

MÖGLICHKEITEN OPTIMIERTER FAHRWERKKONSTRUKTIONEN IM NORMAL- UND METERSPURBEREICH FÜR EINE REDUKTION DER RAD- UND GLEISBEANSPRUCHUNG

Bruno Meier / Roman Assfalg, IHRUS, Luzern, 16.11.2023

STADLER

-
1. Einführung / Beurteilungskriterien
 2. Basispreis Verschleiss
 3. Massnahmen bei Vollbahnen, Normalspur

Bruno Meier

Leiter Produktentwicklung
Fahrwerke
STADLER Rail
Management AG

4. Unterschiede zwischen Normal- und Meterspur
5. Massnahmen bei Meterspurbahnen
6. Zusammenfassung / Ausblick

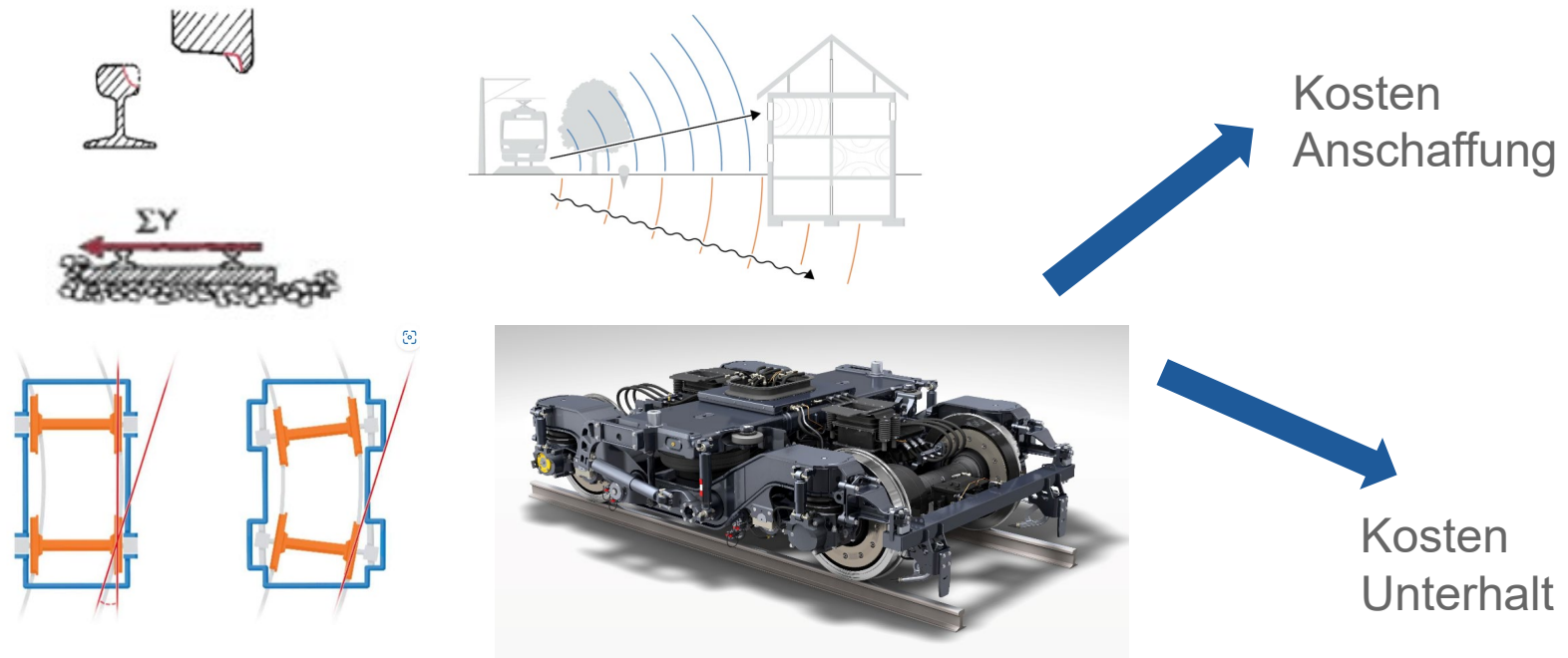
Roman Assfalg

Teamleiter Fahrwerke
Schmalspur-, Zahnrad- und
Spezialfahrzeuge
STADLER Bussnang AG

1. EINFÜHRUNG / BEURTEILUNGSKRITERIEN

Was zeichnet eine optimierte Fahrwerkskonstruktion aus?

Wie ist eine Reduktion der Rad- und Gleisbeanspruchung mit der gestiegenen Nachfrage an die Beförderungskapazitäten vereinbar?



Welche Beurteilungskriterien wollen wir beiziehen?

2. BASISPREIS VERSCHLEISS

HAUPT-EINFLUSSFAKTOREN

Achslast

Installierte Leistung

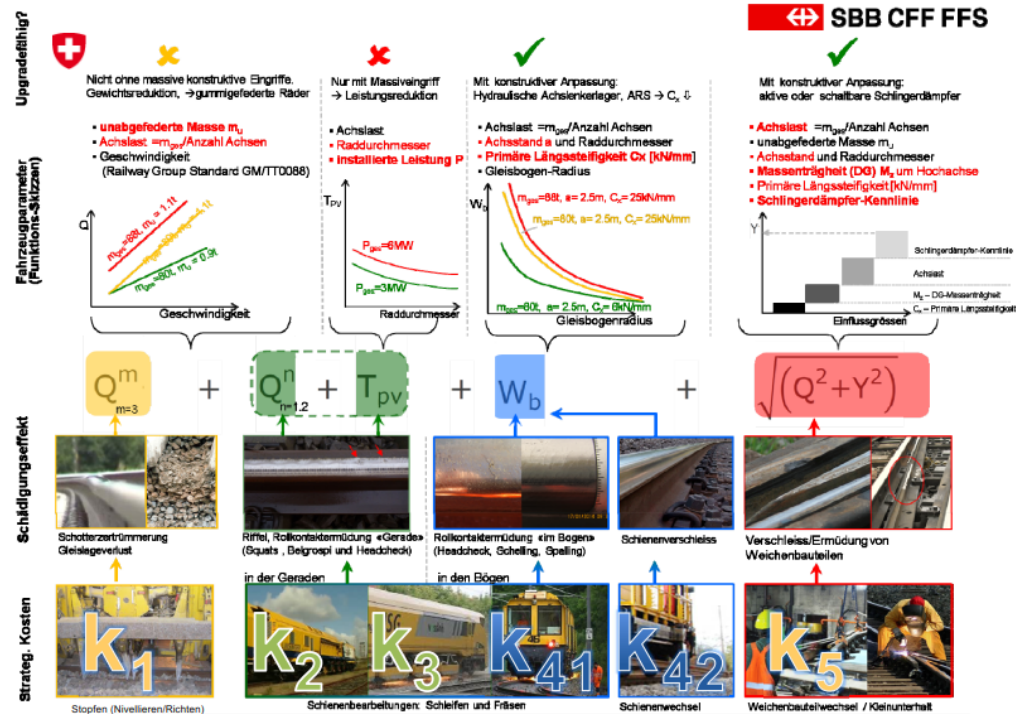
Radialstellung

Ungefederte Masse

Achslast

Ungefederte Masse

Radialstellung



Bundesamt für Verkehr, Markus Giger
14.11.2014

Markus Giger, BAV, 14.11.2014

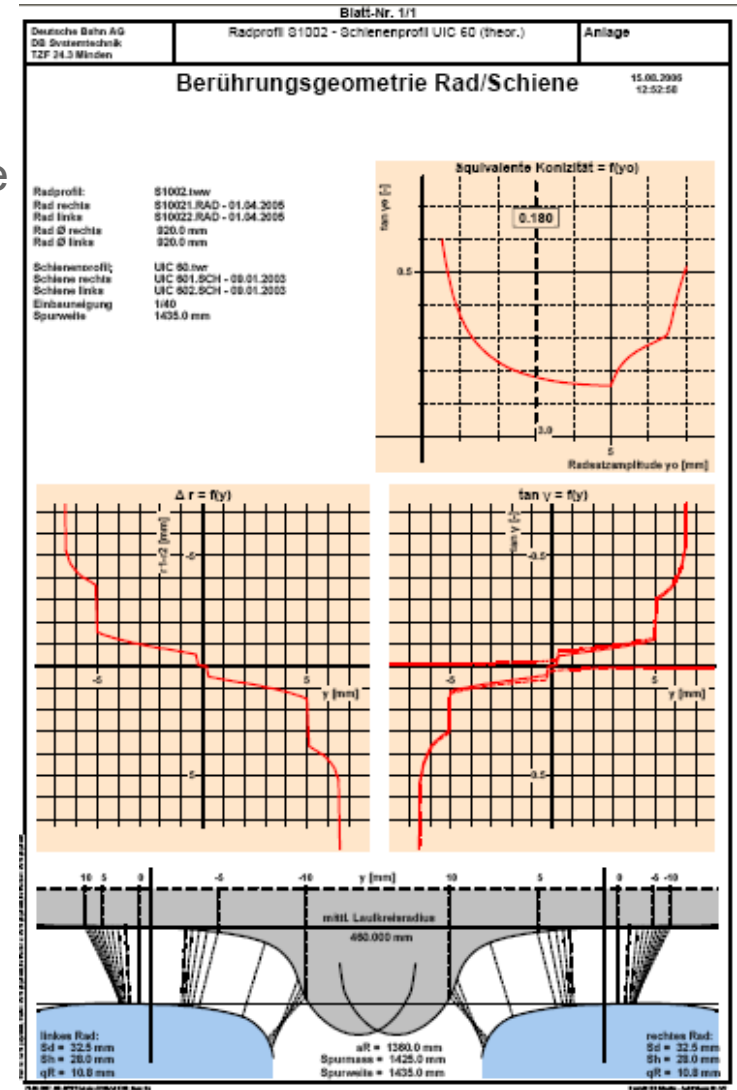
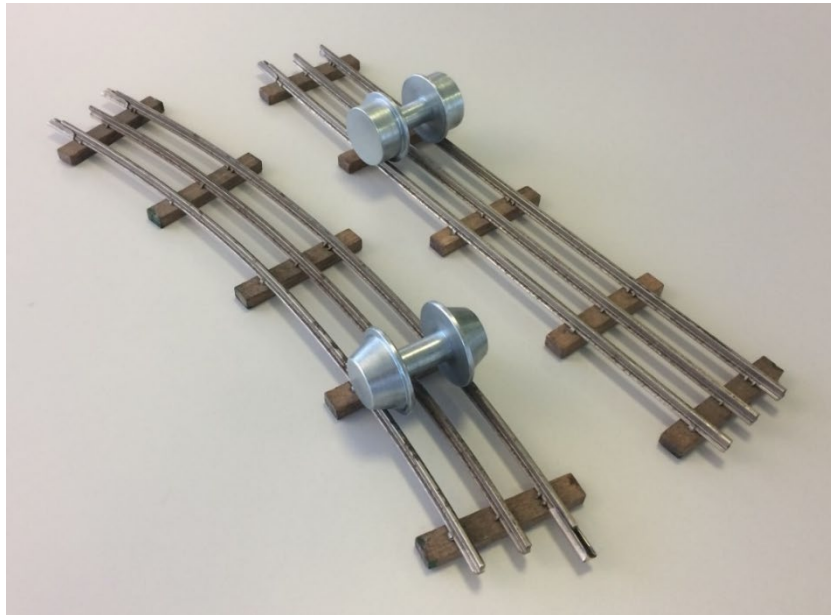
Gilt der Ansatz Basispreis Verschleiss auch für Meterspurbahnen?

2. BASISPREIS VERSCHLEISS

HAUPT-EINFLUSSFAKTOREN

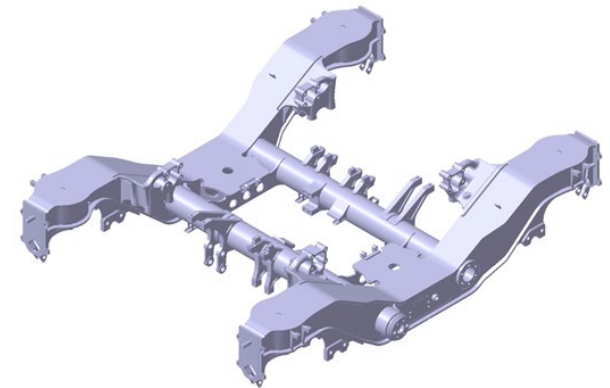
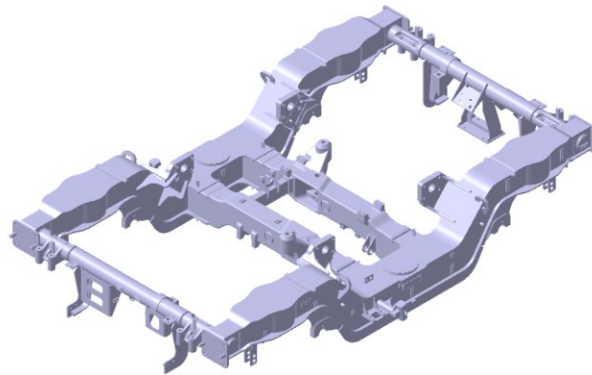
Radialstellung

Geeigneter Oberbau
Geeignete Schienenprofile
Geeignete Radprofile



3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

RAHMEN (ABGEFEDERT)



FLIRT 1. Generation

FLIRT X (ab 2018)

Gewicht Drehgestellrahmen

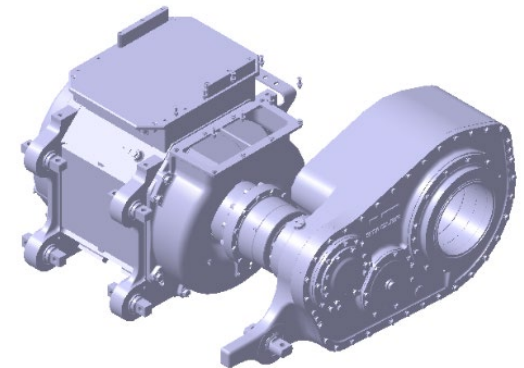
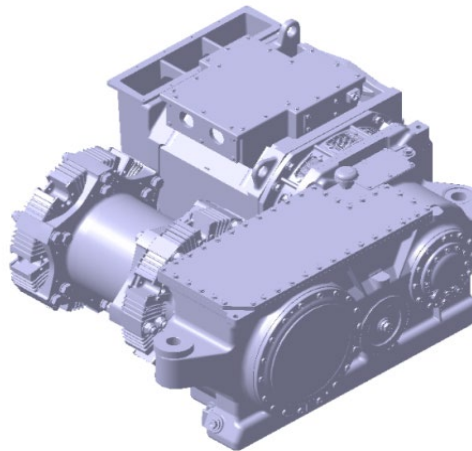
2050 kg

1700 kg

Die verkürzte, offene Rahmenform führt zu einer deutlichen Gewichtsreduktion

3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

ANTRIEB (GRÖSSTENTEILS ABGEFEDERT)



FLIRT 1. Generation

FLIRT X (ab 2018)

Gewicht Antriebe komplett

4000 kg

2666 kg

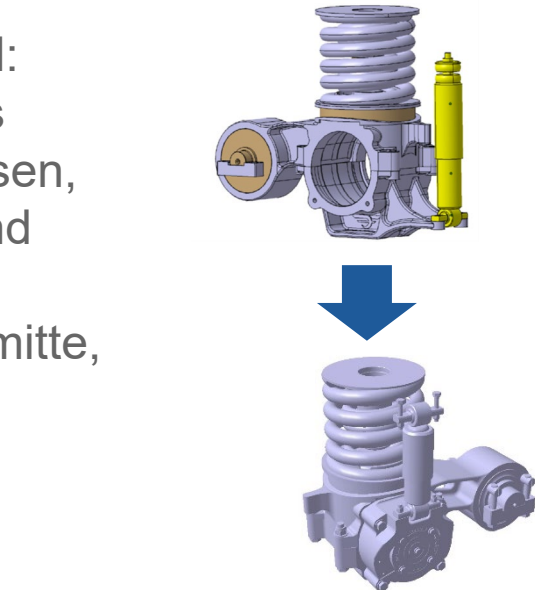
**Signifikante Gewichtsreduktion mit neuem,
teilabgefedertem Antriebskonzept erreichbar**

3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN RADSATZFÜHRUNG UND RADSATZ (UNGEFEDERT)

Kurzes Radsatzlagergehäuse mit Alu-Unterteil:

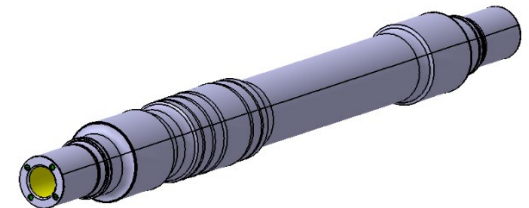
Radsatzführungen in der Form eines Achslenkers führen per se schon zu tiefen, ungefederten Massen, da das hintere Ende am Rahmen angebunden und demzufolge abgefedert ist.

Je kürzer der «Überhang» bezogen auf die Achsmitte, desto geringer fällt die ungefederte Masse aus.



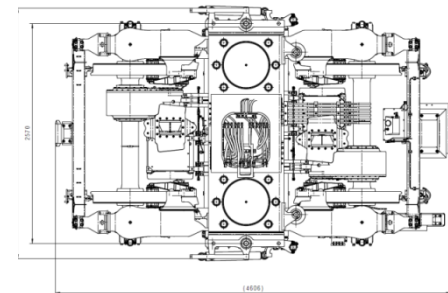
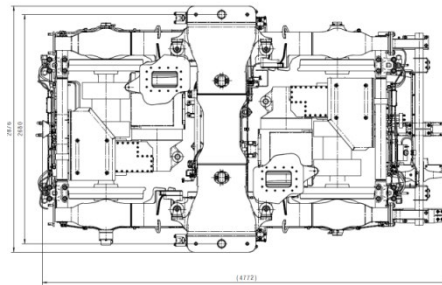
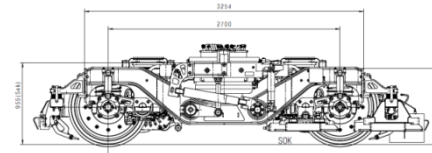
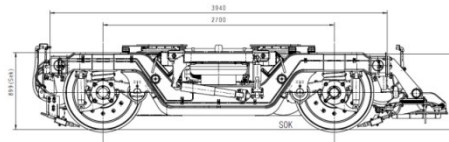
Hohlbohrung Radsatzwelle:

Eine Hohlbohrung von 90 mm anstelle von 30 mm in Zentrum bringt eine Reduktion des Gewichts der Radsatzwelle von 100 kg. Bei gleichzeitig leicht grösserem Aussendurchmesser reduziert sich das Spannungsniveau, was die Sicherheit erhöht.



3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

DREHGESTELL IN SUMME



FLIRT 1. Generation ab 2004

FLIRT X, ab 2018

Gewicht DG total

11,8 t

10,55 t -10.6%

Gewicht primär gefedert

7,09 t

5,58 t -21.3%

Gewicht ungefedert

3,68 t

3,82 t +3.8%

3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

KURVENKRÄFTE UND REIBARBEIT

Die Reduktion von Querkräften und Reibarbeit in Bögen wird erreicht durch:

- Reduktion des Anlaufwinkels zwischen Rad und Schiene
 - Reduktion des Anlaufwinkels wird erreicht durch:
 - Kurzer Radstand
 - Radiale Einstellung der Radsätze
 - Passiv mittels einer weichen Radsatzführung
 - Verkoppelung und/oder Zwangssteuerungen der Radsätze
 - Aktive Radsatzsteuerung oder Regelung möglich.

Der Längsschlupf infolge des Fahrzeuglaufes entsteht vor allem durch nicht ausreichende Rollradiusdifferenz beim Befahren von entsprechend engen Bögen. Diesem überlagert sich bei angetriebenen Achsen der Traktionsschlupf.

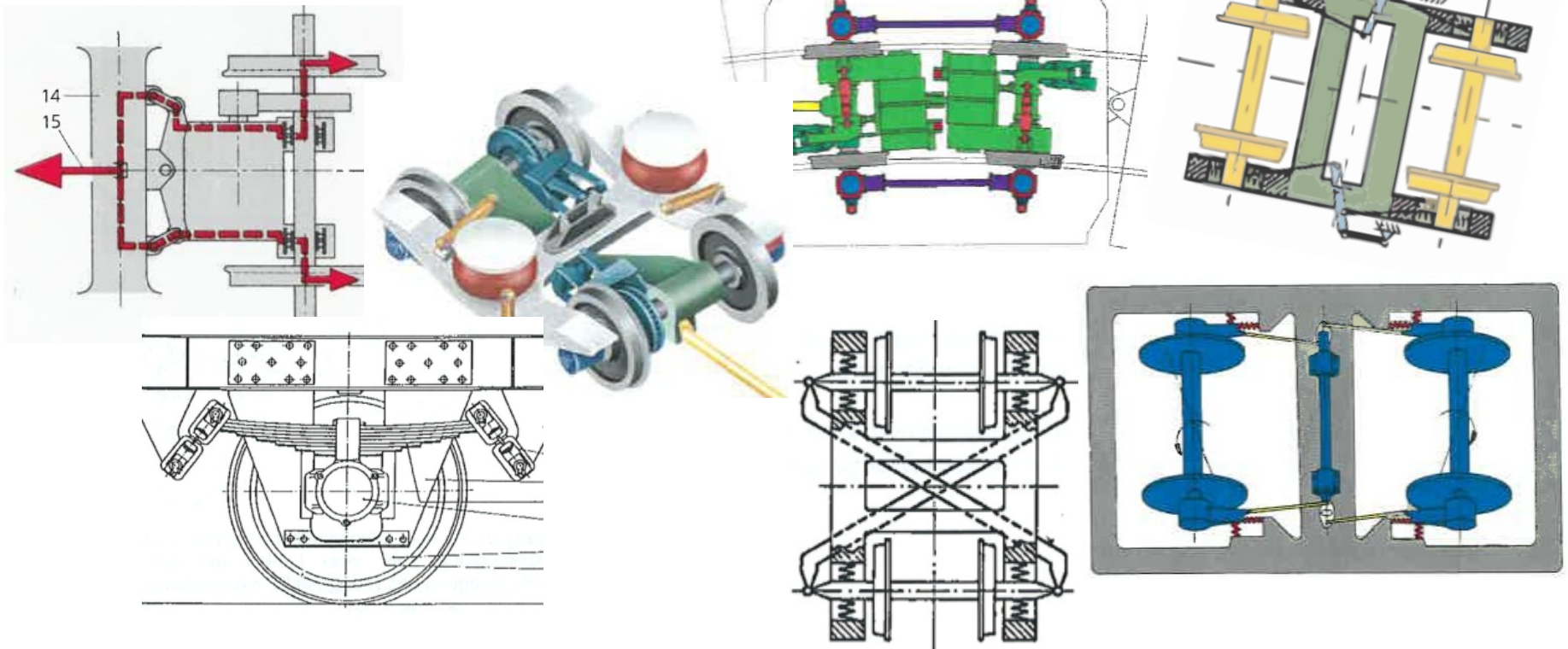
Für gute Radialeinstellung braucht es immer eine geeignete Profilverbindung Rad - Schiene

3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

RADIALEINSTELLUNG FRÜHER

Es gibt unzählige Konzepte, mechanische Lenkersysteme, Verkopplung von Radsätzen, von Drehgestellen, Kastenanklenkungen der Radsätze, um den Schienenfahrzeugen einen guten Kurvenlauf zu ermöglichen.

Sie alle werden heute kaum mehr gebaut! Ein Fehler? Eine Kostenfrage oder schlicht nicht mehr nötig?



3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

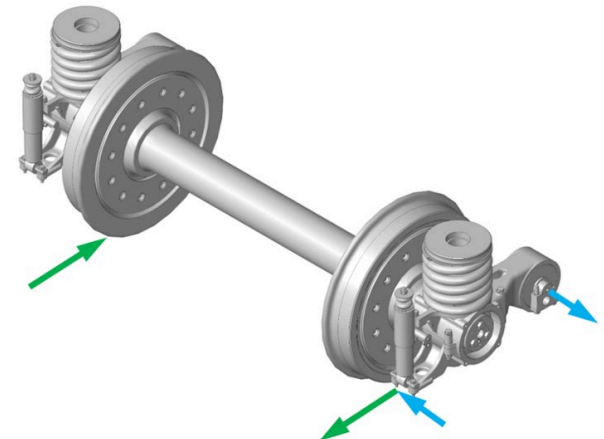
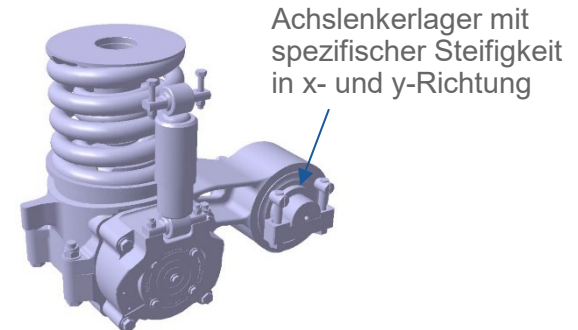
AUSFÜHRUNG HEUTE: ACHSLENKER

Passive Radialeinstellung:

Durch die weiche Anbindung des Achslenkers am Drehgestellrahmen in Längsrichtung kann sich der Radsatz infolge der Schlupfkkräfte im Rad-Schiene-Kontakt radial einstellen (grüne Pfeile).

Deichseleffekt:

Durch die Radsatzführung mittels Achslenkern entsteht beim schnellen Befahren von Kurven durch die auf das Fahrzeug wirkenden Fliehkräfte ein Moment, das die Radsätze zusätzlich radial zum Bogenradius ausrichtet (blaue Pfeile).

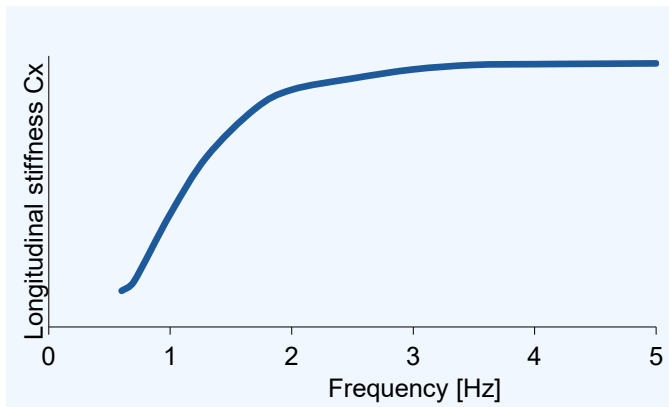


3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

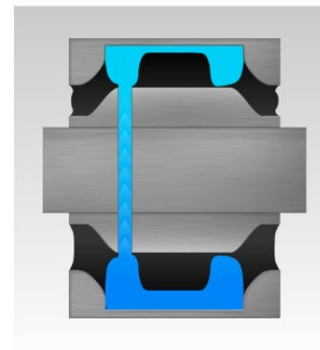
HYDRAULISCHE ACHSLENKERLAGER

Bei Triebzügen im Vollbahnbereich setzt Stadler zur Verbesserung der radialen Einstellung der Radsätze häufig hydraulische Achslenkerlager (HALL) ein.

Die HALL haben eine veränderbare Längssteifigkeit. Die Steifigkeit ist tief für Bewegungen im Frequenzbereich unter 1 Hz und erlaubt dadurch eine sehr gute Einstellung des Radsatzes in Kurven. Im Bereich oberhalb 2 Hz ist die Steifigkeit deutlich höher und erlaubt somit eine stabile Fahrt auch bei hohen Geschwindigkeiten.

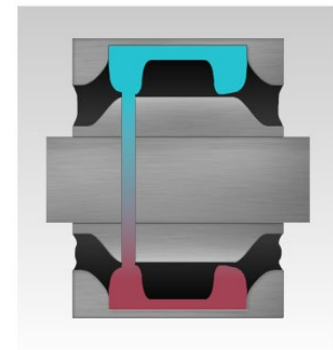


Niederfrequente Anregung



Einfahrt in eine Kurve

Hochfrequente Anregung

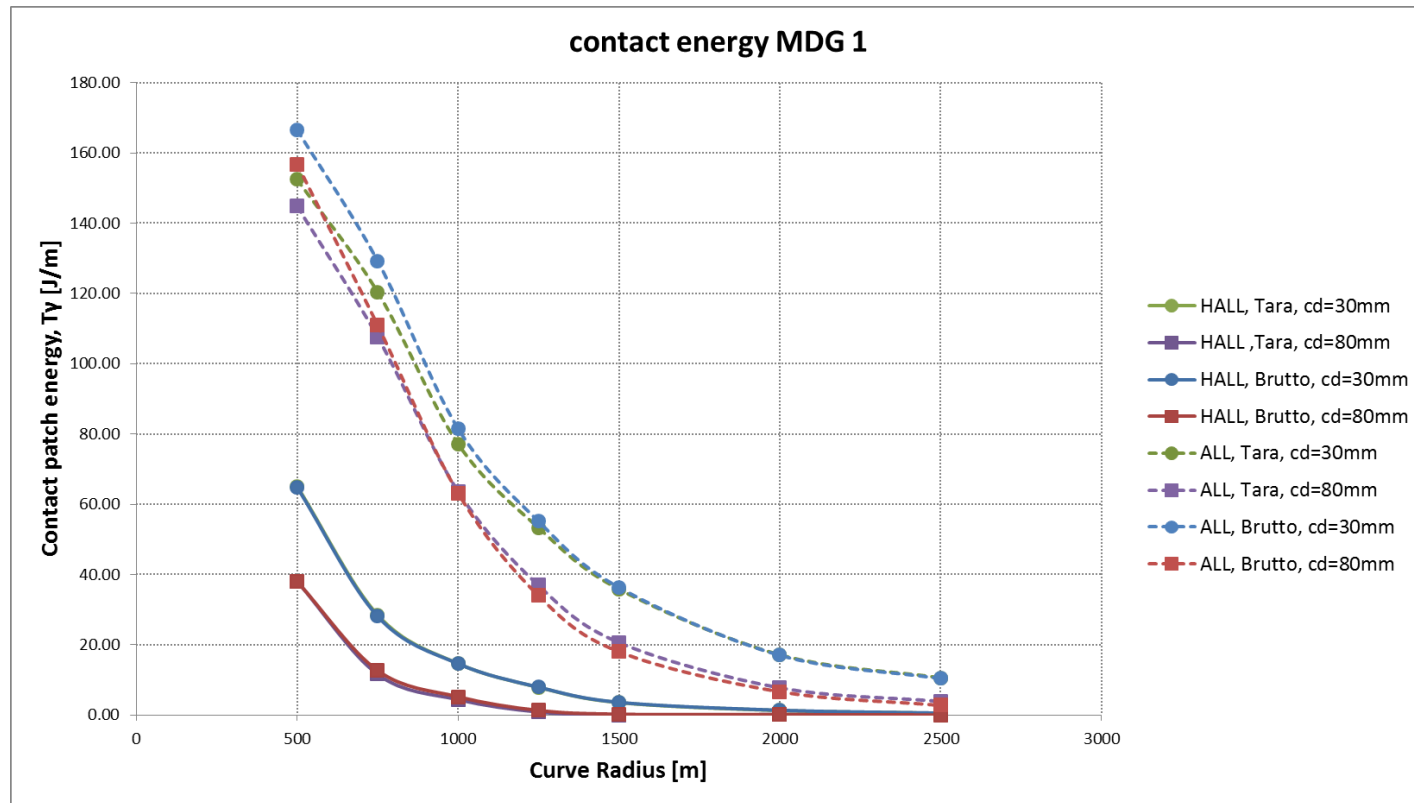


Dynamische Last bei schneller Fahrt

**Reduzierter Verschleiss – Reduzierte Tendenz zu Rollkontaktermüdung –
Längere Radlebensdauer**

3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

REDUKTION DER REIBARBEIT MIT HALL



Deutliche Reduktion der Reibarbeit über gesamten Bogenbereich mit HALL

3. MASSNAHMEN BEI VOLLBAHNEN

EINFLUSS DER TRAKTIONSLEISTUNG

Je grösser die Traktionsleistung pro Achse, je grösser die Beanspruchung im Rad-Schiene-Kontakt und somit das Risiko für Schäden an Rad und Schiene. Unter diesem Aspekt haben möglichst verteilte Antriebe einen Vorteil. Ihr Nachteil ist das insgesamt höhere Gewicht und die höheren Unterhaltskosten. Welche Aspekte nun überwiegen, muss im Einzelfall genau betrachtet werden.

Zwei Sachverhalte sind aber klar:

- Eine gute Adhäsionsregelung ist für die Anforderungen an den modernen Schienenverkehr unabdingbar.
- Wirtschaftliches, optimiertes Fahren, d.h. nur dann mit Volldampf los wenn es wirklich nötig ist, hilft in jedem Fall, signifikant Material zu schonen und Kosten zu sparen.

Gefühlvoll fahren hilft Schäden zu vermeiden und Kosten zu sparen.

4. UNTERSCHIEDE NORMAL- & METERSPUR

ALLGEMEIN

Situation Normalspur:

- Grosse Gleisradien
- Mehr Bauraum
- Trassengebührenmodelle
- Interoperabler Betrieb

Situation Meterspur:

- Tiefere Achslasten
- Oft enge Gleisradien
- Tiefere Geschwindigkeiten
- Kleinere Gesellschaften, Fahrzeuge und Fahrweg unter einem Dach
- Trassengebührenmodelle nicht vorhanden
- Kein interoperabler Betrieb

Andere Randbedingungen erfordern andere Lösungen.

4. UNTERSCHIEDE NORMAL- & METERSPUR

FAHRZEUGENTWICKLUNG

Normalspur:

- Serienfahrzeuge mit relativ grossen Stückzahlen
- Weiterentwicklung von Fahrzeugplattformen
- Produktkataloge

Meterspur:

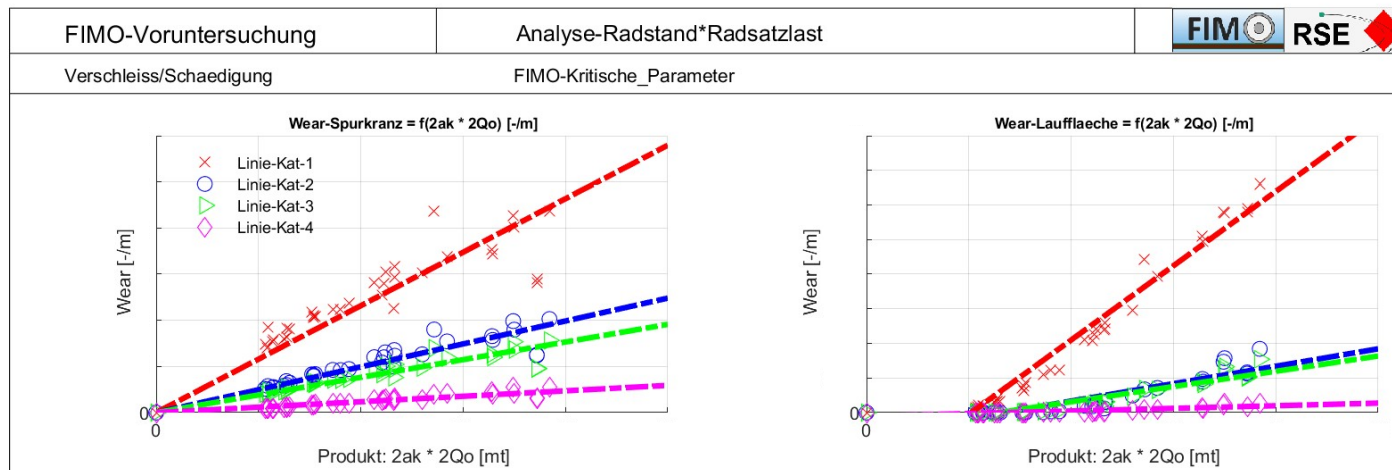
- Fahrzeugentwicklung im Projektgeschäft
- i.d.R. kleinere Stückzahlen
- Sehr unterschiedliche kundenspezifische Anforderungen und Randbedingungen
- Plattformlösungen kaum umsetzbar
- Vorhandene Komponenten und Erfahrungen neu kombiniert

Seriengeschäft versus Produktgeschäft

5. MASSNAHMEN BEI METERSPURBAHNEN

VERSCHLEISSREDUKTION

- In der «Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug/Fahrweg» (RAILplus) entwickelte «*FIMO-Formel*»: Korrelation zwischen dem Verschleisskoeffizienten und dem Produkt aus Radstand und Achslast
 - Ein möglichst kurzer Radstand wird generell angestrebt
 - Tiefere Achslasten sind bei gleicher Fahrzeuggrösse nur durch eine höhere Anzahl an Achsen erreichbar



Bahnspezifische Lösungen sind erforderlich.

5. MASSNAHMEN BEI METERSPURBAHNEN

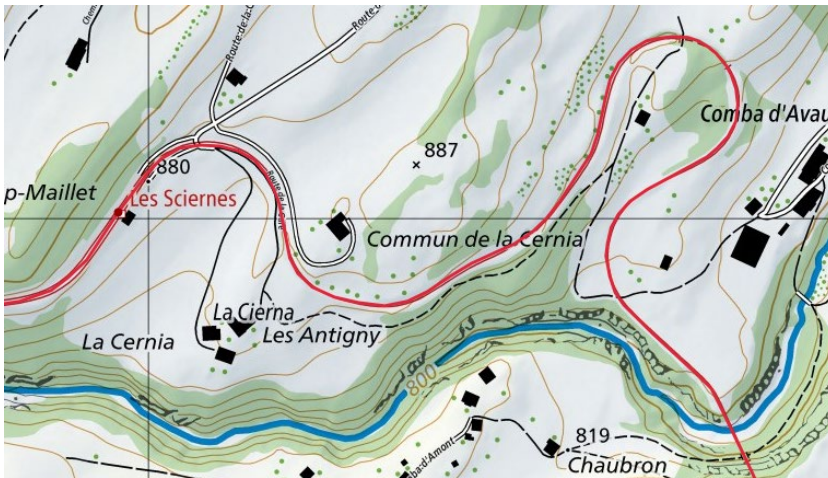
EINSATZ RADIAL EINSTELLBARER RADSÄTZE

- Ein Lösungsansatz: Radial einstellbare Radsätze
- Beispiele von Meterspurfahrzeugen mit radial einstellbaren Radsätzen aus der Vergangenheit sind vorhanden
 - Ur-GTW (MOB, ASM,...)
 - Ge 4/4 III (RhB, MOB, MBC)
- Im Vergleich zu herkömmlichen Fahrwerken erhöhter technischer Aufwand
 - Zusätzliche Lager, Gelenkstangen
 - höhere unabgefederte Masse
 - Aufwändige, komplexere Konstruktionen, z.B. Schiebelagerantriebe

Bisher wurden bei Meterspurbahnen nur passive Systeme für die Radialeinstellung eingesetzt.

5. MASSNAHMEN BEI METERSPURBAHNEN

RADIAL EINSTELLBARE RADSÄTZE



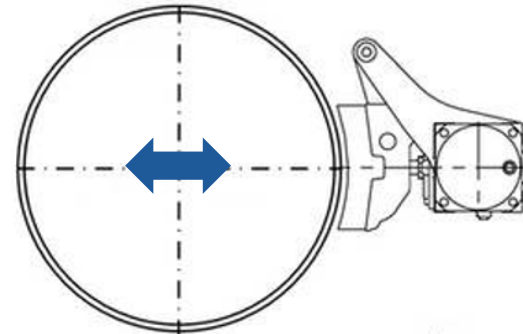
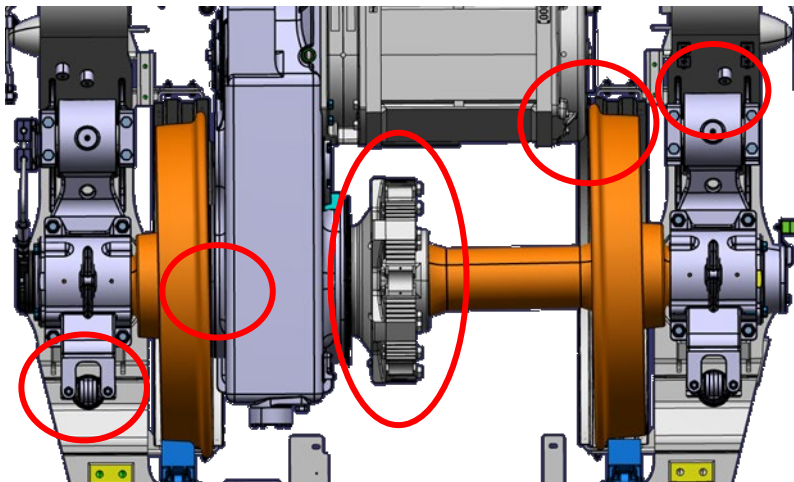
- Einsatz auf Strecken mit vielen Bögen sinnvoll
- Meterspurstrecken mit vielen Bögen haben i.d.R. auch enge oder sehr enge Bögen
- Kleine Bogenradien bedeuten einen grossen einzustellenden Winkel am Radsatz
- Grosse Einstellwinkel verursachen einen grossen Längsweg am Achslenker

Grosse Einstellwinkel müssen frühzeitig in der Fahrwerkskonstruktion berücksichtigt werden.

5. MASSNAHMEN BEI METERSPURBAHNEN

RADIAL EINSTELLBARE RADSÄTZE

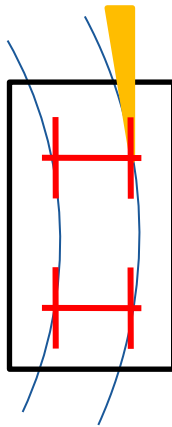
- Konstruktive Folgen grosser Einstellwinkel:
 - Raum zum Ausschwenken des Radsatzes muss vorhanden sein
 - Bei Motordrehgestellen muss der Antrieb für das Ausdrehen geeignet sein
 - Zahnradbahnen haben bauartbedingt Tatzlagerantriebe
 - Beim Einsatz von Klotzbremsen muss deren Funktion sichergestellt sein
 - automatischer Verschleissnachsteller



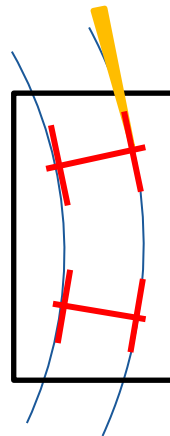
5. MASSNAHMEN BEI METERSPURBAHNEN

RADIAL EINSTELLBARE RADSÄTZE

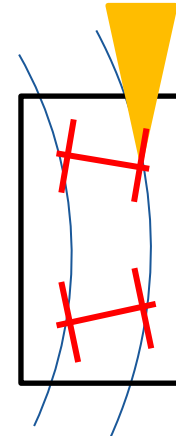
- Sicherheitstechnische Folgen grosser Einstellwinkel:
 - Insbesondere bei aktiven Systemen müssen Ausfallszenarien und Fehlfunktionen beachtet werden
 - Fehlstellungen können zu sehr grossen Anlaufwinkeln führen



Ohne Einstellung



korrekte Einstellung



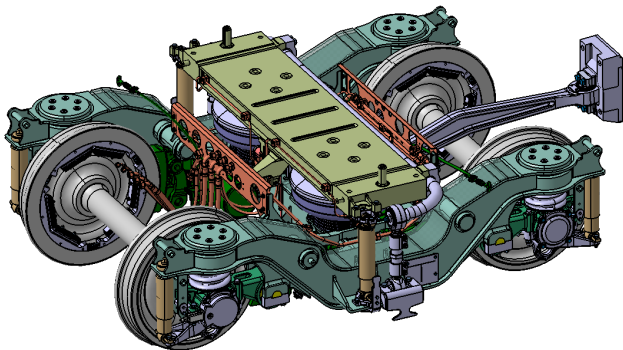
falsche Einstellung

Erste Abklärungen haben gezeigt, dass diese Szenarien beherrschbar sind.

5. MASSNAHMEN BEI METERSPURBAHNEN

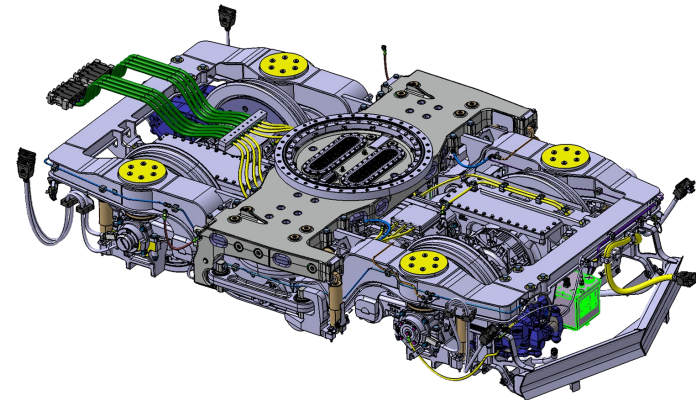
GEWICHTSREDUZIERUNG

- Fahrwerksrahmen ohne Kopfträger
 - Wird insbesondere bei Laufdrehgestellen bereits umgesetzt
 - Bei Triebfahrwerken zu wenig Bauraum für Bremseinheiten und Antrieb nebeneinander -> Bremseinheiten am Kopfträger



Beispiel: LDG «leicht», Rhätische Bahn

- DG-Rahmen ohne Kopfträger
- Leichte Traverse
- Zugkräfte über Zug-Druck-Stange



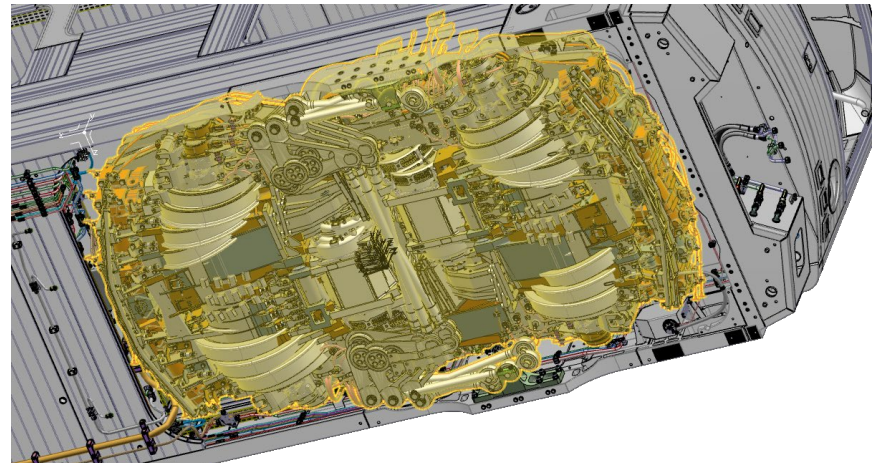
Beispiel: MDG, Roslagsbanan (Spurweite 891 mm)

- Bremszange für Radbremsscheibe und Antrieb am Kopfträger aufgehängt
- Hohlbohrung Radsätze $\varnothing 60$ mm
- Aluminium-Gusstraverse

5. MASSNAHMEN BEI METERSPURBAHNEN

GEWICHTSREDUZIERUNG

- Achslenker
 - Achslenkervariante ist Standard (Deichseleffekt)
 - Kein Bauraum für seitlichen Dämpfer
 - Lichtraumprofil
 - Ausdrehen des Fahrwerks unter dem Wagenkasten
- Anbauteile wie Dämpfer und Achsgeber nicht kleiner als bei Normalspur

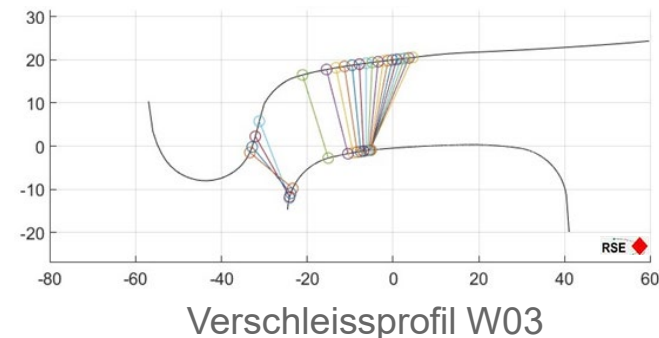
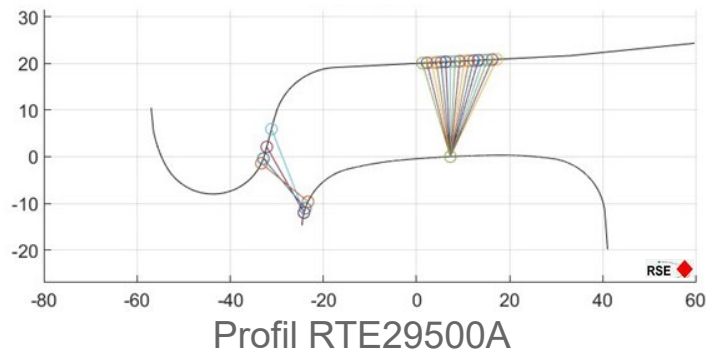


Reduktion der ungefederten Massen spielt bei der Meterspur eine eher untergeordnete Rolle.

5. MASSNAHMEN BEI METERSPURBAHNEN

BERÜHRGEOMETRIE

- Bisher i.d.R. vorgegebene Profile der Bahnen oder RTE-Profil verwendet
- Forschungsarbeiten im Rahmen der Systemführerschaft «Interaktion Fahrzeug/Fahrweg Meterspur»
- Grosses Potential für die Verschleissreduktion und verbessertes Bogenlaufverhalten mit verschleissoptimierten Profilen



- Das korrekte Schienenprofil ist ebenso wichtig
- Sinnvolle Materialkombination Rad und Schiene nötig

Eine geeignete Paarung zwischen Rad und Schiene ist essentiell.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

NORMALSPUR UND METERSPUR

– Normalspur

- Massenreduktion
- Reibarbeitsreduktion durch Radialeinstellung
- Passive Systeme zur Radialeinstellung ausreichend
- Optimierte Adhäsionsregelung bei neuen Fahrzeugen
- Entwicklung bei STADLER ist fortgeschritten, Schwerpunkte gesetzt

– Meterspur

- Gleiche Theorien, aber andere Umstände und Randbedingungen
- Grosses Potential in richtiger Wahl von Rad- und Schienenprofilen
- Für eine vollständige Radialeinstellung reichen passive Systeme nicht immer aus, bahnspezifische Lösungen erforderlich
- Untersuchungen zur Optimierung der Rad- und Gleisbeanspruchung sind in Arbeit

Es gibt viel zu tun, wir sind gemeinsam mit RAILplus auf dem Weg.



**VIELEN DANK
FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT**

STADLER