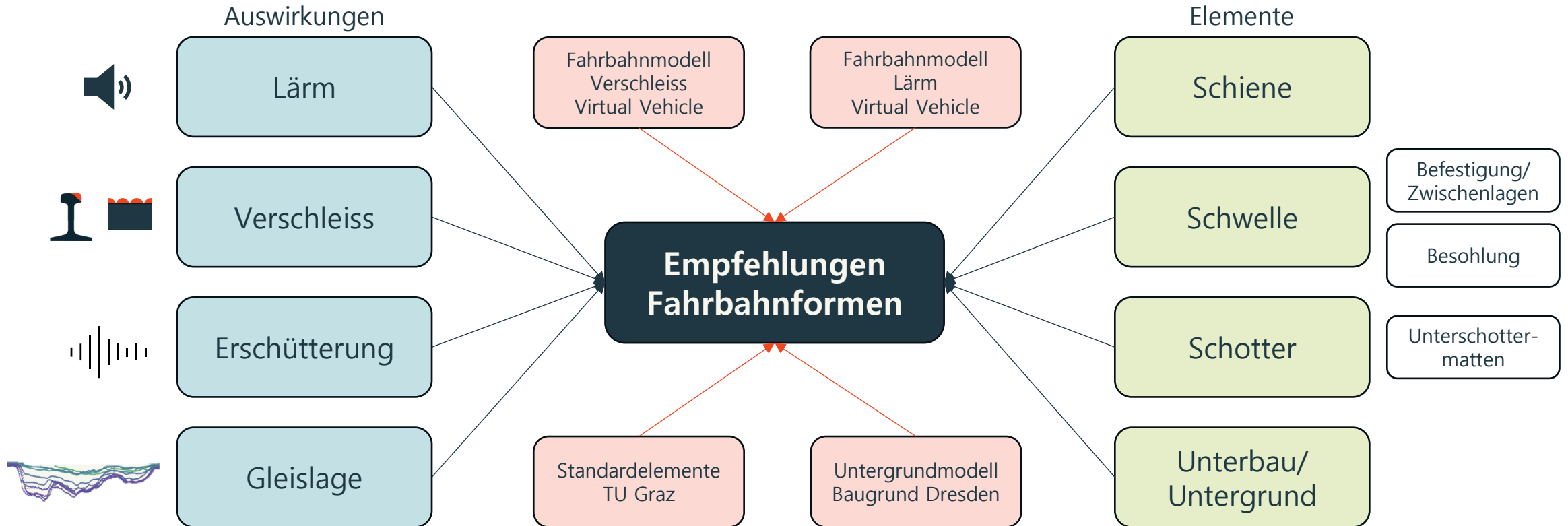


# Einstieg Fahrbahnelemente Auswirkungen

Matthias Landgraf  
Peter Güldenapfel

Schulung RAILplus P4  
03./04. April  
Fribourg, CH





# STANDARDELEMENTE | TU GRAZ

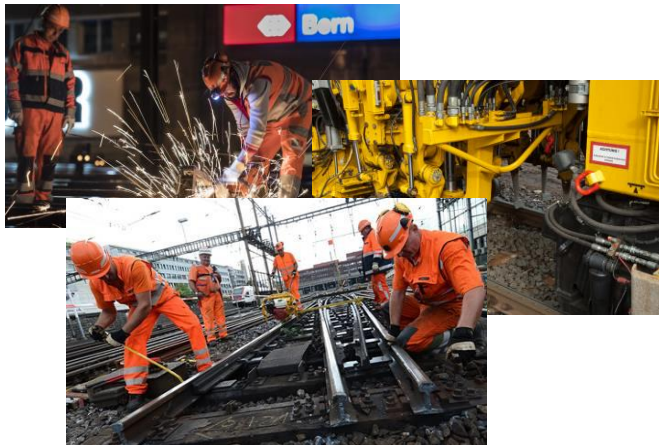
## Erarbeitung und Erkenntnisse

### Input

Technisch-betriebliche Randbedingungen

Mittlere Instandhaltungsmengen (Historie)

Mittlere Nutzungsdauern (Historie)

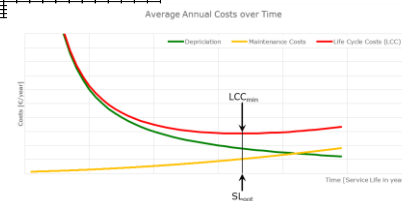
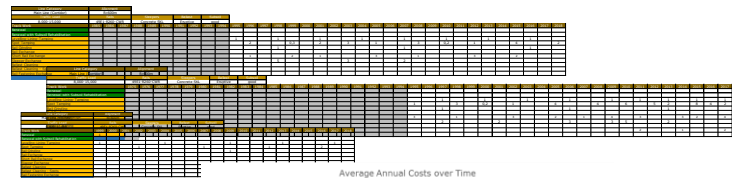


### Analyse

Konsolidierung netzweit

Parameterspezifische Arbeitszyklen

Lebenszykluskostenbewertung



### Output

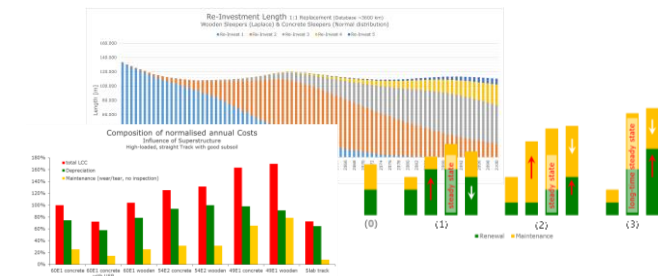
Strategische Mengen

Instandhaltung

Erneuerung

Generelle Oberbaustrategien

Komponentenstrategien



## Erarbeitung und Erkenntnisse

Die Instandhaltungsdaten konnten von folgenden Bahnen mit den Anlagedaten verschnitten werden. Lücken und Inkonsistenzen wurden mit der Erfahrung von Fachpersonal (Bahnmeister und Anlagenmanager) überbrückt.



## Erkenntnisse

- Bei Radien oberhalb 300 m weisen Betonschwellen eine höhere Nutzungsdauer auf als für Holzschwellen.
- Bei Radien kleiner 300 m weisen Stahlschwellen längere Nutzungsdauern als andere Schwellentypen auf. (Betonschwellen geringe Datenhistorie; Besohlte Betonschwellen nicht Teil dieser Analysen, da keine Langzeitdaten).
- R350HT Schienen verringern Schleifen und Schienenwechsel im Bogen um Faktor 2 im Gegensatz zu R260. (Zu geringe Datenhistorie für eine Aussage zu R400HT).
- Bei Meterspurbahnen sind aktuell Schlupfwellen die Hauptursache für Schienenschleifen.
- Die Qualität der Schweissungen ist sehr relevant für die Lebensdauer und Unterhaltskosten bei Schienen. Insbesondere in den Geraden, wo aus Verschleissgründen kein regelmässiges Schleifen durchgeführt wird.
- Schleifstrategien der Meterspurbahnen sind aktuell sehr unterschiedlich. Hier gilt es jedenfalls, eine Vereinheitlichung zu erreichen.
- Arbeitszyklen der Meterspurbahnen auch im Vergleich zu jenen der jeweiligen Belastungsklassen der Normalspurbahnen plausibel. (Ausnahme: Schleifen aufgrund von Schlupfwellen bei Meterspurbahnen erhöht).



# FAHRBAHNMODELLE

## K2-Projekt FFI Opt. Virtual Vehicle (vif)

### Statischer und dynamischer Verschleiss

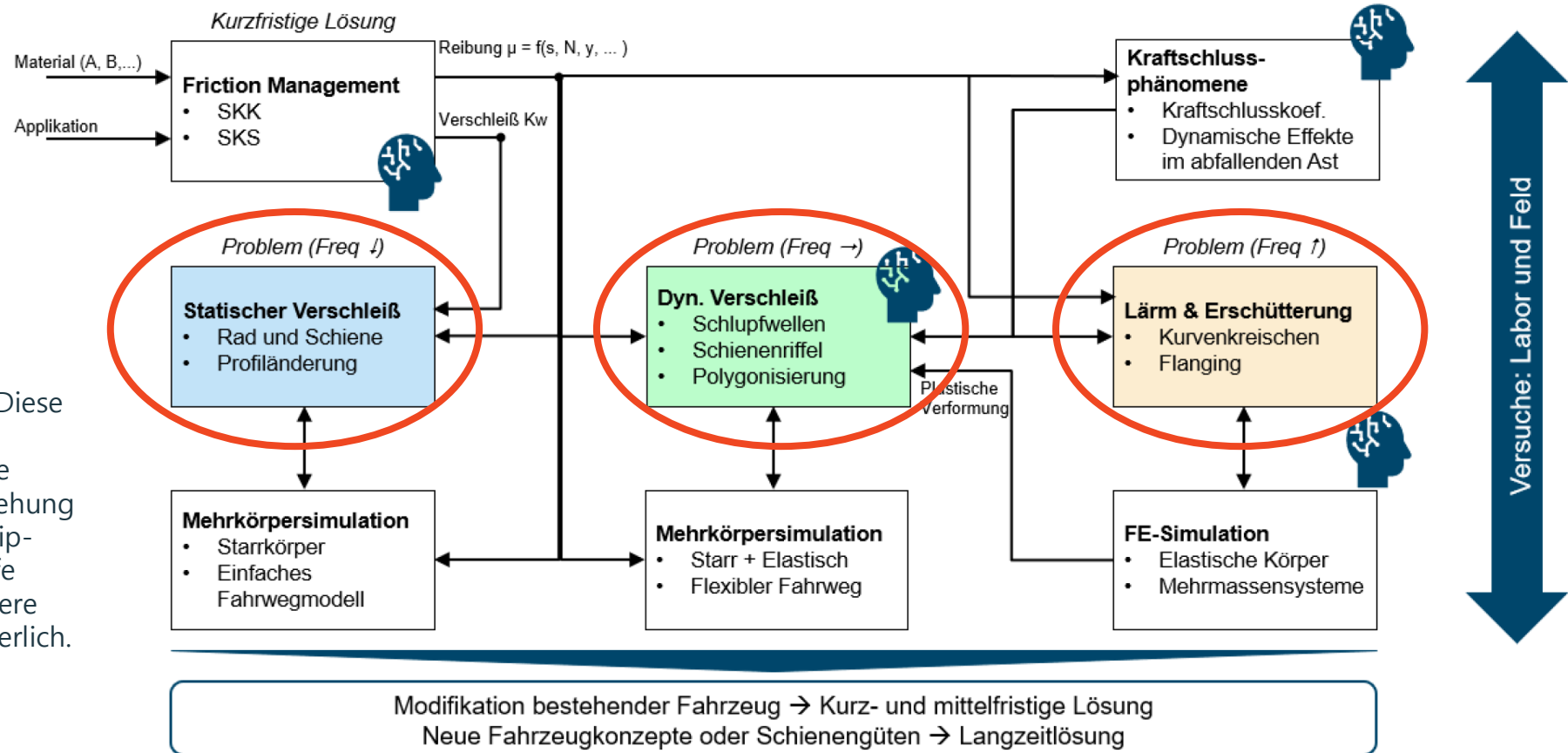
Das Modell besteht aus den Modulen der Mehrkörpersimulation (MKS), einem Verschleissmodell und einem Profilgenerator. Das Fahrbahnmodell soll das dynamische Verhalten des physischen Oberbaus möglichst genau wiedergeben und wird daher über Feldmessungen kalibriert.

### Lärmmodell (Kurvenkreischen)

Das Kurvenkreischen wird durch die Schallabstrahlung des Rades bestimmt. Diese Anregungskräfte werden mit Hilfe eines Zustandsraummodells berechnet, das die laterale Reibungskoeffizient-Schlupfbeziehung enthält und die Berechnung der Stick-Slip-Anregung in einer Rückkopplungsschleife ermöglicht. Zu diesem Zweck sind mehrere Messgrößen aus Feldmessungen erforderlich.

### Aktueller Stand

Modellaufbau und Kalibrierung abgeschlossen;  
Start Parameterstudie; Projektabschluss 10/2025.



# FAHRBAHNMODELLE

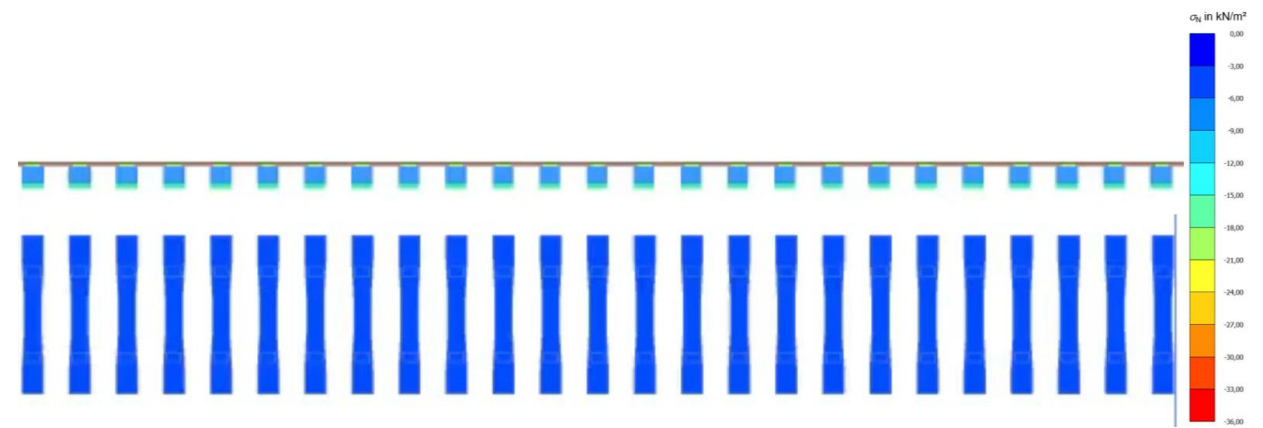
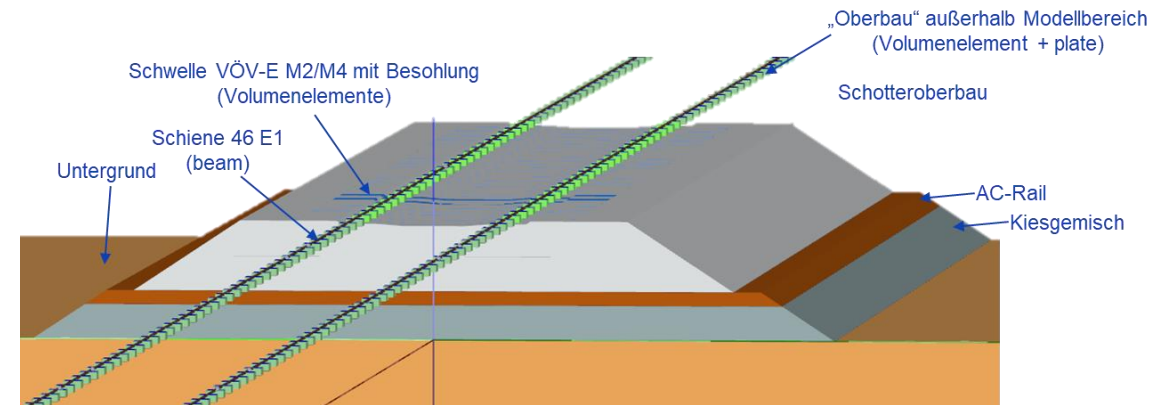
## Baugrundmodell | BG Dresden

### Methodik

- 1 Durchführung 3-dimensionaler Finite-Elemente-Analysen mit Variation der entsprechenden Komponenten für homogene Untergrundverhältnisse.
- 2 Auswertung der rechnerisch resultierenden (Vertikal-) Spannungsverteilungen UK Schwellen, OK/UK Unterbau und im Untergrund.
- 3 Bewertung des Einflusses der Variationsgrößen hinsichtlich der resultierenden Beanspruchungen infolge Zugüberfahrten.

### Aktueller Stand

Aufbau, Kalibrierung und Validierung des 3D FE-Modells. Projektabschluss 10/2025.



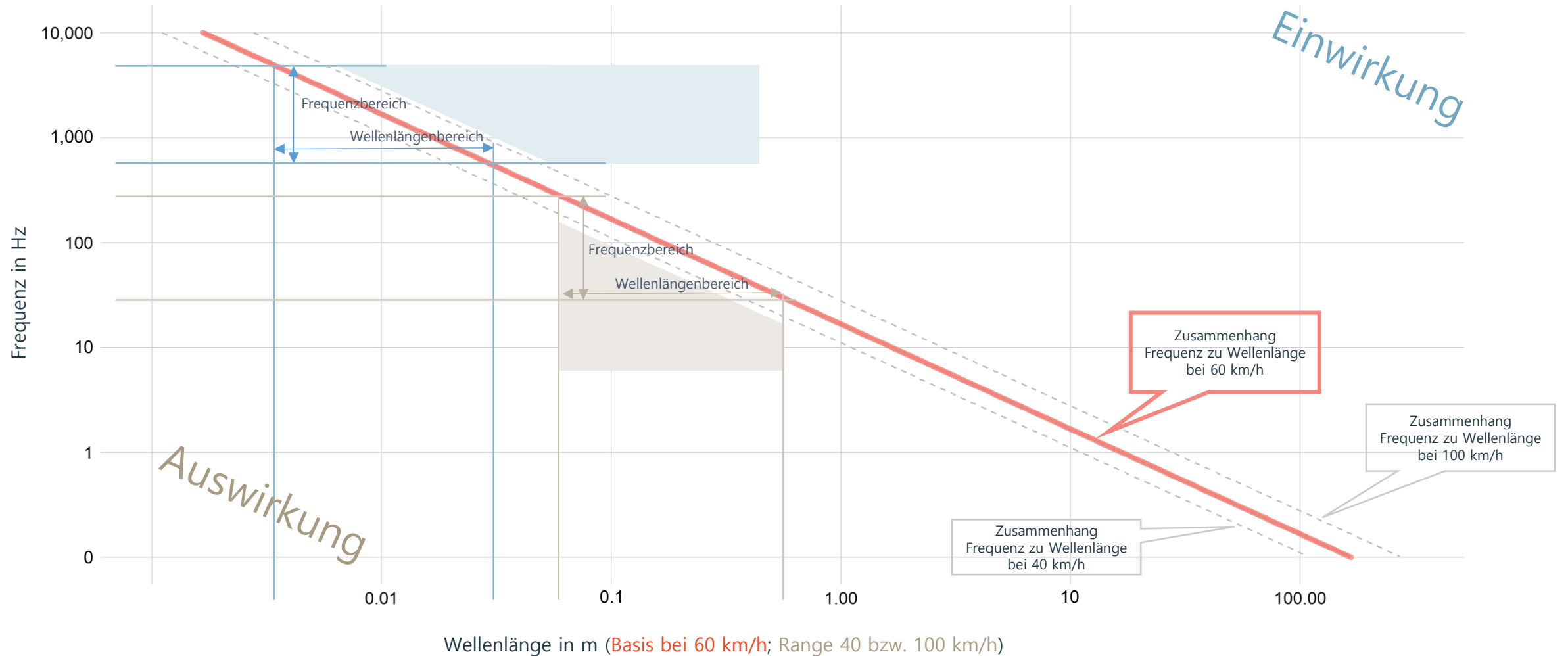
# FAHRBAHNMODELLE

## Überblick, Ziele 2025 und zentrale Fragestellungen

		Ziele	Zentrale Fragestellungen
<b>Statisch</b> Feste Parameter, vereinfachte Annahmen zur Belastung.	 Quasi-statischer Schienenverschleiss	Einfluss folgender Parameter auf Verschleiss: - Belastung, Radius, - Schienenprofil, Schienengüte, - Spurweite/ Einbauneigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radienabhängige Wahl der Schienenstahlgüte</li> <li>- Einfluss der Achslast/ Achsabstand?</li> <li>- Nominalprofil vs. Verschleissprofil?</li> <li>- Spurerweiterung sinnvoll?</li> </ul>
	 Dynamischer Schienenverschleiss	Einfluss folgender Parameter auf Schlupfwellenbildung: - Belastung, Radius, - Schienenprofil, Schienengüte, Zwischenlagen, - Verhalten der (bes.) Betonschwelle, - Spurweite/ Einbauneigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radienabhängige Wahl der Schienenstahlgüte</li> <li>- Einfluss der Achslast/ Achsabstand?</li> <li>- Nominalprofil vs. Verschleissprofil?</li> <li>- Spurerweiterung sinnvoll?</li> <li>- Optimale Zwischenlage?</li> </ul>
<b>Dynamisch</b> Berücksichtigen zeitabhängige Belastungen und wechselwirkende Kräfte.	 Lärmmodell (Fokus Kurvenkreischen)	Einfluss folgender Parameter auf Kurvenkreischen: - Belastung, Radius, Schienengüte, Zwischenlagen, - Verhalten der Betonschwelle und - Spurweite/ Einbauneigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kann die Fahrbahn das Kurvenkreischen durch Komponentenwahl minimieren?</li> <li>- Welche Komponenten einsetzen?</li> <li>- Spurerweiterung sinnvoll?</li> </ul>
	 Baugrundmodell	Quantitativer Einfluss von: Belastung (Achslast, Achsabstand, Geschwindigkeit), Elastischer Elemente, Schwellentypen und Baugrundqualität auf Scherdehnungen und Spannungsverteilungen im Untergrund.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gleislageverhalten je Unterbautyp?</li> <li>- Unterbausanierung bei tiefliegend schlechtem Baugrund ausreichend?</li> <li>- Reduktion der Spannungen an Planie durch elastische Oberbauelemente?</li> </ul>

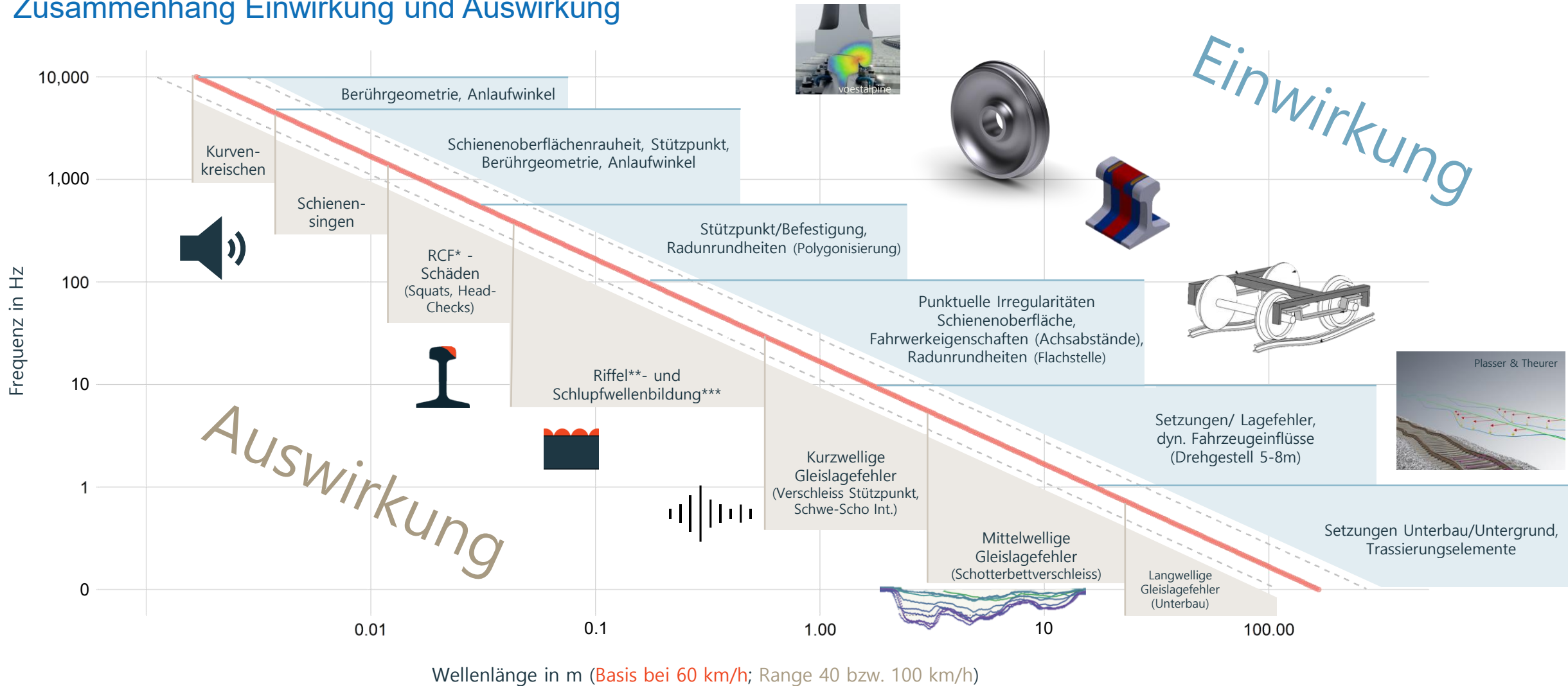
# FREQUENZEN - WELLENLÄNGEN.

## Zusammenhang Einwirkung und Auswirkung



# FREQUENZEN - WELLENLÄNGEN.

## Zusammenhang Einwirkung und Auswirkung



Wellenlänge in m (Basis bei 60 km/h; Range 40 bzw. 100 km/h)

\* Rolling Contact Fatigue; Ermüdungsschäden an Schienen und Rädern durch wiederholte Rollkontaktbelastung

\*\* Wellenförmiger Verschleiss an Schienenoberflächen mit Wellenlänge 2-8cm auf Geraden und grossen Radien, betrifft beide Schienenstränge

\*\*\* Wellenförmiger Verschleiss an Schienenoberflächen mit Wellenlänge 5-30cm an der Innenschiene in engen Radien

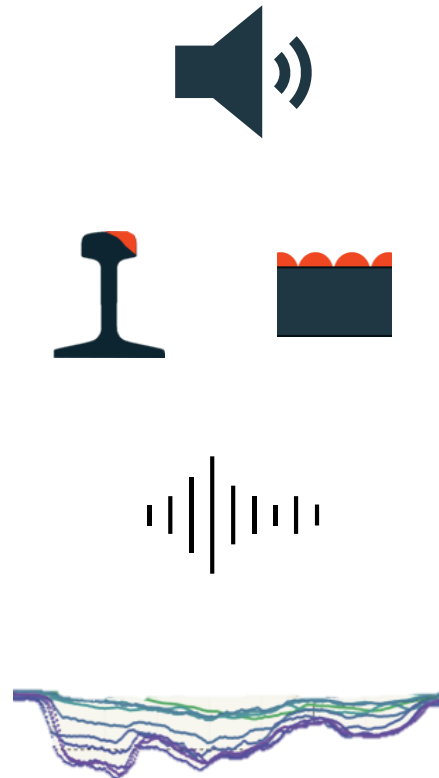
# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

Zusammenhang Einwirkung und Auswirkung

Hochfrequent



Tieffrequent



LÄRM

VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

Betrachtete Elemente und Auswirkung



SCHIENE

LÄRM

VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE

# FAHRBAHNELEMENTE.

Schiene



## Eigenschaften

---

Punktförmige Lastaufnahme, möglichst in klar definierter Geometrie.

Verschleissreserve im Bereich des Spurkranzkontakts (und Höhenreserve).

Hohes Trägheitsmoment (Längsträger).

Grosse Aufstandsfläche am Fuss zur Übertragung der Längskräfte und zur Aufbringung eines Widerstandsmomentes gegen Kippen.

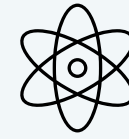


## Ausführung

---

Standardschiene R260

Bei erhöhtem Verkehrsaufkommen, höheren Antriebsleistungen, Fahrgeschwindigkeiten und Achslasten werden vermehrt hochfeste und wärmebehandelte Stahlgüten eingesetzt. Beispielsweise R350HT (HT = head treated) oder R400HT.



## Entwicklungen

---

Verweis

*„Schädigungen und Verschleiss an Schienenfahrflächen aus dem Kontakt Rad –Schiene“ von Stefan Ziegerhofer und Lukas Prettnner.*

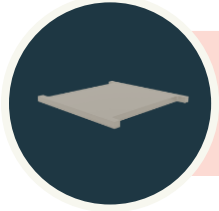
Block 3 dieser Schulung,  
03.04.2025 ab 15.15h.

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

Betrachtete Elemente und Auswirkung



SCHIENE



STÜTZPUNKT (ZW)

LÄRM

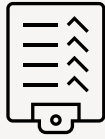
VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE

# FAHRBAHNELEMENTE.

Zwischenlage



## Eigenschaften

---

Lastverteilung, Reduktion lokaler Spannungen.

Schwingungsverteilung zur Schonung von Schwellen und Schotterbett.

Dämpfung zur Reduktion der Gleisabklingrate.

Elektrische Isolierung.

Materialbeständigkeit hinsichtlich Abriebs und Witterung.



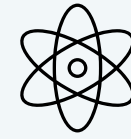
## Ausführung

---

Bestehen meist aus Gummi (Elastomer-basiert), Hart-Polyethylen (HPDE), Ethylen-Vinylacetat (EVA). Üblicherweise 6 – 12mm dick.

Mittlerweile auch recycelte Reifenmaterialien im Einsatz.

Charakteristische Kenngröße vertikale Steifigkeit in kN/mm. Meterspur verwendet üblicherweise Steifigkeiten von 85 kN/mm (weich), 200 kN/mm und 700 kN/mm (steif).



## Entwicklungen

---

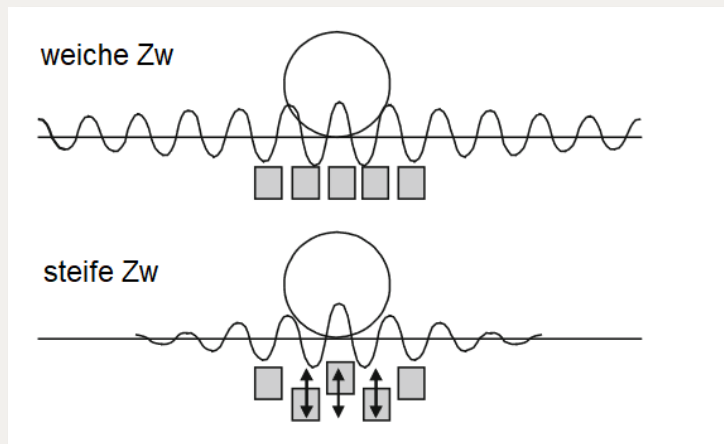
Hochdämpfende Zwischenlagen

# FAHRBAHNELEMENTE.

## Hochdämpfende Zwischenlage

### Status quo

Bei weichen Zwischenlagen sind die Schwellen gut von der Schienenschwingung isoliert, Vibrationen können sich jedoch vergleichsweise frei entlang der Schiene ausbreiten (mehr Lärm).



David Thompson, Railway Noise and Vibration, Mechanisms, Modelling and Means of Control

Bei steifen Zwischenlagen ist die Schienenschwingung durch die Kopplung an die Schwellen und die Dämpfung der Zwischenlagen eingeschränkt, jedoch ist die Schwellenschwingung stärker ausgeprägt

Parameter	Steife ZW	Weiche ZW
Verbesserung (Erhöhung) der Gleisabklingrate	👍	
Reduktion von Lärm	👍	
Reduzierung der Anregung von Schotter und Schwellen		👍
Reduzierung von Schlupfwellen		👍
Verbesserte Lastverteilung auf mehrere Schwellen		👍
Höhere Lebensdauer des Befestigungssystems	👍	

Hochdämpfende ZW
👍
👍
👍
👍
👍
👍
👍
👍

# FAHRBAHNELEMENTE.

## Hochdämpfende Zwischenlage

### Entwicklungsstand

Mehrere Untersuchungen in der Normalspur mit Zwischenlagen unterschiedlicher Anbieter (<https://laermforschung-eisenbahn.ch/>).



Funktionalität scheint grundsätzlich gegeben.



Offene Frage: Langzeitverhalten, insbesondere in Abschnitten, welche die ZW stark beanspruchen (bspw. enger Bogen Meterspur). Könnte erhöhten ZW-Wechsel bedingen, um Eigenschaften beizubehalten.



Eine Lösungsmöglichkeit könnte sein, etwas elastischere Besohlungen in Kombination mit steifer Zwischenlage in Bogenbereichen einzubauen. (Noch keine Feldtests vorhanden).



The collage features several logos and report covers. At the top left is the PROSE logo. To its right are logos for the Swiss Confederation (Schweizerische Eidgenossenschaft) and the FAHR x BAHN Kompetenzzentrum. Below these are two report covers. The left cover is titled 'Akustisch optimierte Schienenzwischenlag Schlussbericht' and includes a table of revisions. The right cover is titled 'Forschungsprojekt hochdämpfend Schlussbericht' and features a photograph of a track. At the bottom right is a separate report cover titled 'Experimental and numerical track system evaluation: Methodology for finding optimal components Final Report', dated 31st October 2023, and lists authors Dr. Bart Van Damme, Dr. Prof. Joël Cugnoni, Raphaël Nardin, and Vincent Crausaz.

Erstellt	Geprüft	Freigegeben
C. Czolbe	F. May	Y. Kohler

Dokumentnummer	Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
04-03-02153	28.08.2020	1.00	30.09.2020	Rele

Version	Datum	Ersteller	Bemer
1.0	18.11.2020	Ph. Huber, St. Werner	Erstau
1.1	30.11.2020	Ph. Huber, St. Werner	Schall

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

Betrachtete Elemente und Auswirkung



SCHIENE



STÜTZPUNKT (ZW)



SCHWELLE

LÄRM

VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE

# FAHRBAHNELEMENTE.

## Schwelle



### Eigenschaften

---

Lastverteilung und Lastabtragung der Kräfte in das Schotterbett.

Elastizität, um Stöße und Schwingungen zu dämpfen.

Ermöglicht die Spurhaltung.  
Spezifische Typen für Bereiche mit erhöhten Horizontalkräften durch Eigenspannung der Schiene und Bogenfahrt.



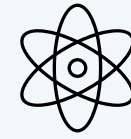
### Ausführung

---

Holz:  
Gute Elastizität; benötigen Imprägnierung aufgrund der Anfälligkeit auf Verrottung.

Beton:  
Langlebig, hohe Stabilität; schwer und weniger elastisch.

Stahl:  
Hohe Festigkeit, anfällig Korrosion  
Kunstholz (FFU):  
Hohe Lebensdauer, elastisch, teuer, Nachhaltigkeit? (Glasfaser)



### Entwicklungen

---

Kunststoffschwellen

Schwellenbesohlungen

# FAHRBAHNELEMENTE.

## Kunststoffschwelle

### Entwicklungsstand



- „Rezyklierbar am Ende der Nutzungsdauer“
- Langlebig und formbeständig
- Manche Hersteller produzieren aus Sekundärrohstoffen (recyceltes Plastik).
- Hohe Beständigkeit gegen externe Umwelteinflüsse
- Geringes Gewicht



#### Beprob, großflächige Feldtests und EBA-Zulassung:

- STRAILway Kunststoffschwellen (TU München)
- Sicut Recycling Schwelle (BAV Zulassung angesucht)
- Lankhorst
- Vossloh (neues Werk seit 06/2024)



#### Querverschiebewiderstand im Bogen?

- Laut TU München Sekisui (FFU, Kunstholz) Schwelle bei gleicher Höhe (16 cm) vergleichbar mit Holzschwelle.

Verhalten gegenüber besohlter Betonschwelle?

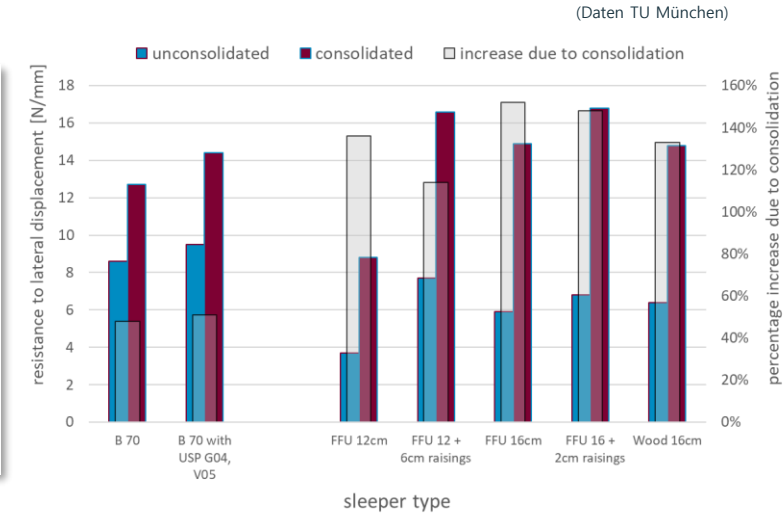
#### UNTERNEHMEN & MÄRKTE Sicut: Dritter Auftrag von DB InfraGo



Bahnschwellen aus recycelten Kunststoffabfällen; Quelle: Sicut

09. Juli 2024

Sicut hat von der DB InfraGo erneut einen Auftrag zur Lieferung von Schwellen erhalten. Es geht dabei um Verbundstoff-Schwellen, die aus recycelten Kunststoffabfällen hergestellt werden.



Type 1: Sleepers with short or no fiber reinforcements

PAV Berlin   Sicut   TieTek   Integrated Recycling   Atlas  
Lankhorst Rail   Evertrak   Reluma   Vossloh   Darta  
IntegriCo Composites   Axion   Greenrail   Permal Wallace

Type 2: Sleepers with long fiber reinforcement longitudinal direction

Sekisui

Type 3: Sleepers with fiber reinforcement longitudinal and transverse direction

Geopolymer concrete filled pultruded composite

# FAHRBAHNELEMENTE.

## Schwellenbesohlung

### Entwicklungsstand

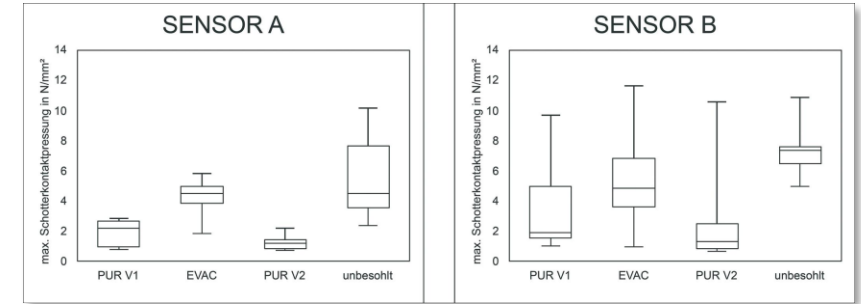
- Seit 2010 bereits Standard in Österreich
- Signifikanter Einsatz auch in Deutschland und Schweiz
- In weiteren Ländern für hohe Belastungen und punktuell (Weichen, Übergangskonstruktionen, Testabschnitte, etc.) eingesetzt.



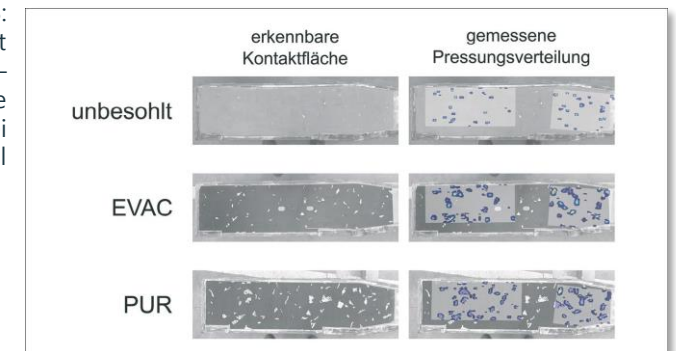
- Größere Kontaktfläche verringert die maximale Schotterpressung in der Schwelle/Schotter Interaktion.
- Grosse Unterschiede in verschiedenen Typen und Herstellern der Besohlungen.
- Verringerung der Stopfintensität auch bei für die Normalspur geringen Belastungen von 8.000 – 15.000 GBRT/Tag.
- Schlupfwellenreduktion bei Einsatz von Besohlung.



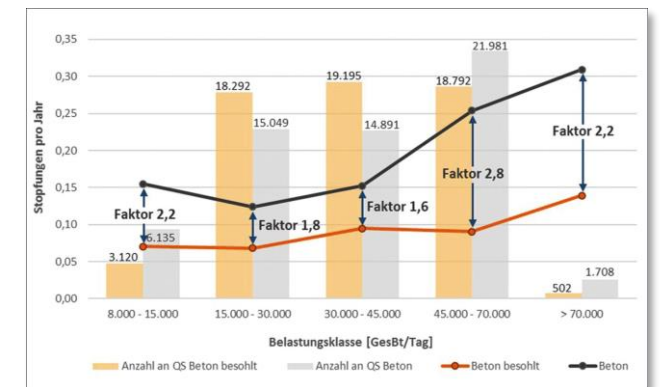
Welcher Typ Besohlung (elastoplastisch, elastisch, hochelastisch) ist optimal? – Insbesondere in Verbindung mit den gewählten Zwischenlagen. Untersuchung in Bezug auf Verschleiss und Schwingungsverhalten relevant.



ZEV Rail, 12/2023: Schotterschönung mit Schwellensohlen – unterschiedliche Wirksamkeiten bei gleichem Bettungsmodul



ZEV Rail, 08/2018: Effekte von Schwellenbesohlungen auf das langfristige Qualitätsverhalten des Gleises



# FAHRBAHNELEMENTE.

## Schwellen - Rahmensteifigkeit

### Entwicklungsstand

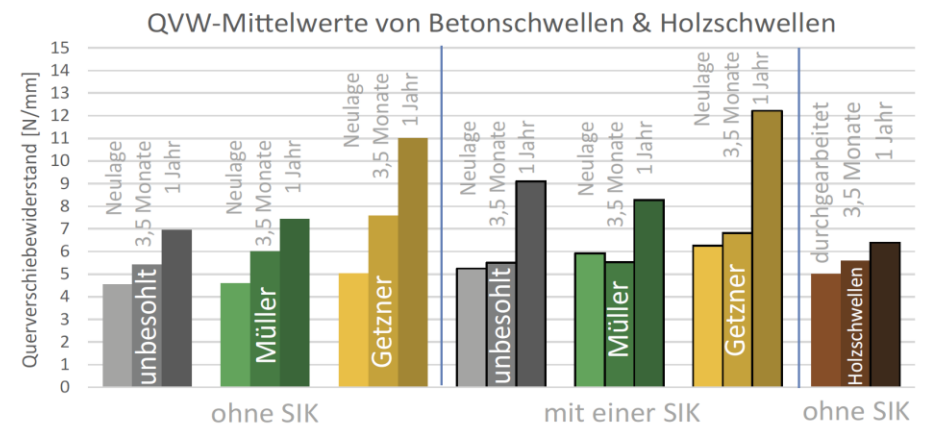
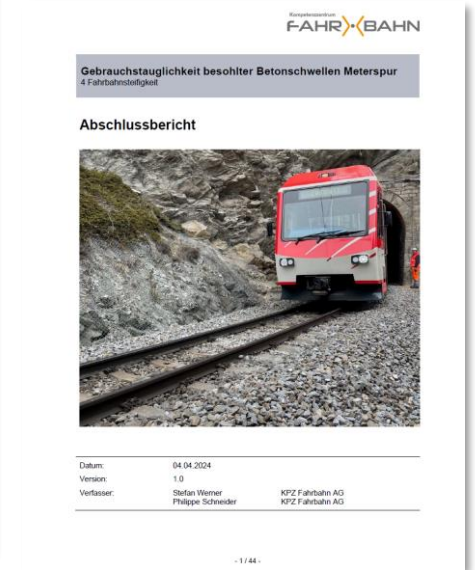
Labortests zu Querverschiebewiderstand (QVW) und Bogenatmung sowie Feldversuche:

- Braess insb. Vgl. Y-Schwelle, ZSX, HD-S, Beton konv.
- MGB/KPZ Analyse verschiedener Besohlungstypen im Bogen
- Universität Innsbruck Untersuchungen Mariazeller Bahn (760 mm) – Radius 89m

- „Höherer QVW und vor allem gleichmäßige Bogenatmung relevant für Langzeitverhalten von Bögen.“
- „<120m Radius Oberbau rahmensteif ausführen, ausser es kann ein dauerhaft und durchgehend hoher QVW erreicht werden.“
- „Hinsichtlich QVW und Bogenatmung verhalten sich unterschiedlichen Typen der Besohlung signifikant unterschiedlich – vor allem elasto-plastische Besohlungen (Fa. Getzner) weisen eine gleichmäßigere Bogenatmung und einen höheren QVW auf“
- „QVW bei richtiger Besohlung ohne Sicherungskappen höher als bei unbesohlenen Schwellen.“



Können besohlte Schwellen zusätzliche Massnahmen (Sicherungskappen, Stahlverbindung, ...) ersetzen?



ETR Austria, 09/2022: Universität Innsbruck mit Mariazeller Bahn

# FAHRBAHNELEMENTE.

## Schwellen – Überblick und Vergleich

	Lebensdauer	Lastabtragung	Rahmensteifigkeit	Bogenatmung	QVW	Kosten
Betonschwelle	👍	—	👎	👎	—	👍
Beton besohlt	👍	👍	🔍?	👍🔍	👍	👍
Stahlschwelle	👍	—	👎	👎	—	👎
Y Schwelle	👍	—	👍	👍	👍	👎
Holzschwelle	👎	👍	👎	👎	👎	—
Kunstholz FFU	👍	👍	👎	👎	👎	👎!
Kunststoff	🔍?	👍	👎	🔍?		🔍?

— Neutral  
 👍 Positiv  
 👎 Negativ  
 ? Ungeklärt  
 🔍 Aktueller Forschungsbedarf

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

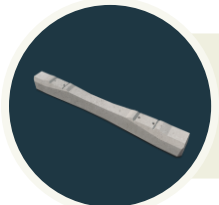
Betrachtete Elemente und Auswirkung



SCHIENE



STÜTZPUNKT (ZW)



SCHWELLE



SCHOTTER

LÄRM

VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE



### Eigenschaften

---

Sicherstellung der horizontalen und vertikalen Gleisstabilität.

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

Gewährleistet eine gute Drainage von Regenwasser im Oberbau.

Schotter ist druckfest, abriebfest und widerstandsfähig gegen Verwitterung.



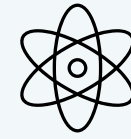
### Ausführung

---

Besteht aus scharfkantigen Körnern, die sich als Haufwerk gut verkeilen.

Typische Gesteinsarten für Schotter sind Basalt, Diabas, Granit, Melaphyr und Grauwacke.

Schweizer Kieselkalk eignet sich sehr gut für die Anwendung als Bahnschotter und kann im internationalen Vergleich als „sehr gut“ bezeichnet werden.



### Entwicklungen

---

Flächendeckende automatisierte Methoden, um Schotterzustand zu detektieren.

Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) benötigen, jährlich 670.000 t Schotter, wovon aktuell über 80% als Primärschotter (Neuschotter) bereitgestellt werden.

Eisenbahningenieur 07/2024, Hacker & Sauer (SBB), Schotterrecycling

# FAHRBAHNELEMENTE.

## Schotter



### Entwicklungsstand

„Schotterrecycling reduziert sowohl Treibhausgasbilanz als auch den Ressourcenbedarf signifikant.“

Neue Planungshilfe der SBB soll den Einsatz von Recycling (Aufbereitung an baustellenfernem Standort) und gereinigten Schotter (Aufbereitung auf der Baustelle) signifikant erhöhen.



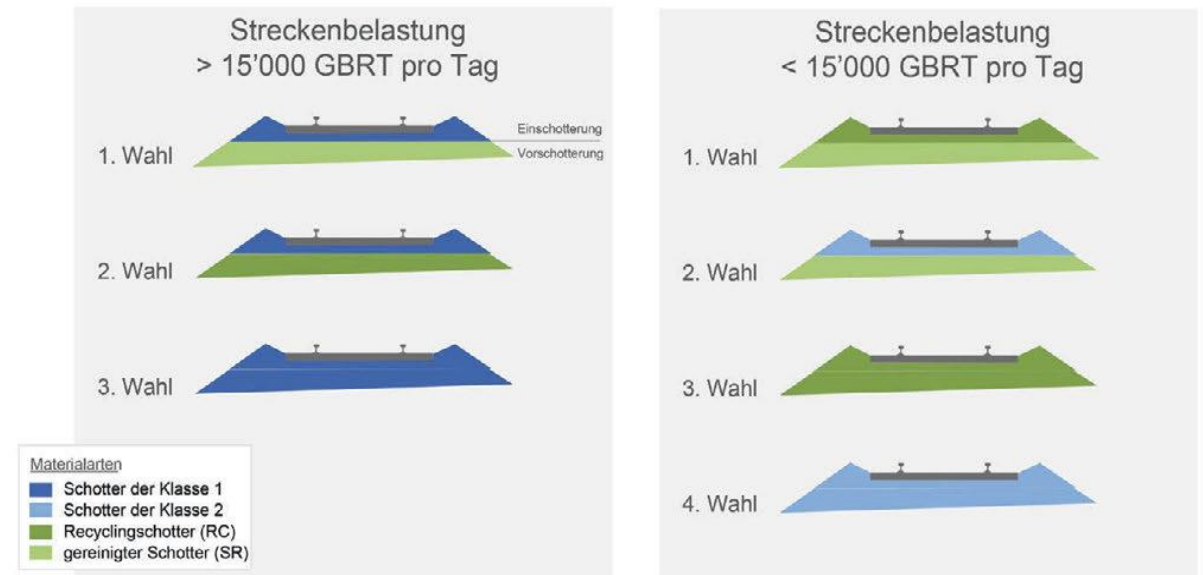
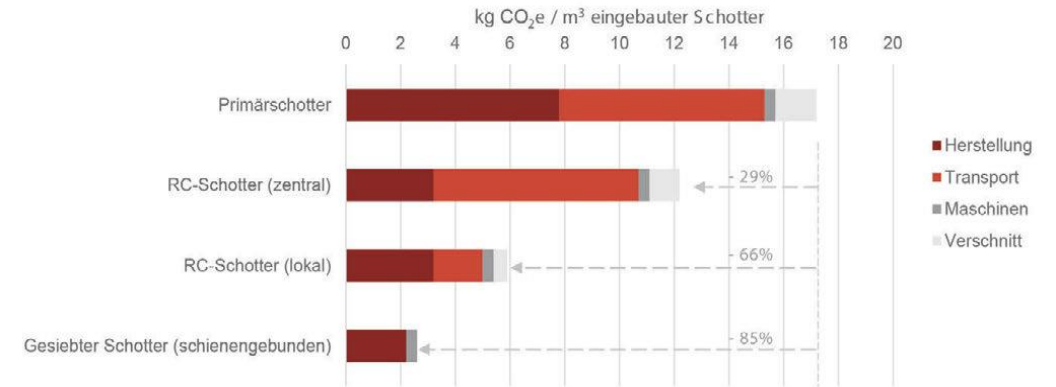
SBB will wiederverwendeten Schotter für Strecken unter 15.000 GBRT durchgehend einsetzen.

Bei Strecken > 15.000 GBRT soll dieser als Vorschotterung zum Einsatz kommen.



Recycling (bestenfalls direkt an der Baustelle) auch bei Schotterklasse 2 möglich?

Kreislaufwirtschaft „Schotter“ auch im Bauablauf bei Meterspur möglich?



# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

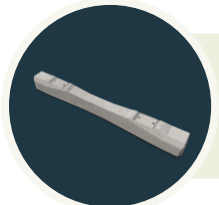
Betrachtete Elemente und Auswirkung



SCHIENE



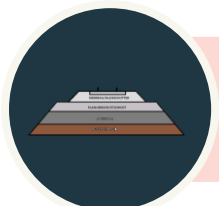
STÜTZPUNKT (ZW)



SCHWELLE



SCHOTTER



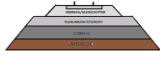
UNTERBAU/ UNTERGRUND

LÄRM

VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE



### Eigenschaften

---

Gewährleistung der Tragfähigkeit

Gewährleistung der Frostsicherheit

Wasserableitung

Trennwirkung (Verhinderung der Durchmischung von Bodenmaterial und Schotterbett – «Pumpeffekt»)



### Ausführung

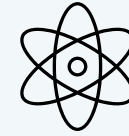
---

#### PSS:

Eine Schicht (Planumsschutzschicht), welche sowohl die Tragfähigkeit als auch die Wasserableitung sicher stellt.

#### AC Rail:

Besteht aus einer wasserdurchlässigen, tragfähigen Fundationsschicht, worauf eine bituminöse, wasserundurchlässige Sperrschicht aufgebracht wird. Die minimale Verformbarkeit ist laut AB-EBV mit 150 MN/m<sup>2</sup> begrenzt, um eine zu hohe Steifigkeit des Unterbaus zu verhindern.



### Entwicklungen

---

Flächendeckende automatisierte Methoden, um Unterbauzustand zu detektieren.

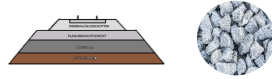
SBB testet Niedrigtemperaturasphalt (NTA):

- Frühere Freigabe.
- Keine Anpassung zu RTE 21110 nötig.
- Höhere Nutzungsdauer erwartet.
- Weniger Dämpfe vor Ort und Energieeinsparung bei Produktion.
- Leicht erhöhte Kosten, längere Mischzeit.

Vortrag Expertentagung Unterbau,  
Niklaus SBB, Luzern, 2023

# FAHRBAHNELEMENTE.

## Unterbau, Schotter

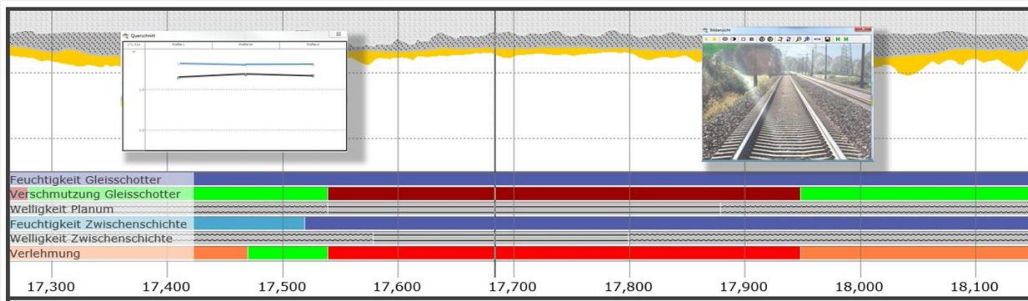


### Entwicklungsstand

Es sind bereits Verfahren zur flächendeckenden Einschätzung von Unterbau- und Schotterzustand vorhanden und eingesetzt.

### Georadar

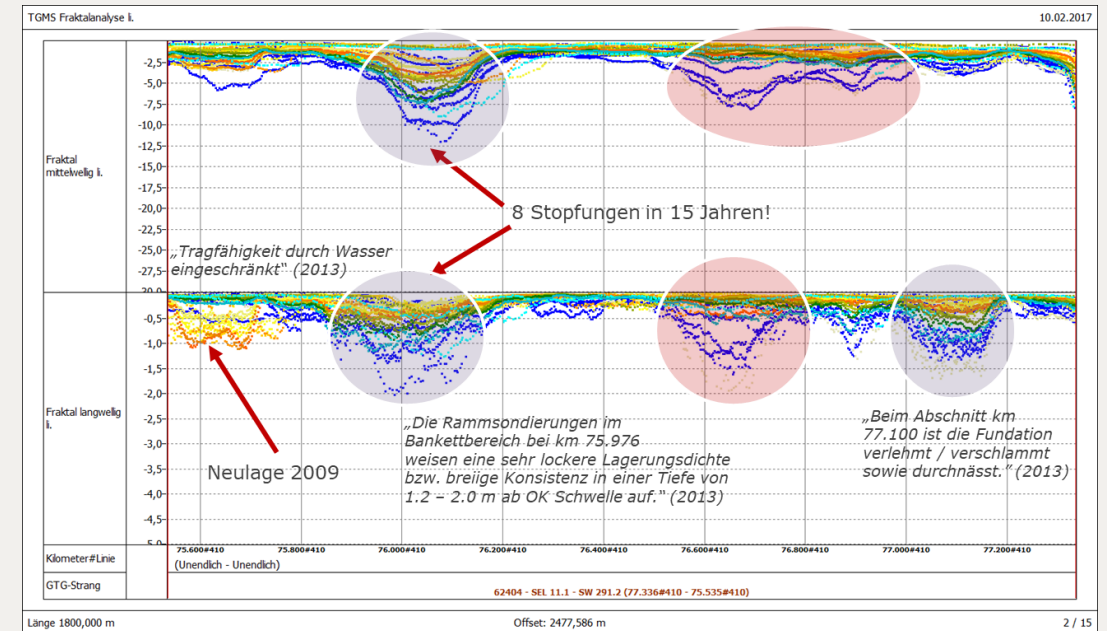
Hochfrequente elektromagnetische Wellen dringen in den Boden ein und reflektieren an Materialübergängen, wodurch ein detailliertes Bild der Schotterqualität, Unterbau- und Untergrundbeschaffenheit entsteht.



- 👍 Netzweite Messung möglich (System für 120 km/h ausgelegt)
- 👍 Genauigkeit und Aussagekraft (Feuchtigkeit, Verschmutzung, Schichttiefen)
- 👉 Separate Messung mit zusätzlichem Messsystem notwendig
- 👎 Messdatenanalyse noch sehr aufwendig (kostenintensiv)

## Fraktalanalyse der Gleisgeometrie

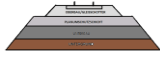
Ein innovativer Algorithmus identifiziert die Dominanz spezifischer Wellenlängenbereiche innerhalb des standardmäßig gemessenen Gleisgeometriesignals. Dadurch lässt sich die Beschaffenheit von Schotter- und Unterbauzustand abschätzen. (Beispiel Umsetzung in SBB SwissTAMP)



- 👍 Netzweite und objektive Einschätzung möglich
- 👍 Keine zusätzlichen Messungen zur Gleisgeometrie nötig
- 👍 Analyse erfolgt automatisiert – damit Verschlechterungsverhalten abbildbar
- 👉 Evaluiert generelle Beschaffenheit von Unterbau, Schotter – spezifische Aussagen zur Feuchtigkeit, Verschmutzungsgrad nur indirekt ableitbar.

# FAHRBAHNELEMENTE.

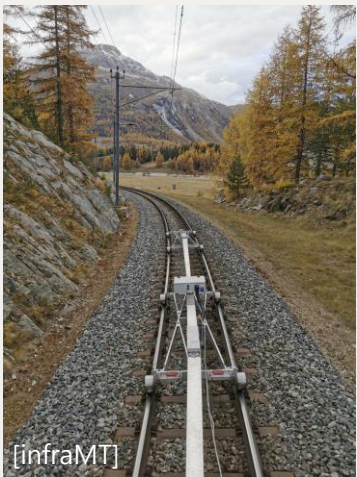
## Unterbau



## Entwicklungsstand

Im Rahmen der Erneuerungsplanung sind Feldmessungen jedenfalls als Ergänzung vorzusehen, um zu eruieren, ob eine Unterbausanierung im jeweiligen Abschnitt notwendig ist. Darüber hinaus kann mit diesen Erkenntnissen auch die spezifische Maschinenplanung der Erneuerungsmassnahme optimiert werden.

### Einsenkungsmessung



Messung der relativen Einsenkung zwischen belastetem und unbelastetem Gleis. Einsatzgebiete sind unter anderem die Oberbauabnahme, die Detektion von Steifigkeitssprüngen und Unterbauproblemen.

- 👍 Erkennung punktueller Steifigkeitssprünge
- 👍 Klare, objektive und vergleichbare Kennzahl
- 👉 Separate Datenquelle - Schnittstelle
- 👉 Evaluiert generelle Beschaffenheit – spezifische Ursache indirekt ableitbar.

### Gleisgebundene ME-Messung

Gleisgebundene und strukturierte Messung der Verformbarkeit (ME-Wert) des anstehenden Bodens zur Evaluierung, ob eine Unterbausanierung benötigt wird.

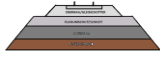
- 👍 Schneller als Sondage, engerer Raster möglich
- 👍 Klare, objektive und vergleichbare Kennzahl
- 👉 Nicht zerstörungsfrei; Empf. Nutzungsdauerende

### Sondage

Im Rahmen einer Sondage können die Schichtdicken, Bodentyp und Feuchtigkeitsgehalt bestimmt werden. Darüber hinaus können auch Einschätzungen zur Wiederverwendbarkeit (Kontamination) des Bodenmaterials getroffen werden.



- 👍 Hohe punktuelle Genauigkeit der Aussagekraft
- 👍 Gesamtheitliche Einschätzung der Expert:innen
- 👉 Zeitlich aufwendig, daher nicht netzweit.
- 👉 Interpolation zwischen den Sondagen.
- 👉 Nicht zerstörungsfrei; Empf. Nutzungsdauerende



## Unterbausanierung im Rahmen einer Erneuerung

Gemäss AB-EBV sollte – wenn möglich – im Erneuerungsfall AC-Rail eingebaut werden, sofern keine externen Randbedingungen wie beispielsweise (bau-)betriebliche Gründe und Zugänglichkeit dagegen sprechen.



Gemäss AB-EBV zu Art. 25 Ziff. 4.2.4 sind bereits Grenzwerte für die Verformbarkeit auf der Planie angeführt. Die maximale Verformbarkeit für Erhaltungsprojekte sind dabei belastungsabhängig wie folgt definiert:

E1, E2		$M_{E1}$ von 40 MN/m <sup>2</sup>
E3		$M_{E1}$ von 30 MN/m <sup>2</sup>
E4		$M_{E1}$ von 15 MN/m <sup>2</sup>

Werden diese Werte überschritten, ist keine Unterbausanierung notwendig. In jedem Fall sollte jedoch die Entwässerungsfähigkeit des Gleises (wieder)hergestellt werden!



Im Rahmen der Optimierung der Wirtschaftlichkeit des Systems, sollte jedenfalls eine Evaluierung des anstehenden Untergrundes im Vorfeld einer Erneuerungsmassnahme erfolgen. Damit kann eruiert werden, ob eine Unterbausanierung notwendig ist oder der anstehende Boden bereits eine ausreichende Tragfähigkeit besitzt.



Im Hinblick auf das Monitoring des Unterbauszustandes wird empfohlen, eine kontinuierliche Zustandsüberwachung auf Basis netzweiter und einfach durchführbarer Einschätzungen (bspw. Fraktalanalyse der vertikalen Gleisgeometrie) zu etablieren. Auf dieser Basis können frühzeitig Problemstellen erkannt und ggfs. weiterführende Untersuchungen eingeleitet werden. Im Rahmen der Erneuerungsplanung lässt sich auf dieser Basis bereits frühzeitig eine Abschätzung der sanierungsbedürftigen Abschnitte vornehmen, welche im weiteren Verlauf der Planungen durch Feldmessungen zu spezifizieren sind.

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

Betrachtete Elemente und Auswirkung



SCHIENE



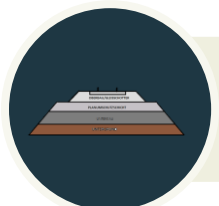
STÜTZPUNKT (ZW)



SCHWELLE



SCHOTTER



UNTERBAU/ UNTERGRUND

LÄRM

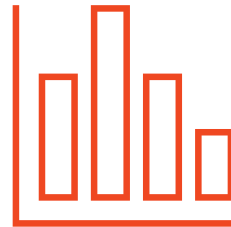
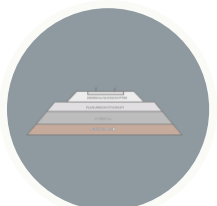
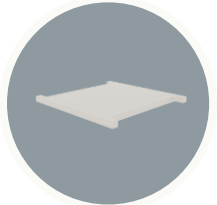
VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

## Betrachtete Elemente und Auswirkung



Signifikanzmatrix

Wie stark ist der Zusammenhang zwischen den einzelnen Komponenten und den untersuchten Auswirkungen?

Wie stark können wir die Auswirkungen mit den Elementen der Fahrbahn beeinflussen?

LÄRM

VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

## Signifikanzmatrix | Ausarbeitungen und Quellen



### Faktenblätter

Ausarbeitungen durch jeweils Verantwortliche zu unterschiedlichen Teilaspekten. Diese werden in Form von Faktenblättern dokumentiert.



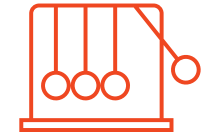
### Standardelemente

Im Rahmen des Verschleissfaktors wurden durch die TU Graz auch Standardelemente erarbeitet. Diese zeigen den Zusammenhang eingesetzter Komponenten und örtlicher Randbedingungen (Belastung, Radius) mit dem technischen Fahrbahnverhalten.



### Expert-Know-How

Im Rahmen der Erarbeitung „Fahrbahnformen“ wurden auch Expertengespräche mit den jeweiligen Wissensträgern durchgeführt, um die gesamte Erfahrung sowie das Wissen aus P4 einfließen zu lassen.



### Fahrbahnmodelle

Relevante Erkenntnisse werden auch in den Fahrbahnmodellen gewonnen. Diese werden seitens ViF (Lärm, Schienenverschleiss) und Baugrund Dresden (Unterbauverhalten) erarbeitet. Finale Ergebnisse sind hier 2025 zu erwarten.

Die aktuellen Ausarbeitungen beinhalten den Wissensstand 02/2025. Insbesondere die Fahrbahnmodelle sind noch in Erarbeitung bzw. finden 2025 die Parametervariationen statt. Danach könn(t)en die Erkenntnisse weiter detailliert werden.

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

## Signifikanzmatrix | Ausarbeitungen und Quellen

### Faktenblätter



#### RAILplus P4 Fahrbahnsteifigkeit

#### Faktenblatt Fahrbahnmodell Lärm

##### Änderungsverzeichnis

Version	Datum	Verantwortlich	Beschreibung
0.1	27.04.2023	Siegen M.	Erstellung Faktenblatt
1.0			Schadenrengung und Freigabe durch Techn. Projektleiter und Faktorverantwortlicher

##### Status Faktenblatt

Nicht begonnen, in Arbeit, abgeschlossen, Freigegeben

APV = Arbeitspaket Verantwortlicher (Datum = Abschluss der Tätigkeit)

1.1 Stückliste 1.2 Brodlog APV 2.1 Auftragsklärung 3.1 Lieferobjekte Bemerkungen

**In Arbeit**

##### Angaben zu Vorlage

Datum / Status: 19.09.2023 / Entwurf

Verfasser: Albin Geheger, Appenzeler Bahnen

Geprüft:

Freigegeben:

### Standardelemente Meterspur (Unterhaltsaufwand bei unterschiedlichen Parameterkombinationen)

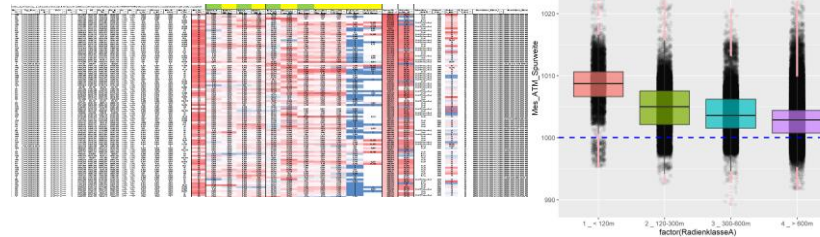
Kunvenradius R >= 500m	RAILplus																													
	Schienenprofil	Schienenstahlgüte	Unterbau	Entwässerung																										
	Holz	R260	Unbekannt	gut/funktioniert																										
Nutzungsdauer	30,0																													
	0,0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
alle x Jahre	4,3																													
Anzahl während der ND	9	1	1																											
Anzahl während der ND	0,0																													
Anzahl während der ND	10,0																													
Anzahl während der ND	0,0																													
Anzahl während der ND	0,0																													
Anzahl während der ND	3,0																													
Anzahl während der ND	0,0																													
Anzahl während der ND	0,0																													
Anzahl während der ND	6																													

- 1 EINGABE DER PARAMETER FÜR DAS STANDARDELEMENT (A5, B5, A7, B7, C7, D7, H7, K7)
- 2 WAHL DER NEULAGENART IN ZELLE A9
- 3 EINGABE DER NUTZUNGSDAUER IN JAHREN IN ZELLE C8 (die Tabelle erscheint dann automatisch)
- 4 EINGABE DER FREQUENZ DER INSTANDHALTUNGSARBEITEN IN DER TABELLE

### Stationäre Messungen



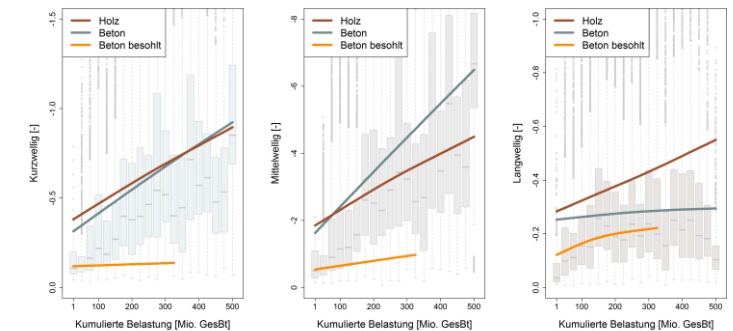
### Messdatenauswertungen



### Simulationen




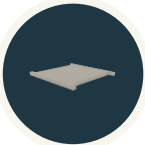


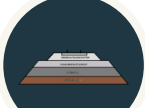
### Erfahrungen Normalspur



# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

## Signifikanzmatrix | Ausarbeitungen und Quellen

Die Ergebnisse der Signifikanzmatrix zeigen, dass sich Lärm und Schienenverschleiss insbesondere durch Schienen- und Zwischenlagenwahl beeinflussen lassen. Erschütterung und Gleislage durch Wahl und Dimensionierung von Zwischenlagen, Schwellen, Schotterbett und Untergrund.

	Lärm (Kurvenkreischen)	Lärm	(Schienen-) Verschleiss	Erschütterung	Gleislage (Komp.-Verschleiss)
 Profil	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0
Güte	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0
 Zwischenlagen	0,5	2,0	2,0	0,5	2,0
Schwellentyp	0,5	0,5	1,0	1,5	2,0
 Besohlung weich	0,0	0,0	0,5	2,0	2,0
Besohlung steif	0,0	0,0	0,0	0,5	2,0
 Schotterbett	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0
Unterschottermatte	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0
 Unterbau/Untergrund	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0

2 Signifikanter Einfluss

1 Indirekter Einfluss bzw. bei spezifischen Randbedingungen

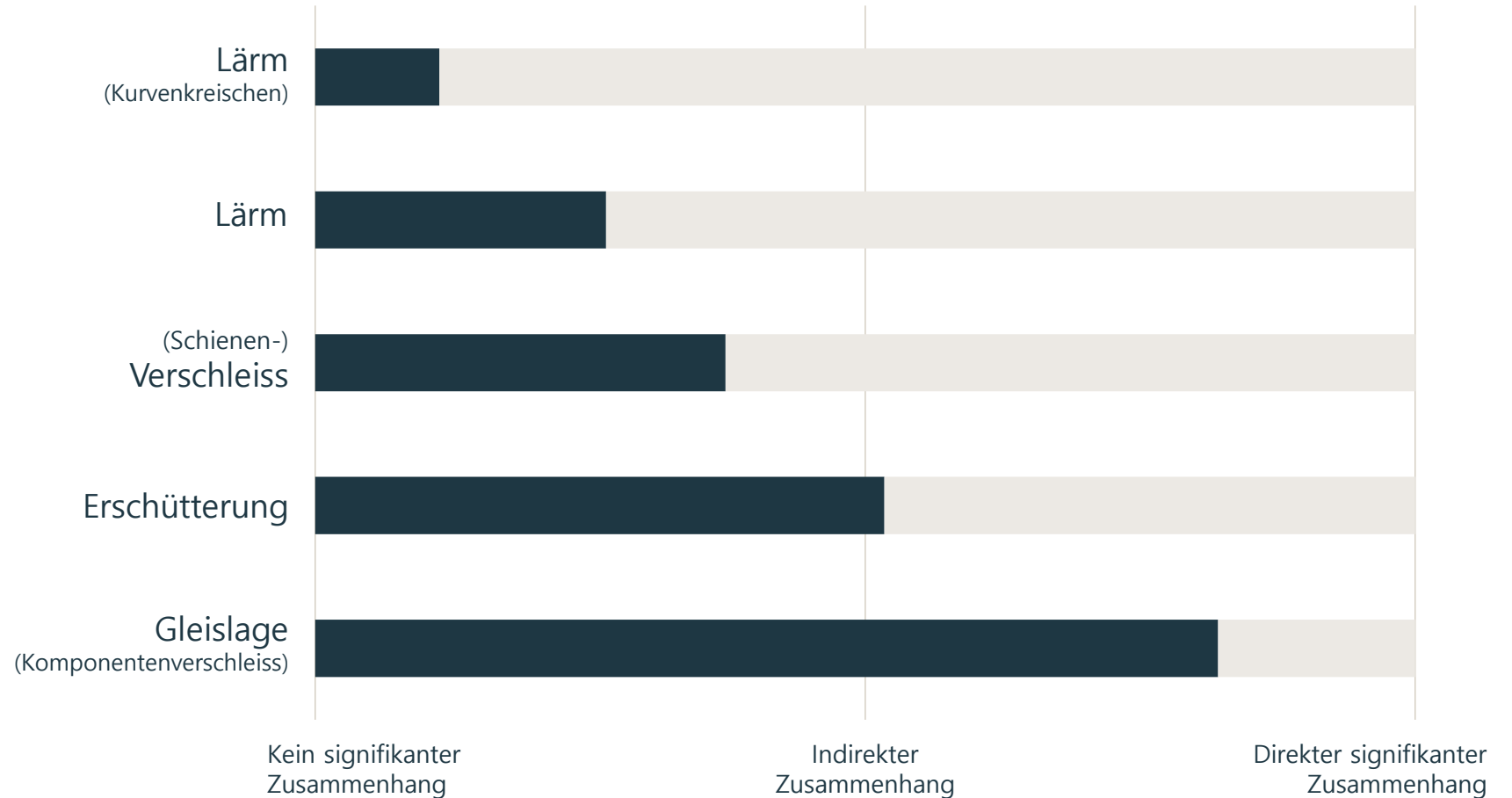
0 Kein direkter signifikanter Einfluss

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

## Signifikanzmatrix | Ausarbeitungen und Quellen

Generell lässt sich mit der Wahl und Dimensionierung von Fahrbahnkomponenten massgeblich die Gleislage (Komponentenverschleiss) und die Erschütterung beeinflussen.

Darüber hinaus auch die Bildung des Schienenverschleiss und Lärm (Schienensingen). Das Kurvenkreischen lässt sich durch die Komponentenwahl der Fahrbahn nur sehr unwesentlich beeinflussen.



# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

Betrachtete Elemente und Auswirkung



SCHIENE



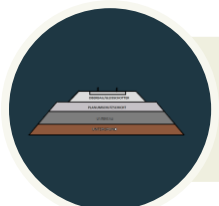
STÜTZPUNKT (ZW)



SCHWELLE



SCHOTTER



UNTERBAU/ UNTERGRUND

LÄRM

VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

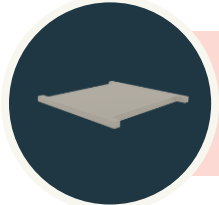
GLEISLAGE

# RAILPLUS | ÜBERBLICK P4.

Betrachtete Elemente und Auswirkung



SCHIENE



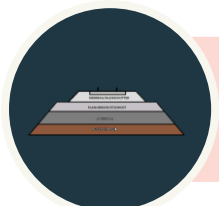
STÜTZPUNKT (ZW)



SCHWELLE



SCHOTTER



UNTERBAU/ UNTERGRUND

LÄRM

VERSCHLEISS

ERSCHÜTTERUNG

GLEISLAGE

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

## Inhaltsverzeichnis



- 1. Ausgangslage**
- 2. Typische Schädigungen in der Fahrbahn**
- 3. Zwischenlagen**
- 4. Schwellen**
- 5. Schotter**
- 6. Entwässerung**
- 7. Unterbau**
- 8. Zusammenfassung und Ausblick**

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

## Ausgangslage

### Schädigungen an der Fahrbahn

- verschlechtern Gleislage
- verursachen Unterhalt
- reduzieren Lebensdauer
- können vorzeitigen Ersatz der Komponenten verursachen



### Wichtig!

- ✓ Mängel und ihre Ursachen erkennen
- ✓ Möglichkeiten der Behebung der Schädigungen kennen
- ✓ LCC-Optimierung durch richtige Massnahme zum richtigen Zeitpunkt

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

Typische Schädigungen an der Fahrbahn

## Abgrenzung

- Schädigungen an der Schiene -> Behandlung in Block 3
- Fokus auf folgende Komponenten der Fahrbahn
  - Zwischenlagen
  - Schwellen
  - Schotter
  - Entwässerung
  - Unterbau

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

## Schienenbefestigung

### Zwischenlagen



Mögliche Fehlerbilder	Mögliche Ursachen	Massnahmen zur Behebung
Zwischenlage defekt oder verschoben Änderung der Schienenneigung	Überbeanspruchung in engen Bögen	Auswechslung

### Empfehlungen:

- Auf Beanspruchung in engen Bögen abgestimmte Schienenbefestigung einbauen
- Zwischenlage rechtzeitig wechseln, um Schädigung der Schwelle zu vermeiden

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

## Schwellen

### Betonschwellen



Mögliche Fehlerbilder	Mögliche Ursachen	Massnahmen zur Behebung
Risse	Verschleiss, keine Vorspannung (erste Generation)	Ev. Spurstangen einbauen, (Einzelschwellen ersetzen), Erneuerung

### Empfehlungen:

- Vorgespannte Betonschwellen mit Ringdübelarmierung einbauen (bei heutiger VöV-Schwelle gewährleistet)

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

## Schwellen

### Holzschwellen



Mögliche Fehlerbilder	Mögliche Ursachen	Massnahmen zur Behebung
Lockere Schrauben Rippenplatten eingefressen Fäulnis Änderung der Spurweite und Schienenneigung	Alterung Schlechte Imprägnierung	Einzelauswechslung, Schraubenlochanierung Spurkorrektur Erneuerung

### Empfehlungen:

- Auf Einbau von Holzschwellen verzichten

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

## Schwellen

### Stahlschwellen



Mögliche Fehlerbilder	Mögliche Ursachen	Massnahmen zur Behebung
Risse Korrosion	Verschleiss, Ermüdung Feuchtigkeit, Tausalz	Einzelauswechslung, Erneuerung

### Empfehlungen:

- Bei erhöhter Feuchtigkeit und Auftreten von Tausalz alternative Schwellen z.B. Betonschwellen einbauen

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

Schotter

## Schotterprofil



Mögliche Fehlerbilder	Mögliche Ursachen	Massnahmen zur Behebung
Ungenügendes Schotterprofil Schotterfliessen	Zu wenig Schotter Schwingungen im Gleisrost bei schlechtem Untergrund	Geschwindigkeitsreduktion Gleisperrung (bei Verwerfung) Ergänzung Schotterprofil Verdichtung

### Empfehlungen:

- Erforderliches Schotterprofil gewährleisten
- Bei schlechtem Untergrund Unterbausanierung im Rahmen der Fahrbahnerneuerung anstreben
- Rahmensteifigkeit erhöhen bei wiederholter Verwerfungsgefahr

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

Schotter

## «Weisse Stellen»



Mögliche Fehlerbilder	Mögliche Ursachen	Massnahmen zur Behebung
Weisse Stellen	Unstetigkeiten an der Schienenoberfläche führen meist zu Bewegungen zwischen Schwelle und Schotter (Hohllagen) und damit zur Auflockerung des Schotters und Schotterabrieb	Ursache beheben Stopfen

➡ siehe auch Vortrag M. Loidolt

# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

## Entwässerung



Mögliche Fehlerbilder	Mögliche Ursachen	Massnahmen zur Behebung
Feuchte Stellen Stehendes Wasser Pflanzenbewuchs	Unzureichende Entwässerung Verstopfte oder schlecht unterhaltene Entwässerung	Leitungen spülen Entwässerung sanieren

### Empfehlungen:

- Funktionierende Gleisentwässerung sanieren oder einbauen



# SCHÄDIGUNGEN DER FAHRBAHN

## Zusammenfassung und Ausblick

- ✓ Nur ein Ausschnitt von typischen Schädigungen an der Fahrbahn aufgezeigt
- ✓ Ursache bekämpfen mit guter Einbauqualität z.B. Unterbauzustand besser kennen (geotechnische Untersuchungen)
- ✓ Mängel sollten rechtzeitig erkannt und behoben werden
- ✓ Schädigungskatalog RAILplus soll dafür eine wichtige Hilfe bieten

LO 2025 P4.2 Fahrbahn - Schädigungskatalog Technischer Bericht RAILplus  
Seite 10 / 43

### 2.1.1 Gleisverwerfung und Gleisverdrückung (Fehlercode F-101)

<b>Merkmal</b>	Eine Gleisverwerfung oder Gleisverdrückung ist eine unerwartete Positionsänderung eines Gleises, die ohne Vorwarnung auftritt.	
<b>Bildliche Darstellung</b>		
<b>Verortung</b>	Bereiche mit hohem Risiko sind lückenlose Abschnitte mit kleinen Radien, starken Längsneigungen oder Neigungsunterschieden (Wannen) sowie Abschnitte mit unterschiedlichen Schienentemperaturen und Abschnitte mit Festpunkten.	
<b>Unterscheidung</b>	Gleisverwerfungen und Gleisverdrückungen lassen sich auch mittels Gleislageparametern beschreiben. Die Gleislageparameter Richtung, Überhöhung, Verwindung und Längshöhe sind gesamthaft zu betrachten (siehe Abschnitt 2.1.2).	
<b>Mögliche Ursache</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- schlechter Untergrund</li> <li>- schlechter Oberbau</li> <li>- schlechte Neutralisation</li> <li>- hohe Schienentemperaturen</li> </ul>	
<b>Empfehlung</b>	Gleisverwerfung Querverschiebungen > 50 mm	Sofortige Gleissperrung (Empfehlung R RTE 22541)
R RTE 22541 [2]	Gleisverdrückung Querverschiebungen ≤ 50 mm	Geschwindigkeitsreduktion (Empfehlung R RTE 22541)

# Einstieg Fahrbahnelemente Auswirkungen

Matthias Landgraf  
Peter Güldenapfel

Schulung RAILplus P4  
03./04. April  
Fribourg, CH

