/LL-Sohlen) – thermische Belastung Rad
  - Heißläufer, festsitzende Kunststoffkomposit Bremse: Brandgefahr

## Probleme LL Sohle

- In Österreich gab es im vergangenen Jahr vor einem Chemiewerk einen Unfall, bei dem die Klotzbremse (LL-Sohle) eines mit Benzin beladenen Kesselwagen blockierte und in Brand geriet, allerdings rechtzeitig gelöscht werden konnte.
- Auf ähnliche Ereignisse reagierte Italien mit Geschwindigkeitsbeschränkung bei LL-Blöcken

<https://kaernten.orf.at/stories/3115428>

<https://www.eurailpress.de/nachrichten/betrieb-services/detail/news/italien-geschwindigkeitsbegrenzung-fuer-bestimmte-ll-gueterzuege.html>

# Verbote

- Beispiel:
  - Schienenlärmschutzgesetz (Verbot lauter Güterwagen)
  - Ankündigung,
  - Ausreichend Zeit,
  - Umrüstbarkeit mit rel. günstiger Technik
  
- Wichtig bei allen weiteren Maßnahmen: **Vertrauensschutz!**

Nach Investitionen in Umrüstungen der Klotzbremsen keine unzumutbaren Belastungen.

# Lärmabhängiges Trassenpreissystem

- Vergünstigung für leisere Züge
  - leiser = günstiger
  - Forderung: besonders leise = besonders günstig
- Internalisierung externer Kosten
  
- Laufleistungsabhängig: Begünstigt Viel-Fahr-Fahrzeuge

# Lärmabhängiges Trassenpreissystem

## Schweiz, Lärmbonus, mehrstufig

- a. 1 Rappen pro Achskilometer für Fahrzeuge, deren Raddurchmesser weniger als 50 Zentimeter beträgt;
- b 1,6 Rappen pro Achskilometer für Fahrzeuge, die mit Verbundstoff-Bremssohlen oder Trommelbremsen ausgerüstet sind und deren Raddurchmesser 50 Zentimeter oder mehr beträgt;
- c. 3 Rappen pro Achskilometer für Fahrzeuge, die mit Scheibenbremsen ausgerüstet sind und deren Raddurchmesser 50 Zentimeter oder mehr beträgt.

Zitat aus SR 742.122, Eisenbahn-Netzzugangsverordnung

# Lärmabhängiges Trassenpreissystem

## ■ Deutschland, 2013-2020

- Grenze TSI Lärm (83 dB)
- Zuschlag von 2% bis 7% des Trassenpreises für laute Züge
- Zur Subvention der Umrüstung der Bremssysteme
- Ende mit Inkrafttreten Gesetz zum Verbot des Betriebs lauter Güterwagen („Schienenlärmschutzgesetz“) Dezember 2020
  
- Kritik, Zuschlag auf Trassenpreis zu gering
- Vor Hintergrund Perspektive Verbot lauter Güterwagen

# Lärmabhängiges Trassenpreissystem

- **Österreich, Lärmbonus**
- Von 2017 bis 2021
- Abschlag auf das Wegeentgelt („Lärmbonus“),  
0,01 € pro Achskilometer  
für Verbundstoff-Bremssohlen nachgerüstete Güterwagen

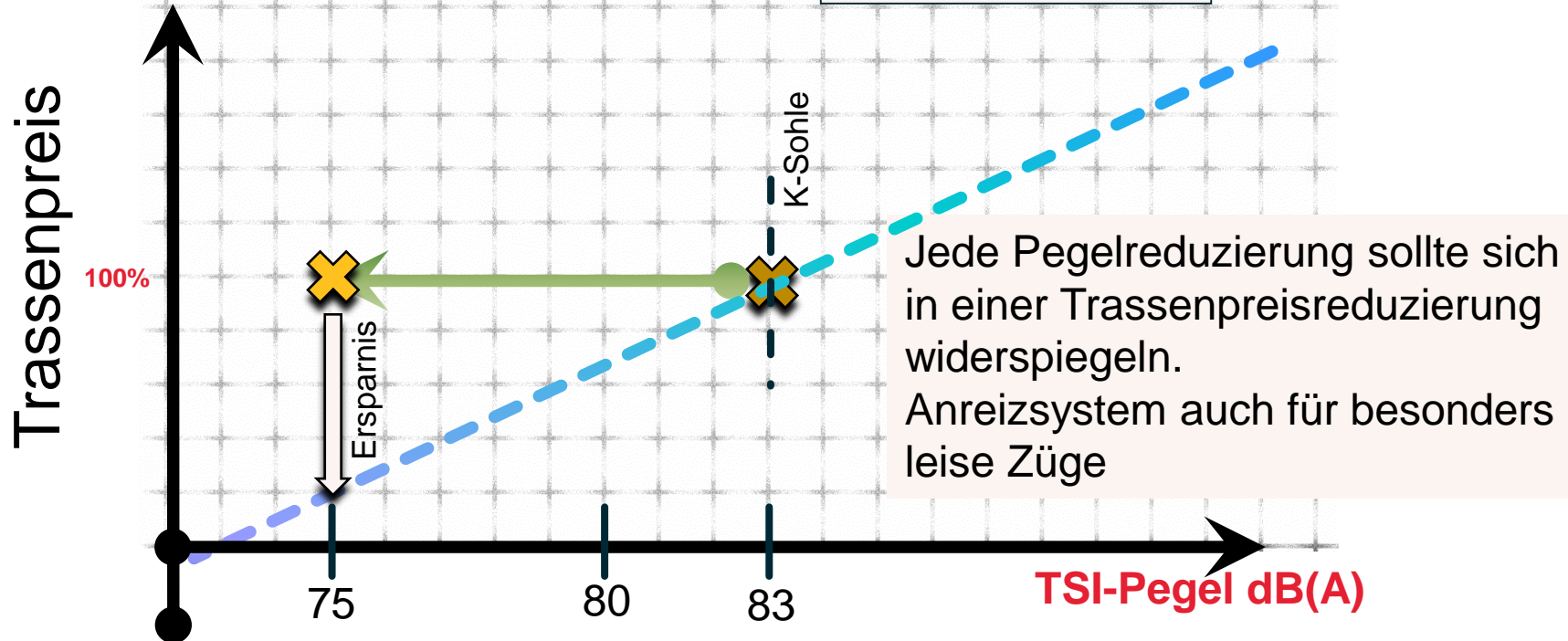


*und was ist mit besonders leisen Güterwagen?*



# Lärmabhängige Trassenpreise

**Vorschlag:**  
Kontinuierlicher  
ansteigender  
Trassenpreis



## Lärmabhängige Betriebsvorteile/-beschränkungen

- Z.B. Nachtfahrverbote oder Geschwindigkeitsbeschränkungen
- Wirkt auf Kosten ähnlich wie Gebühren/Preise
- Vorteil: Direktere Wirkung auf Lärmpegel
- Nachteil: Schwierige Steuerung (Takt)
  
- Beispiel: Ausnahmeregel beim Schienenlärmschutzgesetz:  
„laute“ Güterwagen dürfen noch fahren, nur langsamer (also leiser)
  
- Laufleistungsabhängig: Begünstigt Viel-Fahr-Fahrzeuge

# Investitionshilfe

- Investitionshilfe für besonders lärmarme Güterwagen, Schweiz
- Förderrichtlinie „TSI Lärm+“, Deutschland

- Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahn
- Mit Wirkung vom 1. März 2014
- Grenzwert der TSI Lärm um 4 dB unterschreiten.
- Die Höhe der Finanzhilfe ist seit dem 1.1.2018 auf 50% begrenzt (davor gestaffelt bis maximal 70%)
- sowohl Lärm betreffende konstruktive Kriterien (wie zum Beispiel die Verwendung von Radschallabsorbern oder eine lärmarme Fahrzeugkonstruktion), als auch weitere Kriterien wie Energieeffizienz oder Ausrüstung mit Entgleisungsdetektoren berücksichtigt werden.
- Nach Auskunft des Bundesamts für Umwelt BAFU wurden bis September 2021 insgesamt 240 Fahrzeuge mit insgesamt 5,6 Millionen CHF gefördert.

# Förderrichtlinie „TSI Lärm+“, Deutschland

- 2017-2021
- bis 40% der Investitionssumme
  - Ersatz lauter Güterwagen
    - Neuwagenbeschaffung
    - Umbau vorhandener Güterwagen
  - umgerüstete bzw. neue Güterwagen müssen die Grenzwerte der aktuellen TSI Lärm um weitere 3 dB bzw. 5 dB unterschreiten
- **Ausgeschüttete Fördersumme (Stand Okt 2021): 0 Euro / 0 Wagen**

## Fazit Investitionshilfe

### ■ Problem bei Investitionsförderungen:

- Lärmarmut rechnet sich nicht und damit keine Investition, auch keine zu Teilen geförderte.
- 100% Förderung schwierig (Mißbrauch / Prüfung)
- Bestraft early actions
  - „Ein Verstoß gegen das Verbot des vorzeitigen Maßnahmenbeginns führt zur Ablehnung des Förderantrags.“ (Zitat Ausführungsbestimmungen zu TSI Lärm+)

### ■ Vorschlag:

- Kopplung Investitionshilfe mit lärmabhängigem Trassenpreissystem
- Für geförderte Fahrzeuge muss es eigene Trassenpreisstufe geben
- reduzierte effektive Investitionshöhe und Amortisationszeit

## Zusammenfassung

- Stand, „Leise“ Güterwagen TSI Lärm 83 dB (nach Umrüstung)
- Technische Möglichkeit für „besonders leise“ 75 dB
  - (z.B. Scheibenbremse, Rad gerader Steg, Radschallabsorber)
- Fehlendes oder zu schwaches Anreizsystem
  - Lärmabhängige Trassenpreise (LATP), mehrstufig
  - Betriebsvorteile für besonders leise Fahrzeuge
  - Investitionshilfen (wirken nicht ohne weitere Vorteile für Leisere Wagen)
    - Kopplung mit Anreizsystem sinnvoll