

Die Optimierung der Rad-Schiene-Schnittstelle

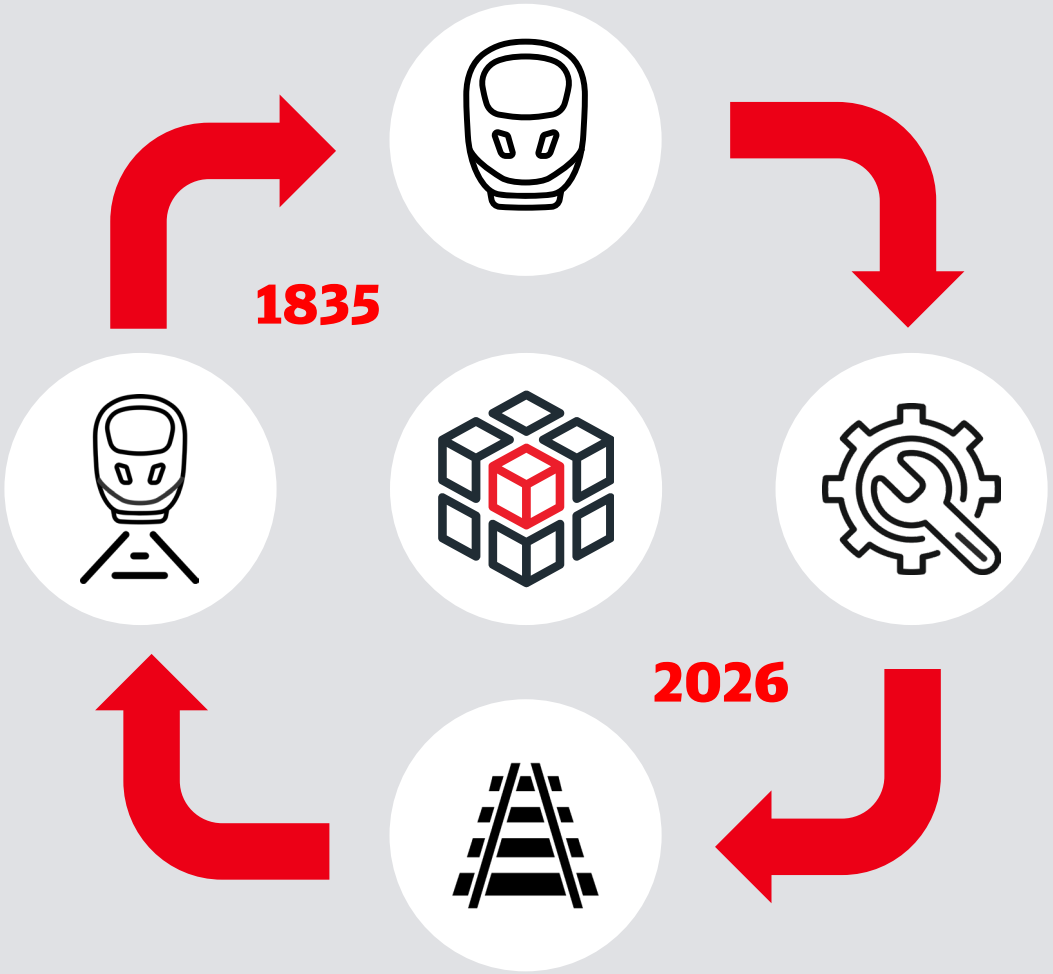
Eine Win-Win-Situation für Fahrzeug- und Infrastrukturbetreiber

10.11.2026 | Katrin Mädler, Thomas Kolbe | Graz

DB Systemtechnik, Patrick Kuschfeld

Ausgangspunkt

Das Rad-Schiene-System hat sich bis heute sehr verändert.



Mehr Verkehrsleistung
Höhere Beanspruchung von Rad und Schiene

Höhere Laufleistungen und Liegedauern
Mehr Lastwechsel

Neue Fahrzeugtechnik
Mehr Antriebs- und Bremsschlupf

Höhere Radsatzlasten
Mehr unabgefederte Massen

Verändertes Fahrverhalten
Komforteinbußen

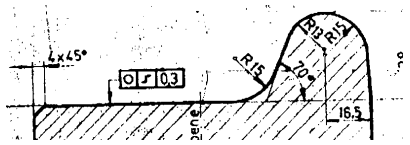
Historische Entwicklung

Profilgeometrie an Rad und Schiene

1

Rad: zylindrisch

einfache Geometrie



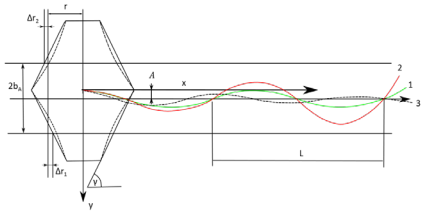
Quelle: U-Bahn Berlin

FÜHRUNG durch SPURKRANZ

2

Rad: konisch

Sinuslauf (Doppelkegel)



SELBSTZENTRIERUNG

3

Schiene: Einbauneigung

Rad mit Schiene betrachtet

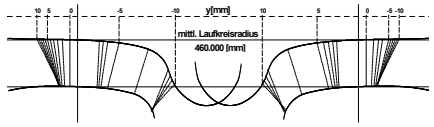


Kontakt OPTIMIEREN

4

Standardisierte Profile

verschleißangepasste Konturen



Rad: S1002 / EPS
Schiene: 60E2

SYSTEMKOMPATIBILITÄT

4

- Verschleiß verändert die Profilform nicht
- Erhalt der guten Eigenschaften des Fahrverhaltens
- Hohe Profillaufleistung bei abgestimmter Fahrzeugkonstruktion
- geringe Schwingungsübertragung in Fahrzeugkasten (Fahrkomfort)
- keine Instabilitäten (Fahrsicherheit)

Profiloptimierung mit Blick auf geringen Gesamtverschleiß im System Rad-Schiene

Historische Entwicklung
Rad-Werkstoffe

1835-1870: Radreifen aus **Gusseisen**

Ab Mitte 19. Jahrhundert: Radreifen aus **Schmiedeeisen**

1870-1930: Radreifen aus **Stahl** (Bessemer, Siemens-Martin)

1930–1970: Reinere, überwiegend **perlitische Stähle**

Seit 1960: Vollräder

1950-1970: Radreifen/Vollräder aus perlitischen C-Mn-Stählen mit **Zugfestigkeit Rm von 600-800 MPa**

Ab 1970: Radreifen aus B4N und Vollräder aus R7 (ER7), **Rm von 800–940 MPa,**

ER7 als Standardwerkstoff im Personen- und Güterverkehr

Ab 2010:

Vollräder aus ER8, ER9, (C64) im Personenverkehr, **Rm von 980–1050 (1080) MPa**

Festigkeit

Werkstoffoptimierung für geringeren Verschleiß an der Komponente Rad

Historische Entwicklung
Schienen-Werkstoffe

1835: C-armes **Schmiedeeisen**

1880: **Stahl** (Bessemer, Siemens-Martin)

1900–1960: **C-Mn-Stähle**, überwiegend perlitisches Gefüge, R200 bzw. R220, **Rm > 680 MPa bzw. 770 MPa**

1960-1990: **Perlitische Stähle,** R260, max. 0,8 % C, Rm > 880 MPa als Standardwerkstoff

Ab 1990: Kopfgehärtete, feinperlitische Schienen, R350HT, **Rm > 1175 MPa**, Gleisbogenradien bis 700 m

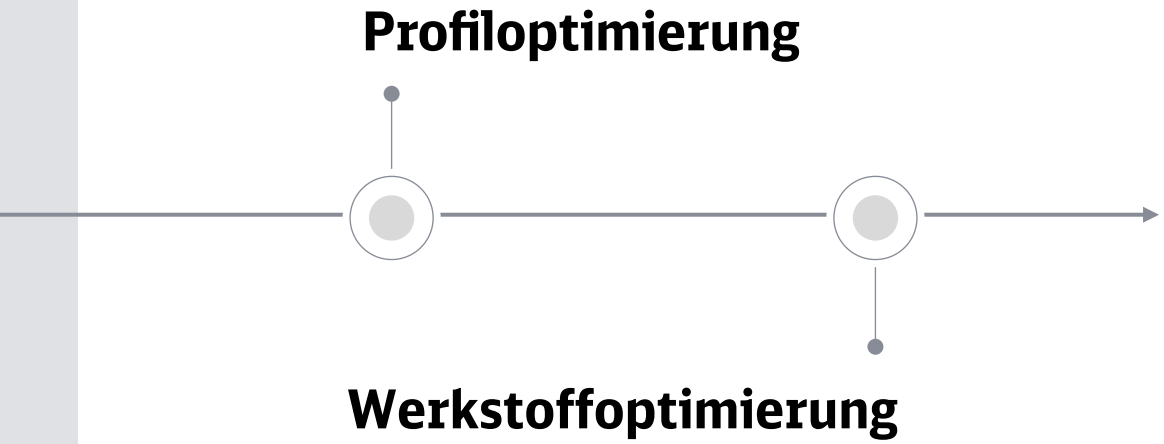
Ab 2009:

R350HT in Gleisbogenradien bis 3000 m

Festigkeit

Werkstoffoptimierung für geringeren Verschleiß an der Komponente Schiene

Auswirkungen auf die Rad-Schiene-Schnittstelle



- Geringer Verschleiß
- Gute Formstabilität
- Hohe Stand-/Liegezeiten

Verschleiß und Rollkontaktermüdung (RCF) in Konkurrenz

Wiederholter Kontakt → **Vorschädigung im Gefüge** → **Rissbildung** → **Risswachstum**

Kontaktpressung und Tangentialkräfte

Mehr Lastwechsel

Zyklische plastische Verformung

Anrisse an der Oberfläche

Risse, Ausbrüche

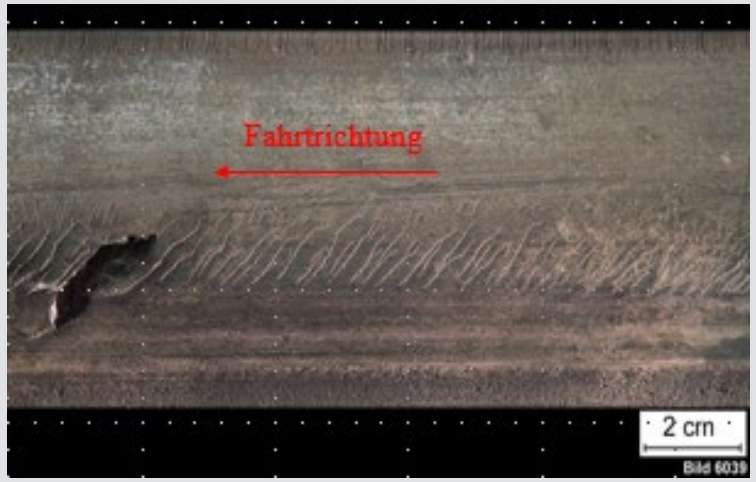
Frühzeitiger Materialabtrag sorgt für Entfernung der Anrisse.

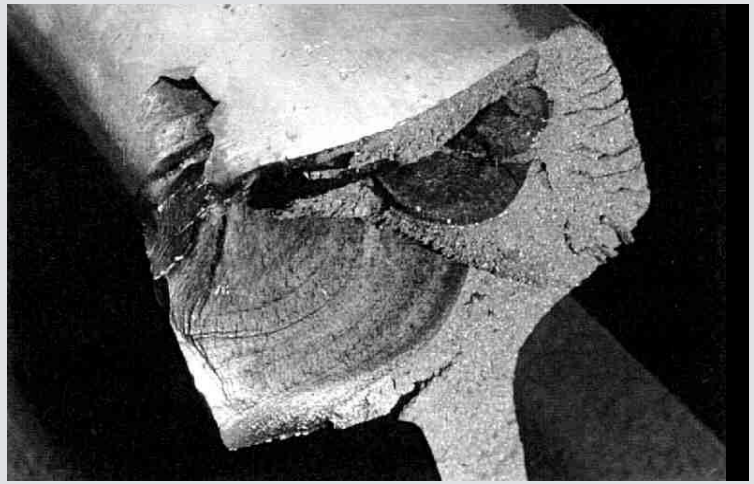
Die drei Wirkungen härterer Werkstoffe:

1. Höhere Streckgrenze erhöht den Widerstand gegen RCF
2. Höherer Verschleißwiderstand, geringerer Eigenverschleiß
3. Höhere Kerbempfindlichkeit, Gefahr der Rissbildung an Defekten

Das Problem mit der Rollkontaktermüdung ab den 1990-igern

Schiene





Fahrkantenrisse an Schienen - Head Checks

im Gleisbogen an der Bogenaußenschiene

- Gefahr des Schienenbruchs mit nachfolgender Entgleisung
- Bekanntes Beispiel: Unfall Hatfield im Jahr 2000
- Europaweite Aktivitäten zu RCF-Bewertungsverfahren und IH-Maßnahmen

Wichtigste Erkenntnis: Oberflächenmanagement erforderlich

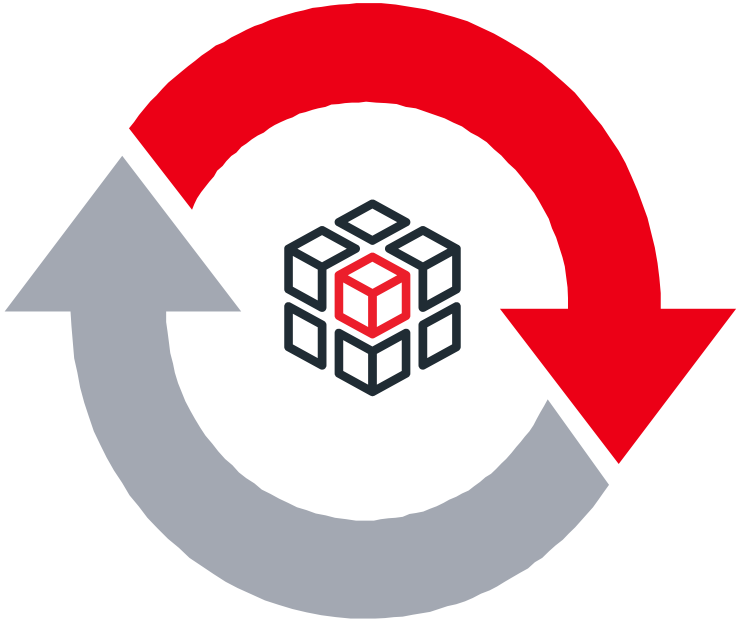
Umsetzung von Maßnahmen bei der Deutschen Bahn

- Entfernung der Head Checks durch Schleifen, **ab 2003**
- Kopfgehärtete Schienen in Gleisbögen bis 3000 m, **ab 2009**
- Präventive Schienenbearbeitung, **ab 2010**

Weitere Veränderungen an der Rad-Schiene-Schnittstelle

Neue Antriebs- und Bremskonzepte
- Mehr Schlupf

Einführung moderner Schleif-verfahren für Schienen (HSG)
- Kein Profilschleifen, keine Profilkontrolle
- Höhere Oberflächenrauheit



Neue Fahrwerkskonstruktionen
- radiale statt starre Radsatzführung
- Weniger Spurkranz- und Fahrkanten-verschleiß

Zunehmend lokaler Fahrzeugeinsatz
- Unsymmetrischer, einseitiger Verschleiß

Die Profil- und Werkstoffoptimierung stark beeinflussende Faktoren seit den 1990iger Jahren

Die Schnittstelle ist aktuell weniger fehlertolerant.





Quelle: DB InfraGo, Jürgen Reinhardt

Präventive Schienenbearbeitung
Abweichungen vom Sollprofil

Veränderte Berührgeometrie
Höhere Belastung durch Kontaktpunktkonzentration

Hoher Schlupf - Antrieb und Bremse
Wärmeeintrag, White Etching layer (WEL), RCF

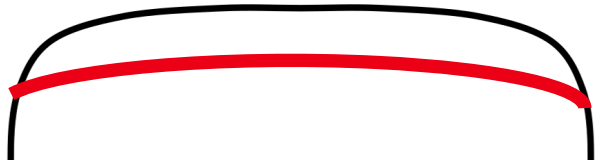
Neue Schäden durch RCF
Hoher Instandhaltungsaufwand

Betrieb und Instandhaltung
Fehlende Schmierung, hohe Reibwerte in Bögen

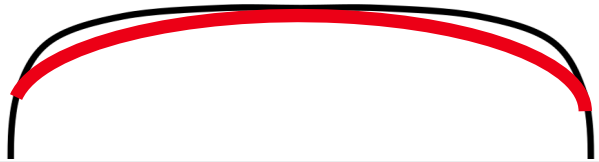
Berührgeometrie als Schlüsselgröße der Rad-Schiene-Schnittstelle

Einfluss der (präventiven) Schienenbearbeitung

Formveränderung
geprägt von **Überrollungen**



Formveränderung
geprägt von **Schienenbearbeitung**

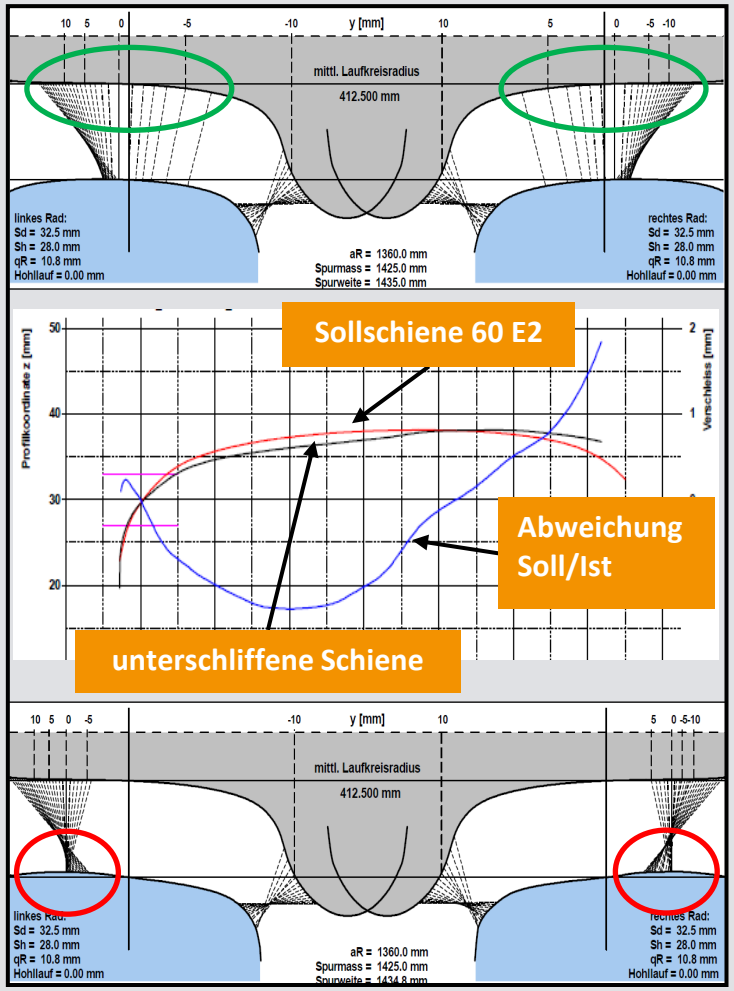


Ziel: Unterschleifen der Schienen-Fahrkante um wenige Zehntel mm (Minustoleranzen) zur Vermeidung der Berührung

Wenn: keine Qualitätskontrolle, keine Messung und keine Korrektur des Schienenkopfprofils nach dem Schleifen

Dann: bei hoher Häufigkeit die Fahrfläche bis **Schienenkopfmitte > 1 mm** unterschliffen, Vorgabe nach Ril 824.8310 - **max. Toleranz: -0,6 mm**

Folgen: Berührpunkte in einem sehr kleinen Kontaktgebiet konzentriert
sehr geringe äquivalente Konizitäten (Fahrzeugschwingungen)
Anstieg der Flächenpressungen von 800 auf > 1.500 MPa (RCF)



Reaktion des Werkstoffs an der Rad-Schiene-Schnittstelle

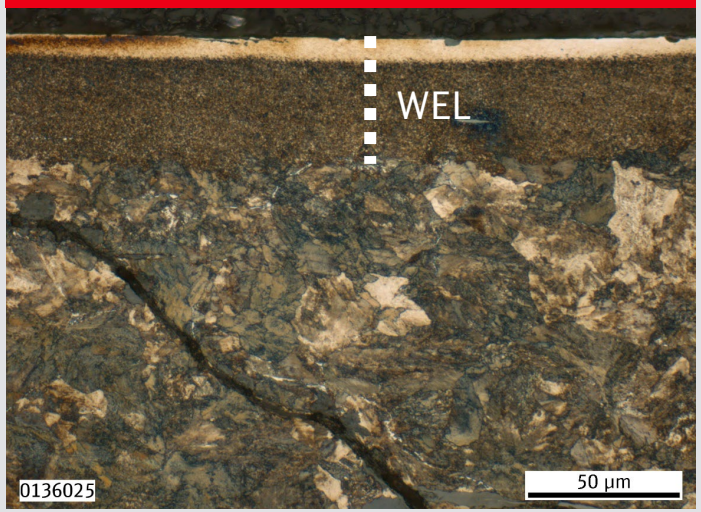
Neue Antriebs- und Bremskonzepte

- Gefügeumwandlungen durch massiven Schlupf
- „Dicke“ Weiße Schichten (White Etching Layer, WEL), mehrfach angelassen
  - „lokale Wärmebehandlung“ im Rad-Schiene-Kontakt
- WEL als Oberflächendefekte = Ausgangspunkt für RCF

Rad



Schiene



DZSF-Forschungsprojekt und Analyse aktueller Praxisbeispiele

DZSF-Forschungsbericht 36 (2023)

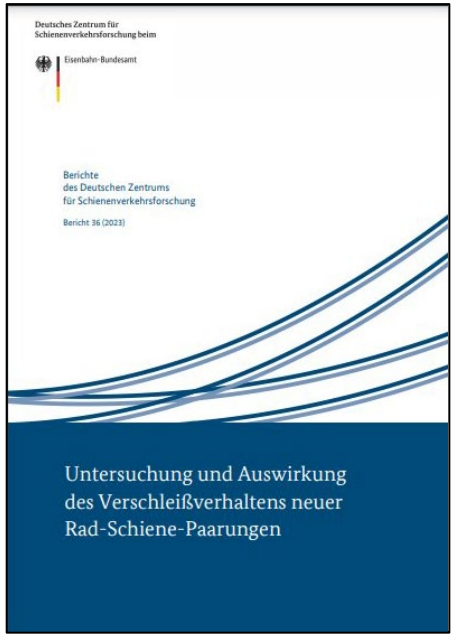
„Untersuchung und Auswirkung des Verschleißverhaltens neuer Rad-Schiene-Paarungen“

Aktuelle Probleme im Rad-Schiene-Kontakt

Bewertung der berührgeometrischen Bedingungen (Spurspiel, äquivalente Konizität und Radialstellungsindex)

Bewerten des Einflusses von Rad- und Schienenwerkstoffen

Bewertung geänderter betrieblicher und Instandhaltungsbedingungen (Schleifen, Schmieren)



DB-internes Projekt 2025-2026

„Optimierung der Rad-Schiene-Schnittstelle“

Baureihen-(BR-)spezifische Bestandsaufnahme des Schwingungsverhaltens der Fahrzeuge sowie von Laufflächenschäden

- Fernverkehr: 7 BR
- Regio: 5 BR
- Gelbe Flotte: 3 BR

Maßnahmen und Handlungsempfehlungen zur Optimierung aus Systemsicht



Optimierungspotential für Fahrzeug und Fahrweg bei Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung

Praxisbeispiel 1: Wagenkasteninstabilität im Fernverkehr
Low Frequency Body Motion (LFBM) als **die** Herausforderung

Fahrverhalten

Wagenkasteninstabilität
Low frequency
body motion

‹

Berührgeometrie

äquivalente
Konizität
<< 0,05

‹

Profilverschleiß

Radprofil nicht mehr formstabil

Schienenprofil verändert durch
maschinelle Bearbeitung



FAHRKOMFORT

Spürbare, niederfrequente Bewegungen des Fahrzeugkastens durch Resonanz von Eigenmoden mit der Sinuslauffrequenz der Radsätze, aber auch

BAUTEILBEANSPRUCHUNG am Fahrzeug

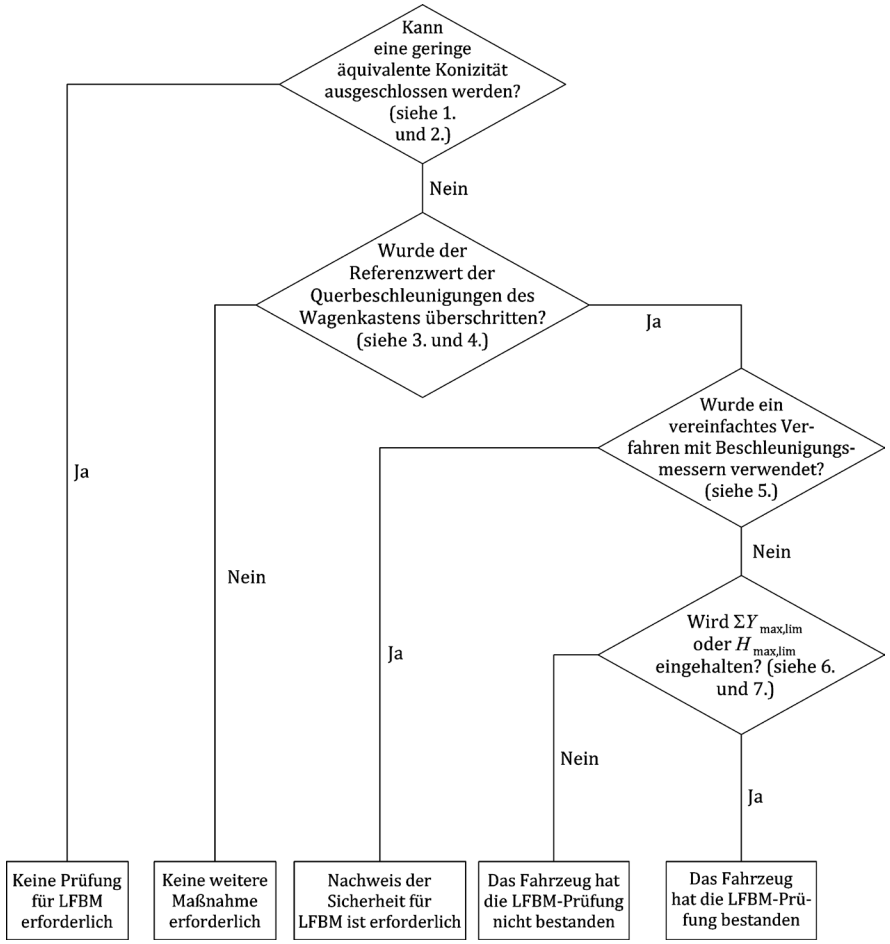
dauerhafte hohe Lastwechsel
kann zu höherem Verschleiß
oder Bauteilversagen führen

+

FAHRWEGBEANSPRUCHUNG

hohes konstantes Querkraftniveau
kann schneller zu
Gleislageveränderungen führen

Praxisbeispiel 1: Wagenkasteninstabilität im Fernverkehr
Abhilfemaßnahme



Änderungen in der Fahrzeugzulassung: Aufnahme von Prüf- bzw. Simulationsanforderungen für LFBM in der neuen EN 14363-4

Prinzipien

1) Nicht für Fahrzeuge mit v ≤ 120 km/h
2) Ausschluss von niedrigen Betriebswerten der äquivalenten Konizität < 0,05 durch die Wahl eines Radprofils in Kombination mit möglichen Schienenprofilen
3) Prüfung, ob Schwellenwert für die Querbeschleunigung des Fahrzeugkastens y ¨(rms,T)* = 0,5 m/s2 überschritten
4) Wenn Schwellenwert überschritten, weitere Beurteilung der Fahrsicherheit nach dem verwendeten Messverfahren, Nachweis der Einhaltung der definierten Grenzwerte erforderlich

Praxisbeispiel 2: RCF-Schäden im Fernverkehr

Laufflächenschäden

Ursachen

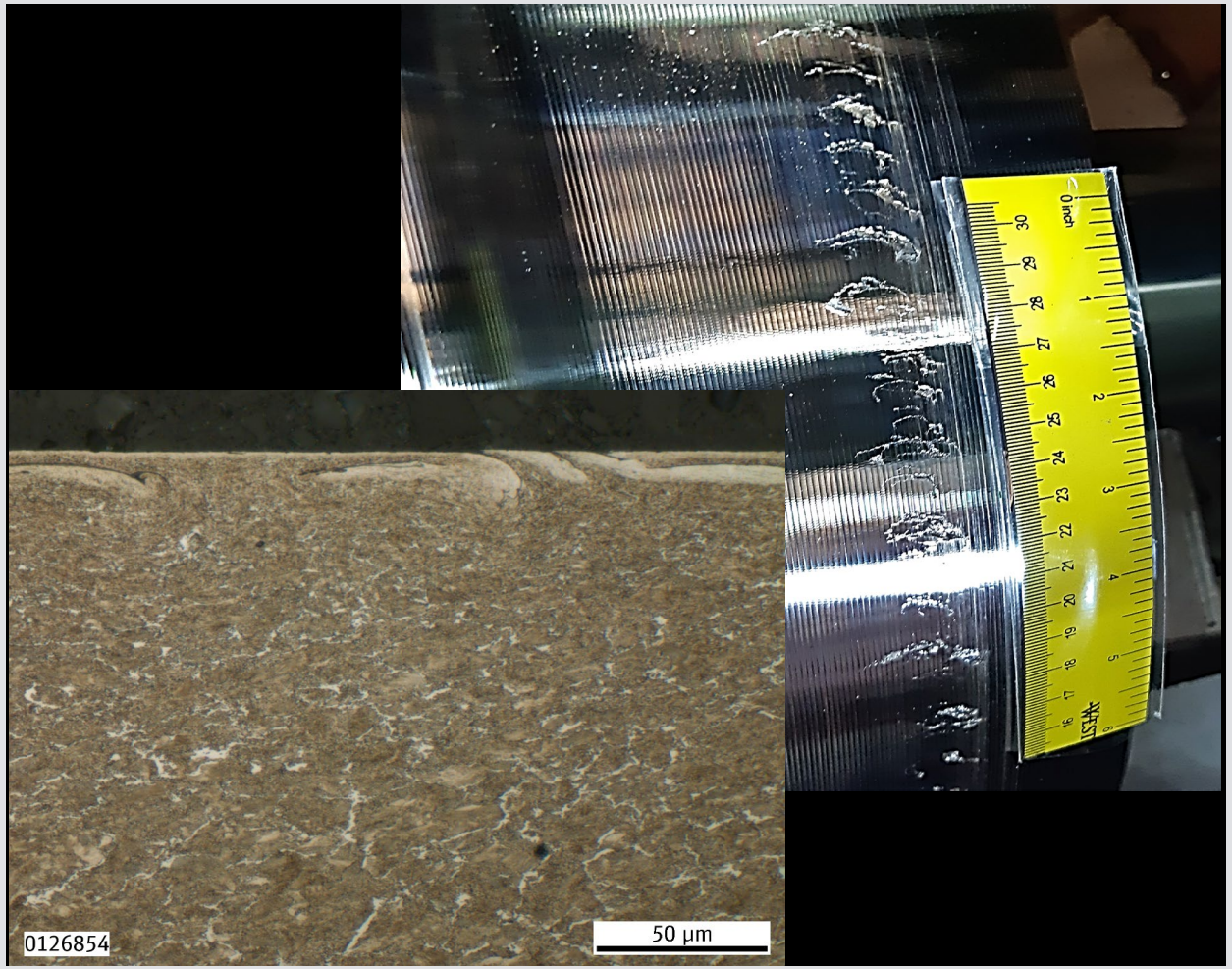
- hoher Längsschlupf an einzelnen Laufradsatz-Positionen, WEL + ungünstige Berührgeometrie
- Radwerkstoff mit (zu) geringer Streckgrenze

Auswirkungen

- Laufgeräusche und erhöhte dynamische Beiwerte auf den DafuR-Anlagen
- Laufflächen visuell unauffällig
- bei Reprofilierung Freilegen sehr tiefer Risse

Abhilfemaßnahmen

- Bremsschlupf reduzieren
- Ungünstige Schienenprofile vermeiden (Schienenbearbeitung)



Praxisbeispiel 3: RCF-Schäden im Regionalverkehr

RCF als **die** Herausforderung

Lauffläche vor Reprofilierung



Lauffläche nach 1. Reprofilierung



Ursachen

- Antriebs-/Bremsschlupf in Verbindung mit nicht optimalen Fahrzeugkonzepten
- regionale Unterschiede feststellbar:
  - Längsprofil der Einsatzstrecken (Steigung/Gefälle)
  - Haltestellenabstände (häufiges Beschleunigen und Bremsen)

Auswirkungen

- hohe Reprofilierungskosten, kurze Radstandzeiten, Engpass an Radsätzen, geringere Fahrzeugverfügbarkeit

Abhilfemaßnahmen

- verbindliche Fahrzeug-Lastenheftanforderungen
- höherfeste Radwerkstoffe, wenn Schlupf beherrscht

Praxisbeispiel 4: Spurkranzverschleiß im Regionalverkehr

- **Kempten/Pfronten:** BR 642 in 2017 nach Sanierung der Strecke und nochmals im Sommer 2022, BR 633 im Sommer 2021
- **S-Bahn Stuttgart:** BR 430 im Sommer 2021, 2022 und 2023 nach Stammstreckensperrung
- **Schwarzwaldbahn:** Do2003 im Frühjahr 2022 nach Sanierung der Strecke über 30 km
- **Eifelbahn:** BR 622 im Sommer 2024 nach Sanierung der Strecke
- **Ammertalbahn:** BR 440 im Sommer 2025 nach Aufsplittung der Fahrzeugumläufe und Instandhaltungsmaßnahmen an der Strecke
- **Erzgebirgsbahn**: BR 642 nach mehreren Schienenwechseln und Instandhaltungsmaßnahmen



Praxisbeispiel 4: Spurkranzverschleiß im Regionalverkehr

Ursachen

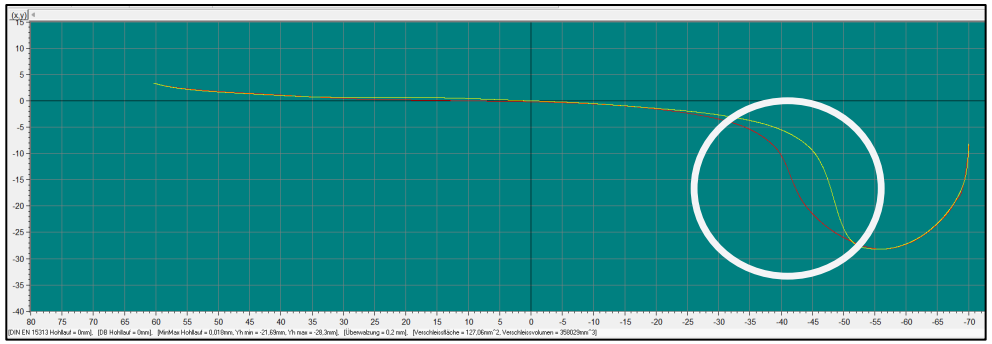
- zu hohe Reibwerte zwischen Rad und Schiene
- stark verändertes Schienenprofil an der Bogenaußenschiene

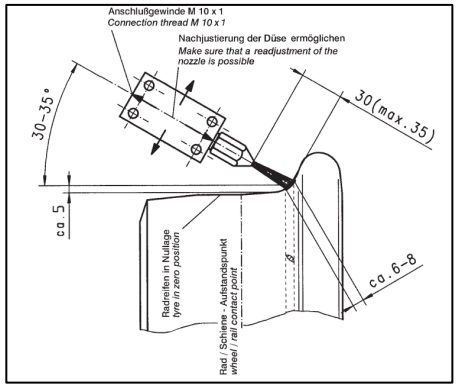
Auswirkungen

- zu schnelles Erreichen der Instandhaltungs- und Betriebsgrenzmaße am Spurkranz

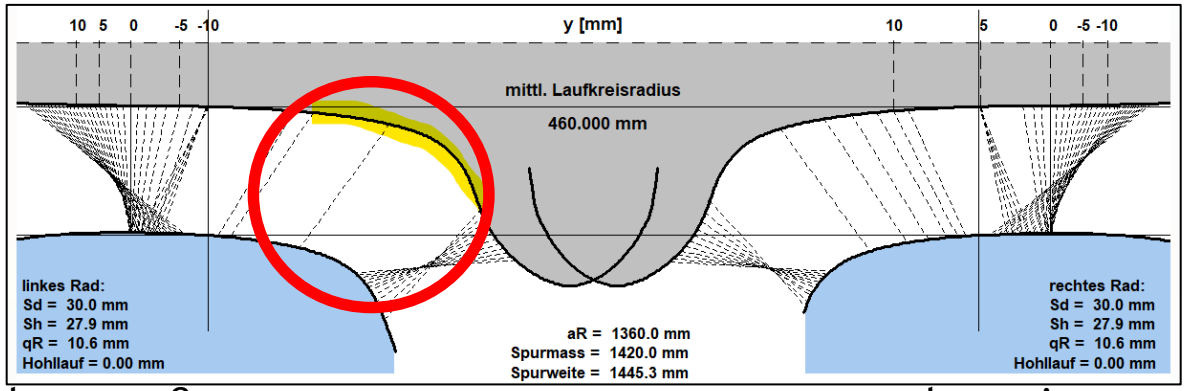
Abhilfemaßnahmen

Spurkranzschmierung mit korrekter Funktionalität …





Quelle: Fa. Delimon



bogenaußen bogeninnen

… nur in Verbindung mit korrekter Berührgeometrie wirksam

Praxisbeispiel 5: Seriensquats an Schienen

Ursachen

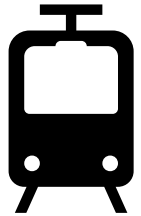
- Längsschlupf - WEL (Bremse/Antrieb/Auftreten an Haltesignalen)
- Ungünstige Berührgeometrie
- Harter Schienenstahl R350HT (Geringer Eigenverschleiß)
- Wenig Verschleiß durch z.B. leichte Triebzüge

Auswirkungen

- RCF-Risse mit epidemischem Auftreten (> 3 Fehler pro 2 m) im geraden Gleis oder weiten Gleisbögen, an Innen- und Außenschienen
- Bsp. : 1.246 Einzelfehler auf 500 m Gleislänge
- Großflächige Abschälungen der Schienenoberfläche möglich (keine Schienenbrüche)



Praxisbeispiel 5: Seriensquats an Schienen
Abhilfemaßnahmen



1 Traktions- und Reibleistungen begrenzen Vermeidung hohen Schlupfes/dicker WEL



2 Korrekte Berührgeometrie **Schienenbearbeitungsqualität**



3 Kopfgehärtete Schienen nur in Gleisbogenradien ≤ 1.500 m (... 3.000 m)

Forschungsprojekt zu WEL (2023-2025)

Entwicklung eines thermischen Umwandlungsmodells zur Vorhersage von WEL-Dicken in Abhängigkeit von der Motorregler-Strategie des Fahrzeuges

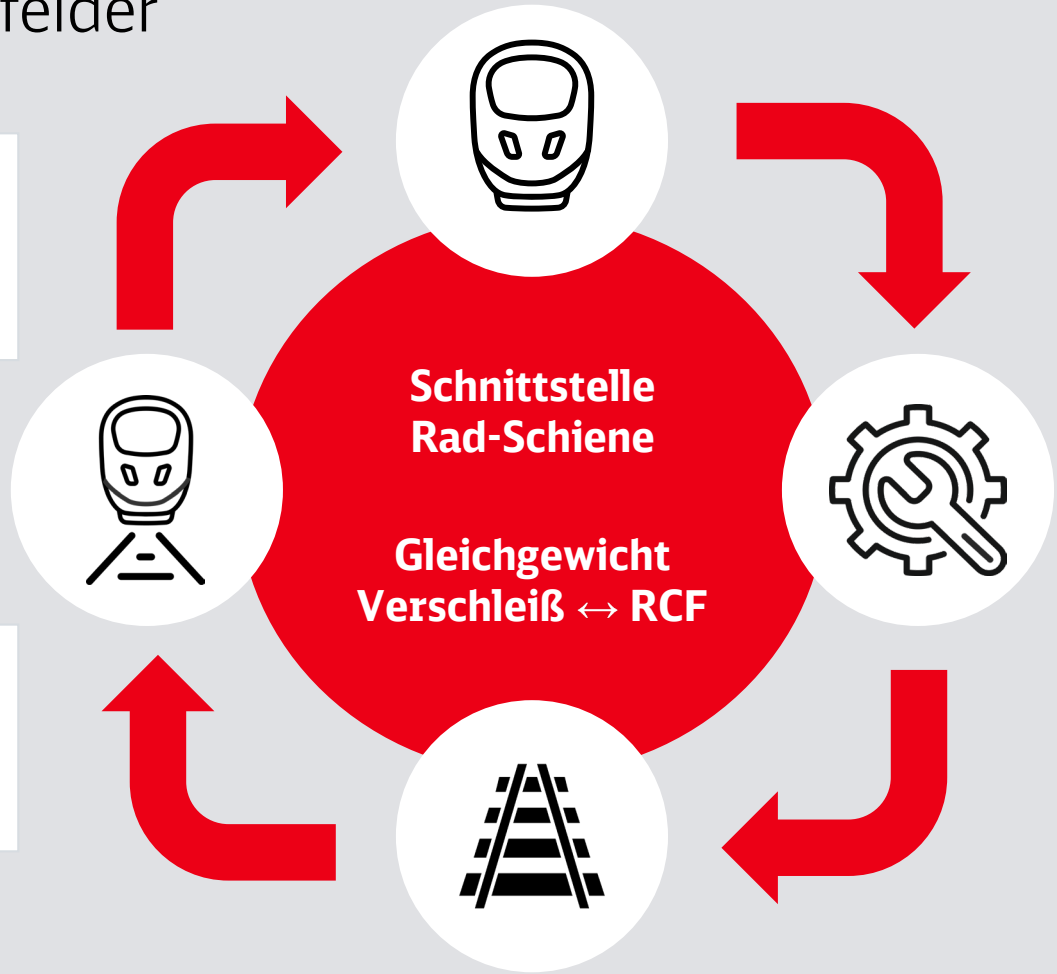


Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

Identifizierte Handlungsfelder

1 **Werkstoff + Profil**
optimal auslegen

2 **Berührgeometrie**
formstabil halten



3 **Fahrzeugregelung**
Schlupf begrenzen

4 **Schmierung und Konditionierung**
situationsgerecht

Systemabstimmung vor Einzelmaßnahmen: „Fahrzeug und Fahrweg müssen miteinander reden!“

Haben Sie Fragen?

Dr.-Ing. Katrin Mädler
Leiterin Werkstoff- und Fügetechnik
+49 3383 812 337
katrin.maedler@deutschebahn.com

Dipl.-Ing. Thomas Kolbe
Leiter Prüfungen Fahrzeug-Fahrweg-Wechselwirkungen
+49 0571 393 5426
thomas.t.kolbe@deutschebahn.com

Oder besuchen Sie unsere Website:
db-systemtechnik@deutschebahn.com