

25.09.2023

# Fahrbahnsteifigkeit 2023

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug - Fahrweg



**RAILplus**  
Interaction



# Projektauftrag

Projekt P4

Fahrbahnsteifigkeit

# Ausgangslage Meterspurbahnen

## Häufung von Problemen an der Schnittstelle Fahrzeug - Fahrweg

Zahlreiche Meterspurbahnen stellen in den letzten Jahren eine Häufung von Problemen im Interaktionsbereich fest:

- Fahrwegschäden und –Verschleiss
- Fahrzeugschäden und – Verschleiss
- Emissionen (Lärm / Erschütterung)

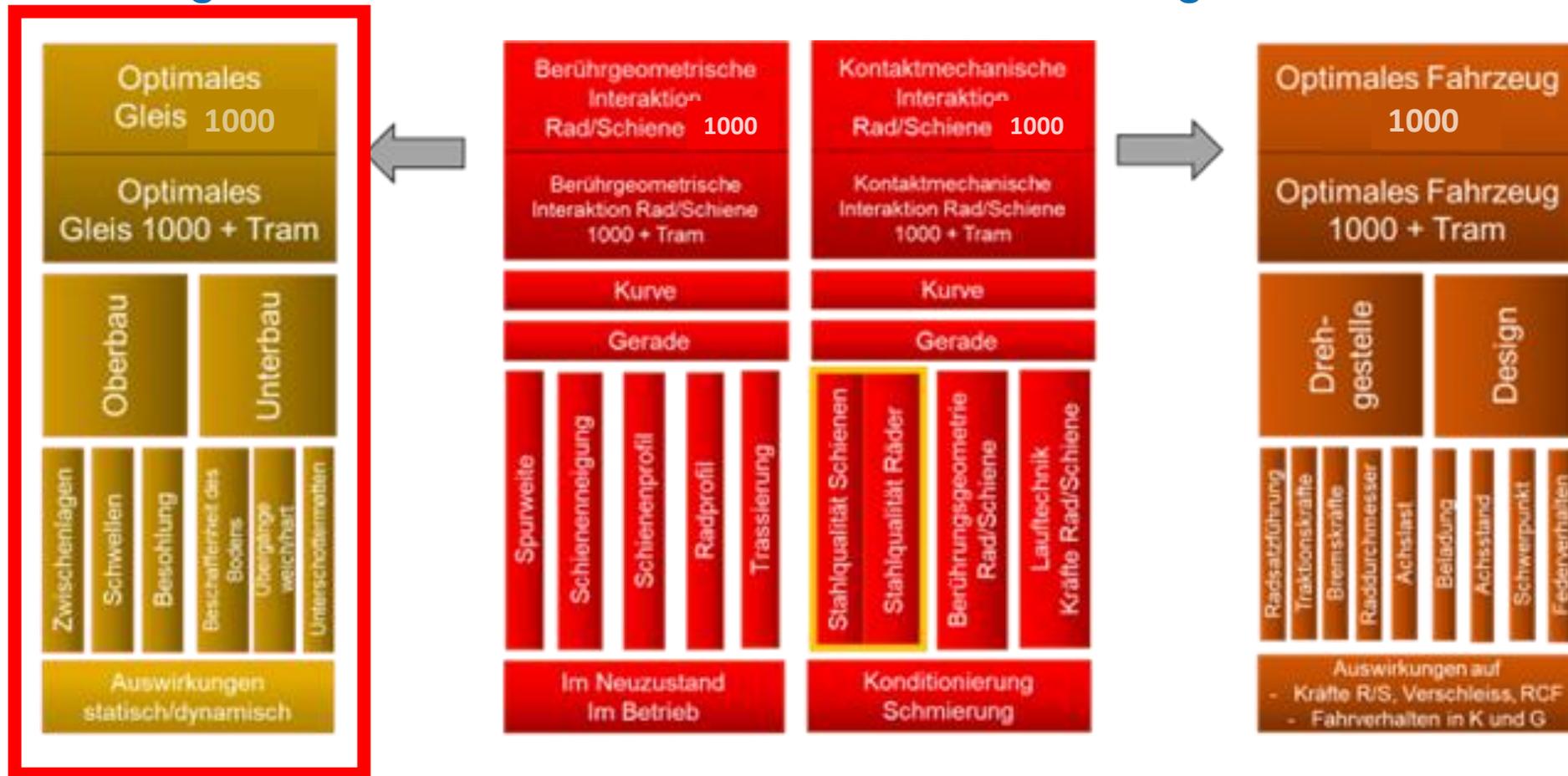
### Konsequenzen

- Hohe Systemkosten, steigend
- Verfügbarkeitsprobleme
- Anwohnerreklamationen



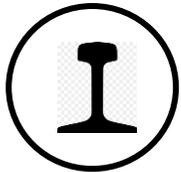
# Einbettung im Gesamtsystem

## Fahrbahnsteifigkeit – Interaktion Rad-Schiene - Fahrzeug

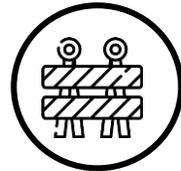


# Übergeordnete Ziele

## Schwerpunkte des Forschungsprogramms Bahninfrastruktur



Verschleissoptimierter Bahnbetrieb



Verbesserung beim Substanzerhalt der Bahninfrastruktur



Kostenoptimierung (Betrieb, Unterhalt oder Ausbau der Bahninfrastruktur)



Verbesserung der Umweltverträglichkeit der Bahninfrastruktur

# Ziele Fahrbahnsteifigkeit

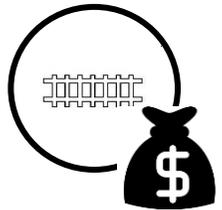
## Einbettung im Gesamtsystem



Grundlagenwissen zur Kausalkette Einwirkungen – Beanspruchung – Materialreaktion zusammentragen, fehlendes Wissen lokalisieren



fehlendes, notwendiges Wissen erarbeiten. Wissenslücken schliessen



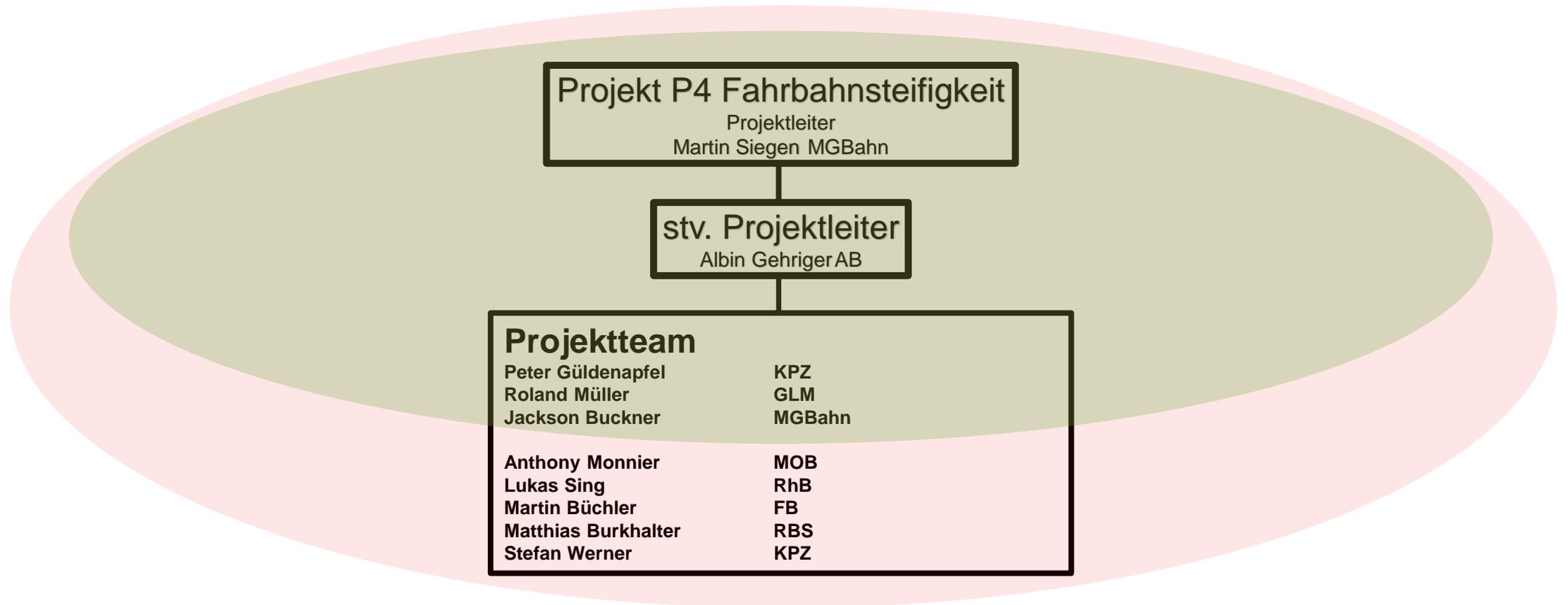
Erkennen der Grenzen und des Optimierungspotenzials bei der Fahrbahngestaltung; Qualität der Fahrbahn erhöhen, unter der Prämisse der Wirtschaftlichkeit, Best Practice



Erstellung von Regelwerken für die praktische Anwendung bei den Bahnen sofern dies nicht durch vorhandene Regelungen/Verordnungen bzw. Normen und Regelwerke/Weisungen international und national abgedeckt ist. Die Übertragbarkeit der Letzteren auf die Meterspur ist zu validieren.

# Organisation Projekt P4

## Organigramm



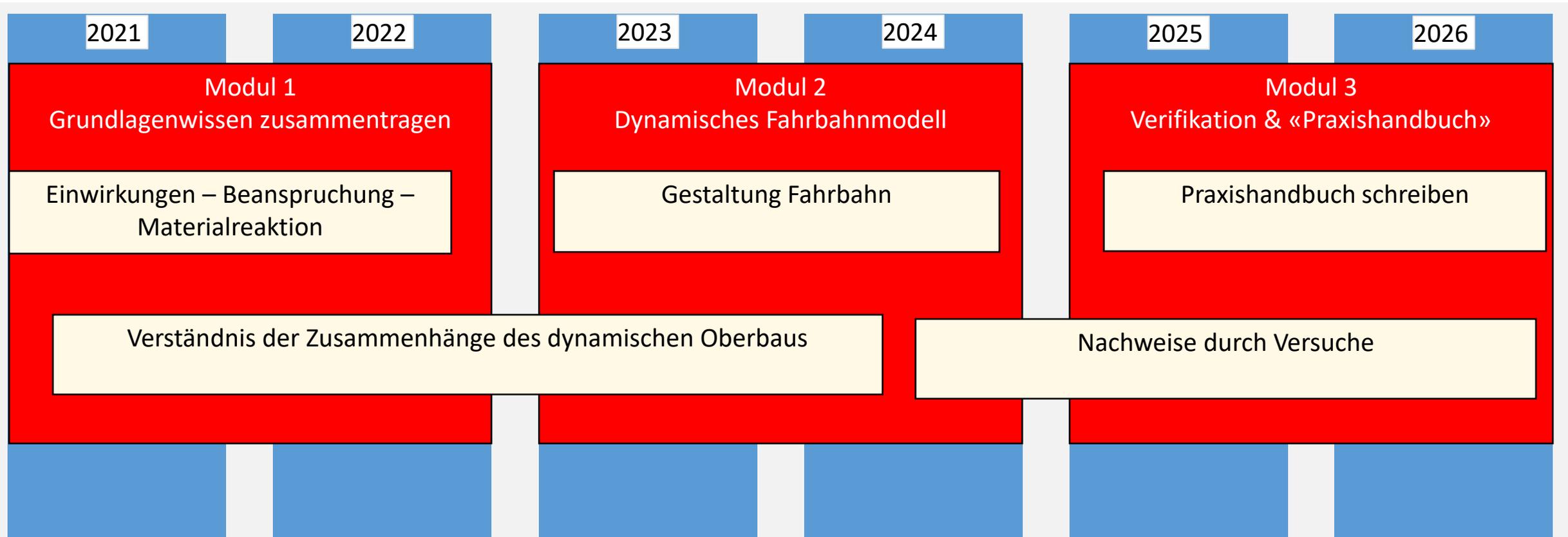
# Roadmap

## Projekt P4

### Fahrbahnsteifigkeit

# Roadmap

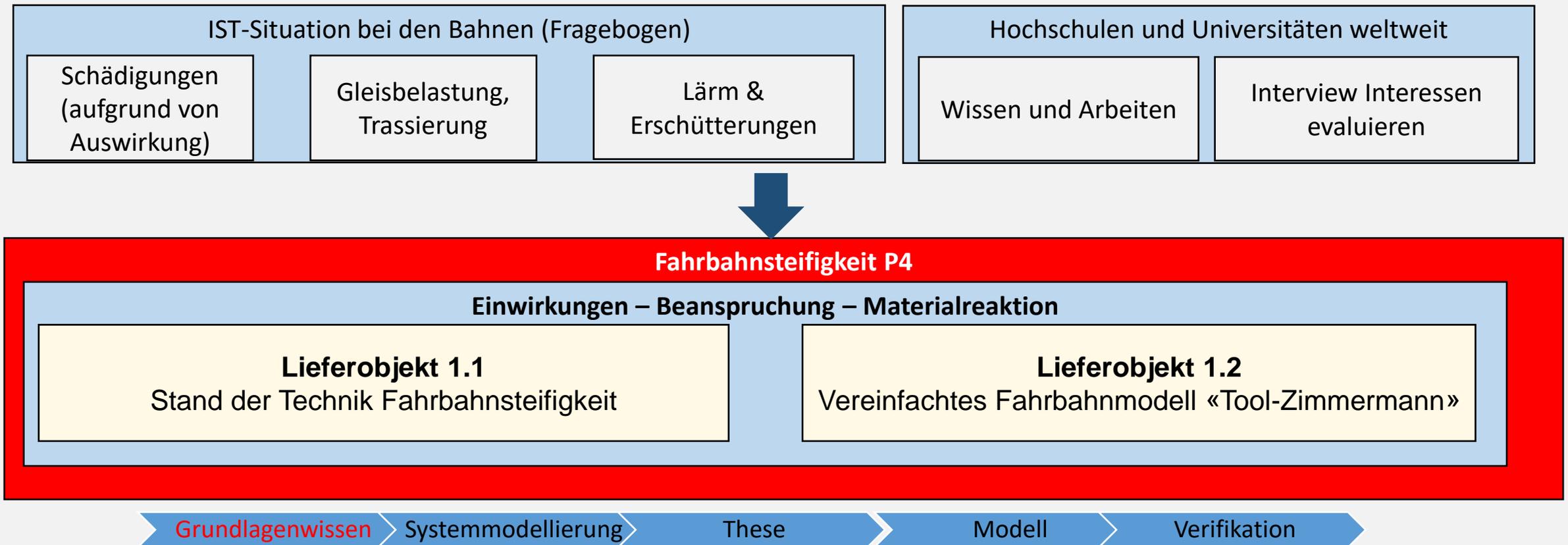
## Gesamtübersicht



 Phasenziele aus dem Projektauftrag

# Roadmap

2021 -2022



# Roadmap

2023



## Lieferobjekt 1.3

Individuelle, schriftliche Kommunikation des "Stand der Technik" Berichts und des Zimmermannmodells an die Meterspurbahnen. Kritische Würdigung des Berichts «State of the Art P4 Fahrbahnsteifigkeit durch TU München

# Roadmap

2023

Einwirkungen – Beanspruchung – Materialreaktion



Grundlagen dynamisches Fahrbahnmodell

Verständnis der Zusammenhänge des dynamischen Oberbaus

Zusammenarbeit mit: Hochschulen / Universitäten /  
Forschungsinstituten / Unternehmungen aufbauen

Systemparameter

Dämpfung

Dynamische Effekte

Vertikalsteifigkeit

Veränderung V-St.k. im Längsverlauf

Lieferobjekt 2.1

Evaluationsbericht zur Anwendbarkeit des TU  
Graz Verschleissfaktors bei den  
Meterspurbahnen

Lieferobjekt 2.2

Erstellung der zu untersuchenden  
Fahrbahnformen und den entsprechenden  
Gleistoleranzfelder mit Bewertung

Grundlagenwissen

Systemmodellierung

These

Modell

Verifikation

# Roadmap

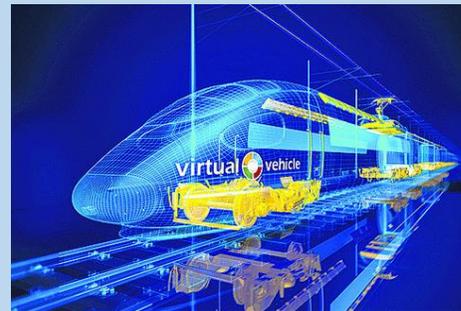
2024

Grundlagen dynamisches Fahrbahnmodell



Erstellen Fahrbahnmodell Vif

Standardelemente Fahrbahn  
Dämpfungselemente  
Erfahrungen



**Lieferobjekt 2.3**

Kommunizieren der Ergebnisse aus 2023 zur Einteilung der Standardelemente.

**Lieferobjekt 2.4**

Erster Prototyp des dynamischen Fahrbahnmodells erstellt.

**Vademecum Fahrbahn**  
Praktisches Handbuch, Anwendung, Unterhalt

Grundlagenwissen

Systemmodellierung

These

Modell

Verifikation

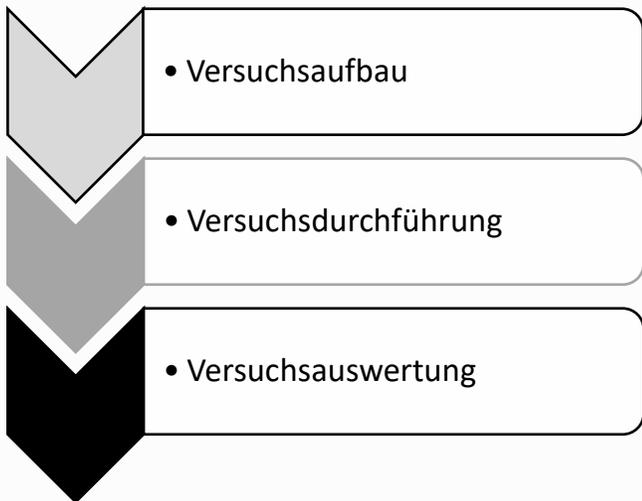
# Roadmap

2025

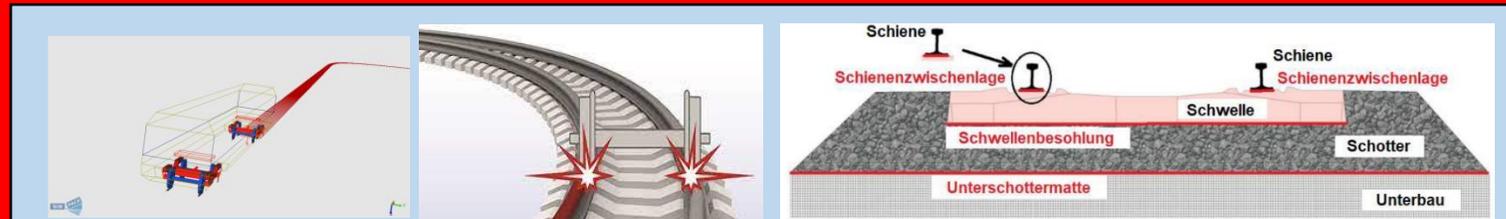
Dynamisches Fahrbahnmodell



## Nachweise durch Versuche



## Verifikation, Datenanalyse



optimale System, Wirtschaftlichkeit,  
Optimierungspotenzial

Grundlagenwissen

Systemmodellierung

These

Modell

Verifikation

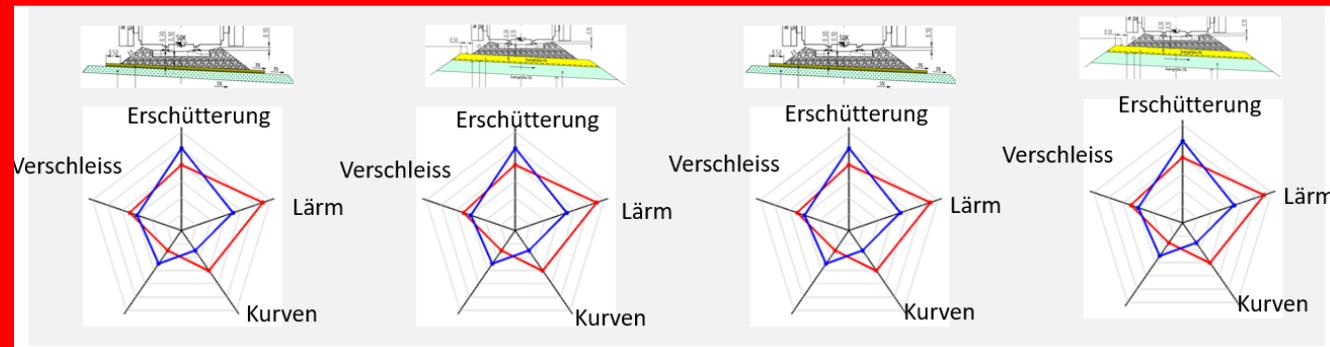
# Roadmap

2026

Datenanalyse, Wirtschaftlichkeitsrechnung



## Kochbuch Best Practice



# **Erkenntnisse**

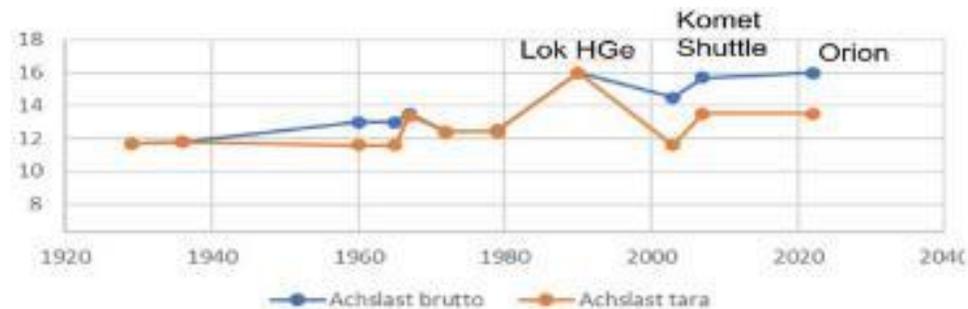
## **Projekt P4**

### **Fahrbahnsteifigkeit**

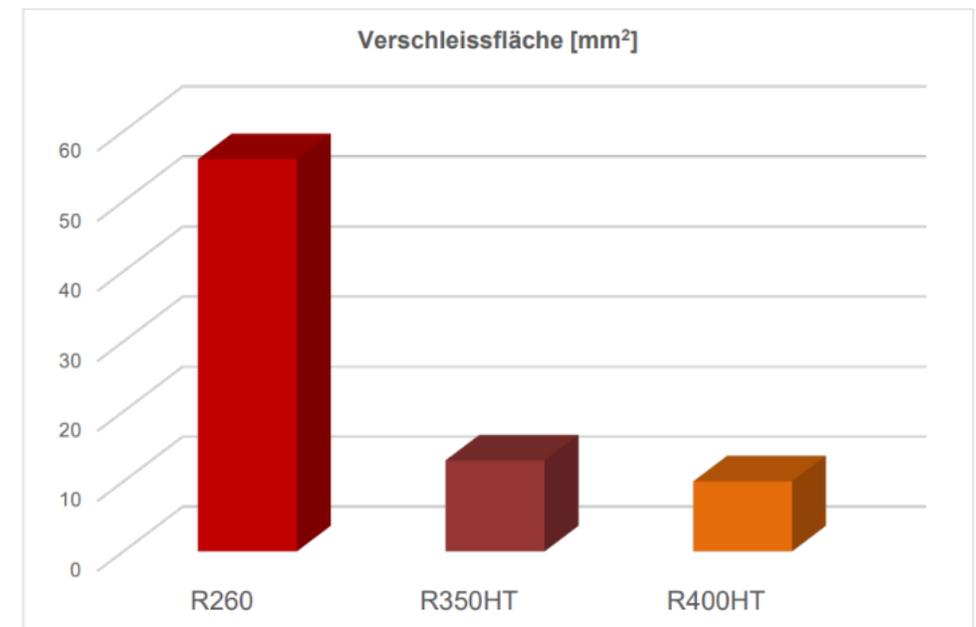
# Erkenntnisse

## Fahrbahn

- Belastungen bei den meisten Bahnen zugenommen (Achslast, BT)



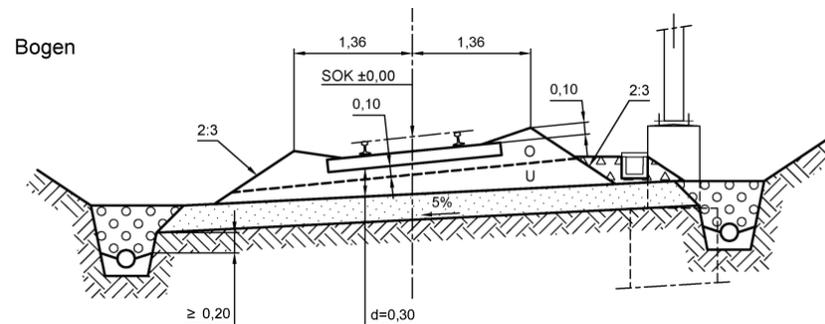
- Kopfgehärtete Schienen (350HT, 400HT) verringern Verschleiss und Schlupfwellenbildung
- weiche Zwischenlagen (stat. Federziffer <math><150 \text{ kN/mm}</math>) verringern den Verschleiss, erhöhen den Lärm



# Erkenntnisse

## Fahrbahn

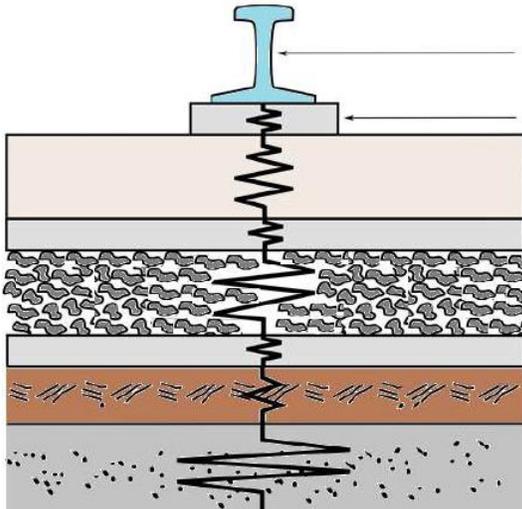
- Besohlte Betonschwellen (plastisch) verbessern die Gleisqualität
- Bei höheren Belastungen ist ein tragfähiger Unterbau aus AC-Rail die wirtschaftlichste Lösung
- Funktionierende Entwässerung



# Erkenntnisse

## Fahrbahn

- Messwagen erhöht Sicherheit, zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie
- Dynamisch muss die Fahrbahn als Gesamtsystem betrachtet werden



# **Aktivitäten**

## **Projekt P4**

### **Fahrbahnsteifigkeit**

# Aktivitäten

## Forschungsbedarf / Vorgehen



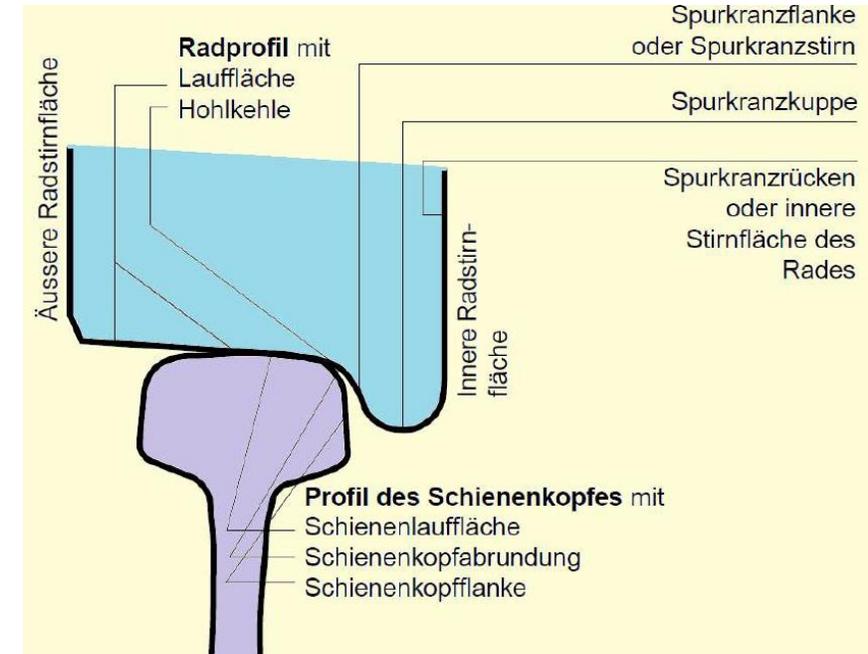
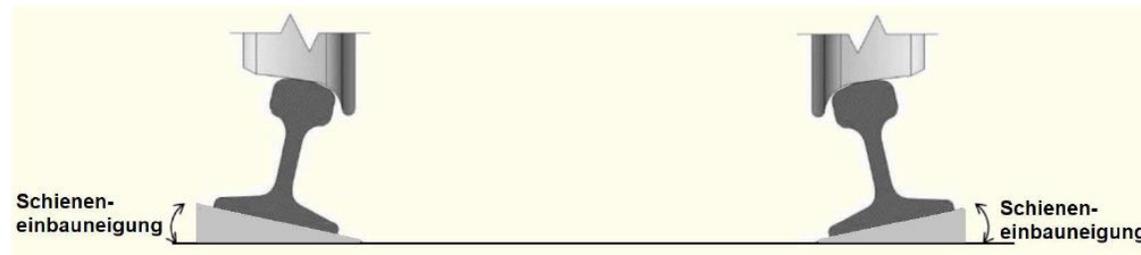
# Aktivitäten

VIF, P3, P2

Geometrische Interaktion,

Berührgeometrische Interaktion

- > Radprofil auf SBBI optimiert
- > Schienenneigung
- > Toleranzen Schienen
- > Abnutzung Grenzwerte
- > Verdrehung durch Zwischenlagen, Klemmen
- > Spurweite (Gerade, Kurve)



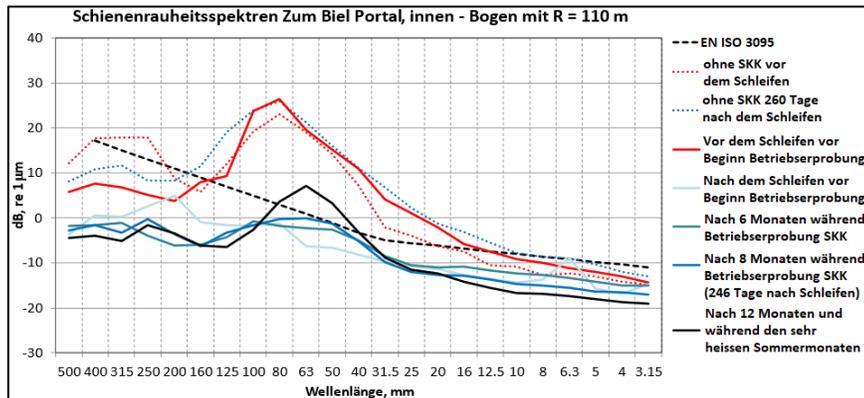
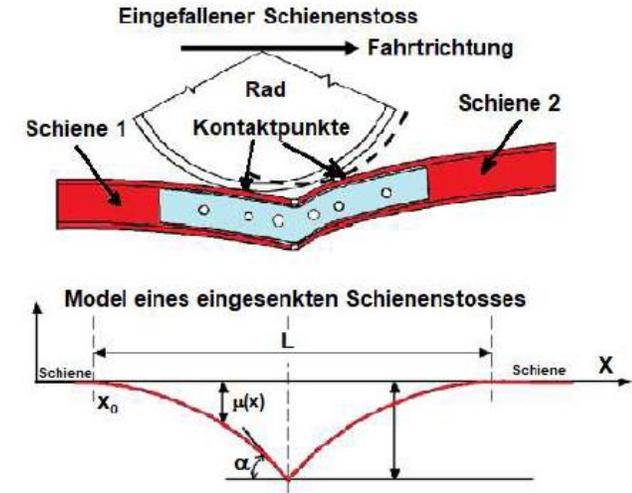
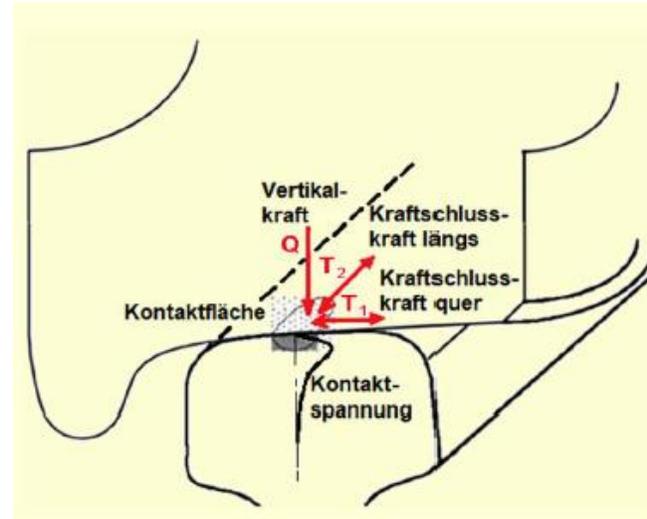
# Aktivitäten

VIF, P3, P2

Kontaktmechanische Interaktion

- > Schienenhärte
- > Schienenrauheit
- > Vertikalkraft

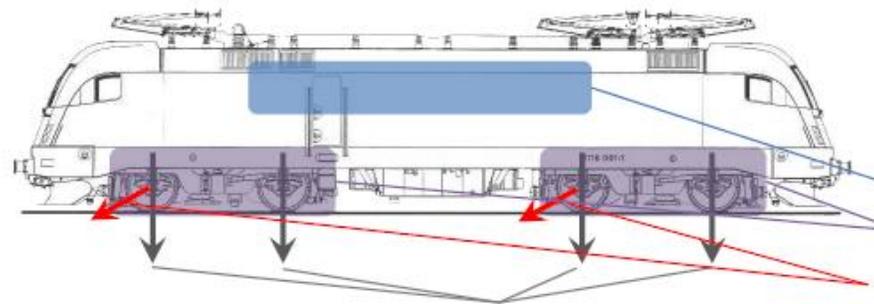
- ⇒ Verschleiss
- ⇒ Unterhalt



# Aktivitäten

## Kosten Fahrbahn in Abhängigkeit des Fahrzeugs

### Verschleissfaktor Fahrbahn



Fahrzeug

$T_{pv}$  (installierte) Leistungsdichte der Schiene

$W_{bR}$  Reibenergie durch Rad-Schiene-Kontakt

$Y_{R=185m}$  Führungskraft (Weichendurchfahrt)

$P_{2,v}$  dynamische Radkraft (statische Radkraft, ungefederte Massen, Geschwindigkeit)

$$C_V = k_1 \times P_{2,v}^3 + k_2 \times P_{2,v}^{1,2} + k_3 \times T_{pv} + k_4 \times W_{bR} + k_5 \times \sqrt{(0.5 \times P_{2,40kmph}^2 + 0.5 \times Y_{R=185m}^2)}$$



Gleislageverschlechterung  
Schotterzerstörung

Schienenoberflächenschädigung Gerade  
Schienenoberflächenschädigung Bogen (RCF)  
Schienenverschleiss im Bogen

Verschleiss Weichenkomponenten

Fahrwegverschleiss

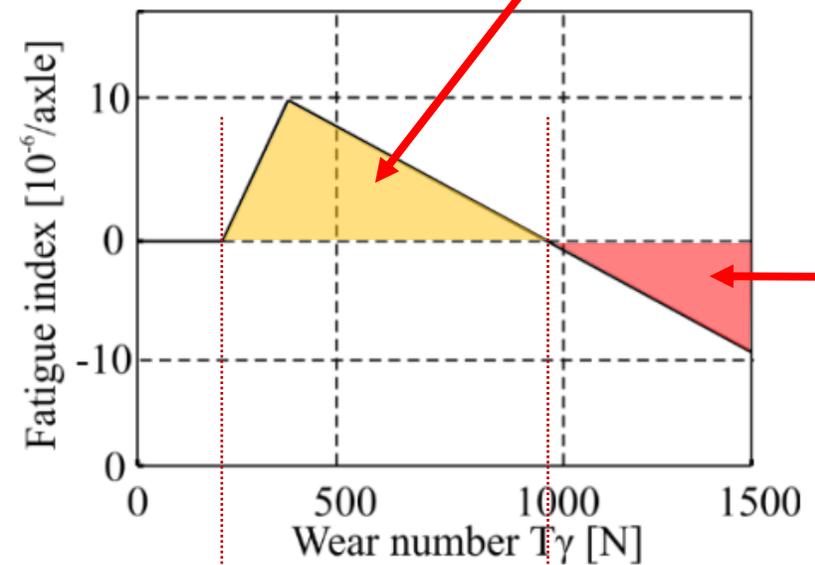
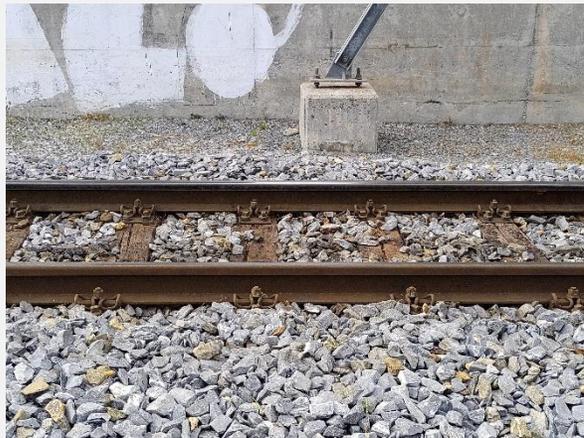


# Aktivitäten

## Standardelemente mit Unterhaltskosten

Elementaufteilung nach:

- > Auftreten von Verschleissformen
- > Unterschiedliche Instandhaltungskosten
- > Unterschiedliche Lebensdauern



Rollkontakt Ermüdung (RCF)

Verschleiss

Gerade

Enge Kurven

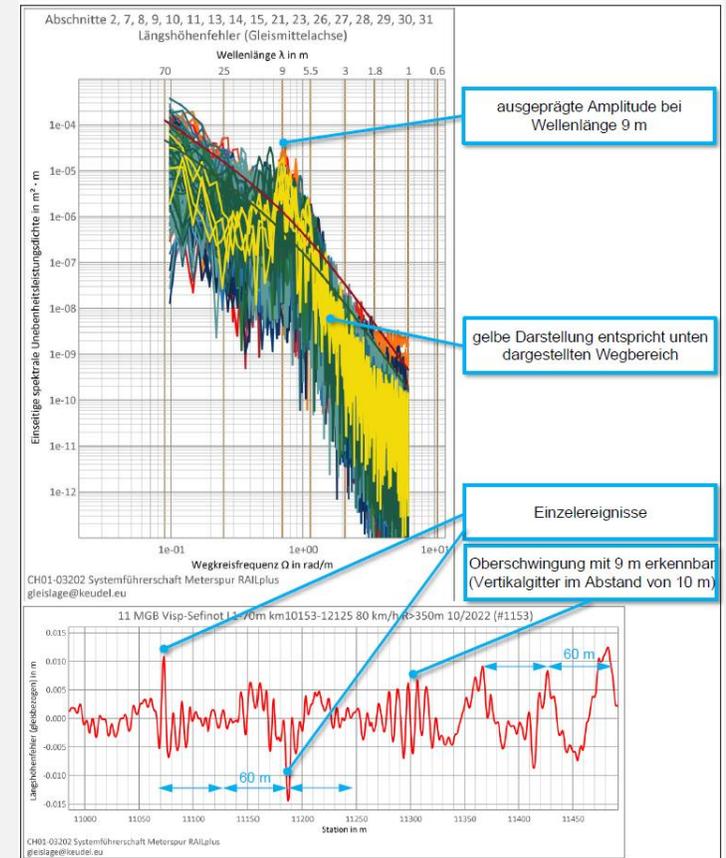
R = ???

R = ???

# Aktivitäten

## Messdaten analysieren – lauftechnische Nachweisrechnungen

Analog zu den bekannten regellosen Gleislagestörpegeln «ORE high» und «ORE low» werden spezifische RAILplus-Spektren vorgeschlagen. Diese RAILplus-Spektren liegen abschnittsweise nahe bei «ORE high», weisen aber tendenziell höhere Werte bzw. eine anspruchsvollere Gleislage auf.



# Aktivitäten

## Fahrbahnmodell

### dyn. Fahrbahnmodell noch offen

### K2 Projekt

Tieffrequent: 3m ≤ l ≤ 25m	Mittelfrequent: 20Hz ≤ f ≤ 100Hz	Mittel-Hochfrequent: > 100 Hz	Hochfrequent: 500Hz ≤ f ≤ 8000Hz
Gleislage ist abhängig von:	Erschütterungen treten auf aufgrund von:	Schäden & Verschleiss an Rad / Schiene Fahrflächen	Lärm tritt auf aufgrund von:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Achslast &amp; Streckenbelastung</li> <li>• Alterung von Schotter</li> <li>• Traktion</li> <li>• Schädigung an Fahrflächen von Rad / Schiene à Setzungserscheinungen</li> <li>• Steifigkeitsänderung im Längsverlauf</li> <li>• Einbauqualität</li> <li>• Fehlende elastische Layer (USP,USM) – Aufbau des Unter/- Oberbaus</li> <li>• Diskontinuitäten im Fahrflächenverlauf</li> <li>• Inhomogener Unterbau / Untergrund</li> <li>• Dynamisches Fahrzeugverhalten (#Feder-Dämpfer)</li> <li>• Trassierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleislageabweichungen</li> <li>• Parametrische Erregungen (Achsstand, DG-Abstand, ...)</li> <li>• Fremderregungen (Rundheitsabweichungen. der Räder, Schienenfahrflächenfehler usw.)</li> <li>• Fahrgeschwindigkeit</li> <li>• Kurzwellige (0.2m≤λ≤3m) Unstetigkeiten der Fahrbahn</li> <li>• Ungünstige Übertragungsfunktion Fahrbahn - Boden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrflächenfehler (Schlupfwellen)</li> <li>• Radfahrflächenfehler (Polygone)</li> <li>• Stahlgüten Schienen &amp; Räder</li> <li>• Reibwert Rad-Schiene</li> <li>• Schienenbefestigung / Schienenzwischenlage</li> <li>• Raddurchmesser</li> <li>• Berührgeometrie</li> <li>• Anlaufwinkel Rad-Schiene (Schlupf)</li> <li>• Torsionsverhalten Radsatz</li> <li>• Fehlende Schwellenbesohlung ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schienenzwischenlage</li> <li>• Schwellentyp</li> <li>• Reibwert Rad-Schiene</li> <li>• Berührgeometrie</li> <li>• Anlaufwinkel Rad-Schiene</li> <li>• Raddurchmesser</li> <li>• Schienenbefestigung / Zwischenlage</li> <li>• Feste Fahrbahn ?</li> </ul>

# **Abschluss**

## **Projekt P4**

### **Fahrbahnsteifigkeit**

# Fazit

## Fahrbahnsteifigkeit

- Trotz dem Wissen aus der Literatur, gibt es noch viele offene Fragen.
- Teammitglieder werden zu Spezialisten ausgebildet.
- Nur im Team können die Herausforderungen gemeistert werden.
- Es gibt noch viel zu tun, packen wir weiter an!

Vielen Dank

