



**RAILplus**  
Interaction

Interaktion Fahrzeug – Fahrweg Meterspur

## P5 – Fahrzeuge: Projektstand



## und Bahn-Spezifische-Analysen (BSA)

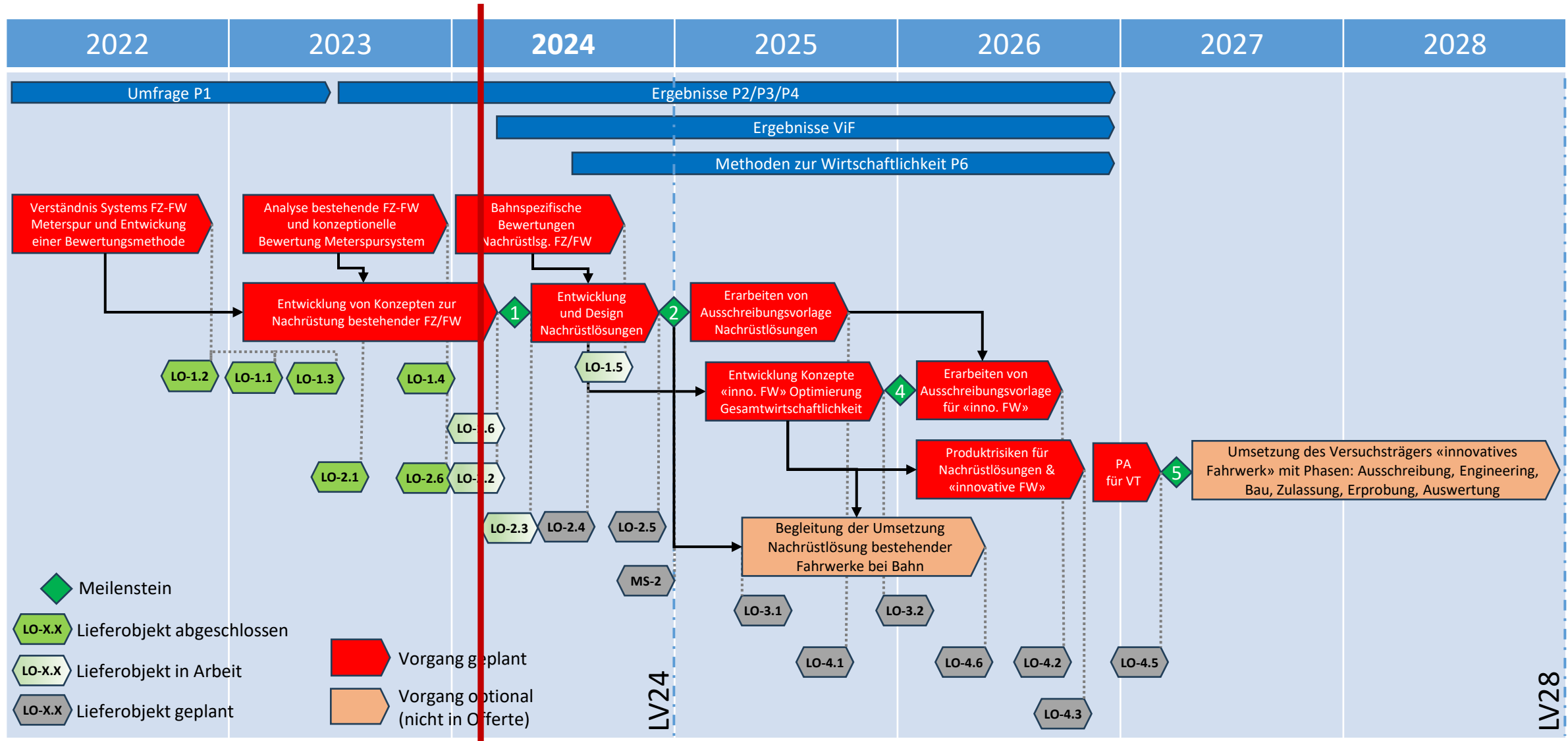
Interaktionstag in Givisiez, 11. April 2024

Richard Schneider, RSE

Alessandro Bianchi, RhB


# Projekt P5 – Fahrzeuge

## Road-Map und Lieferobjekte



# Inhalt

## und Bahn-Spezifische-Analysen (BSA)

1. Einleitung
2. Simulationsmodell
3. Konzeptionelle Bewertung 
4. Machbarkeitsstudie Nachrüstbarkeit
5. Bahn-Spezifische-Analysen (BSA)
6. Bewertung der Wirtschaftlichkeit
7. Schlussfolgerungen
8. Weiteres Vorgehen

# Einleitung

## und Bahn-Spezifische-Analysen (BSA)

### □ Auftrag

- Analyse und Bewertung der bestehenden Zugssysteme der Meterspurbahnen hinsichtlich des Verschleisses von Rad-Schiene
- Vorschläge zur Optimierung des Systems Fahrzeug/Fahrweg ausgehend von den Kundenanforderungen und unter Berücksichtigung der kritischen Teilsysteme
- Entwicklung einer Methode zur Analyse und Optimierung der Interaktion von Fahrzeug-Fahrweg

→  = **F**ahrzeug-**F**ahrweg **I**nteraktion **M**eterspur **O**ptimierung

### □ Ergebnisse auf konzeptioneller Ebene in Bericht dokumentiert

- RAILPlusSF-00021: FIMO LO-1.4 Konzeptionelle Bewertung

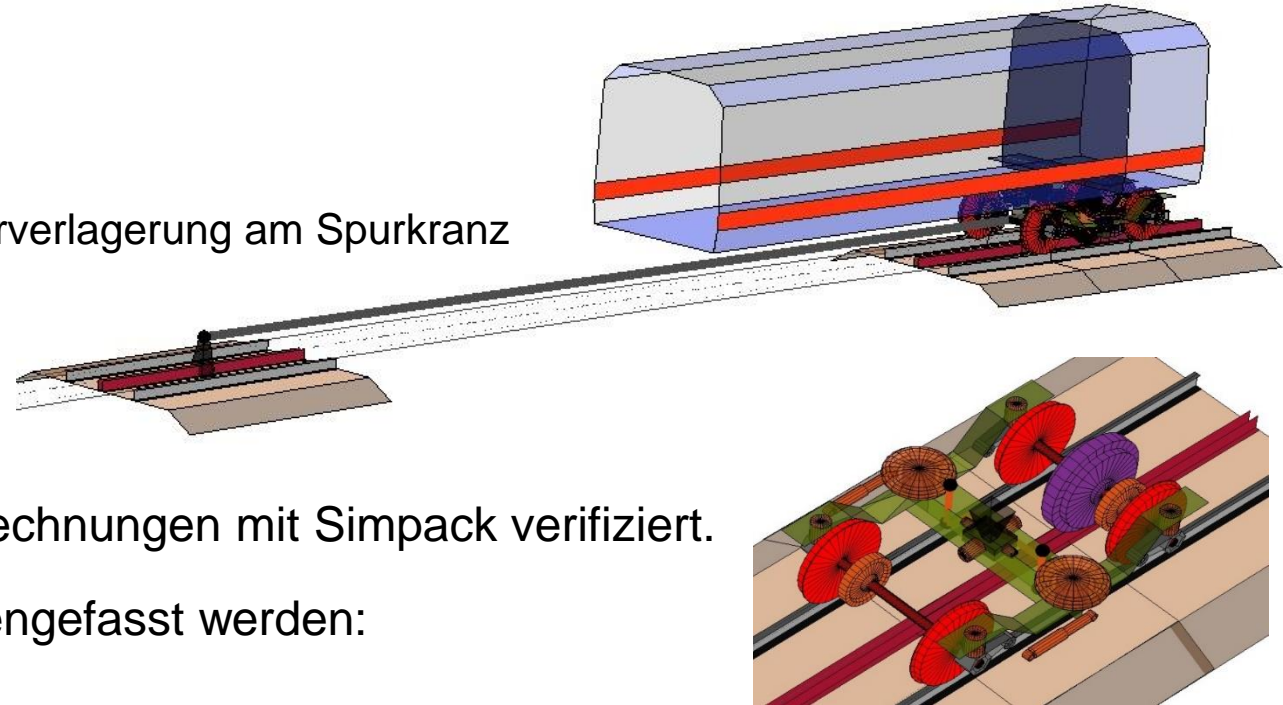
### □ Punktuelle, bahnspezifische Fragen & Probleme analysieren

→ **BSA** = **B**ahn **S**pezifische **A**nalysen

# Simulationsmodell

## FIM und Bahn-Spezifische-Analysen (BSA)

- Modellierung zur Berechnung des Verschleissverhaltens
  - Vollständiges 3-dimensionales Modell
  - 1-Fahrwerk physikalisch real, inkl. Achslenker
  - Kastenfederung vereinfacht zulässig
  - Rad-Schienen-Kontakt: 2-Punkt Berührung mit Vorverlagerung am Spurkranz
  - Alle Lösungsansätze implementiert
  - Antrieb über einfaches Torsionsmoment zulässig
  - Beliebige Rad-Schienen Profil Kombinationen
- Das Modell wurde durch PJM mittels Vergleichsrechnungen mit Simpack verifiziert.
- Die Qualität des Modells kann wie folgt zusammengefasst werden:
  - Das Modell entspricht dem Stand der Technik
  - Der Rad-Schienen Kontakt ist sehr detailliert und kann als gleichwertig mit dem «Equivalent Elastic Contact» in Simpack angesehen werden.



**Das Modell liefert qualitativ wie quantitativ zuverlässige Ergebnisse!**



# Konzeptionelle Bewertung

## Analyse-Umfang

- Fahrzeuge
- Lösungsansätze
- Empfindlichkeiten
- Einsatzbereiche



Siehe Bericht: RAILPlusSF-00021: FIMO LO-1.4 Konzeptionelle Bewertung

Bericht: [https://2785812.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2785812/P5-RAILPlusSF-00021\\_FIMO\\_Konzeptionelle%20Bewertung-LO-1-4\\_V1.0.pdf](https://2785812.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2785812/P5-RAILPlusSF-00021_FIMO_Konzeptionelle%20Bewertung-LO-1-4_V1.0.pdf)

Gutachten Modell: [https://2785812.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2785812/P5-TB\\_R8\\_755\\_RSE\\_Begutachtung\\_MKS\\_Modell\\_SI\\_1a\\_2023-11-02\\_PI\\_cs.pdf](https://2785812.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2785812/P5-TB_R8_755_RSE_Begutachtung_MKS_Modell_SI_1a_2023-11-02_PI_cs.pdf)

## Fahrzeuge

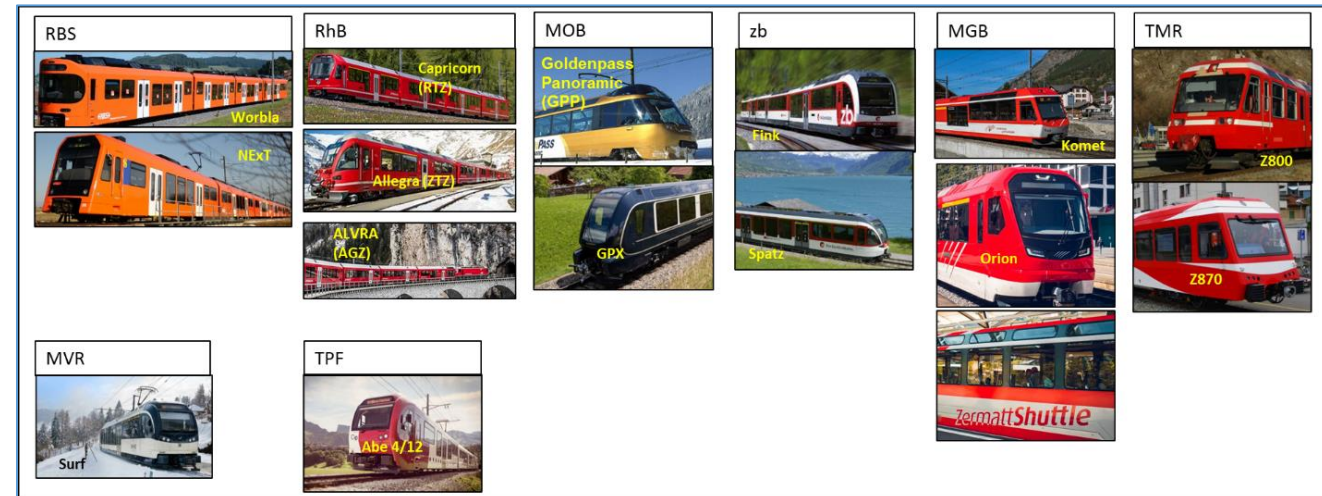
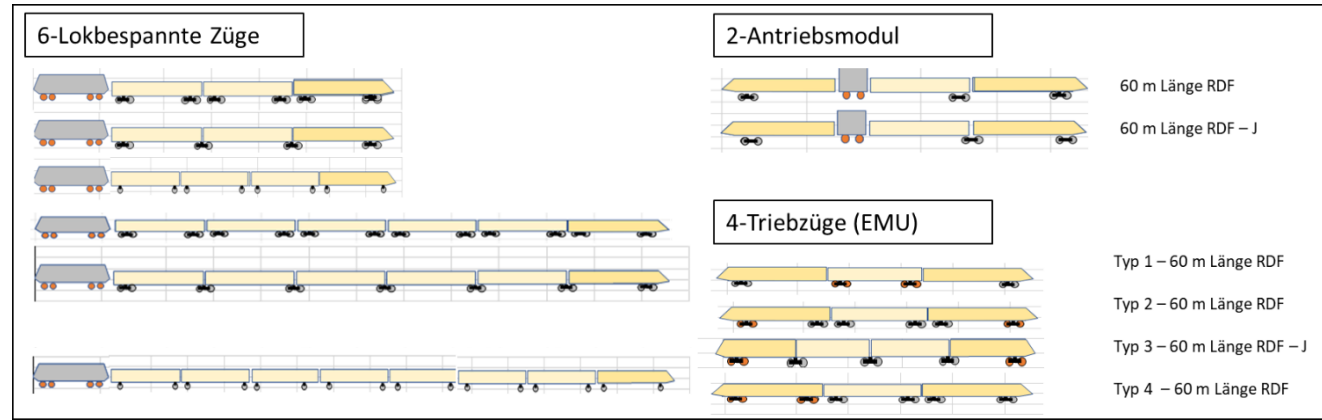
28 Zug-Typen mit 60 Fahrwerken

- 12-realisierte, generische Fahrzeuge

- LBS\_1, 2, 3 / 4, 5, 6
- AM-1, 2
- TZ\_1, 2, 3, 4

- 16-Bestands-Fahrzeuge

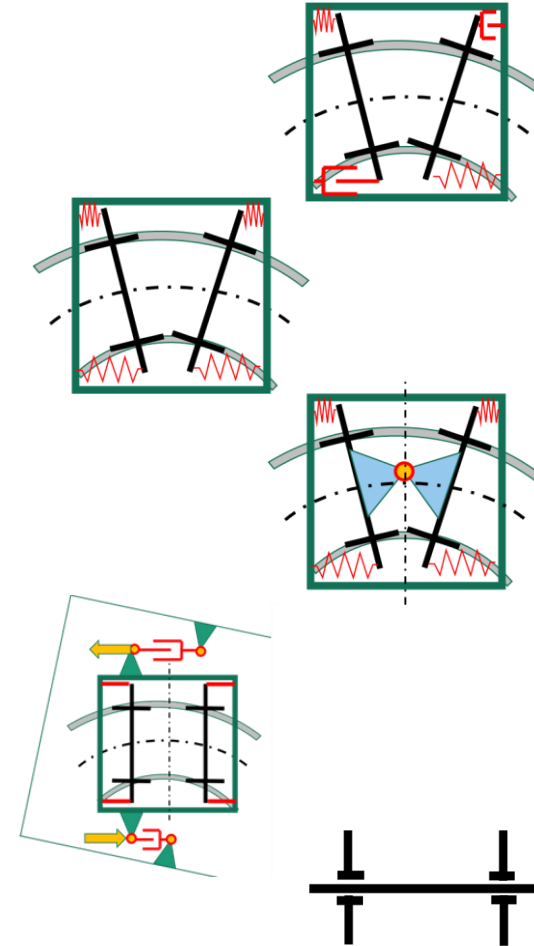
- RBS : Worbla, Next
- RhB : Capricorn, Allegra, Alvra
- MVR : Surf
- zb : Fink, Spatz
- MOB : GPX, GPP
- MGB : Komet, Orion, Shuttle
- TMR : Z800, Z870
- TPF : ABe-4/12



**Alle denkbaren und auch realisierbaren Zugskonzepte analysiert!**

## Beschreibung der Lösungsansätze

- Aktive Radsatz-Steuerung ARS
  - mit unterschiedlichem Steuerungs-Anteil (25, 50, 75, 100 %)
- Elastische Radsatzführung
  - mit unterschiedlichen Steifigkeiten (2, 3, 4,  $\geq 10$  kN/mm)
- Gegenseitige Radsatz-Steuerung-GGA (Querkopplung)  
(GGA, Kreuzanker, Scheffel)
- Aktiver Drehdämpfer-ADD  
(Fahrwerk über Drehmoment aktiv in Bogen einlenken)
- Losrad

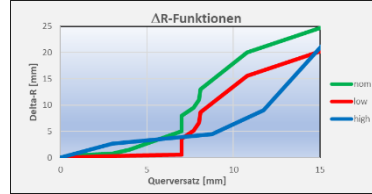


**Alle Lösungsansätze mit allen Zugskonzepten kombiniert!**

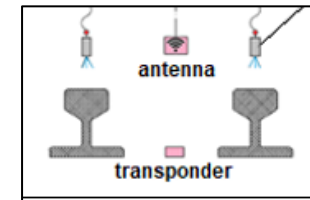


## Untersuchung der Empfindlichkeiten

- ❑ Berührgeometrie (Radprofil)
  - ❑  $\Delta r = 0, 4, 9$  mm

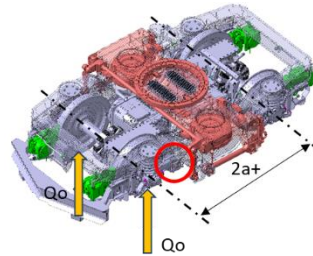


- ❑ Spurkranz-Schmierung SKS



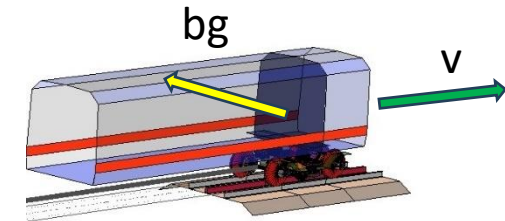
- ❑ Schienenkopf-Konditionierung SKK

- ❑ Radsatzlast

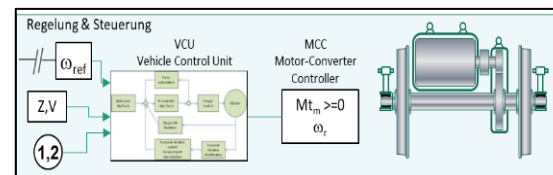


- ❑ Radstand

- ❑ Fahrgeschwindigkeit bzw. Querbeschleunigung –  $bg$  (-0.5, 0, 0,5 0.8 m/s<sup>2</sup>)
  - ❑ auch im Zahnrad-Betrieb (0.4 m/s<sup>2</sup>)



- ❑ Traktionsschlupf
  - ❑ 0, 1.5, 4 km/h



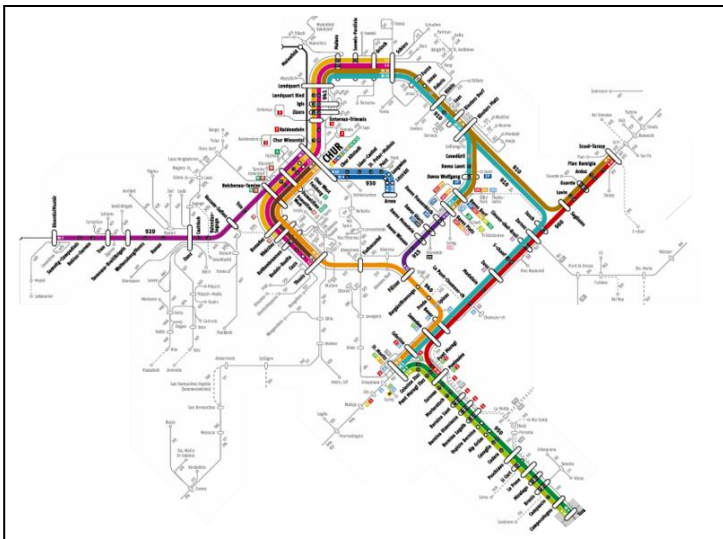
Traktionsregelung

**Alle Parameter, Lösungsansätze und Zugkonzepte zusammen ergeben eine umfassende Bewertung des Systems Meterspur**

## Einsatz-Bereiche: Zuordnung zu Kategorien 1- 4

- ❑ Es konnten 4 charakteristische Linien entsprechend deren Bogenhäufigkeit definiert werden:
  - ❑ 1-sehr kleine, 2-kleine, 3-mittlere und 4-grosse Bogenradien
- ❑ Die n-Einsatz-Linien werden nach ihren Bogen-Verteilungen den Referenz-Linien zugeordnet:
  - ❑ Bogenverteilung am Beispiel der Linie 7: Reichenau-Tamins - St. Moritz

Linien-Netz

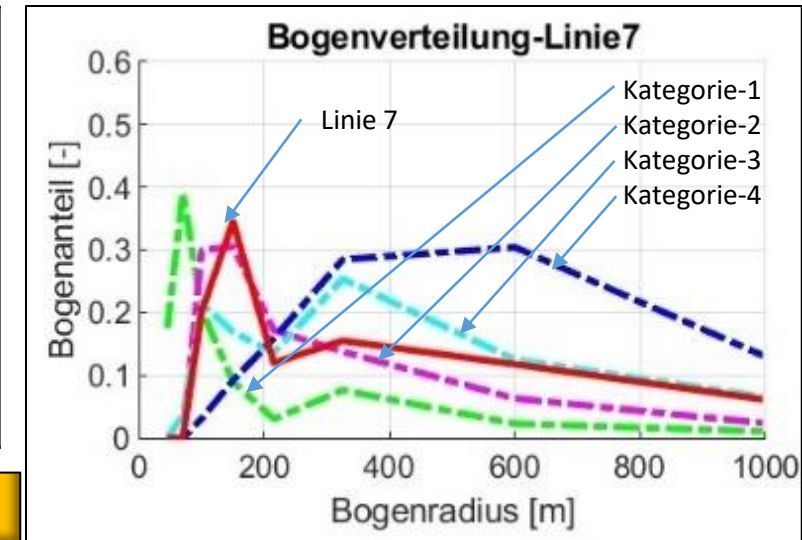


Zuordnung der Kategorie


Linie	Nr	von	bis	Kategorie
1	910	Landquart	Davos	4
2	915	Klosters	Filisur	2
3	920	Landquart	Mustér	4
4	959	Samedan	Pontresina	4
5	960	Bever	Scuol-Tarasp	4
6	930	Chur	Arosa	1
7	940	Reichenau-Tamins	St. Moritz	2
8	950	St. Moritz	Tirano	2

**Breites Spektrum an Bogenverteilungen**

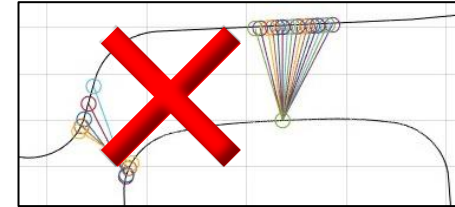
Bogenverteilung



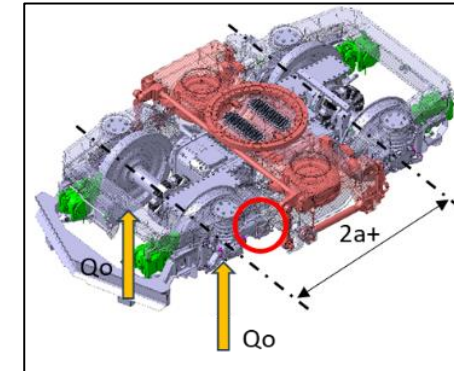
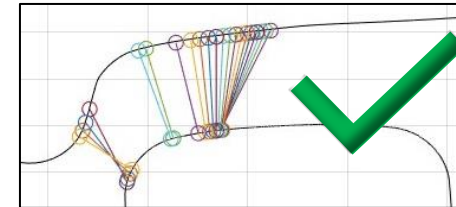
## Allgemeine Erkenntnisse

- ❑ Für einen verschleissarmen Einsatz ist ein **verschleissangepasstes Radprofil** erforderlich, was weder durch irgendein Fahrwerk-Konzept noch eine aktive Radsatzsteuerung oder Traktionsregelung kompensiert werden kann
  
- ❑ Der massgebende Parameter für das Verschleiss-Niveau eines Fahrwerks mit konventionellen Fahrwerken ist das **Produkt** aus «**Radsatzlast \* Radstand**»
  - ❑ für alle Eigenschaften eines Fahrwerks besteht ein linearer Zusammenhang
  - ❑ damit kann mit  das Verschleiss- und Schädigungsverhalten für jedes beliebige Fahrwerk, und jede Konfiguration in allen Bogenradien ausreichend zuverlässig ermittelt werden
  
- ❑ Bei nicht vollständiger Radialeinstellung der Radsätze, also auch bei einer aktiven Radsatzsteuerung mit reduzierter Steuerung, ist weiterhin der Einsatz der **Spurkranzschmierung SKS erforderlich**

Kontakt-Verlauf mit  
aktuellem RTE-Profil

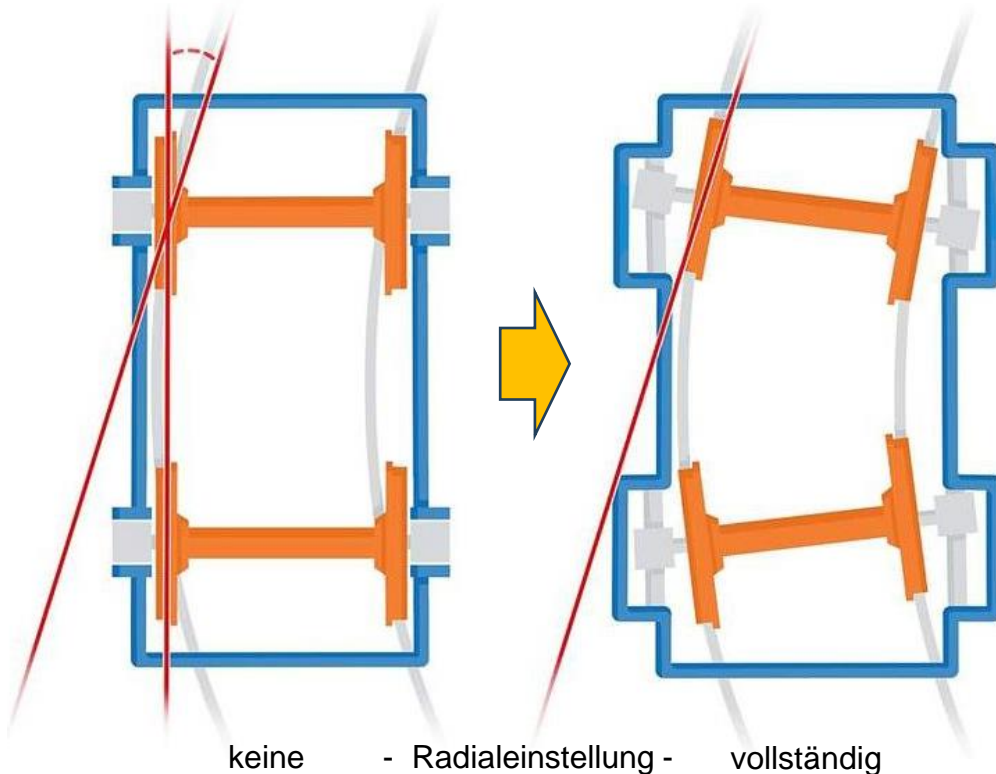


Kontakt-Verlauf, Verschleiss  
angepasst



## Allgemeine Erkenntnisse

Eine gute Radialeinstellung der Radsätze .....



reduziert:

- Verschleiss
- Rad-Schienen Kräfte
- Kurvenquietschen
- Schlupfwellen
- Rad-Unrundheiten

ersetzt:

- allfällige Radschallabsorber
- Schienenkopf Konditionierung SKK

erhöht:

- die Haftwert-Ausnutzung
- die Zugkräfte
  - Zur Nutzung dieses Potenzials ist ggf. die Traktionsregelung zu optimieren

**Radprofil mit  $\Delta r > 4\text{mm}$  - aktive Steuerung statt SKK - Verschl.  $\sim (2ak * 2Qo)$  - Optim. Traktionsregelung!**

## Untersuchung des Einbaus in bestehende Fahrwerke

### ❑ Fahrwerkauswahl (Stadler Rail AG)

- ❑ Untersuchung durch Firma Stadler Rail AG durchgeführt
  - ❑ Grobanalyse und vertiefte Analyse
  - ❑ minimale Eingriffe in Strukturen (Aufwand, Kosten)

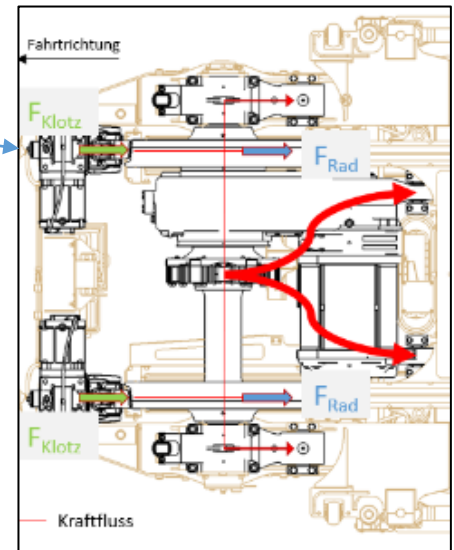
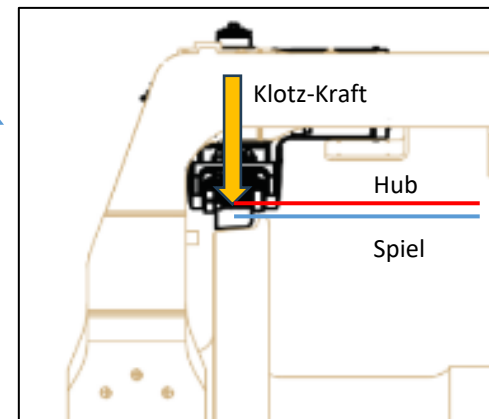
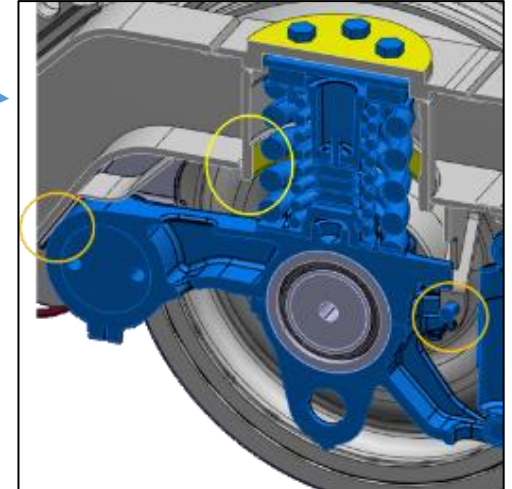
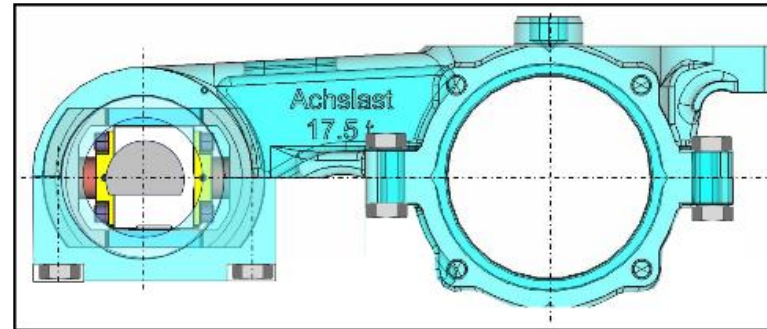
### ❑ Lösungsansätze

- ❑ elastische Radsatzführung
- ❑ gegenseitige Radsatzsteuerung (GGA: Radsatz-Querkopplung)
- ❑ aktive Radsatzsteuerung (zu 100% oder nur teilweise zu 25%, 50% oder 75%)
- ❑ aktive Schlingerdämpfer (ADD) (nur Komet)

Bahn	Fahrzeuge	Fahrwerke	Anzahl FW
MGB	Orion / Shuttle	LDG/MDG	32 / 36
TPF	ABe 4/12	<u>LDG/MDG</u>	24 / 12
RhB	Capricorn (RTZ)	<u>LDG</u> /MDG	280 / 168
RhB	Allegra (ZTZ)	LDG	30
RBS	Worbla	JDG/MDG	42 / 28

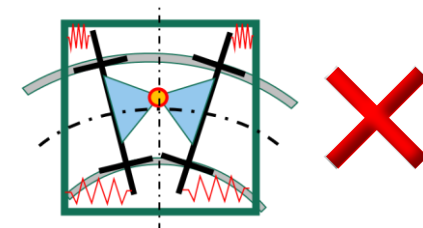
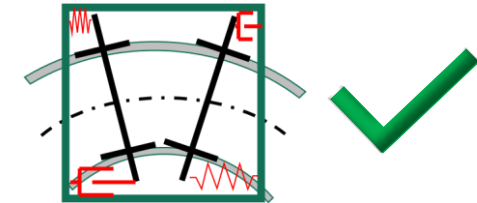
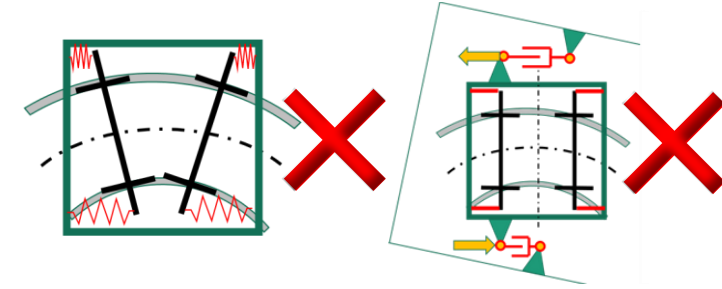
## Untersuchungen der Radialeinstellbarkeit der Radsätze

- ❑ Primärfederung und Radsatzführung
  - ❑ Begrenzt zulässigen Hub
- ❑ Rahmen, Achslenker
  - ❑ Integration von Hydraulik-Zylinder
- ❑ Motor, Getriebe
  - ❑ Zentrale Kupplung verlangt beidseitige Betätigung
- ❑ Bremsen
  - ❑ Klotzbremse begrenzt zulässigen Hub
- ❑ Schnittstelle Fahrwerk-Wagenkasten
  - ❑ Einbaubarkeit eines aktiven Drehdämpfers
- ❑ Risiko-Akzeptanz-Analyse für aktive Radsatzsteuerung



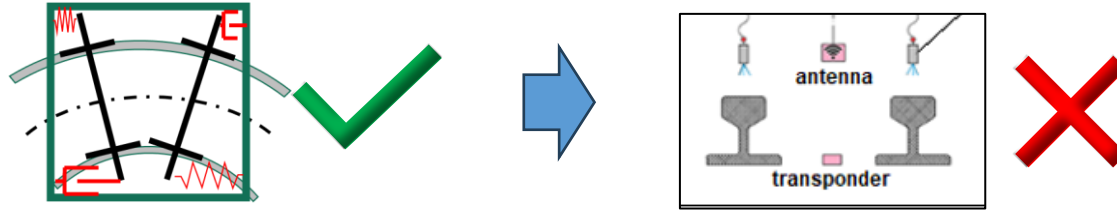
## Erkenntnisse: Nachrüstbarkeit

- ❑ Elastische Radsatzführungen und aktive Drehdämpfer (ADD) bieten in Bogenradien kleiner 200 - 300m keinen Nutzen, zudem ist ein ADD mit vertretbarem Aufwand nicht nachrüstbar
  
- ❑ In Bogenradien kleiner 200 – 300 m kommen passive Radsatzführungssysteme an ihre Grenzen, sodass nur noch mit **aktiven** Radsatzsteuerungen Verbesserungen erzielt werden können
  
- ❑ Eine Querkoppelung (GGA) ist mit vertretbarem Aufwand nicht nachrüstbar
  - ❑ für Neubau-Fahrzeuge noch prüfenswert



## Erkenntnisse: Nachrüstbarkeit

- Bei den Fahrwerken ist ein Hub von +/- 6 mm am Achslenker (beidseitig) realisierbar, womit mit einer aktiven Radsatzsteuerung auf den Einsatz der Schienenkopf-Konditionierung SKK verzichtet werden kann



- Alle potenziellen Gefahren wie Fehlsteuerung und Ausfall einer aktiven Radsatzsteuerung liegen im Bereich «vernachlässigbar»

**Mit der Nachrüstung einer aktiven Radsatzsteuerung kann auf SKK verzichtet werden!**





# Bahn-Spezifische-Analysen (BSA)







## Übersicht

- Funktionsumfang
- Aufzeigen des Ist-Zustandes (Abgleich Praxis-Berechnung)
- Prognosen von Verbesserungspotenzialen
- Massnahmen zum Verzicht auf SKK (Schienenkopf Konditionierung)
- Verschleiss durch Traktion und Bremsen
- Input für «Verschleissfaktor Meterspur»

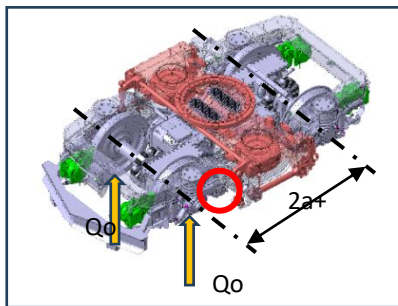


## Funktionsumfang

Kompositionen (beliebige Zusammensetzung)

- Komposition-1: RTZ  

- Komposition-2: ZTZ  

- Komposition-3: ZTZ + EW-x  
 + 2 \* 
- Komposition-4: GZ  
 + 
- etc.

Fahrwerke



## Umfassender Analyse-Umfang für Rad und Schiene!

### Logistische Daten:

- Kompositionen-ID
- Zusammensetzung
- Laufleistung/Tag, Jahr

### Komposition und Einsatz Daten:

- Einsatz über repräsentative Umläufe
- Radien, Steigungen, etc.

### Radverschleiss:

- mm-Lauffläche / 10'000 km
- mm-Spurkranz / 10'000 km

### Schienenverschleiss etc.:

- mm-Fahrfläche / 6Mte / Bogenklasse
- mm-Fahrkante / 6Mte / Bogenklasse
- Kritische Stellen bez. Lärm, Schlupfwellen, etc.

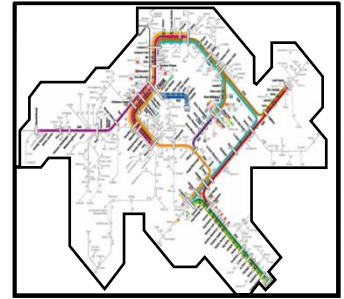
### Technische Daten aller Fahrwerke:

- Radsatzlast 2Qo:
- Radstand 2a+
- Radsatzführung: steif, etc.

### Charakteristiken:

- Bogenhäufigkeit
- Steigungen

Linien-Netz: Abschnitte

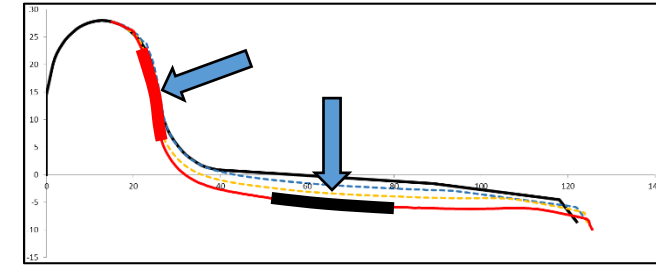
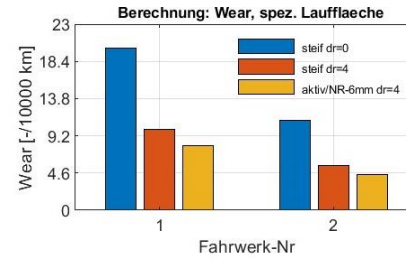


### Analyse Ergebnisse & Prognosen:

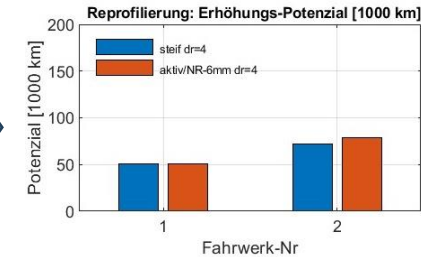
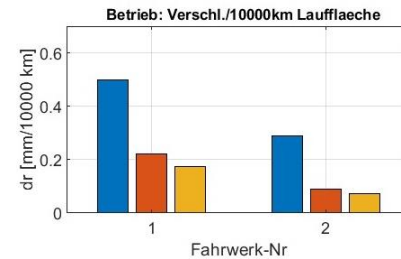
- Kategorisierung der Einsatz-Linien
- Radverschleiss, Schienenverschleiss
- Prognosen von Verbesserungspotenzialen
- Massnahmen zum Verzicht auf SKK
- Analyse von Verschleiss durch Traktion
- Input «Verschleissfaktor-Meterspur»

## Analyse des Radverschleisses der Fahrwerke (Beispiel: RhB – Capricorn)

- ☐ Berechnete Verschleiss-Werte
  - ☐ für beide Radprofile mit mit 0 und 4 mm  $\Delta r$
  - ☐ für aktive Radsatzsteuerung mit 4 mm  $\Delta r$



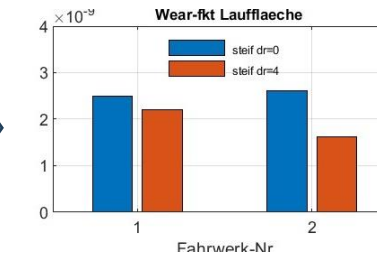
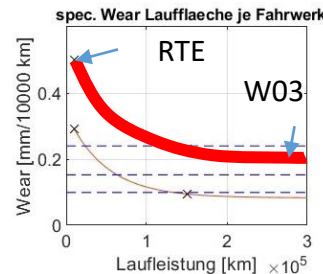
- ☐ spez. Verschleisswerte aus dem Betrieb
  - ☐ für beide Radprofile mit mit 0 und 4 mm  $\Delta r$
  - ☐ für aktive Radsatzsteuerung mit 4 mm  $\Delta r$ 
    - ☐ ermittelt über Berechnungen



Potenzial der Verlängerung des Reprofilierungs-Intervalls

- ☐ Profil: + 50 – 70 tkm
- ☐ Profil + aktive Radsatzsteuerung: + 50 – >80 tkm

- ☐ spez. Verschleiss-Verlauf über Laufleistung
  - ☐ aus Daten für zwei Laufleistungen ermittelt
  - ☐ für alle Fahrwerke der Komposition

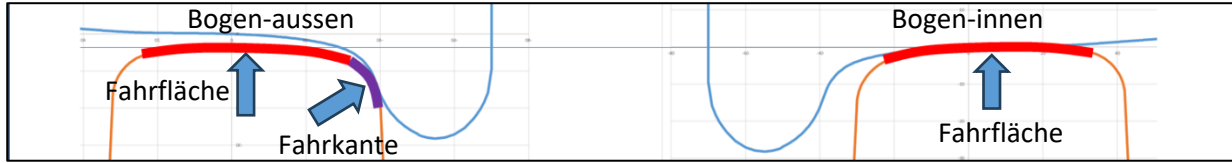


Kalibrierung Verschleissgesetz

- ☐ Unter Einbezug der Materialien, Einsatz- und Umweltbedingungen
- ☐ Für spezifischen Einsatz-Fall

### Radverschleiss-Prognosen Fahrwerk-, Lösung- und Einsatz-Spezifisch

## Analyse von Schienenverschleiss (Beispiel: RhB – Capricorn)

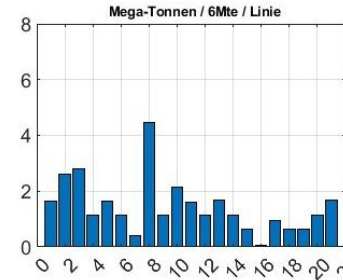
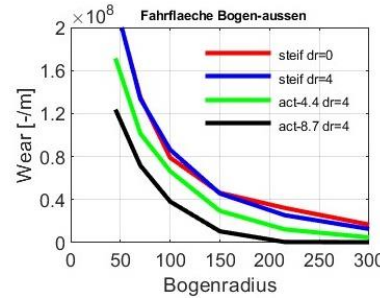


Potenzial der Verringerung des spez. Verschleisses

- vom Profil mit 0 mm zum Profil mit 4 mm Dr
- für verschiedene Lösungsansätze

### Berechnete Verschleiss-Werte

- für bestimmte Linie
- alle Bogenradien-Klassen
- alle Kompositionen
- für 6 Monate

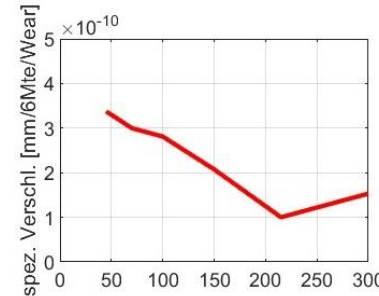
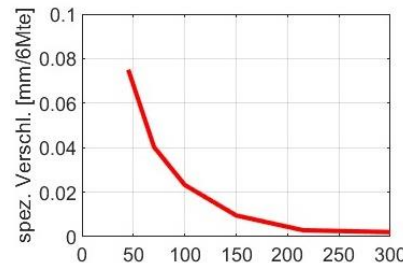


### Gleisbelastung

- Mega-Tonnen / 6 Monate
- für spezifische Linie
- alle Kompositionen
- Input „Verschleissfaktor-Meterspur“

### spez. Verschleisswerte aus Betrieb

- für bestimmte Linie
- aus Daten von zwei Messungen über 6 Monate
- Mittelwerte für alle Bogenradien-Klassen



### Kalibrierung Verschleissgesetz


- Unter Einbezug der Materialien, Einsatz- und Umweltbedingungen
- für spezifische Linie und Radienklassen

**Schienenverschleiss und Prognosen, Gleisbelastung, Input für „Verschleissfaktor-Meterspur“**

# Wirtschaftlichkeit

## Massnahmen auf deren Wirtschaftlichkeit prüfen





- Die Analysen aus  liefern wesentliche Informationen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Massnahmen im Rahmen des Teilprojektes P6
  - zum Fahrzeug-Unterhalt
  - zum Gleisunterhalt
  
- Erwartungen zum Einsatz einer aktiven Radsatzsteuerung
  - Durch den Entfall von SKK kann sich der Einsatz einer aktiven Radsatzsteuerung über niedrigere LCC als wirtschaftlich erweisen
  - Diese Beurteilung wird im Rahmen des Projektes P6 mit Unterstützung von P5 (Lieferobjekt LO 2.5) behandelt.
  - Die zusätzlichen Einsparungen im Radsatzunterhalt, beim Lärmschutz sowie durch die verbesserte Traktion, verbessern die Wirtschaftlichkeit zusätzlich

**Der Einsatz einer aktiven Steuerung erweist sich als prüfenswert!**

# Schlussfolgerungen

## und Bahn-Spezifische-Analysen (BSA)

- Die Grundlagen des im Rahmen von  entwickelten Berechnungs- und Bewertungssystems erlaubt eine zuverlässige Ermittlung aller möglichen Eigenschaften beliebiger Fahrwerke bzw. Fahrzeuge
- Die Qualität der Aussagen hängt im Wesentlichen von der Qualität sowie dem Umfang der Daten ab, welche von den Bahnen bereitgestellt werden können (Einsatzspiegel, Verschleiss, etc.)
- Die Ermittlung der entsprechenden Eigenschaften erfolgt dank der umfangreichen -Datenbank ohne zusätzliche Simulationsberechnungen
- Das Tool lässt sich einfach mit zusätzlichen, den Bedürfnissen der Bahnen entsprechenden Analysen erweitern

 **erlaubt die Bewertung aller Fahrzeugtypen ohne zus. Simulationsberechnungen!**

# Weiteres Vorgehen für BSA

## und Bahn-Spezifische-Analysen (BSA)



1. Die Bahnen melden ihr Interesse an einer Bahn-Spezifischen Analyse bei der Systemführerschaft an
  - inkl. grober Beschreibung der Zielsetzung (ca. ab Mitte April)
2. P5 definiert den Umfang sowie den Ablauf der Analyse
  - P5/RSE erstellen eine Planung sowie eine Ressourcen-, Aufwand- und Kostenschätzung
  - nach gegenseitiger Absprache der Modalitäten erfolgt die Freigabe zur Durchführung der Analyse
3. Die Bahn erfasst die Daten und stellt diese P5/RSE zur Verfügung
4. P5/RSE führen die Analyse durch und erstellen einen Bericht
5. Die Analyse wird anlässlich eines gemeinsamen Workshops vorgestellt und diskutiert

**Die Initiative für eine Bahn-Spezifischen Analyse soll von den Bahnen ausgehen!  
Der Analyse Umfang soll sich an den Bedürfnissen der Bahnen orientieren!**

Herzlichen Dank!

