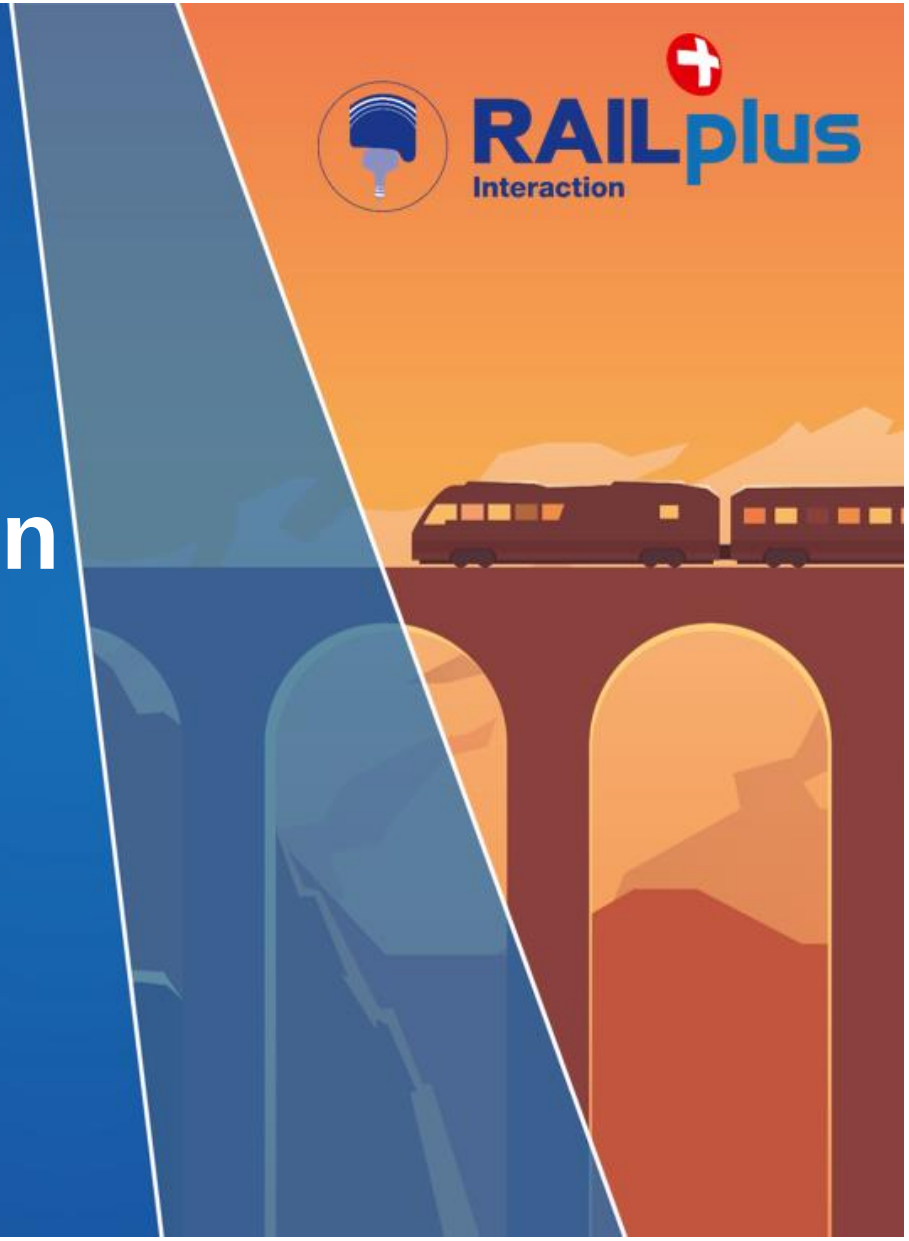
Aktuelles aus der Systemführerschaft: Resultate und Empfehlungen für die Meterspurbahnen

Für das Projekt P4 –
Karim Fischer (TPF)



INHALTSVERZEICHNIS

1 Rückblick auf die Schulung «Fahrbahn»

2 Methodik P4

3 Auswirkungen und Folgen für die Fahrbahn

4 Empfehlungen zu den Fahrbahnelementen

5 Messdaten und Datenmanagement

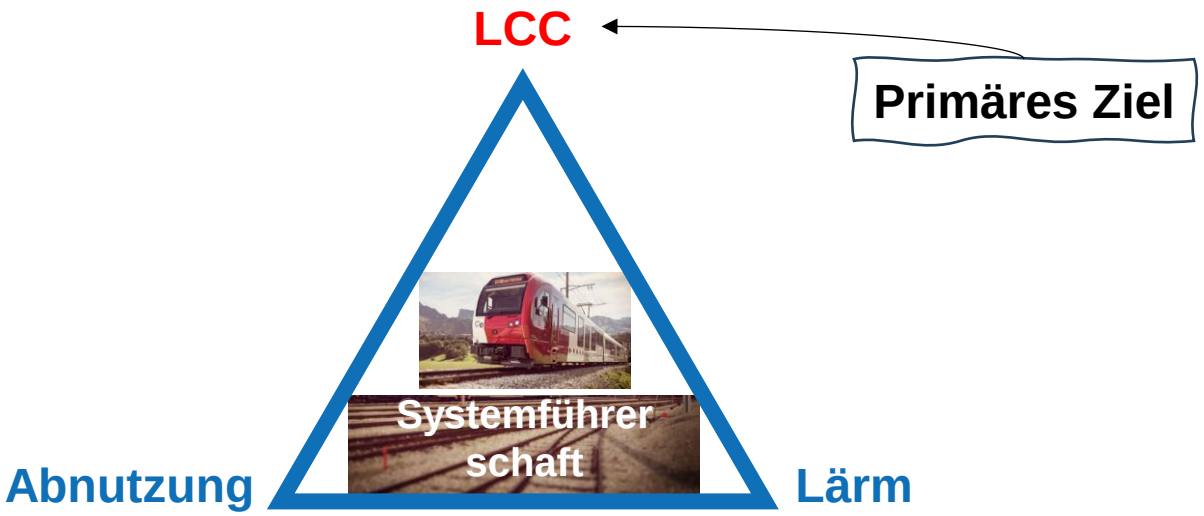
6 Schlussfolgerungen und Diskussion

1. Rückblick auf die Schulung «Fahrbahn»

3. UND 4. APRIL IN FRIBOURG

Einführung

- 90 Teilnehmende aus der ganzen Schweiz
- Grosse Anzahl Teilnehmende aus der Romandie!
- Ein schöner Erfolg: zahlreiche nationale und internationale Experten; konstruktiver Austausch
- **Ziel:** Erarbeitung einer Empfehlung eines **optimalen Aufbaus** der Fahrbahn von Meterspurbahnen



3. UND 4. APRIL IN FRIBOURG

Behandelte Themen

Block	Thema	Sprecher
Block 1	Elemente der Eisenbahn, Auswirkungen und Folgen	**Matthias Landgraf**, evias (AT) **Peter Güldenapfel**, Track Expert GmbH (CH)
Block 2	Lärm und Erschütterungen im Bereich der Eisenbahn	**Urs Schönholzer**, SBB (CH) **Michael Hafner**, SBB (CH)
Block 3	Schäden und Verschleiss der Schienenlaufflächen durch den Rad-Schiene Kontakt	**Stefan Ziegerhofer**, Voestalpine (AT) **Lukas Prettner**, Voestalpine (AT)
Block 4	Planung von Wartungen und Datenmanagement	**Fabian Angehrn**, Rhomberg Sersa (CH) **Lukas Sing**, RhB (CH)
Block 5	Anlagenmanagement	**Erik Pinter**, ÖBB (AT) **Markus Loidolt**, TU Graz (AT)
Block 6	Empfehlungen für die Meterspur	**Matthias Landgraf**, evias (AT)

Lien vers les présentations ou sur demande

2. Methodik P4

2. METHODIK P4

2.1 Elemente der Fahrbahn

Elemente

- Schiene (inkl. Befestigung, Zwischenlage)
- Schwellen (inkl. Besohlung)
- Schotter (inkl. Unterschottermatten)
- Unterbau / Untergrund

?

Folgen

- Lärm
- Verschleiss
- Erschütterung
- Gleislage

Empfehlungen für die Fahrbahn

Fahrbahn-Modell
Lärm / Verschleiss
Virtuelles Fahrzeug

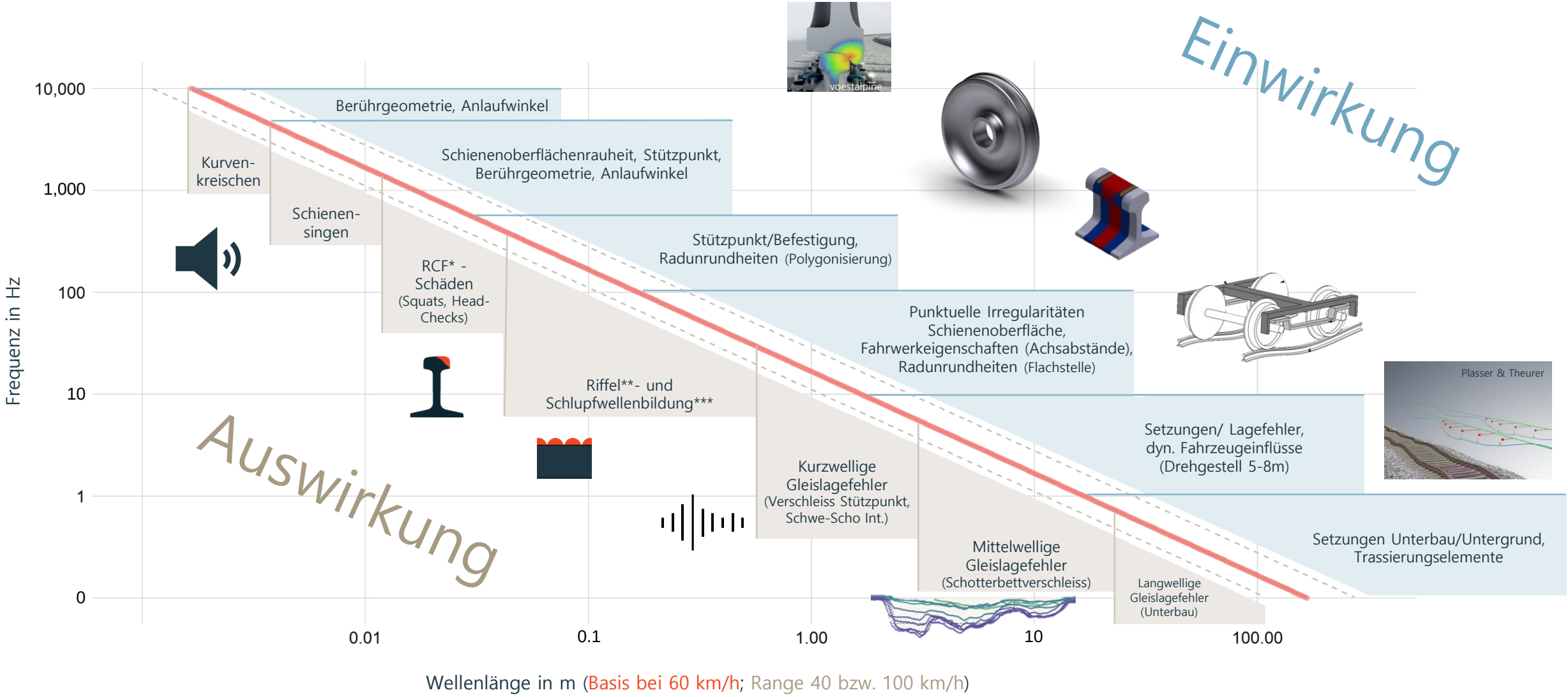
Standardelemente
TU Graz

Modell des Untergrunds
Baugrund Dresden

Source: M. Landgraf

2. METHODIK P4

2.2 Frequenzbereich



3. Auswirkungen und Folgen für die Fahrbahn

3.1 LÄRM UND ERSCHÜTTERUNGEN

Der ISB muss die Lärmemissionen kennen und hat eine Auskunftspflicht

Allgemeines

Grundsatz der Verhältnismässigkeit

Rechtliche Ebene: Viele Meterspur-bahnen halten die Grenzwerte ein.

Lärmmodellierung für Meterspurbahnen

Einführung einer Lärmstrategie
(proaktiv und dauerhaft)

Rollgeräusch

Regelmässiges Schleifen der Schiene
(Verringern Rauheit und Schlupfwellen).

Eliminieren von Grauguss-Sohlen

Zwischenlagen mit mittlerer Steifigkeit
(mit hoher Dämpfung)

Kurvenkreischen

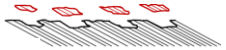
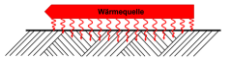
Geräuschgedämpfte Räder
(testen und implementieren, wenn erfolgreich**)**

Mobile und/oder smarte SKK einführen
(RTE in Vorbereitung)

Source: U. Schönholzer, M. Hafner, CFF

3.2 SCHÄDEN UND VERSCHLEISS

Klassifizierung von Schienenfehlern

Reaktionstyp des Materials	**Unterkategorien** (n° SN EN 17397-1)	**Ursachen / Ort der Entstehung**
Abnutzung 	Schlupfwellen (2201-02) Lateraler Abrieb (2203) Vertikaler Abrieb (2204)	Belastungen, Wechselwirkungen und Steifigkeit, Reibung zwischen Spurkranz und Schiene (obere Schiene, Kurve). Verkehrslasten (untere Schiene, Kurve)
RCF	Head checks (2223) Shelling (2222) Squats (227)	Überhöhung (Kurve); zwei Schienen (Ausrichtung), Übermässige SKS mit ungünstiger Kontaktgeometrie, Mehrere Ursachen
Thermische Verformung 	Schleuderstelle (2251)	Bildung einer Martensitschicht (spröde!) bei Schleuderstellen

Empfehlungen

<u>In dieser Reihenfolge</u>

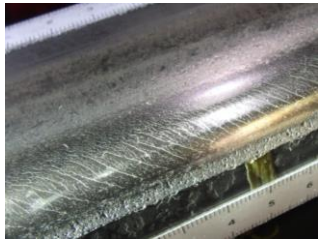
1) **Optimierung des Kontakts zwischen Rad und Schiene**
2) **Stahlgüte R350HT**
3) **Schleifen**

(RTE in Vorbereitung mit VöV, ermöglicht Lärm ↘, Verschleiss ↘ und LCC ↘)

2201-02

2203

2204



2223

2222

227

2251

Source: L. Prettner, S. Ziegerhofer (voestalpine)

3.2 SCHÄDEN UND VERSCHLEISS

Fokus auf Schlupfwellen

- Vergleichsmessungen bei der RhB: Messwagen **Sersa ⇔ 78 manuelle Messungen**
- Plausible Messwagenmessungen: richtige Lokalisierung und Wellenlänge
- Gute Messungen über IRISSYS verfügbar:
  - Gute Grundlage für die Entwicklung von Wartungskonzepten (Schleifen).
  - Mögliche Untersuchung der Entwicklung der Schlupfwellen in Abhängigkeit von anderen Parametern: Radius, Neigung, Art des Oberbaus, Fahrzeuge, etc.

Schlussfolgerungen:

- Schlupfwellen an allen Arten von Schwellen
- Wachstum variiert je nach **Elastizität des Gleises**: stärkeres Wachstum bei Betonschwellen ohne Besohlung.

  ➔ Betonschwellen erfordern eine höhere Elastizität (Zwischenlagen und Schwellenbesohlung)
- Geschwindigkeit der Entstehung von Schlupfwellen in Abhängigkeit von der **Stahlsorte:** **➔ R260 >> 350HT ≈ 400**

Source: L. Sing (RhB)

4. Empfehlungen zu Fahrbahn-Elementen

(Stand: Ende April 2025)

SCHIENEN

Eigenschaften

Übertragung von Punktlasten

Verschleissreserve (Oberfläche und Profil)

Hohes Trägheitsmoment (Längsträger)

Grosse Aufstandsfläche am Fuss zur Übertragung der Längskräfte und zur Aufbringung eines Widerstands-momentes gegen Kippen.

Bestehende Produkte

Unterscheidung nach Stahlhärte:

Standardschiene **R260**

Hochfeste, wärmebehandelte Stahlsorten, z. B**. R350HT** oder **R400HT** (Erhöhung des Verkehrsaufkommens, der Traktion, der Geschwindigkeiten und der Achslasten)

Empfehlungen

Schienenprofil: 46E1

Stahlgüte: R350HT
(langer gerader Abschnitt: R260 möglich) (enge Radien*: R400HT)

Schienenneigung (1:20, 1:40): spielt für die Kontaktgeometrie eine untergeordnete Rolle (bei optimiertem Radprofil).

* derzeit: < 300m. Die Kontaktgeometrie muss stimmen!

ZWISCHENLAGE

Eigenschaften

Verteilung der Lasten, Verringerung der lokalen Belastung

Verteilung von Vibrationen als Schutz für Schwellen und Schotter.

Dämpfung zur Reduktion der Gleisabklingrate.

Elektrische Isolierung

Materialbeständigkeit hinsichtlich Abriebs und Witterung.

Bestehende Produkte

Material: Gummi, Hartpolyethylen (HPDE), Ethylen-Vinylacetat (EVA), recyclierte Reifen

Dicke: 6 – 12 mm

Relevante Eigenschaft:
1) Vertikale Steifigkeit

- **weich**	**85 kN/mm**
- **mittel**	**200 kN/mm**
- **starr**	**700 kN/mm**

2) Abklingrate

Empfehlungen

Weiche Zwischenlage in Kurven
(Vorteile bei der Bildung von Schlupfwellen und bei der Lastübertragung)
Ausnahme: Zwischenlage mittel in lärmempfindlichen Gebieten

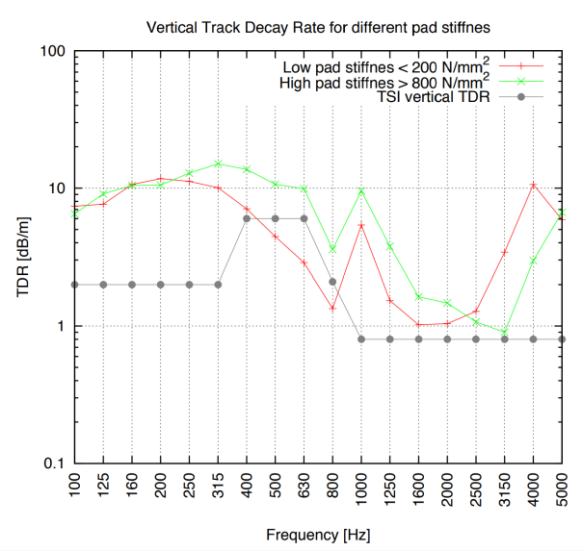
Zwischenlage starr in der Ausrichtung
(Verringerung des Rollgeräuschs)

Mittelfristige Entwicklung:
Zw-Lage mit hoher Dämpfungskapazität
(optimale Lastübertragung und geringere Rollgeräusche. Orte für Anwendung und wirtschaftliche Vorteile noch zu bestimmen)

ZWISCHENLAGE

Eigenschaften

Rollgeräusch



Bestehende Produkte

Material: Gummi, Hartpolyethylen (HPDE), Ethylen-Vinylacetat (EVA), recyclierte Reifen

Dicke: 6 – 12 mm

Relevante Eigenschaft:
1) Vertikale Steifigkeit

- **weich**	**85 kN/mm**
- **mittel**	**200 kN/mm**
- **starr**	**700 kN/mm**

2) Abklingrate

Empfehlungen

Weiche Zwischenlage in Kurven
(Vorteile bei der Bildung von Schlupfwellen und bei der Lastübertragung)
Ausnahme: Zwischenlage mittel in lärmempfindlichen Gebieten

Zwischenlage starr in der Ausrichtung
(Verringerung des Rollgeräuschs)

Mittelfristige Entwicklung:
Zw-Lage mit hoher Dämpfungskapazität
(optimale Lastübertragung und geringere Rollgeräusche. Orte für Anwendung und wirtschaftliche Vorteile noch zu bestimmen)

SCHWELLEN

Eigenschaften

Verteilung und Übertragung von Lasten auf den Schotter

Elastizität zur Dämpfung von Stössen und Vibrationen.

Aufrechterhaltung der Spurweite

Bestehende Produkte

Holz
Gute Elastizität, erfordert eine Imprägnierung (Kreosot)

Beton
Lange Lebensdauer, hohe Stabilität, schwer, aber weniger elastisch

Stahl
Hohe Elastizität

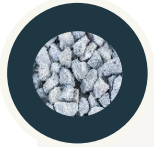
Kunststoff (FFU)
Langlebig, elastisch, teuer, umweltfreundlich?

Empfehlungen

Betonschwellen mit steifer Besohlung
(erhöht die Qualität der Gleisgeometrie und verlängert die Lebensdauer des Gleises. Weniger Schlupfwellen).

Alternative:
Stahlschwellen
(optimale Lastübertragung und Verringerung der Rollgeräusche. Orte für die Umsetzung und noch durchzuführende wirtschaftliche Analysen (z. B. Lasten < 15'000 t/d).

SCHOTTER



Eigenschaften

Sicherstellung der horizontalen und vertikalen Gleisstabilität.

Verteilt Spannungen auf eine für den Untergrund/Unterbau zulässige Grösse.

Gewährleistet eine gute Drainage von Regenwasser.

Druck-, abrieb- und witterungsbeständig

Bestehende Produkte

Scharfe Kanten für eine gute Verzahnung

Typische Gesteine: Basalt, Diabas, Granit usw.

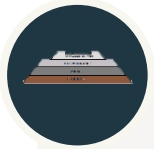
Schweizer Kieselkalk: im internationalen Vergleich sehr guter Schotter

Empfehlungen

Betonschwellen mit steifer Besohlung
(Verringerung des Drucks zwischen Schwelle und Schotter)

Unter besonderen Bedingungen:
Unterschottermatten
(Tunnel, Steifigkeitssprünge usw. zur Verringerung der Vibrationen auf die richtigen Frequenzen)

UNTERBAU



Eigenschaften

Sicherstellung der Tragfähigkeit

Gewährleistung der Frostsicherheit

Ableitung von Wasser

Trennwirkung (Verhinderung der Durchmischung von Bodenmaterial und Schotterbett, „Pumpen“).

Bestehende Produkte

PSS:
Schutzschicht des Planums, die für die Tragfähigkeit und den Wasserabfluss sorgt.
AC-Rail:
Bestehend aus
1) einer wasserdurchlässigen und tragenden Grundschicht
2) undurchlässige bituminöse Versiegelungsschicht darüber. Maximale Verformbarkeit: 150 MN/m2 (AB-EBV), um eine zu große Steifigkeit zu vermeiden.

Empfehlungen

Wenn ausreichend tragfähiger Boden gemäß AB-EBV, Art. 25, Ziff. 4.2.4:
Keine Erneuerung des Unterbaus.
(unrentabel)

PSS oder AC-Rail
(Die Wahl wird von den Rahmenbedingungen beeinflusst (z.B. vollständige Unterbrechung, mechanische Renovierung usw.).

5. Messdaten und Datenmanagement

5. MESSDATEN UND DATENMANAGEMENT

Warum messen?

- Zentrale Aufgabe des ISB (AB-EBV)
- Quantitativer Überblick über den Zustand und Erkennung kritischer Abnutzungen für:
  - Gewährleistung der **Sicherheit**
  - Optimierung der **LCC**

Korrektive Wartung

SICHERHEIT
Eingreifen, wenn der Schwellenwert für ein sofortiges Eingreifen (sicherheits-kritischer Grenzwert) erreicht wird oder damit der Schwellenwert vor der nächsten Überprüfung nicht erreicht wird.

Siehe RTE 22540 und RTE 22570

Vorbeugende Wartung

LCC und SICHERHEIT
Frühzeitige Erkennung von Defekten und strategische Wartungsplanung = vermiedener Verschleiss und hohe Verfügbarkeit

=

Daten über Zustand — **Messungen**

+

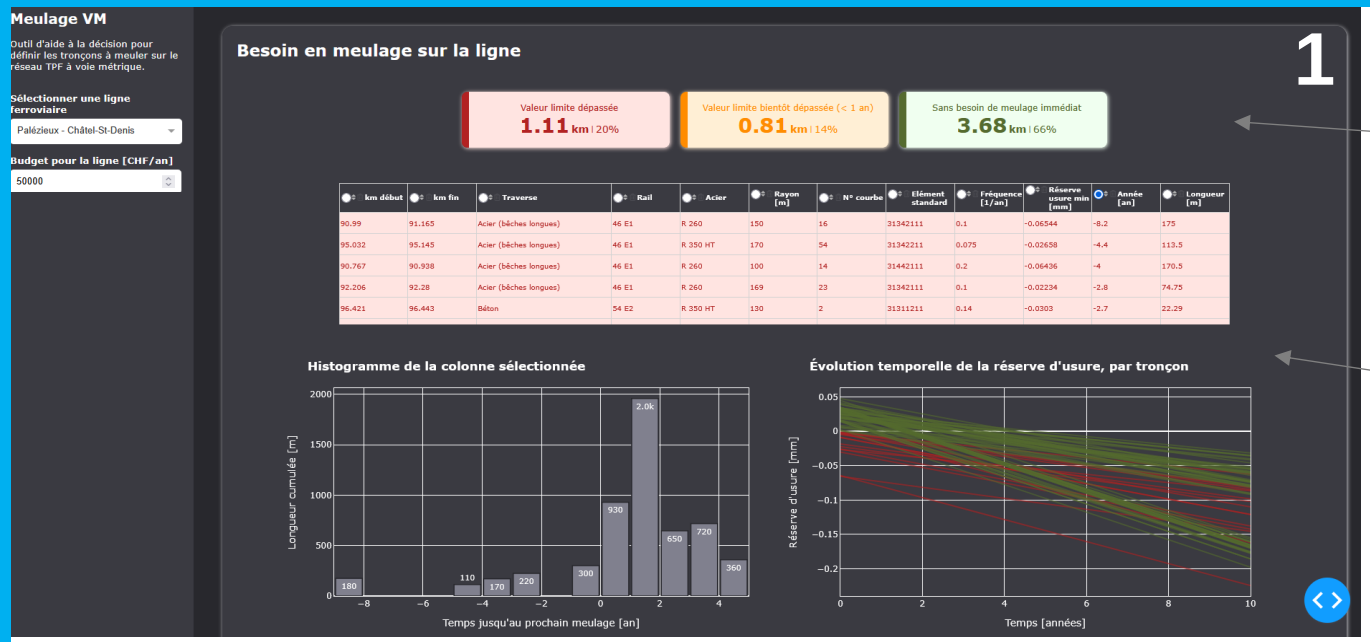
Basisdaten — **Standard-Elemente**

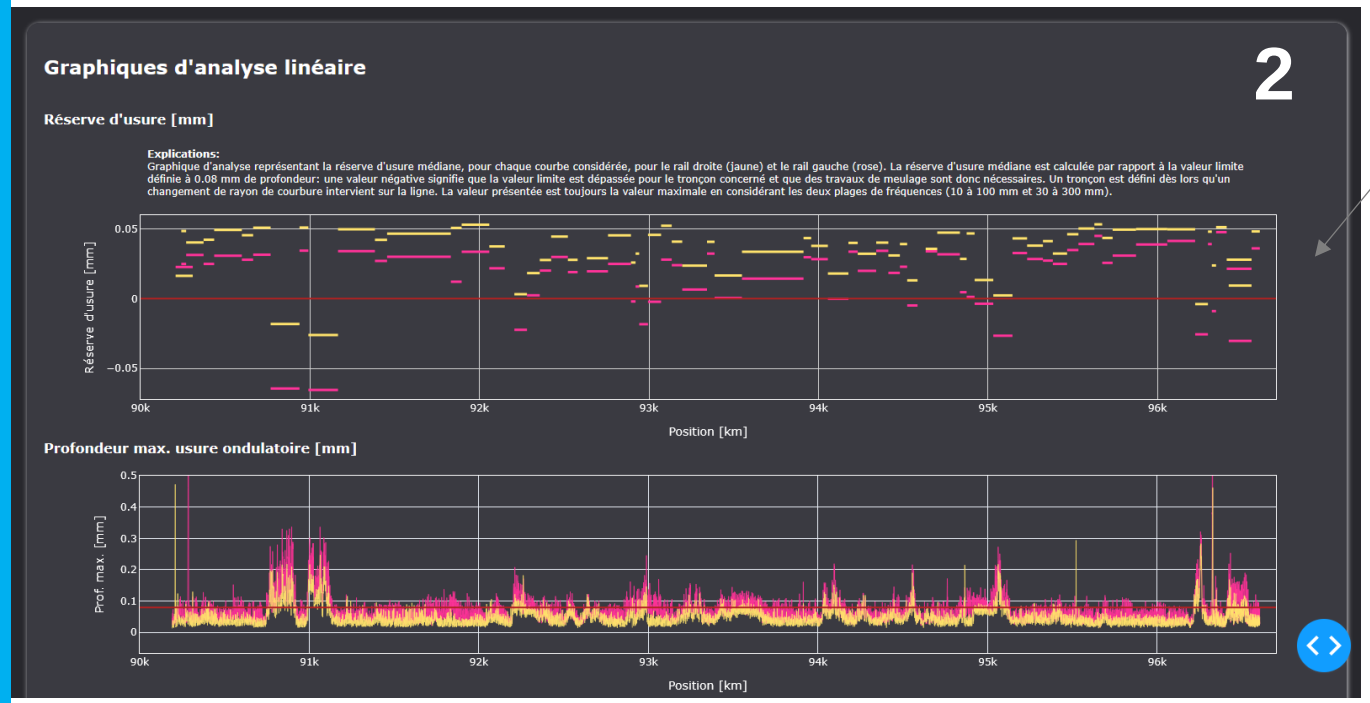
+

Massnahmen zur Instandhaltung — **Die richtige Maßnahme zur richtigen Zeit ergreifen: LCC ↘ ↘**

Minimale Wartung + Erhöhung der Lebensdauer = LCC ↘.

Praktisches Beispiel bei TPF





Zusammenfassung:
Schleifbedarf an der Strecke

Basisdaten

StdE

Tabelle für jeden Gleisabschnitt mit Abnutzungstiefe und Prognose # **Jahre bis zum nächsten Schleifen:**
PREVISION

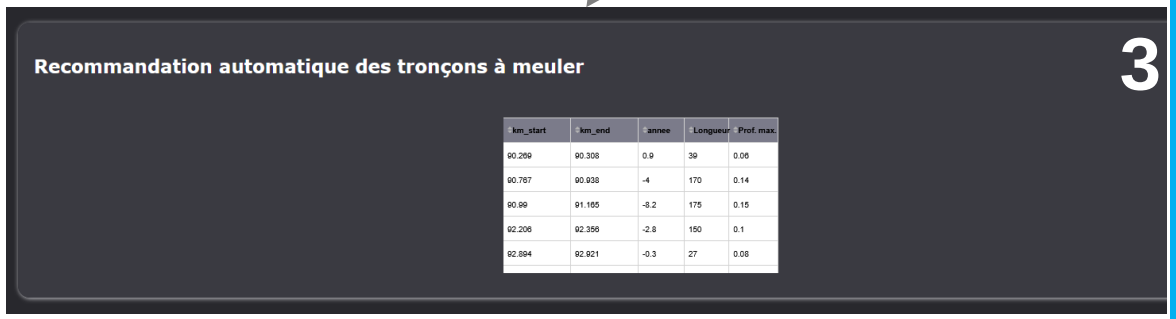
Daten zum Zustand

IRISSYS

Mittlerer Verschleiss für jeden Abschnitt, L/R-Schienen.+
Rohe Messdaten von IRISSYS

Massnahmen zur Instandhaltung

Automatische Empfehlung, welche Abschnitte in diesem Jahr geschliffen werden sollen, je nach verfügbarem Budget



km_start	km_end	annee	Longueur	Prof. max.
90.269	90.308	0.9	39	0.06
90.767	90.938	-4	170	0.14
90.99	91.165	-8.2	175	0.15
92.206	92.356	-2.8	150	0.1
92.894	92.921	-0.3	27	0.08

Praktisches Beispiel der ÖBB

Daten
Um den aktuellen Zustand der Fahrbahn zu verstehen

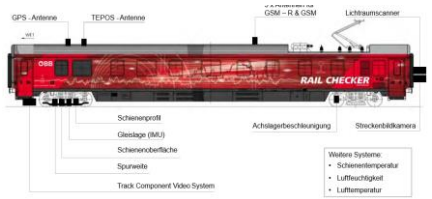
→

DataScienceHub
Open source tools!
Datenspeicherung, -analyse und -verarbeitung

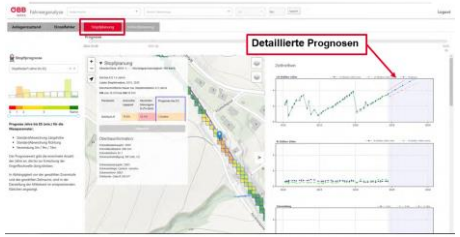
→

Internes Tool für Lebenszyklusanalyse und prädiktive Analysen

Notizen zum Zustand des Netzwerks
Prognosen für:
- Entwicklung des Verschleisses
- Planung des Stopfens
- Planung des Schleifens



RailChecker +
Georadar / Lidar
Ultraschall
Oberbaudaten



Source: E. Pinter (ÖBB)

Empfehlungen

Regelmässige automatische Inspektion

Hochwertige Tools zur automatischen Datenanalyse

Interne Entwicklung und Kompetenz:
Der Code gehört uns und ist transparent.

Internes Datenmanagement

ZUSAMMENFASSUNG

- Auch die Fahrbahn (ein großer Kostenfaktor) profitiert von einer **Optimierung der Kontaktgeometrie.**
- **Schienenprofil 46E1**, mit Verschleissprofil an den Rädern, Verschleissprofil für die Schienen? (wir wissen, dass es besser ist, aber LCC-Niveau?)
- Massnahmen zur **Materialwahl** sind nur dann sinnvoll, wenn die Kontaktgeometrie optimiert ist. In engen Kurven: mindestens R350HT.
- Wenn Betonschwellen verwendet werden (ca. ab 15'000 t/d), dann sollten diese aus Gründen der wirtschaftlichen Optimierung mit einem **Schwellenbesohlung** ausgerüstet werden (sonst Stahlschwellen).
- Das Hauptziel sollte die **Verringerung der LCC** durch eine Erhöhung der Lebensdauer sein. Die Strecke (Oberbau und Unterbau) sollte 50 Jahre halten.
- Eine **Sanierung der Infrastruktur ist nicht erforderlich**, wenn der Boden tragfähig ist (gemäss AB-EBV).
- Auf Abschnitten mit einer Geschwindigkeit von mehr als 75 km/h muss die Konizität durch **Reprofilierung der Schiene** sichergestellt werden. Bei einer Erneuerung oder einem Neubau muss dort eine Spurweite von 1003 mm eingebaut werden.
- Die **Reprofilierung der Schiene** ist wirtschaftlich interessant, aber nur, wenn sie richtig gemacht wird.
- Für eine effektive Instandhaltungsplanung ist es essenziell, Unterhaltsdaten und Störungen präzise zu erfassen und zu dokumentieren. Nur so kann eine wirtschaftlich optimierte Instandhaltungsplanung pro ISB entwickelt werden **(vorausschauende Wartung).**