

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)

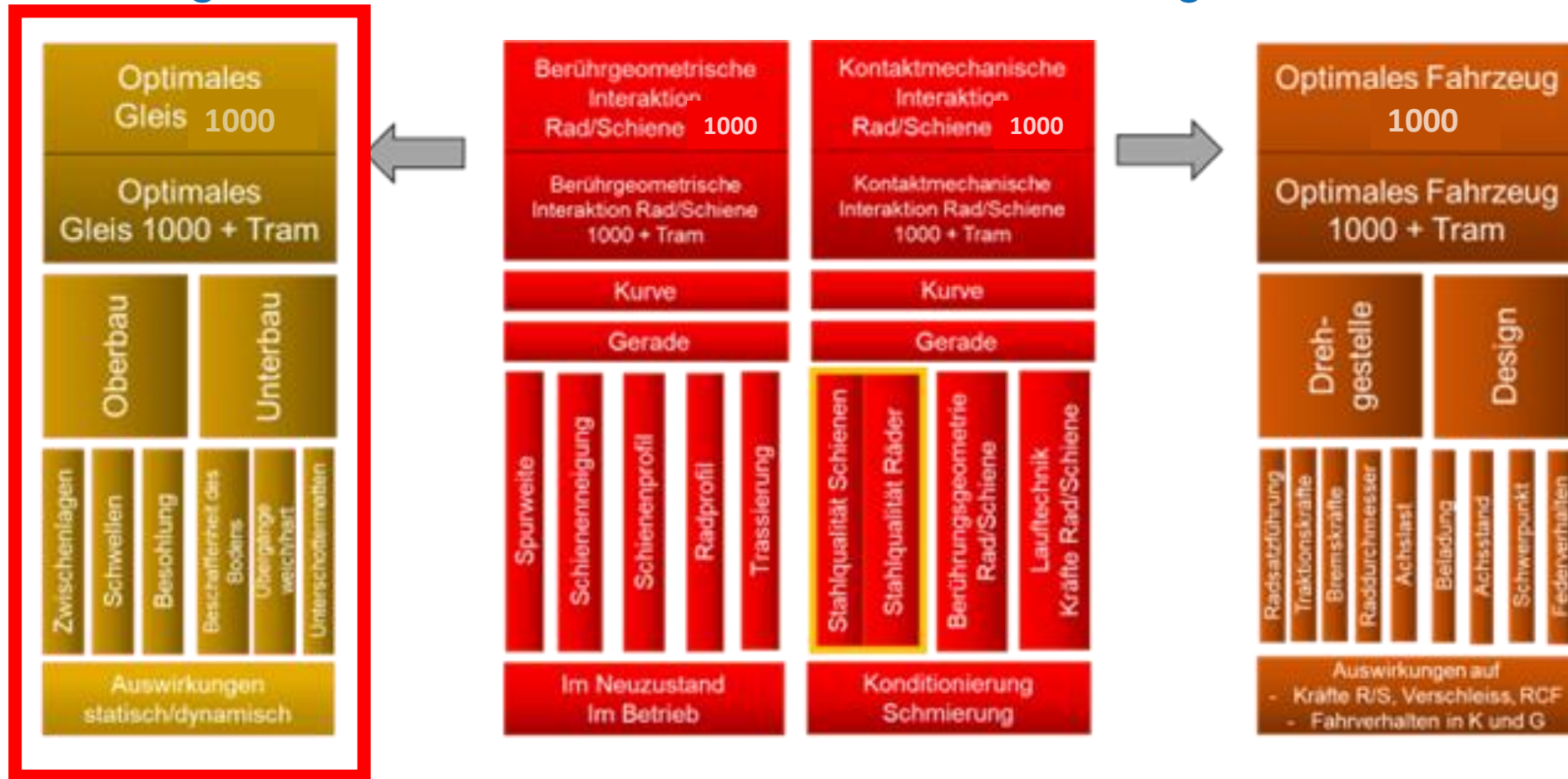
Konsequenzen

- Hohe Systemkosten, steigend
- Verfügbarkeitsprobleme
- Anwohnerreklamationen



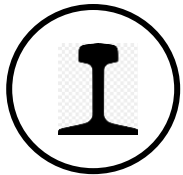
Einbettung im Gesamtsystem

Fahrbahnsteifigkeit – Interaktion Rad-Schiene - Fahrzeug

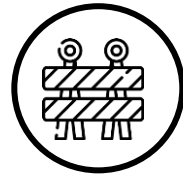


Übergeordnete Ziele

Schwerpunkte des Forschungsprogramms Bahninfrastruktur



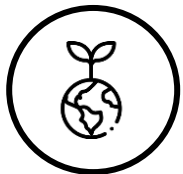
Verschleissoptimierter Bahnbetrieb



Verbesserung beim Substanzerhalt der Bahninfrastruktur



Kostenoptimierung (Betrieb, Unterhalt oder Ausbau der Bahninfrastruktur)



Verbesserung der Umweltverträglichkeit der Bahninfrastruktur

Ziele Fahrbahnsteifigkeit

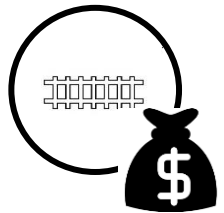
Einbettung im Gesamtsystem



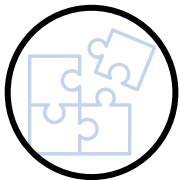
Grundlagenwissen zur Kausalkette Einwirkungen – Beanspruchung – Materialreaktion zusammentragen, fehlendes Wissen lokalisieren



fehlendes, notwendiges Wissen erarbeiten. Wissenslücken schliessen



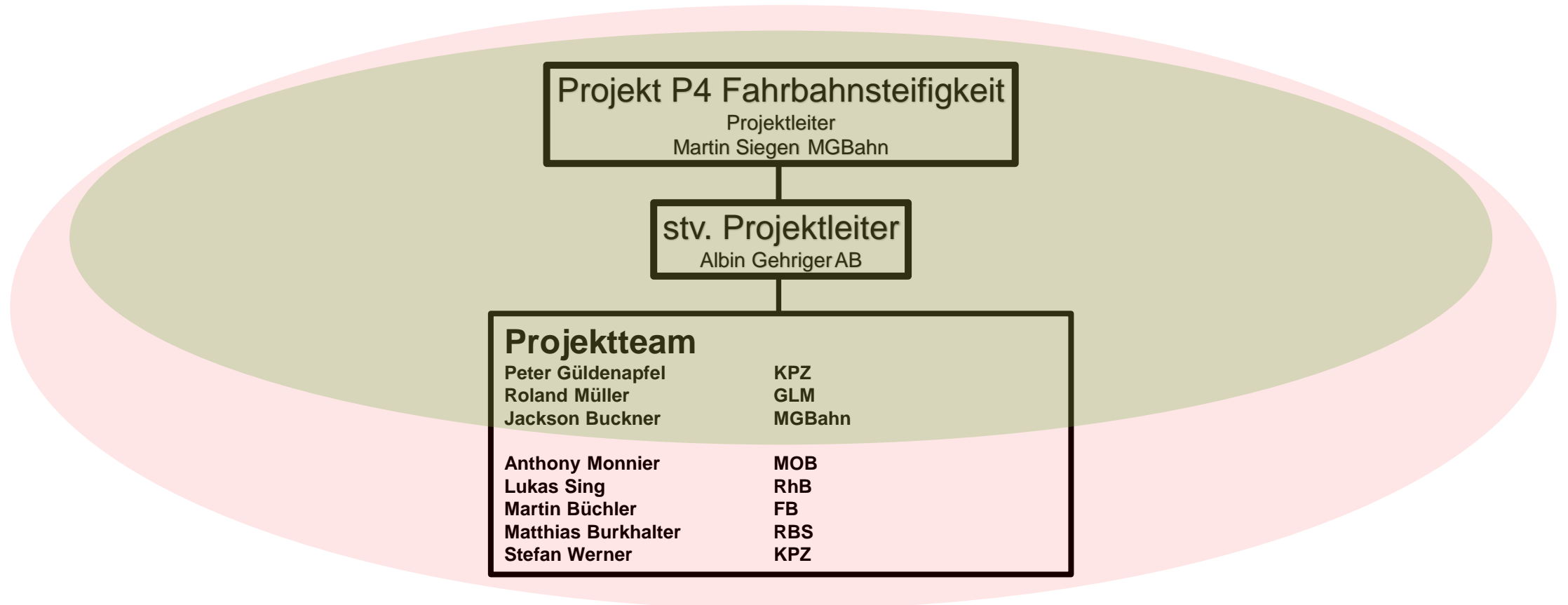
Erkennen der Grenzen und des Optimierungspotenzials bei der Fahrbahngestaltung; Qualität der Fahrbahn erhöhen, unter der Prämisse der Wirtschaftlichkeit, Best Practice



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



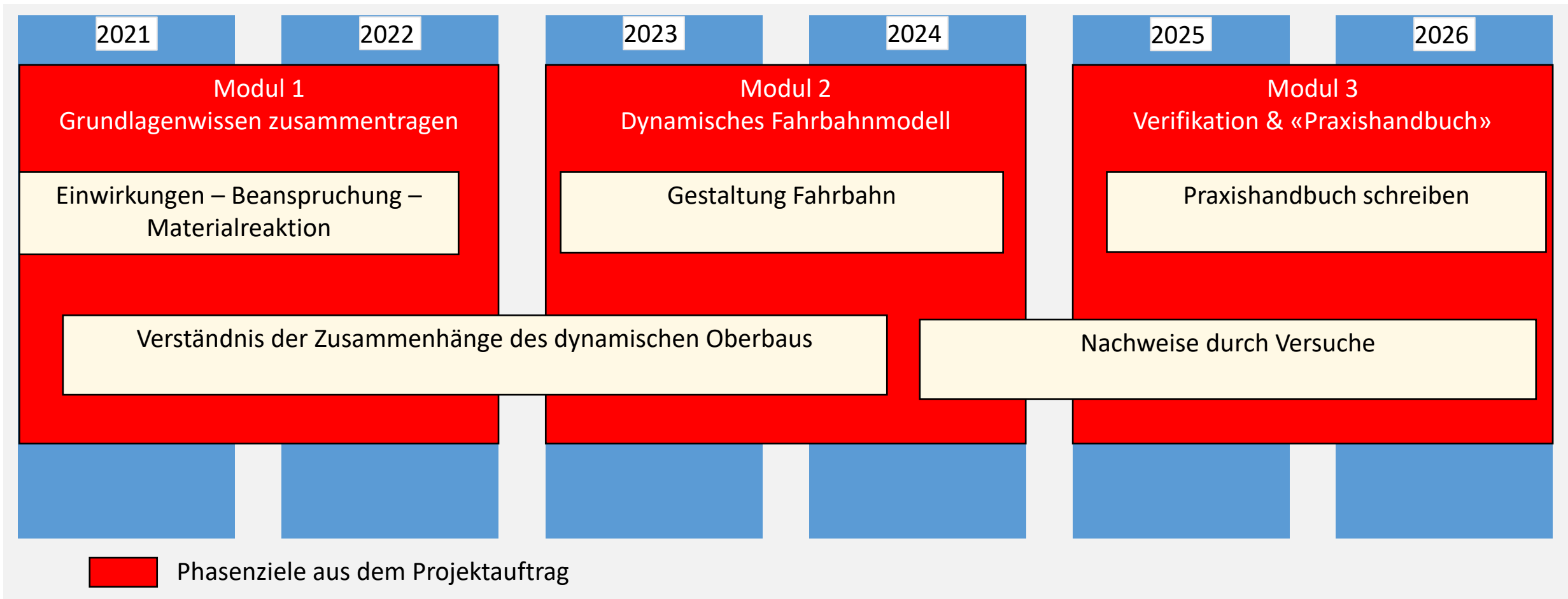
Roadmap

Projekt P4

Fahrbahnsteifigkeit

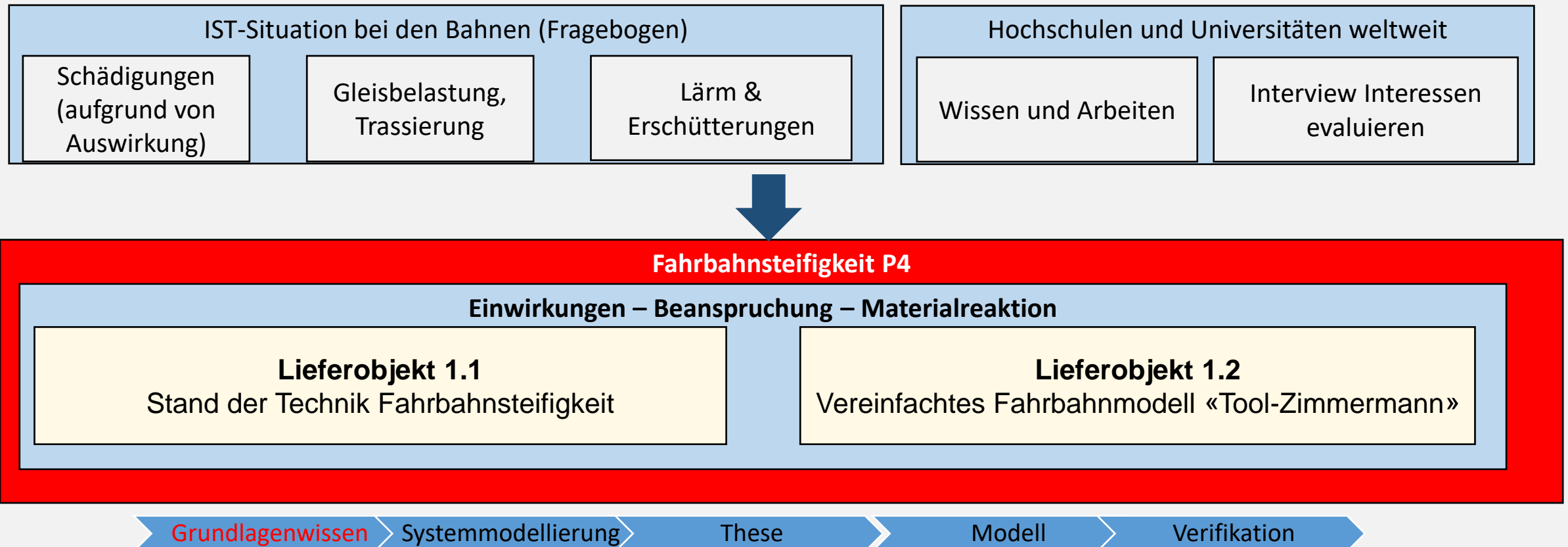
Roadmap

Gesamtübersicht



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



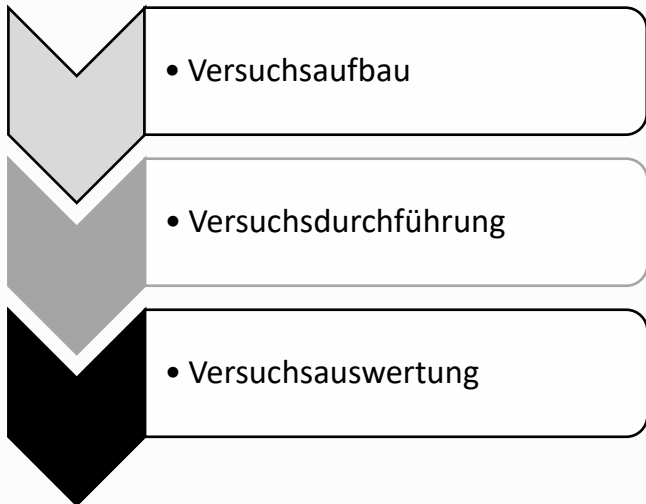
Roadmap

2025

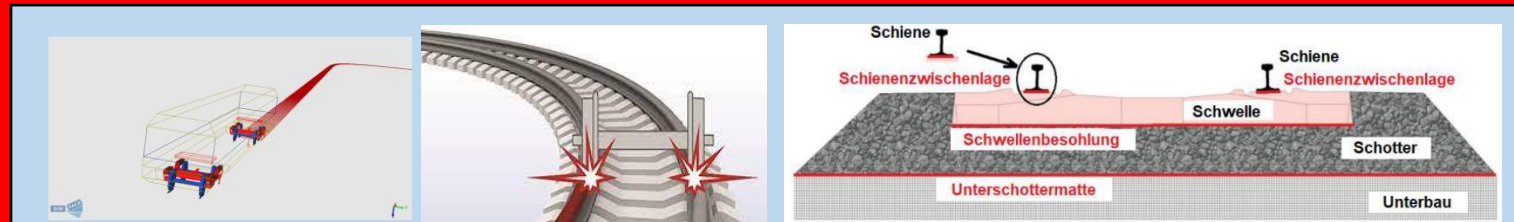
Dynamisches Fahrbahnmodell



Nachweise durch Versuche



Verifikation, Datenanalyse



optimale System, Wirtschaftlichkeit,
Optimierungspotenzial

Grundlagenwissen

Systemmodellierung

These

Modell

Verifikation

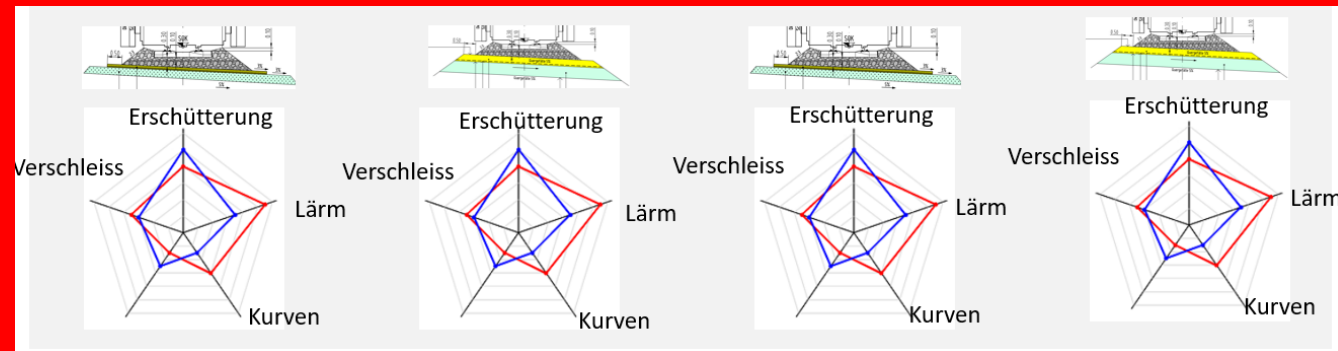
Roadmap

2026

Datenanalyse, Wirtschaftlichkeitsrechnung



Kochbuch Best Practice



Erkenntnisse

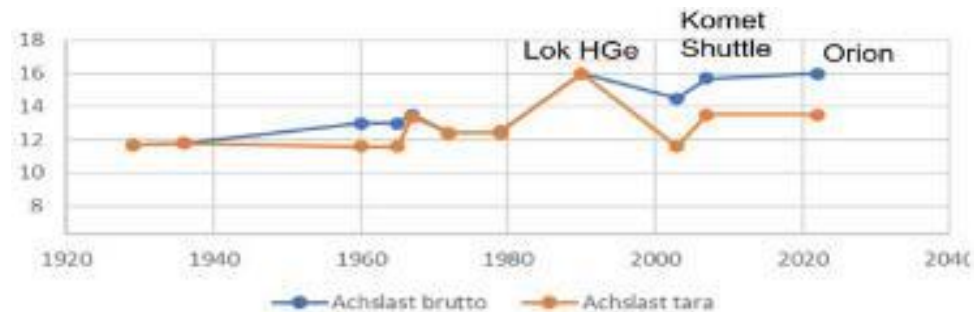
Projekt P4

Fahrbahnsteifigkeit

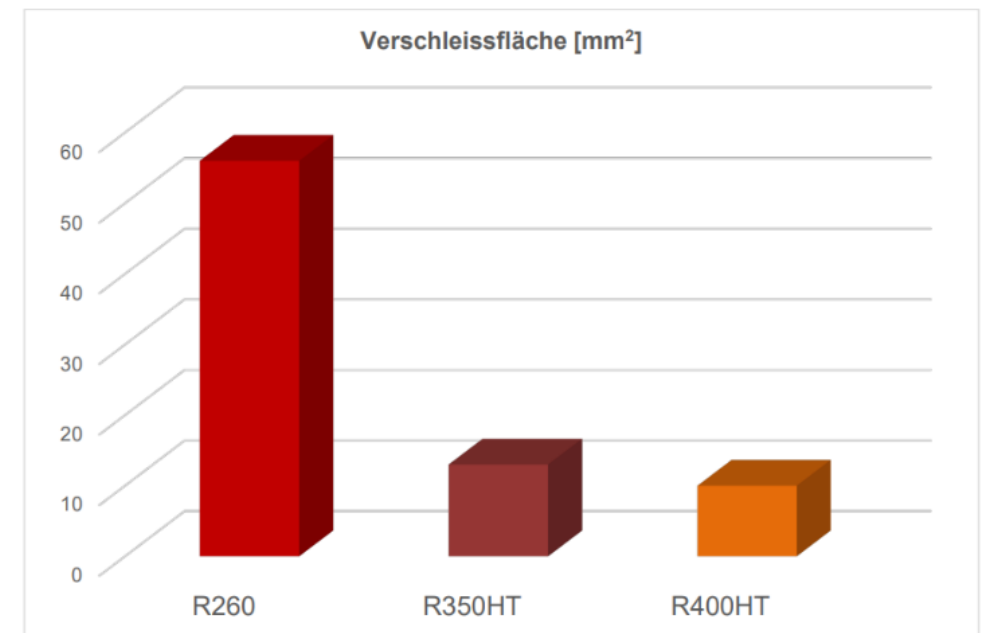
Erkenntnisse

Fahrbahn

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



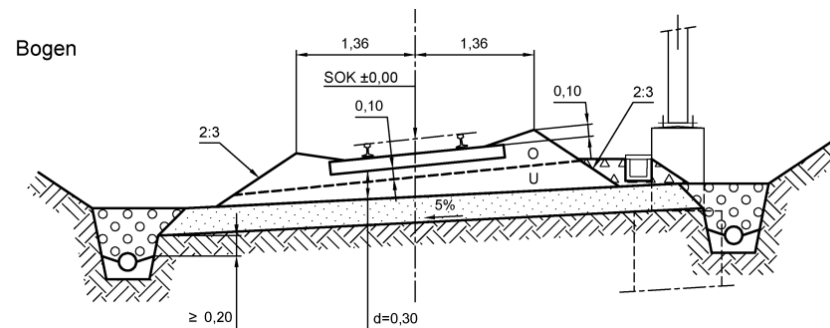
- Kopfgehärtete Schienen (350HT, 400HT) verringern Verschleiss und Schlupfwellenbildung
- weiche Zwischenlagen (stat. Federziffer <math><150\text{ kN/mm}</math>) verringern den Verschleiss, erhöhen den Lärm



Erkenntnisse

Fahrbahn

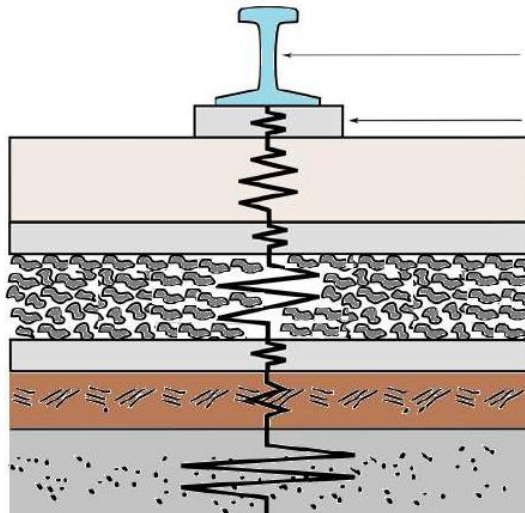
- Besohlte Betonschwellen (plastisch) verbessern die Gleisqualität
- Bei höheren Belastungen ist ein tragfähiger Unterbau aus AC-Rail die wirtschaftlichste Lösung
- Funktionierende Entwässerung



Erkenntnisse

Fahrbahn

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



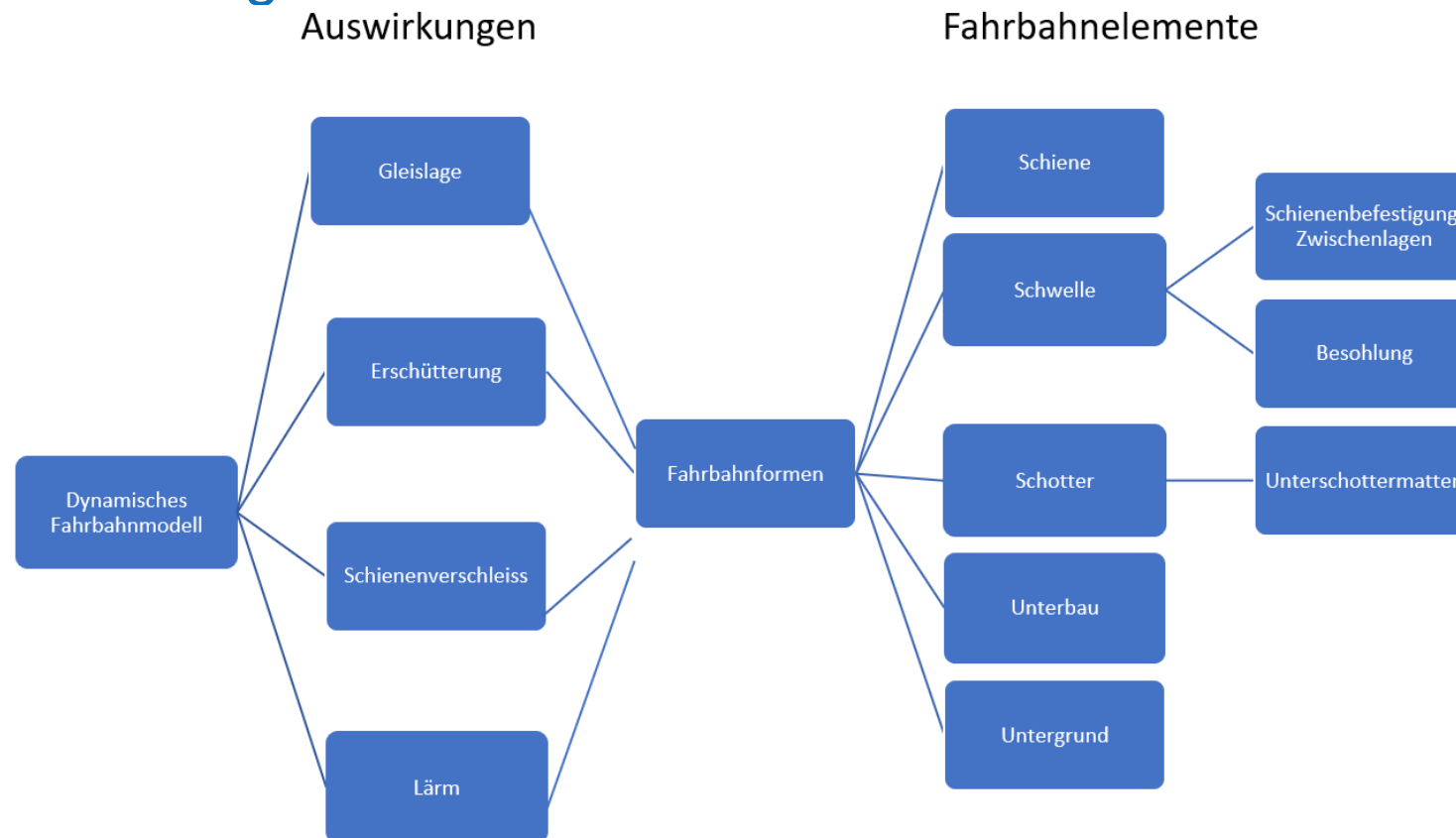
Aktivitäten

Projekt P4

Fahrbahnsteifigkeit

Aktivitäten

Forschungsbedarf / Vorgehen



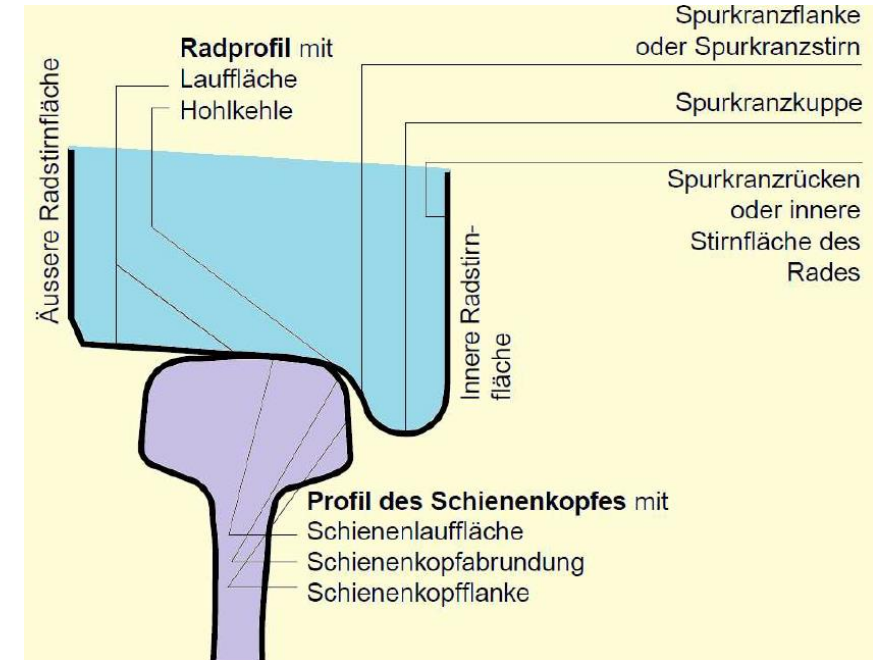
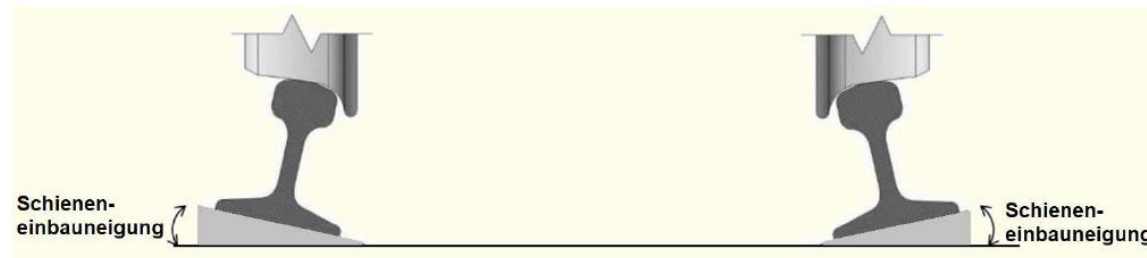
Aktivitäten

VIF, P3, P2

Geometrische Interaktion,

Berührgeometrische Interaktion

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



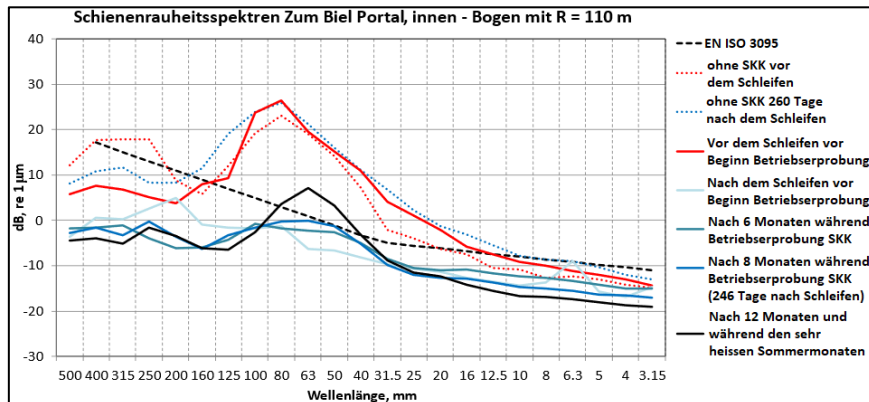
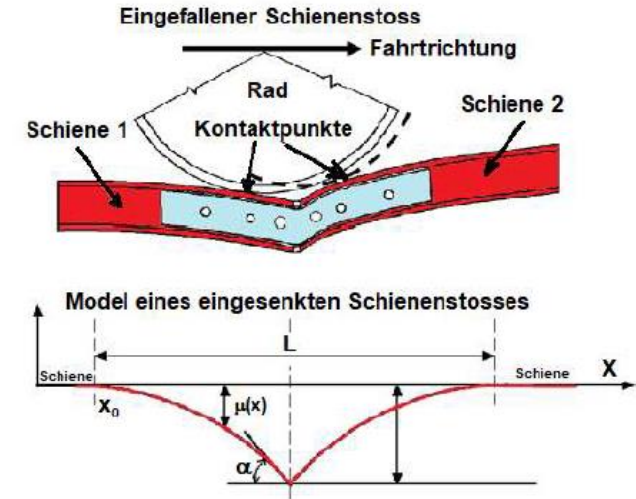
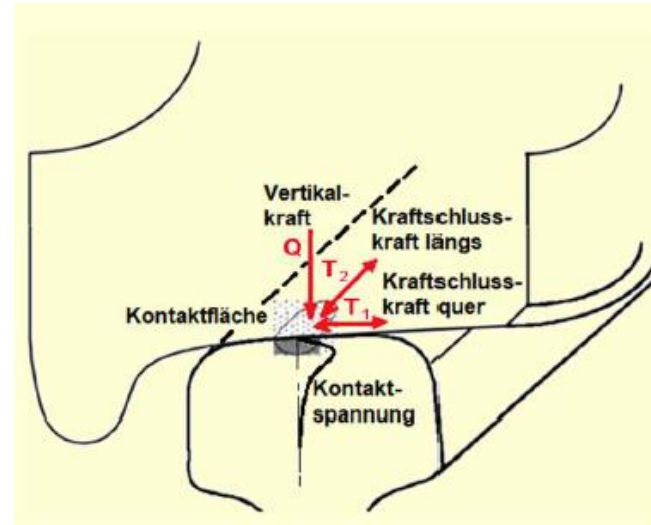
Aktivitäten

VIF, P3, P2

Kontaktmechanische Interaktion

- > Schienenhärte
- > Schienenrauheit
- > Vertikalkraft

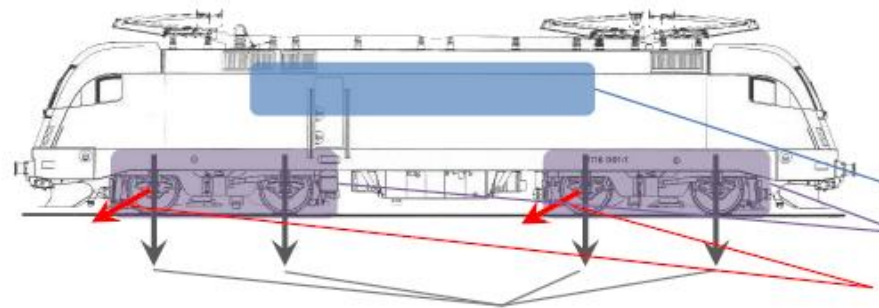
- ⇒ Verschleiss
- ⇒ Unterhalt



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

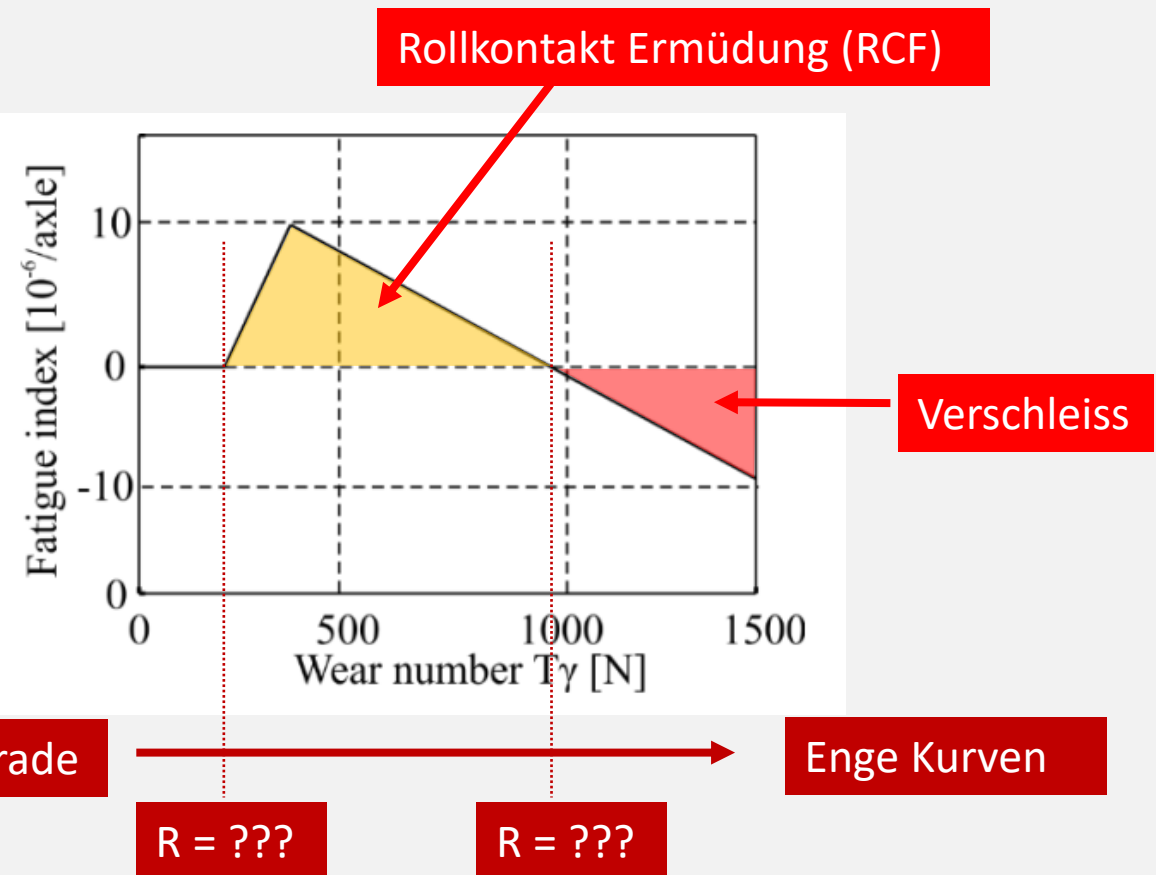


Aktivitäten

Standardelemente mit Unterhaltskosten

Elementaufteilung nach:

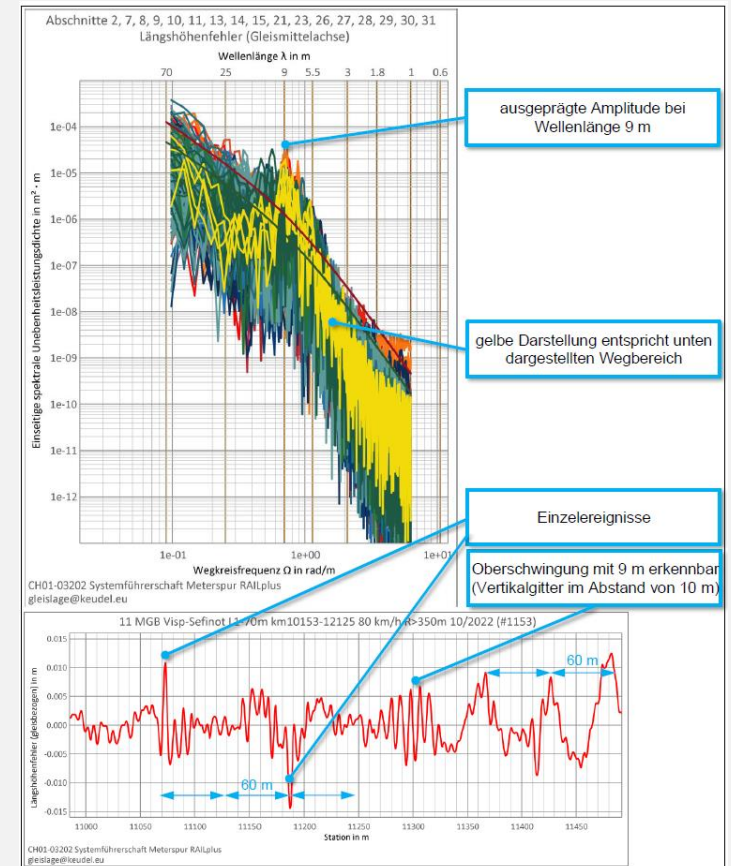
- > Auftreten von Verschleissformen
- > Unterschiedliche Instandhaltungskosten
- > Unterschiedliche Lebensdauern



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"> Achslast & Streckenbelastung Alterung von Schotter Traktion Schädigung an Fahrflächen von Rad / Schiene → Setzungserscheinungen Steifigkeitsänderung im Längsverlauf Einbauqualität Fehlende elastische Layer (USP, USM) – Aufbau des Unter/- Oberbaus Diskontinuitäten im Fahrflächenverlauf Inhomogener Unterbau / Untergrund Dynamisches Fahrzeugverhalten (#Feder-Dämpfer) Trassierung 	<ul style="list-style-type: none"> Gleislageabweichungen Parametrische Erregungen (Achsstand, DG-Abstand, ...) Fremderregungen (Rundheitsabweichungen der Räder, Schienenfahrflächenfehler usw.) Fahrgeschwindigkeit Kurzwellige (0.2m ≤ λ ≤ 3m) Unstetigkeiten der Fahrbahn Ungünstige Übertragungsfunktion Fahrbahn - Boden 	<ul style="list-style-type: none"> Fahrflächenfehler (Schlupfwellen) Radfahrflächenfehler (Polygone) Stahlgüten Schienen & Räder Reibwert Rad-Schiene Schienenbefestigung / Schienenzwischenlage Raddurchmesser Berührgeometrie Anlaufwinkel Rad-Schiene (Schlupf) Torsionsverhalten Radsatz Fehlende Schwellenbesohlung ? 	<ul style="list-style-type: none"> Schienenzwischenlage Schwellentyp Reibwert Rad-Schiene Berührgeometrie Anlaufwinkel Rad-Schiene Raddurchmesser Schienenbefestigung / Zwischenlage Feste Fahrbahn ?

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

