



39. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge Graz 2010

**Schienenrauheiten auf dem
schweizerischen Normalspurnetz**

**Zielsetzung, Erfassung, Resultate,
Abhängigkeiten und Ausblick**

Dipl. El.-Ing. ETH Stefan Bühler
Dr.-Ing. M.A. Christian Czolbe

Schienenrauheiten

1. Warum ?

Fahrgeräusch und Rauheiten

2. Wie ?

Schienenrauheiten im Netz messen

3. Wie funktioniert es ?

Methode und Anwendung

4. Welche Ergebnisse ?

Schweizerisches Bahnnetz

5. Was ist zu tun ?

Nächste Schritte

Einleitung – Ansatz

1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten

2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten

3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug

4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz

5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte

Fahrgeräusch der Bahn muss reduziert werden

Fahrgeräusch wird durch Rollgeräusch dominiert

Das Rollgeräusch kann reduziert werden durch:

- glatte Radlaufflächen (Bremsssystem) ✓ erledigt
- glatte Schienen (Schienenschleifen) ✗ offen
- ...

➤ Schienenrauheit muss bekannt sein!

Einleitung – Ansatz

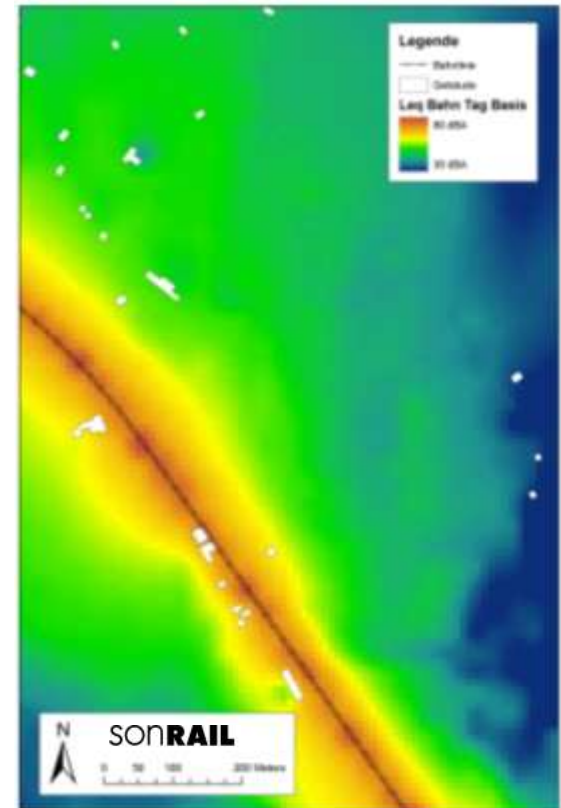
Modellierung:

1. Bewertung möglicher Schallminderungsmassnahmen (Rollmaterial, Infrastruktur und Betrieb)
2. Auswirkung der Verkehrsentwicklung
3. Lärmkartierung

➤ Schienenrauheit muss bekannt sein!

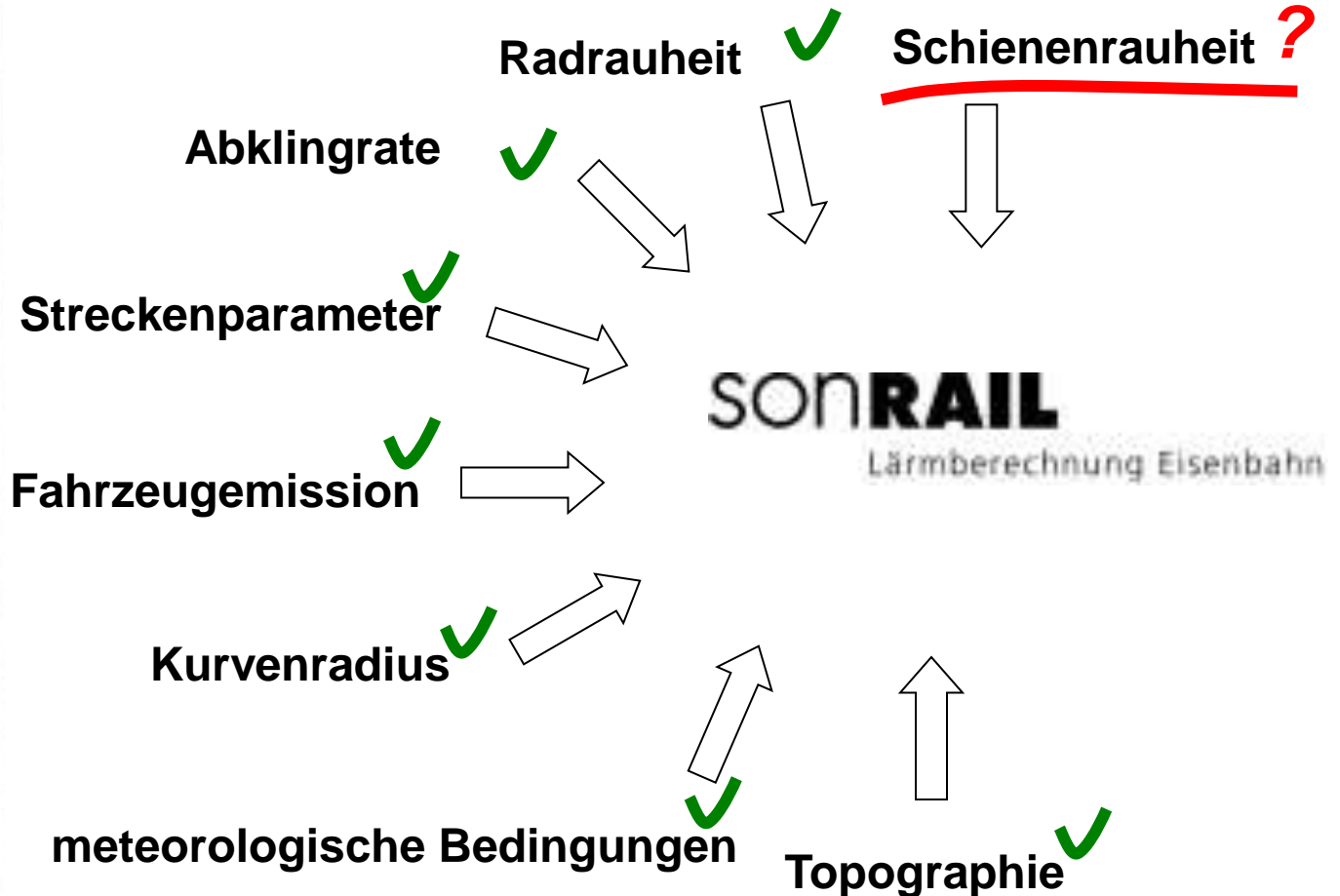
sonRAIL

Lärmprognose
Streckenabschnitt
im Tessin
April 2010



Schienenlärmberechnung

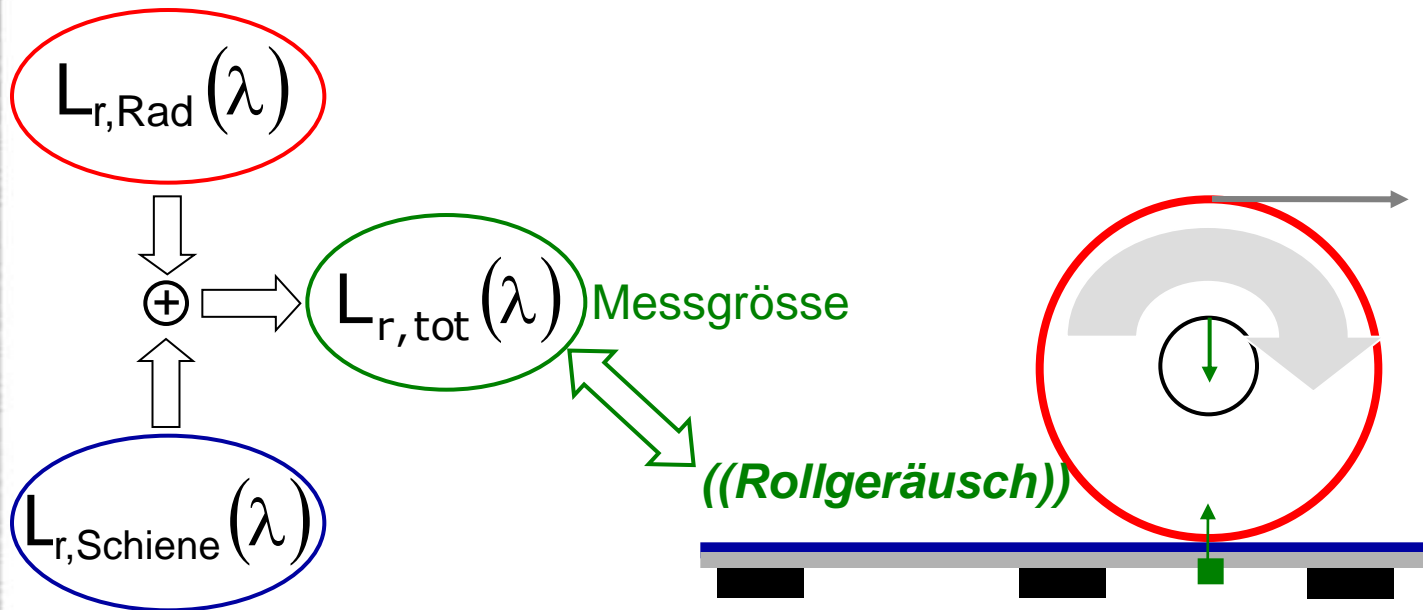
sonRAIL - Lärmberechnung Eisenbahn der Schweiz



Indirekte Messmethode

Anpassung der indirekten Methode für Schienenrauheiten

- **Beschleunigungssignale** werden am **Achslager gemessen**
- Die direkte Rauheit vom **Rad** ist **bekannt**
- **Schienenrauheiten** können daraus indirekt berechnet werden



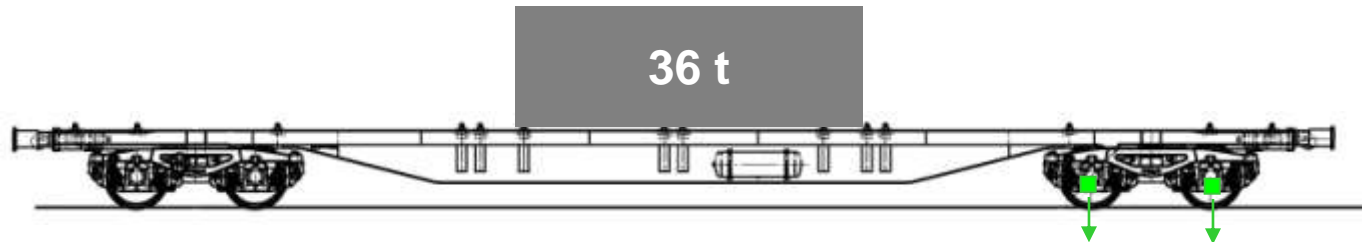
Umsetzung der indirekten Methode für Schienenrauheiten

- 1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten
- 2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten
- 3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug
- 4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz
- 5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte



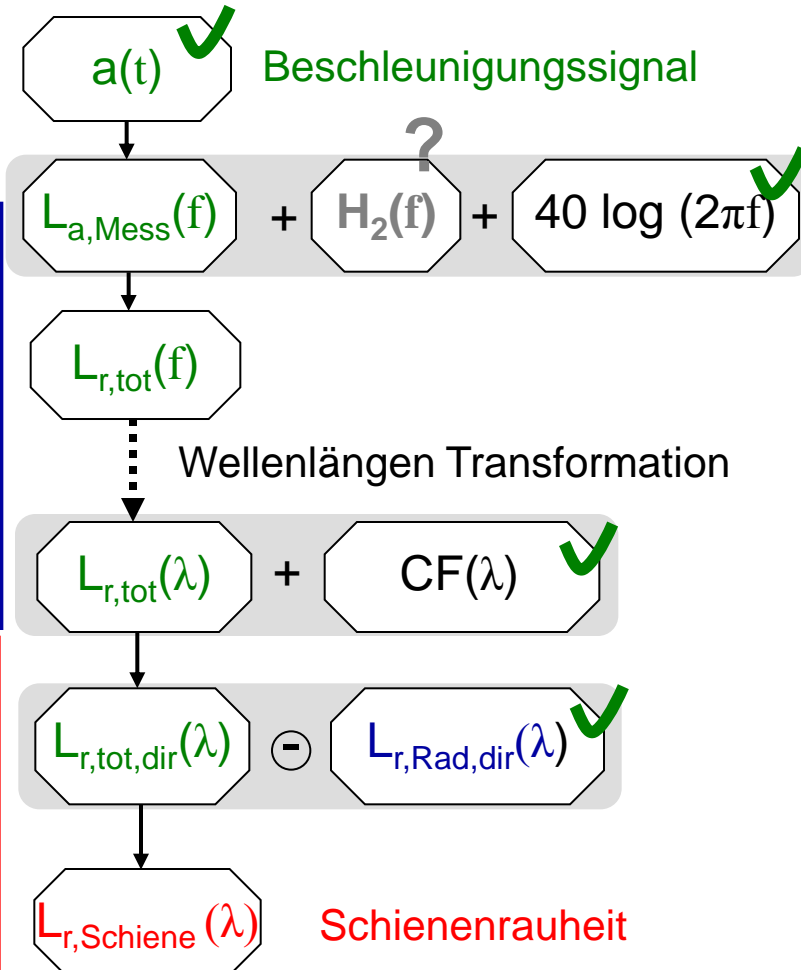
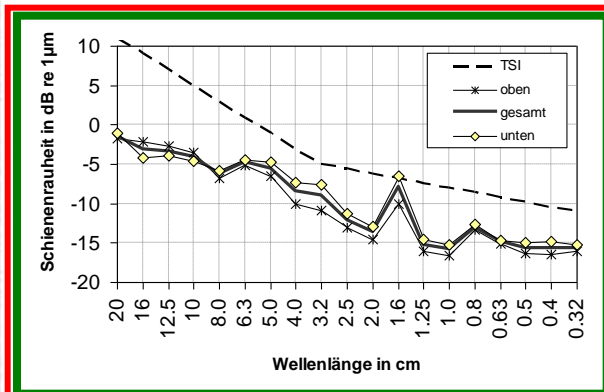
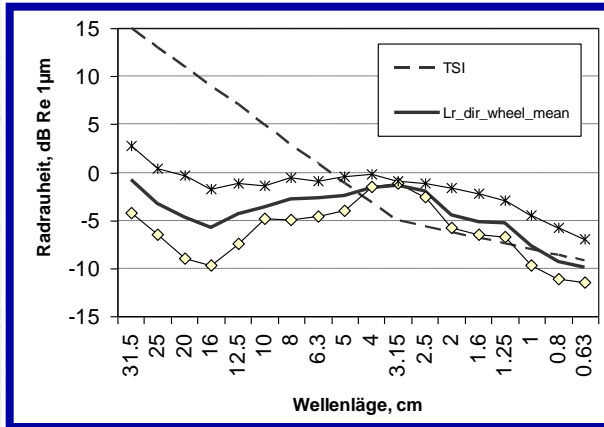
Messdrehgestell und Wagen

- Güterwagendrehgestell Y25 LssiK mit neuen Rädern 920mm
- Radsatzlast 13 t – Radaufstandskraft 65 kN



Berechnungsschema

- 1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten
- 2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten
- 3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug
- 4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz
- 5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte



Messkampagne Schweiz 2009

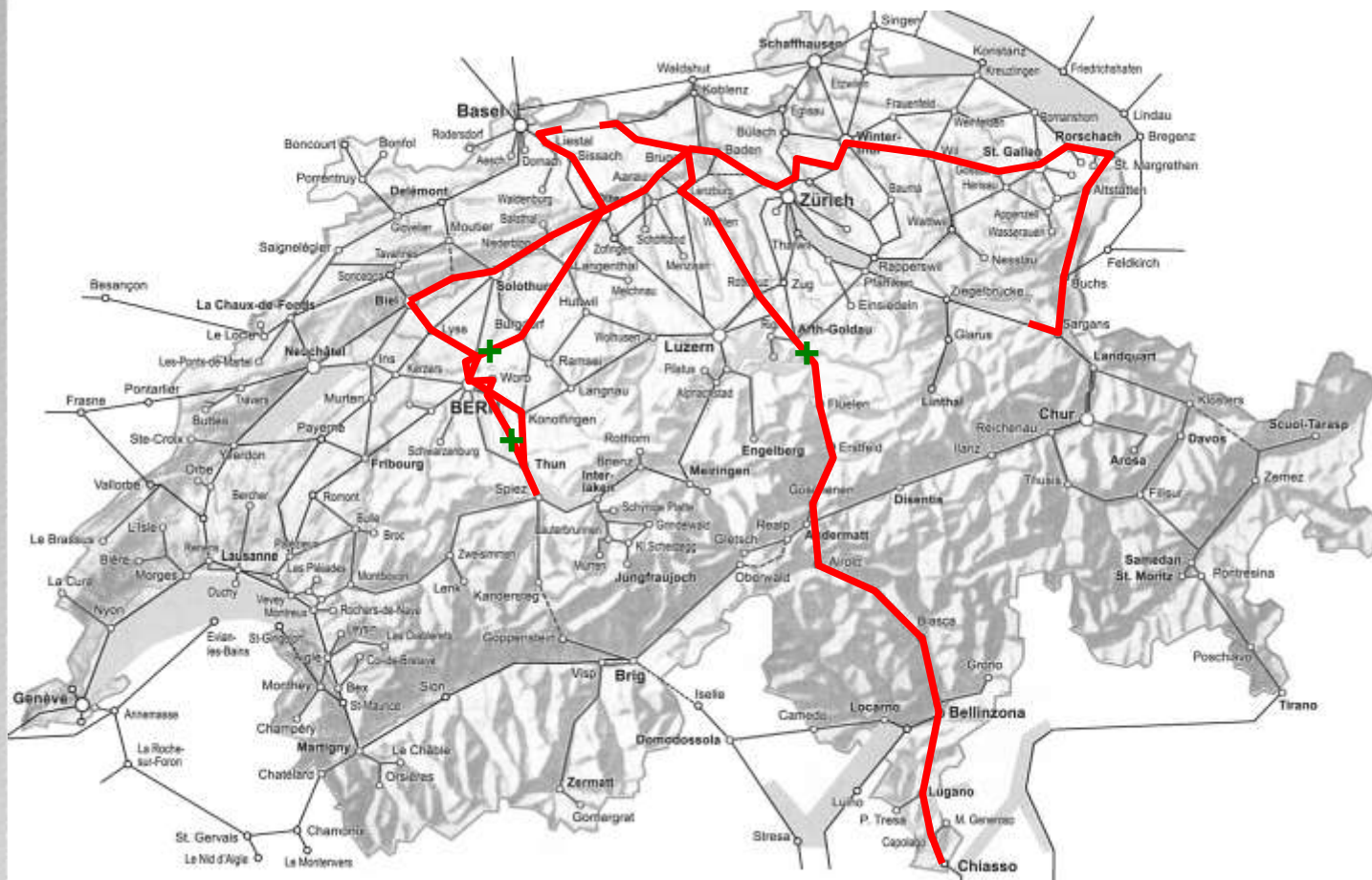
1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten

2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten

3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug

4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz

5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte

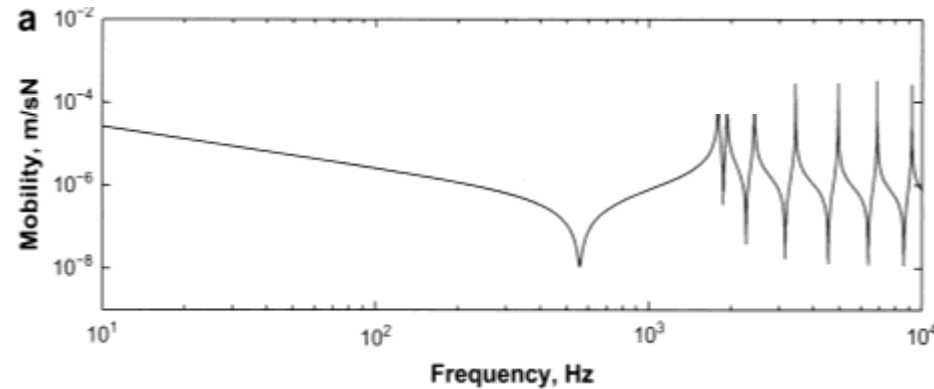


- Gemessene Strecken

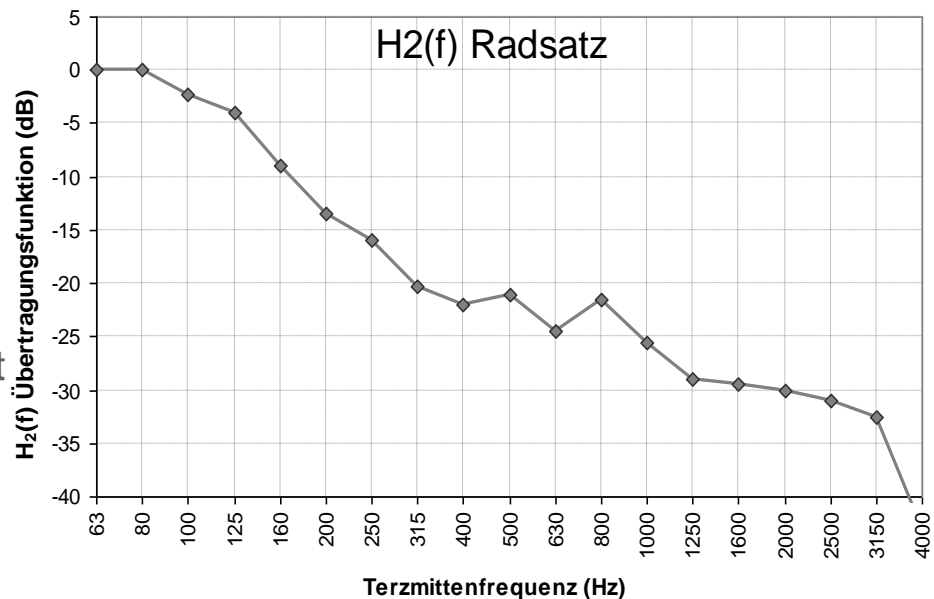
+ Referenzabschnitte

Kalibration der Übertragungsfunktion Rad

Mobilitäten Güterwagenrad



Übertragungsfunktion Güterwagenrad aus einer Referenzmessstelle ermittelt (in Terzen)



Deshalb Geschwindigkeit
80 km/h (3.5 kHz ent-
spricht λ von 6.3 mm)

1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten

2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten

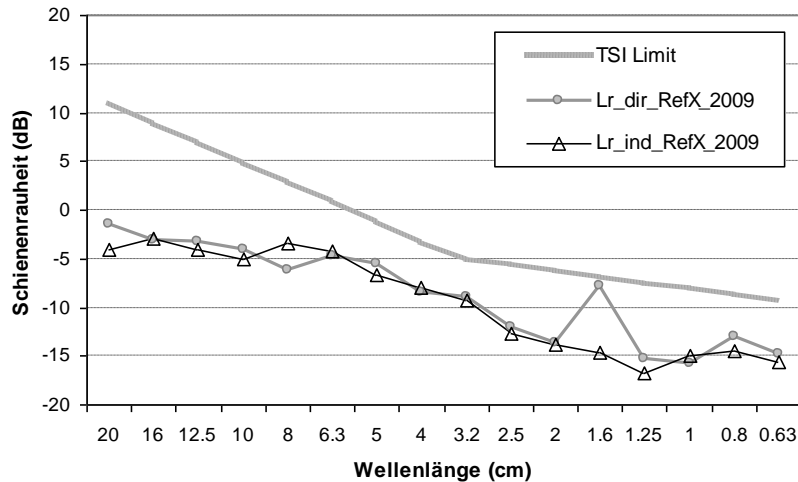
3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug

4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz

5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte

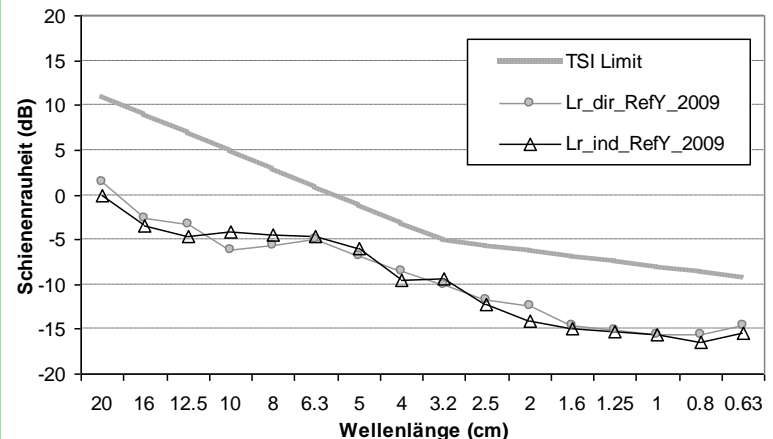
Referenzgleisabschnitte

- 1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten
- 2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten
- 3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug
- 4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz
- 5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte



← Zur **Kalibration** verwendeter Referenzgleisabschnitt X (mit ØDS Gerät direkt gemessen)

→ Zur **Validierung** verwendeter Referenzgleisabschnitt Y (mit ØDS Gerät direkt gemessen)



Einzahlwert der Schienenrauheit

Aus dem Rauheitsspektrum kann bei einer Geschwindigkeit ein dem Rollgeräusch äquivalenter Einzahlwert der Schienenrauheit berechnet werden:

$L_{\lambda CA}$ = Funktion der Rauheit, des Kontaktfilters, der Fahrgeschwindigkeit und der A-Bewertung

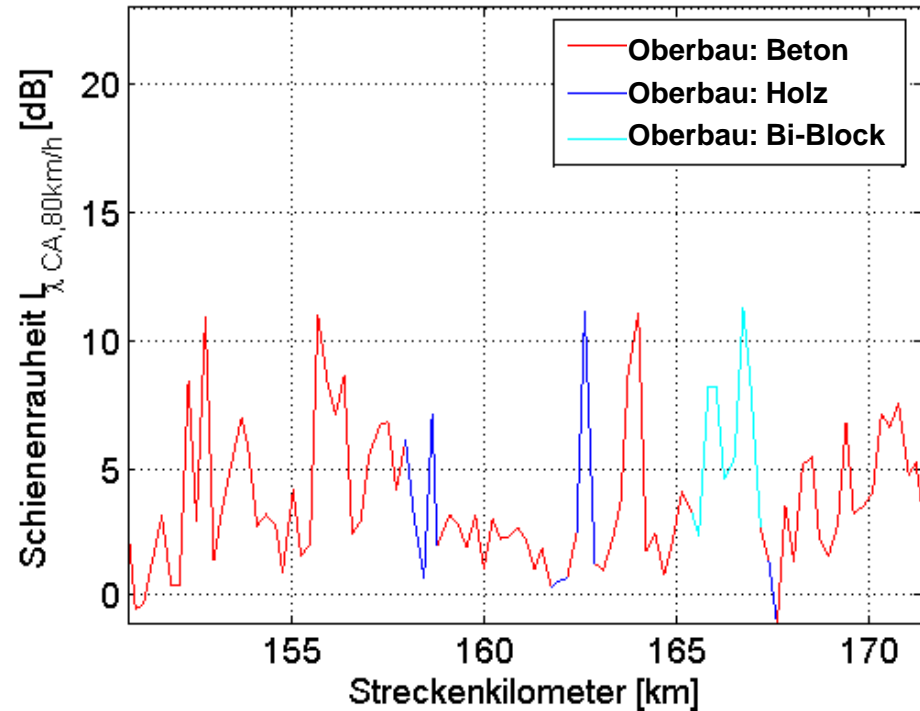
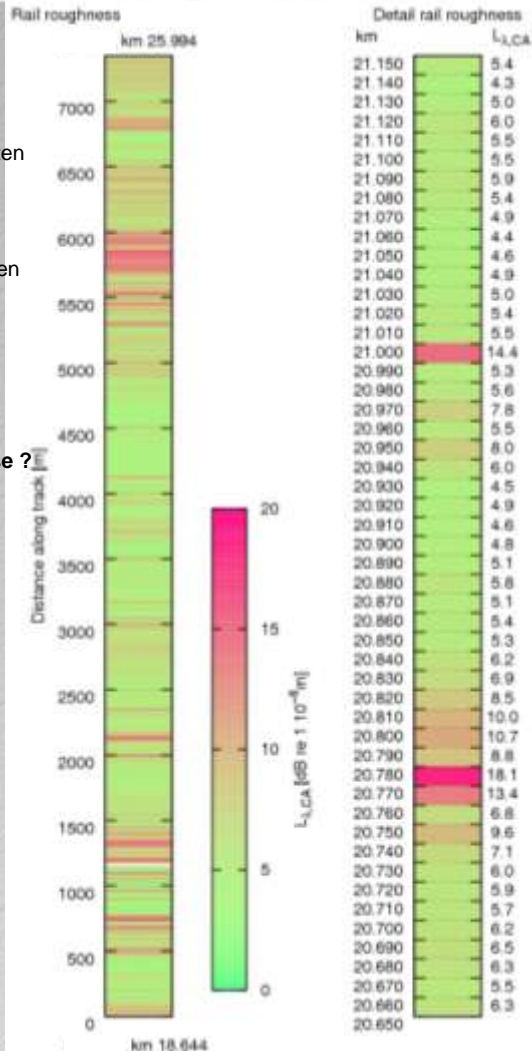
$$L_{\lambda CA} = 10 \log \sum_{\lambda=20\text{cm}}^{0,4\text{cm}} 10^{0.1\{R(\lambda)+\Lambda(\lambda)+C(\lambda)+A(f(\lambda,v))\}}$$

Warum Einzahlwert $L_{\lambda CA}$?

- Proportional zur Lärmemission der Fahrzeuge bei einer Geschwindigkeit

Verlauf der Schienenrauheit

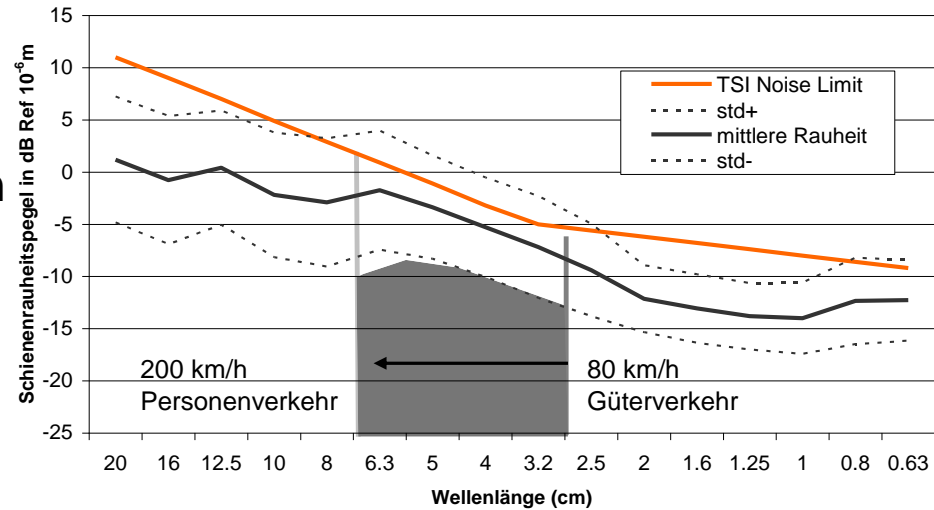
- 1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten
- 2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten
- 3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug
- 4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz
- 5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte



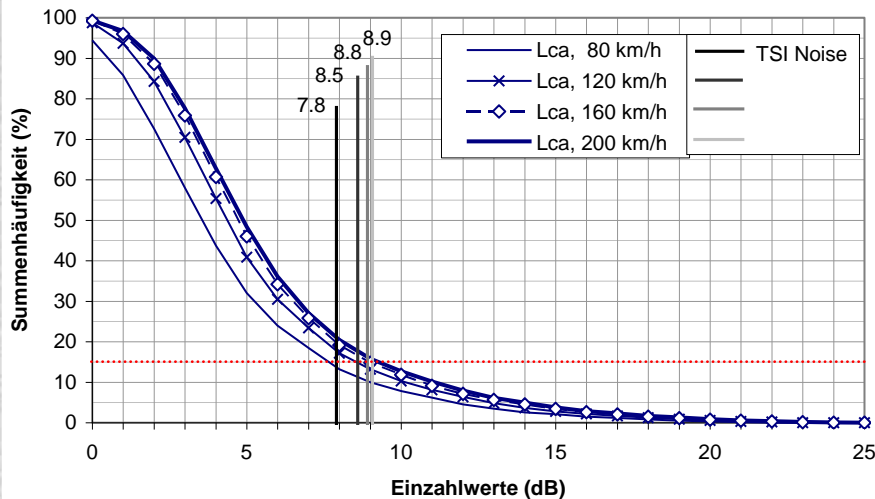
Einzahlwerte $L_{A,CA}$ Verlauf
über einen Streckenabschnitt

Schienenrauheit auf allen Strecken

Mittleres Rauheitsspektrum über die gemessenen Streckenabschnitte 1075 km



Einzahlwert Schienenrauheit L_{CA} alle Oberbautypen



**Einzahlwerte L_{CA}
Summenhäufigkeit**
bei verschiedenen
Geschwindigkeiten
aus dem mittleren
Rauheitsspektrum

Schienenrauheiten pro Oberbautyp

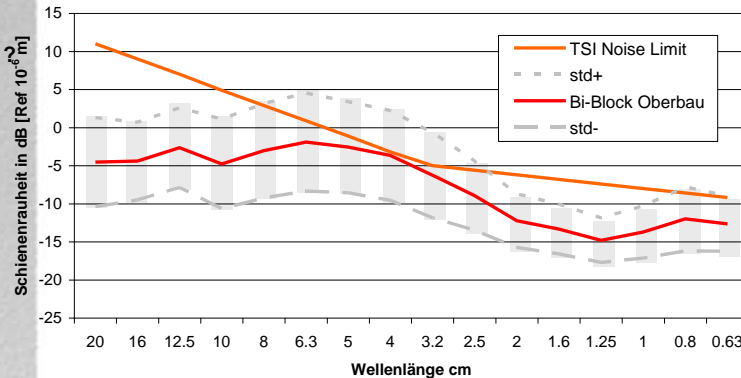
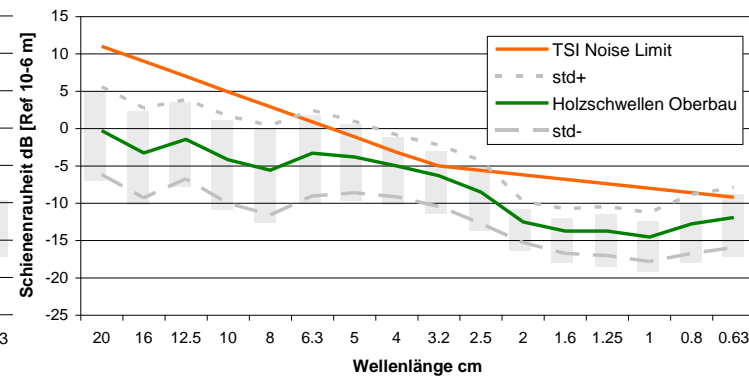
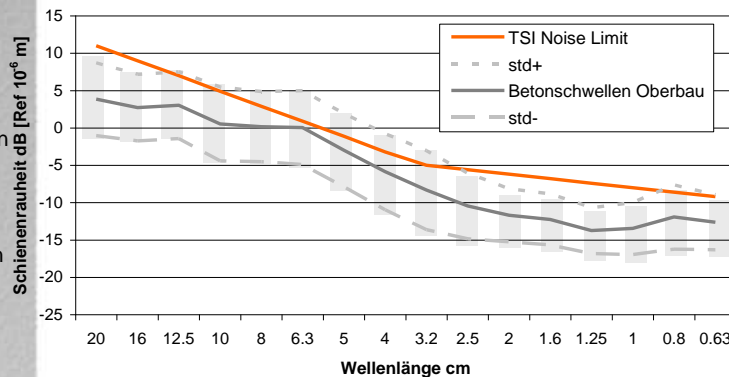
1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten

2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten

3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug

4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz

5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte



**Rauheitsspektren
verschiedener
Oberbautypen**

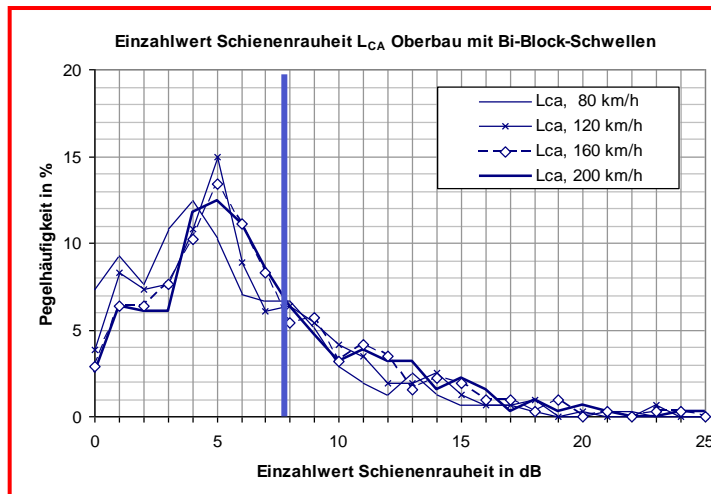
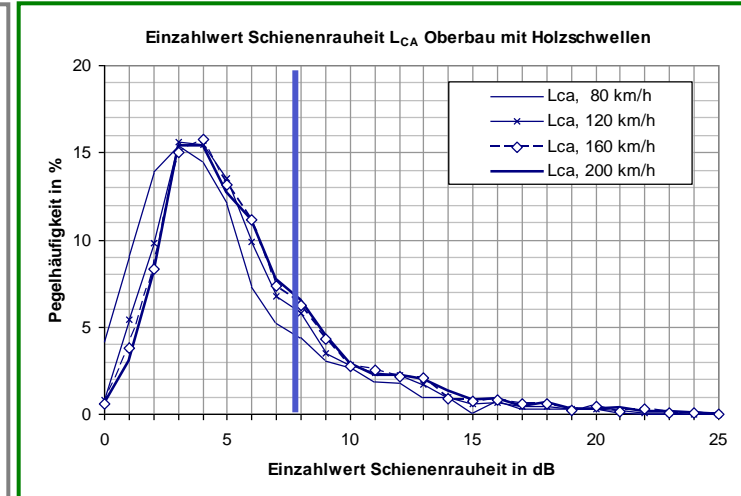
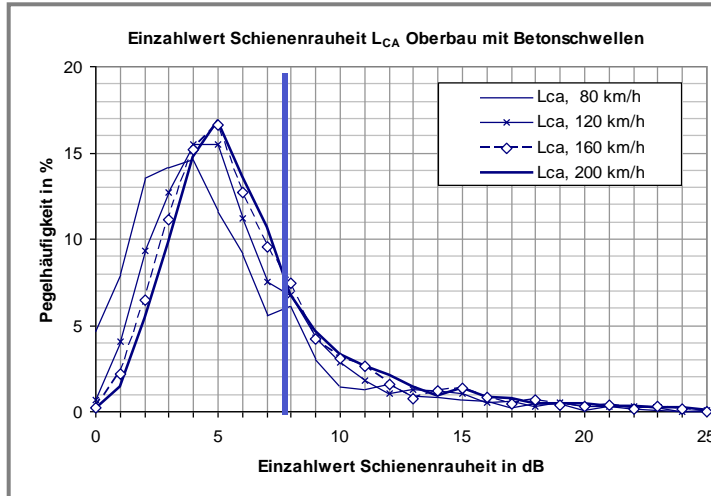
Einzahlwerte bei 80 km/h

Oberbautyp	Einzahlwert $\mu+3\sigma$	(Einzahlwert μ)
Betonschwellen	7.8 dB = $L_{\Lambda CA}$	(3.3 dB = $L_{\Lambda CA}$)
Holzschwellen	7.0 dB = $L_{\Lambda CA}$	(2.9 dB = $L_{\Lambda CA}$)
Bi-Block Schwellen	8.4 dB = $L_{\Lambda CA}$	(3.5 dB = $L_{\Lambda CA}$)

Einzahlwerte nach Oberbautyp

- 1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheit
- 2 Wie ?
Messung Schienenrauheit
- 3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug
- 4 Wie sind die Ergebnisse
Schweizer Bahnnetz

- 5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte

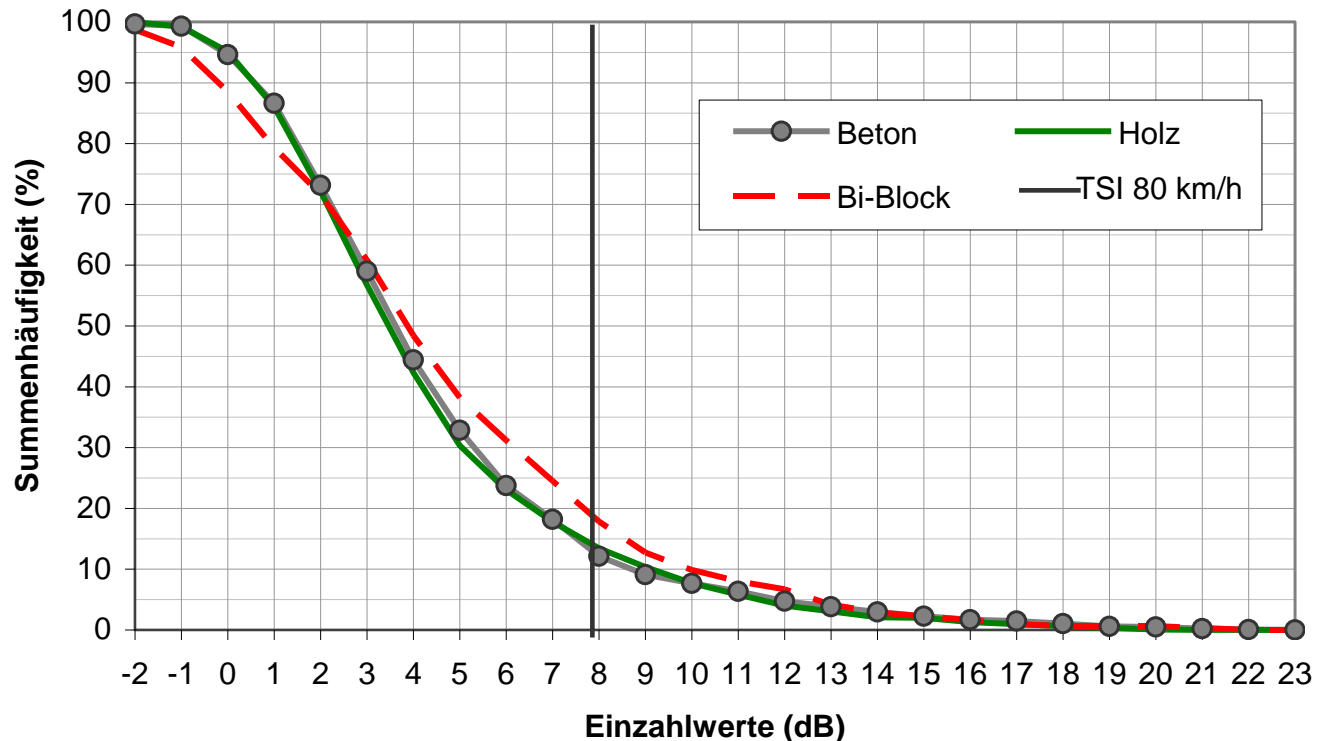


Summenhäufigkeit Einzahlwerte

Summenhäufigkeit des Einzahlwertes L_{ACA} :

- Nach Oberbautyp geordnet
- normalisiert auf 80 km/h

Einzahlwert Schienenrauheit L_{CA} alle Oberbautypen bei 80 km/h



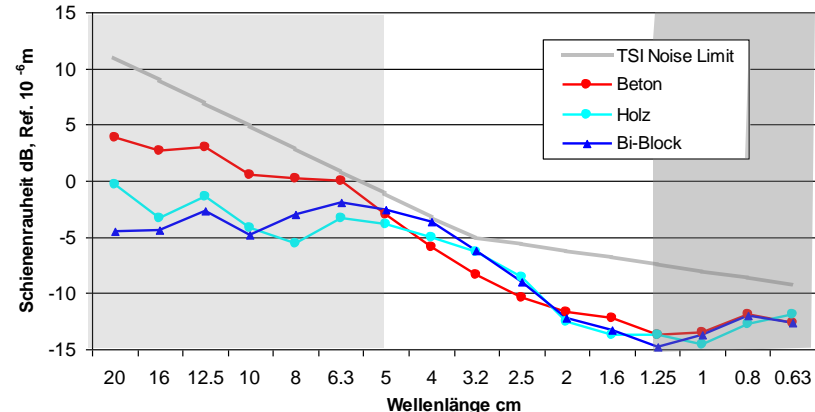
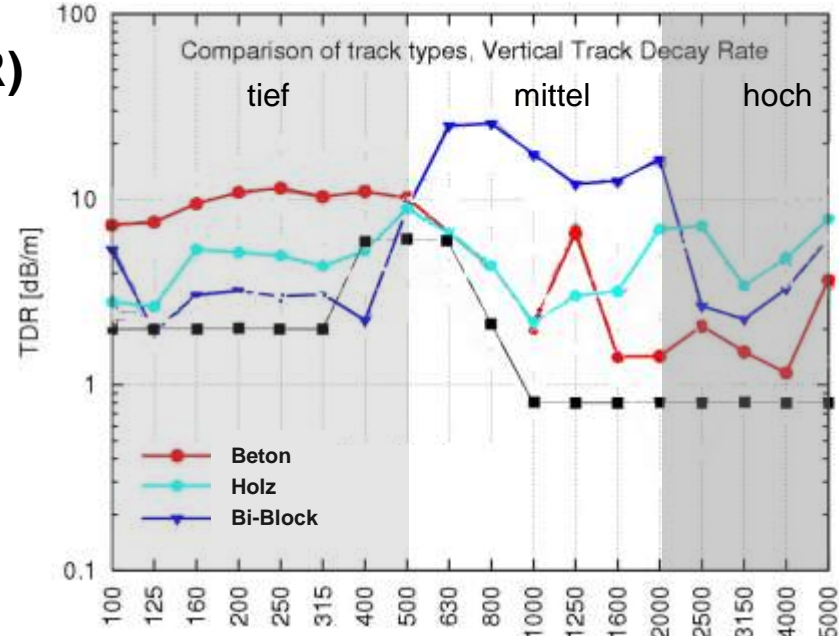
Hypothese Track Decay Rate (TDR)

Dämpfungsverlauf (TDR)

korreliert zu Oberbautyp
und Schwellenart

hohe Dämpfung
=
hohe Rauheit

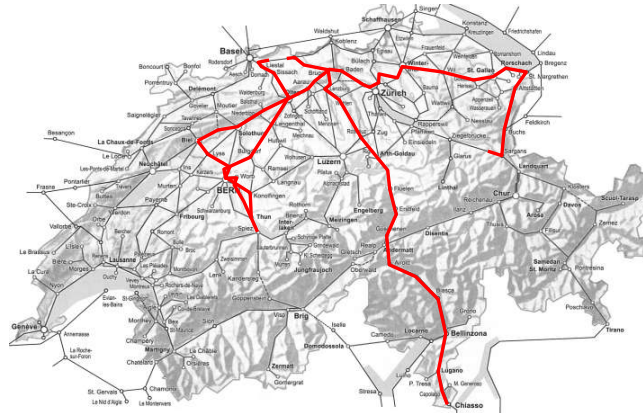
Mittlere Schienenrauheit
nach Oberbautyp
und Schwellenart



Schlussfolgerungen

Resultate Schienenrauheiten:

- Schienenrauheit bekannt für Transitrouten der Schweiz
- 1075 km Bahnstrecke in 3 Tagen erfasst.



- Mittlere Schienenrauheit nicht so schlecht wie angenommen
- “Hot Spots“ identifiziert.

Messmethodik:

- Methode validiert
- Methode effizient (Faktor 26'000!):
 - Direkte Methode EN 15610: 30 m/h
 - Indirekte Methode: 80'000 m/h

Technische Voraussetzungen

Zur indirekten Messung geringer Rauheiten sind erforderlich:

- Räder mit sehr niedrigen Rauheiten
(für Schienenrauheiten)
- Schienen mit sehr niedrigen Rauheiten
(für Radrauheiten)

Optimierung Methode – Geschwindigkeit - Wellenlängenbereich:

- Verhältnis Samplingfrequenz zu Messgeschwindigkeit
(begrenzt oberen Wellenlängenbereich)
- Langwellige Information des Referenzabschnitts
(Kalibration, bei üblicher Messung nur bis 20 cm verfügbar)
- Radform (Erweiterung des nutzbaren Frequenzbereichs)

1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten

2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten

3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug

4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz

5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte

Die nächsten Schritte

1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten

2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten

3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug

4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz

5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte

- Analyse weiterer Korrelationen zur Rauheit
(Kurvenradien, Betriebsgeschwindigkeit, Oberbautyp, Schwellenart, Zwischenlage, Steigung, Untergrund...)
- Messungen weiterer Strecken und Netzabschnitte für umfassende Lärmkarten und Aktionspläne
- Langzeitbeobachtung Rauheitsentwicklung
- Entwicklung von Strategien zur Schienenpflege
(wie schleifen, wo, wann, ab welcher Rauheit, auf welche Rauheit, empfohlene Gleisbauarten, ...)

Zusammenfassung

1 Warum ?
Schienenlärm und Rauheiten

2 Wie ?
Messung Schienenrauheiten

3 Wie funktioniert es ?
Anwendung Messzug

4 Wie sind die Ergebnisse ?
Schweizer Bahnnetz

5 Was ist zu tun ?
Nächste Schritte

1. Niedrige Schienenrauheiten sind zentral für Lärminderung
2. Schienenrauheiten im Netz sind als Eingangsgrösse für Schienenpflege wichtig
3. Schienenrauheiten im Netz sind als Parameter für Modellrechnungen wichtig.

Hierfür ist die indirekte Methode geeignet.

Nächste Schritte:

- Analyse Einflussfaktoren und Korrelationen
- Erfassung weiterer Abschnitte und Bahnstrecken sowie Optimierung der Messmethode
- Entwicklung Schienenpflegestrategie inkl. Monitoring

Schienenpflege:

- Rauheitsmonitoring erlaubt Identifikation der „Hot Spots“ und damit effizienten Mitteleinsatz (gezielte Schleifeinsätze)
- Kenntnis über Rauheitsentwicklung und Korrelationen erlaubt, gezielt lärmarme Gleisvarianten zu fördern
- Der Nutzen von Fahrzeugsanierungen (glatte Radlaufflächen) wird endlich realisiert, wenn auch die Schienenfahrflächen glatt sind - das Fahrgeräusch reduziert sich

