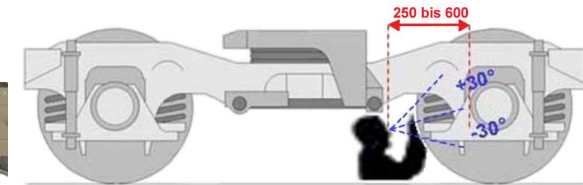


gleislauftechnikmüller

Roland Müller

Fahrbahn, Gleise,
Weichen, Schienen

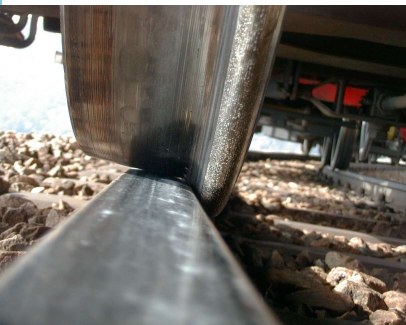
Fahrzeuge, Fahrwerke,
Radsätze, Räder



Interaktion Rad - Schiene

Schiene

Rad



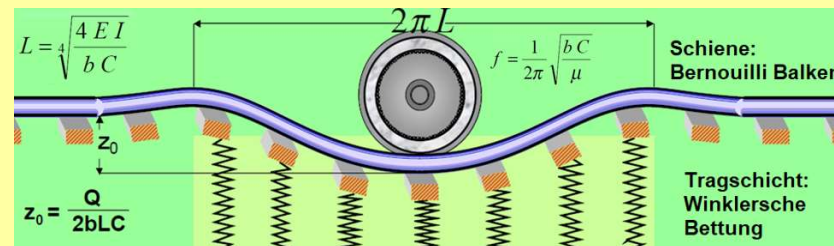
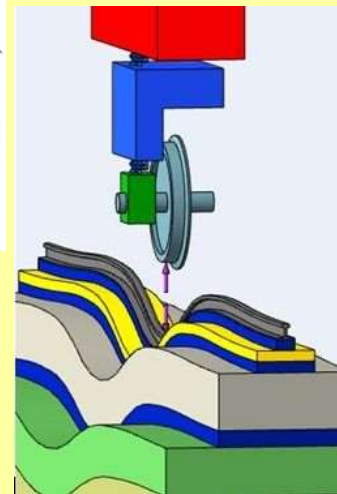
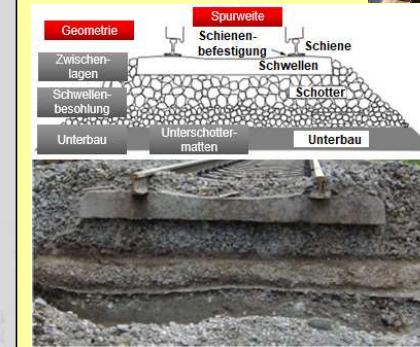
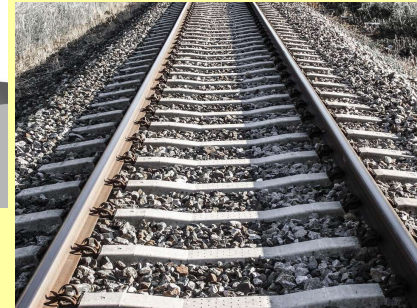
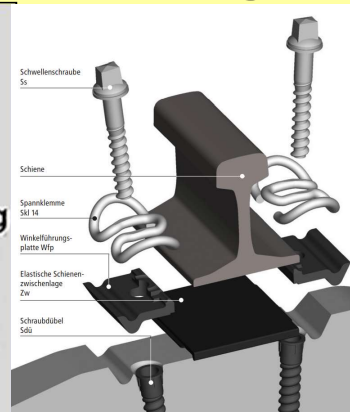
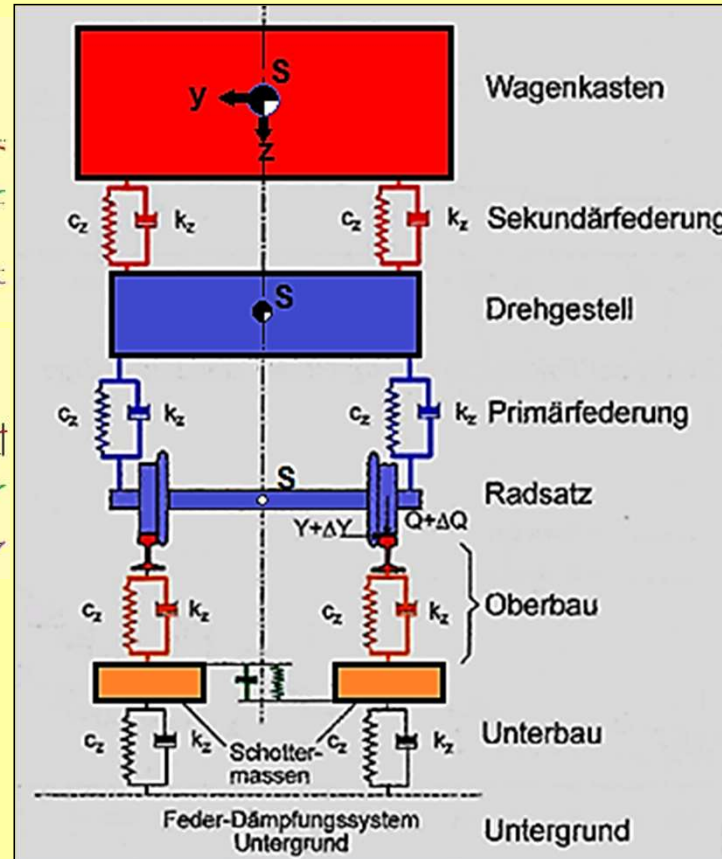
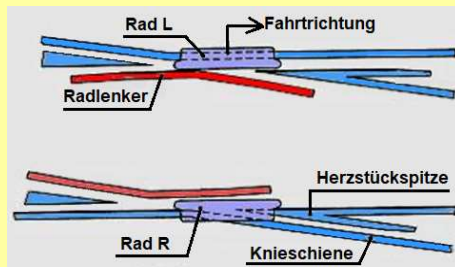
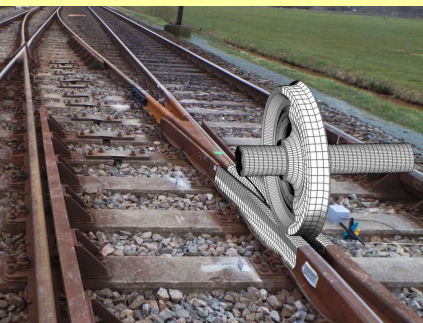
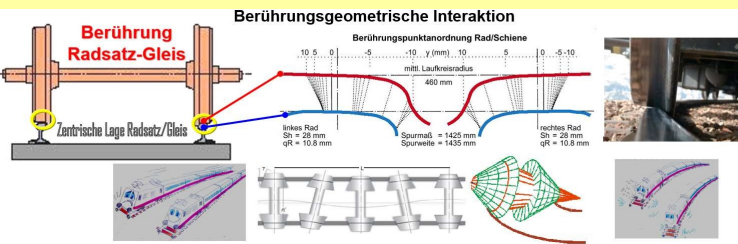
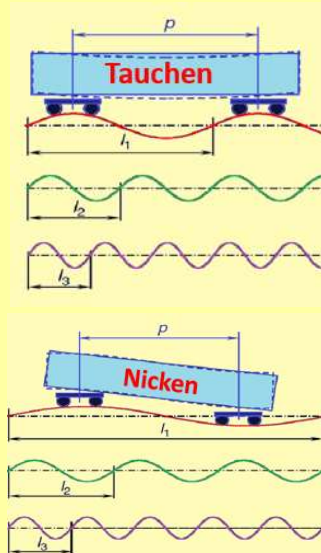
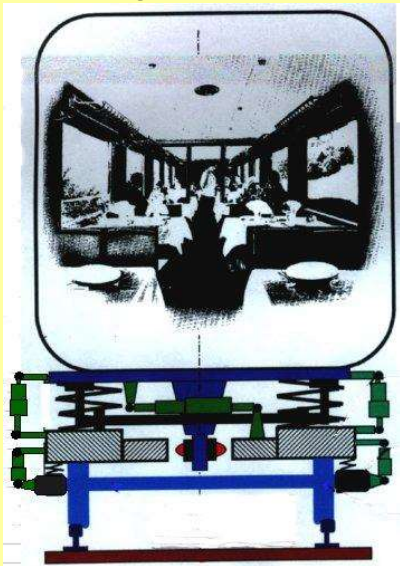
In **Deutschland** gibt es mittlerweile 452 öffentliche und 149 nichtöffentliche **EVU**

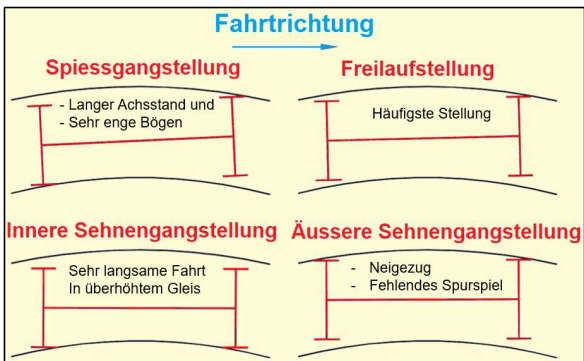


Inhalt

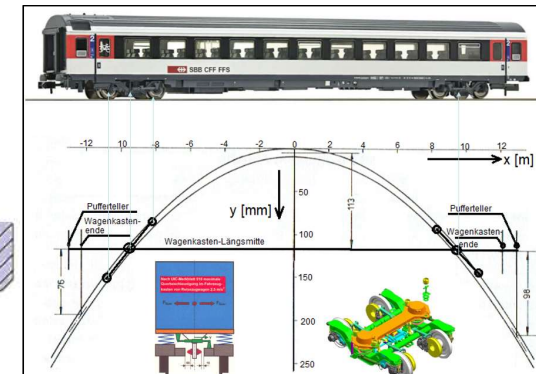
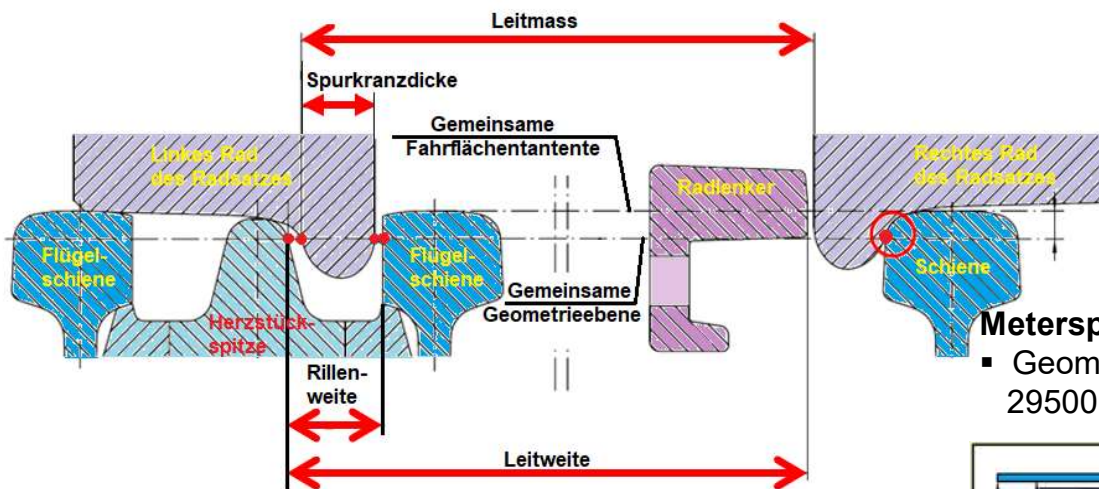
- Interaktionen Fahrzeug/Fahrweg – Rad/Schiene
- Schwingungen von Fahrzeug/Fahrweg und Rad/Schiene
- Die Berührung von Rad und Schiene
- Anforderungen an Fahrzeug und Fahrweg für Bogenlauf
- Schwingungsverhalten
→ Fahrsicherheit/Fahrverhalten/Fahrkomfort
- Kurzfristige Massnahmen zur Minderung Schäden an Rad und Schiene
- Ausblick in die Zukunft am Beispiel Meterspur Schweiz?

Systeme der mechanischen Interaktion Fahrzeug / Fahrweg



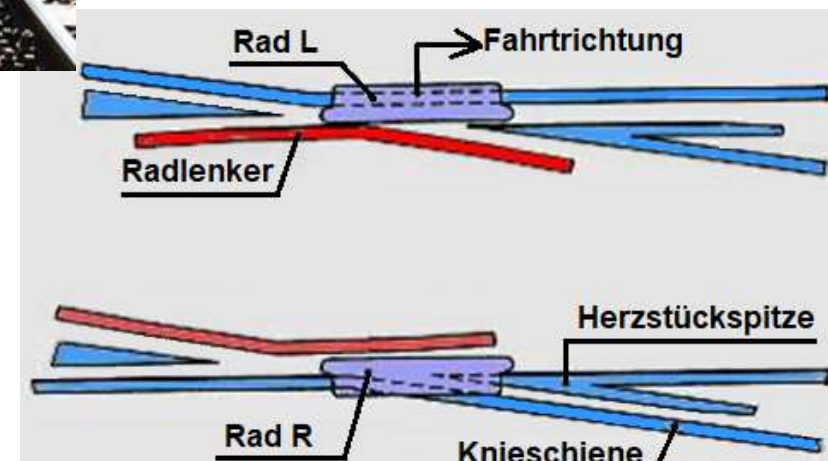
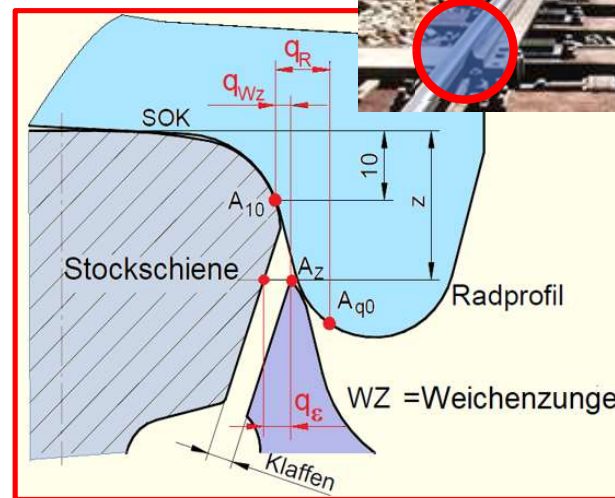
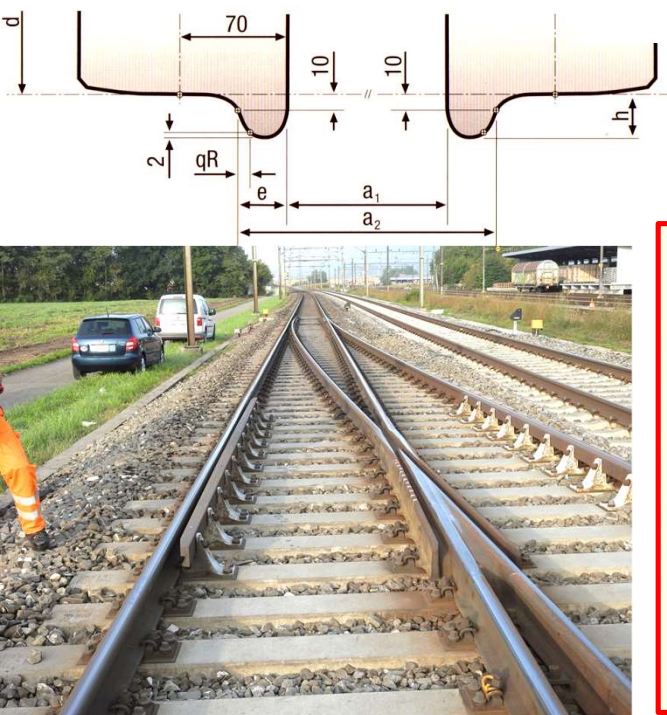
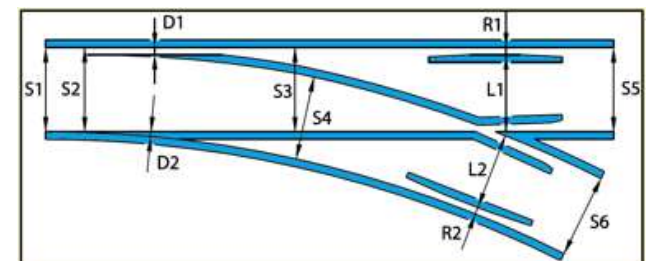


Geometrische Interaktion

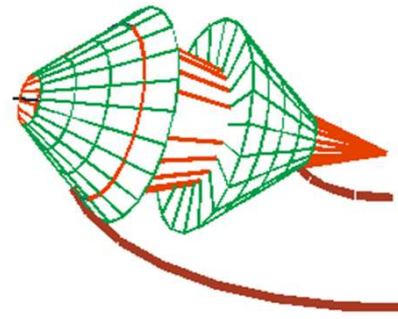
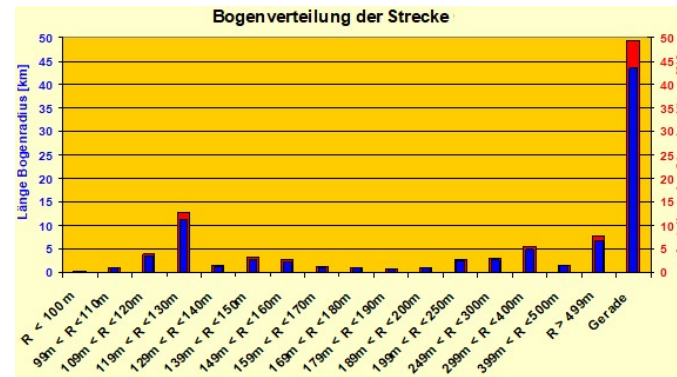
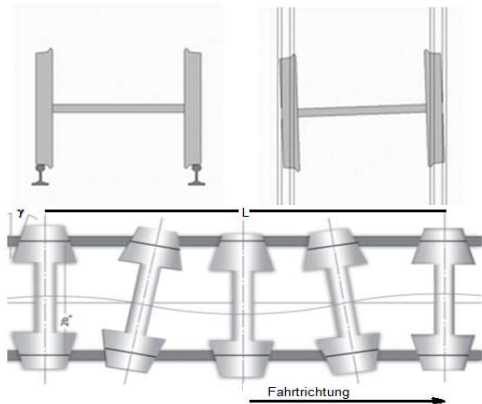
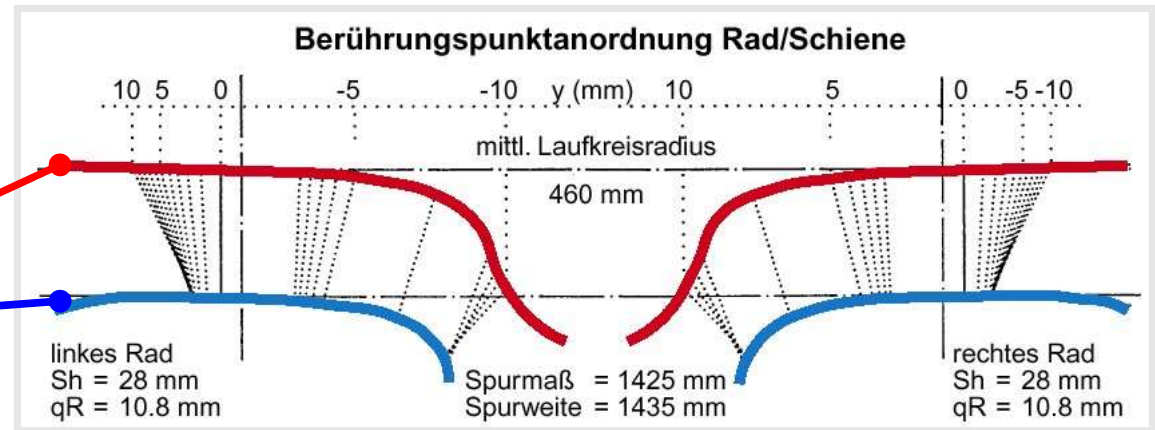
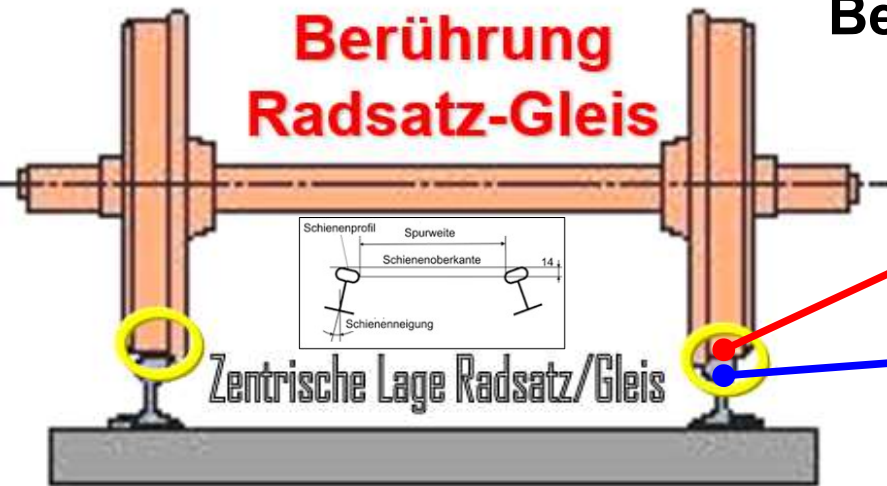


Meterspur SW 1000mm

- Geometrie R/RS-W geregelt in R RTE 29500 aber nicht interoperabler Bereich



Berührungsgeometrische Interaktion



Normalspur: - Instabilitäten auf Strecken 200km/h
 - Güterwagen instabil (2-achser)
 - Baumaschinen low body motion V_{\max} 100km/h

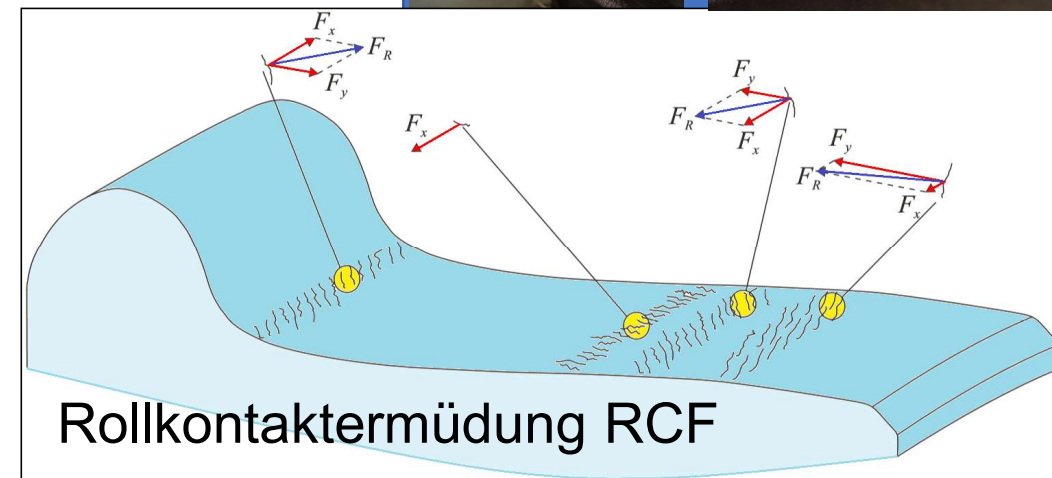
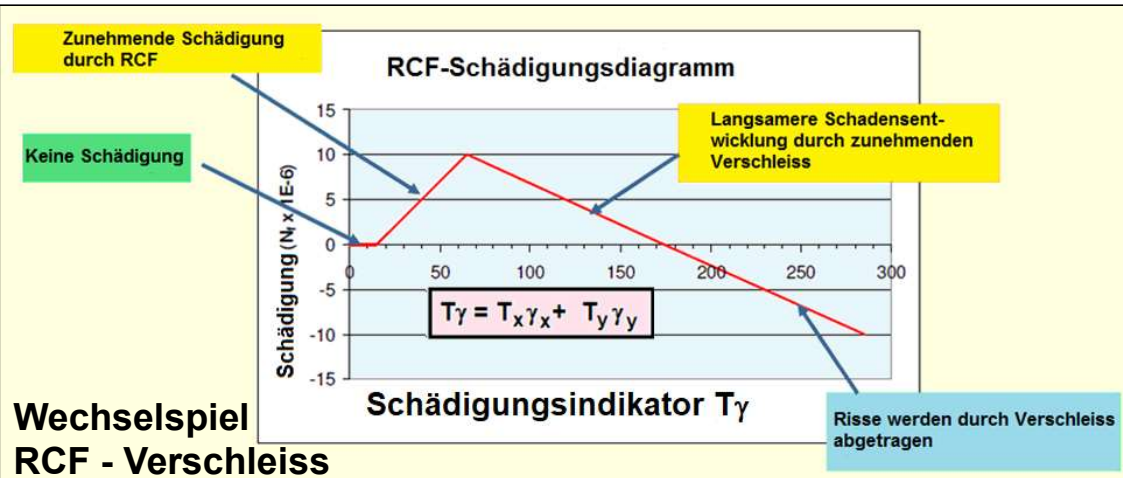
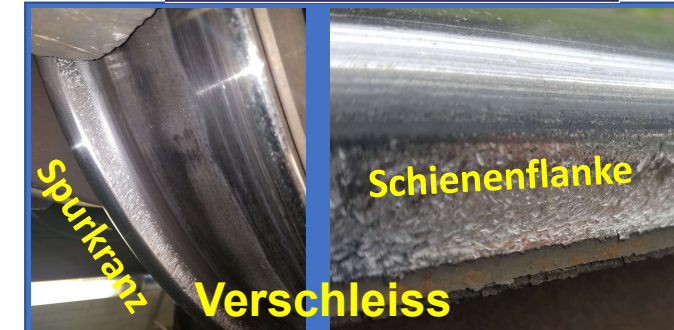
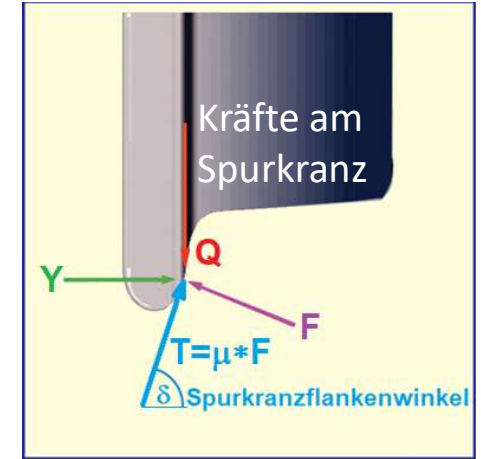
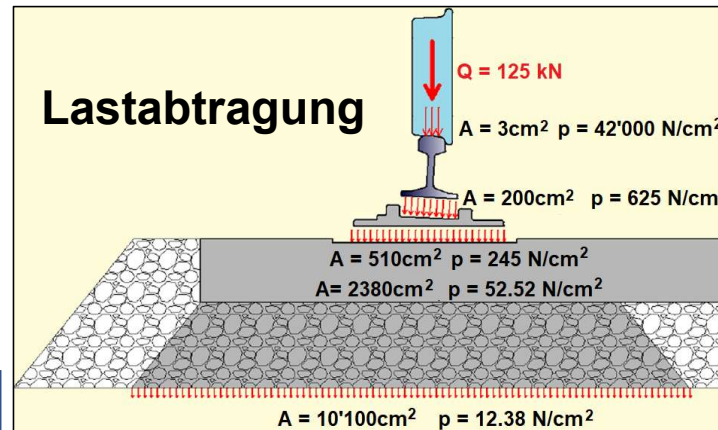
Meterspur: - Instabilitäten auf Strecken 100km/h
 - Höhere V_{\max} vorgesehen mit bestehendem Rollmaterial (ohne zusätzlich Massnahmen??)
 - Projekt Fahrzeug/Fahrweg Meterspur



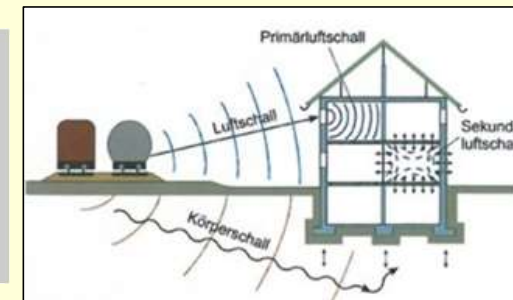
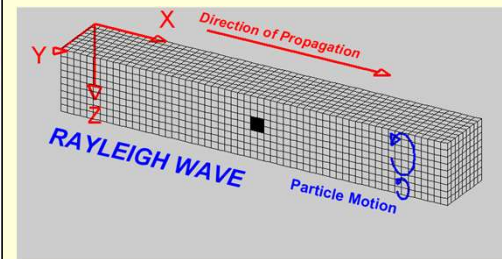
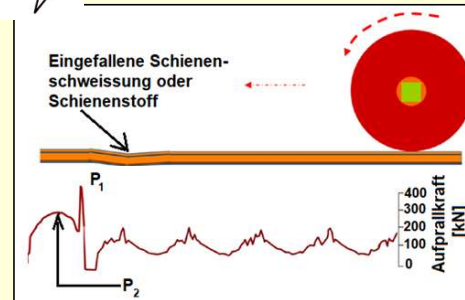
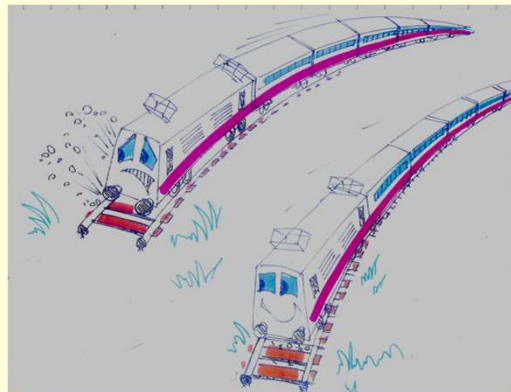
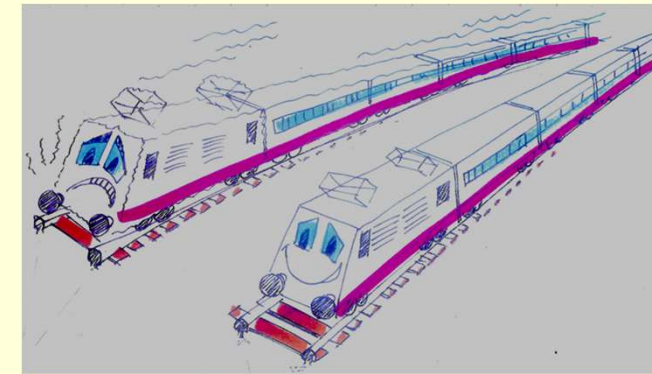
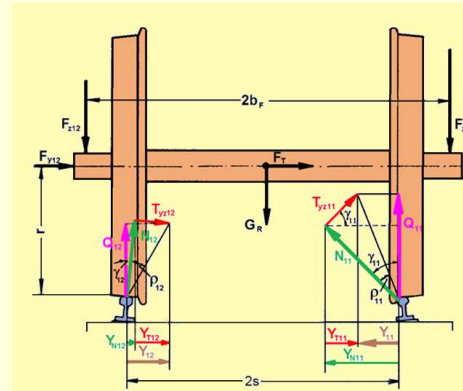
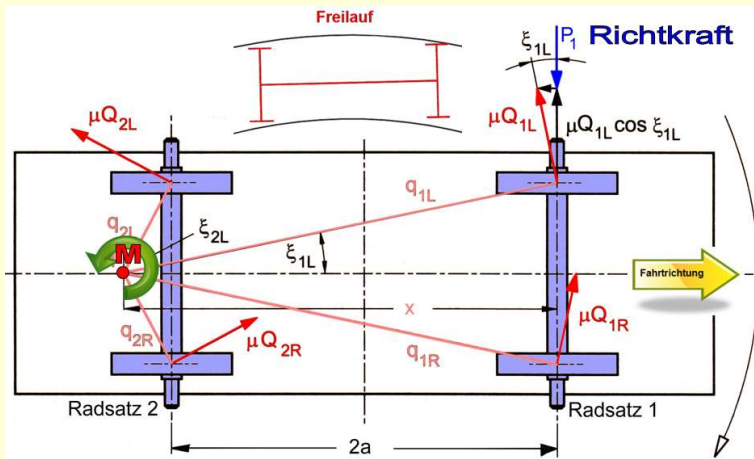
Normalspur: - Selbststeuerung streckenabhängig möglich
 - Triebdrehgestelle zusätzlich Massnahmen
 - Paarung Rad/Schiene (siehe Vortrag Kolbe)
 - 2-achsige Baumaschinen mit 9m Achsstand?

Meterspur: - Selbststeuerung meist nicht möglich
 - Paarung Rad/Schiene (siehe Vortrag Kolbe)
 - viele offen Fragen → Grundlagen fehlen und werden im Projekt Fahrzeug/Fahrweg Meterspur erarbeitet (bis 2026)

Kontaktmechanische Interaktion

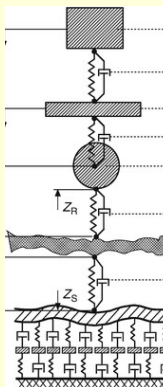
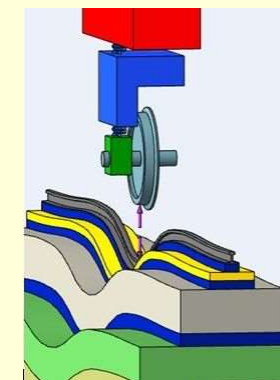


Statische/Quasistatische/Dynamische Interaktion Fz/FW



Normalspur SW 1435mm und Meterspur SW1000mm

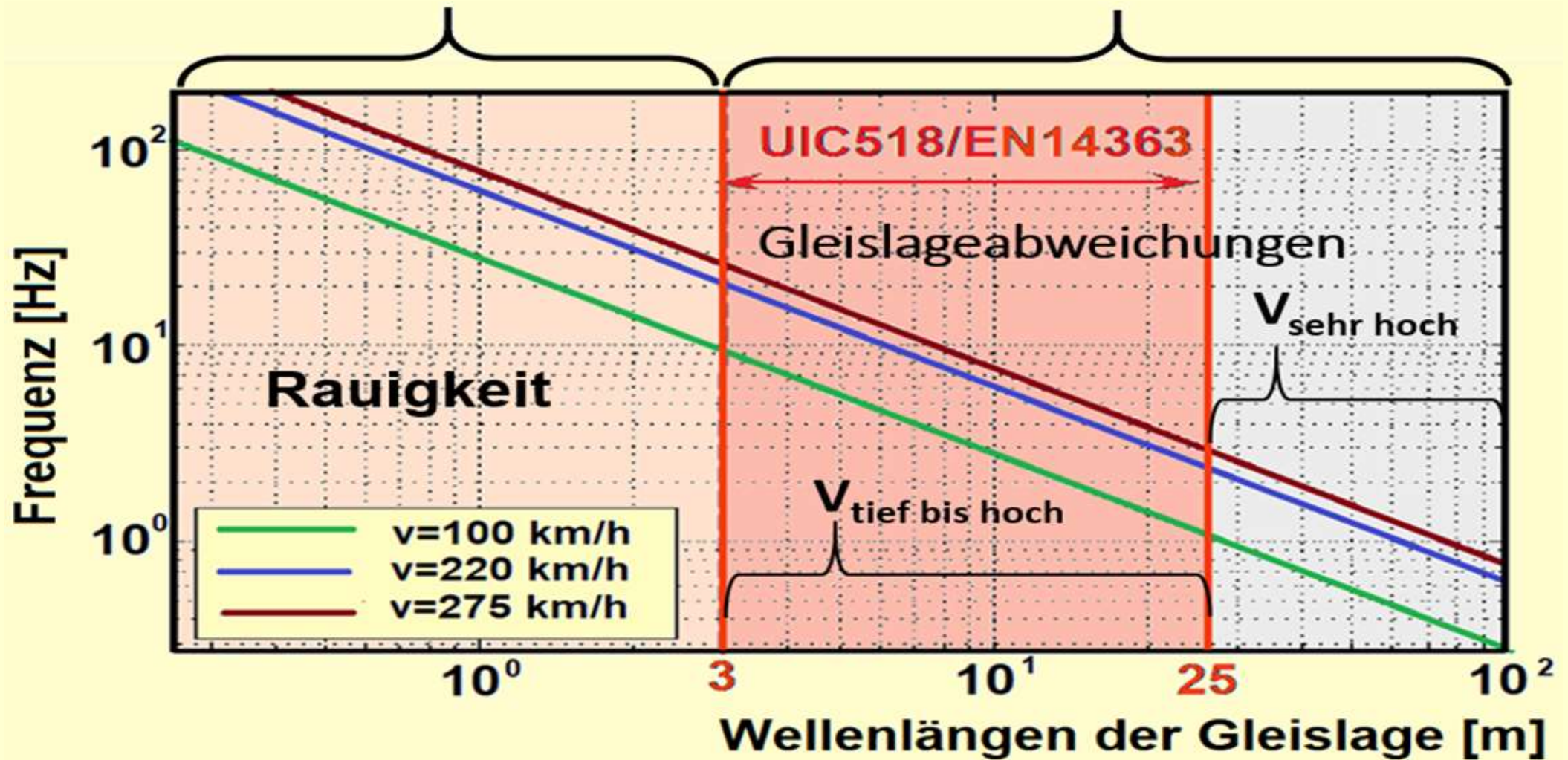
- LCC Dauerbrenner, vieles noch offen
- Erschütterungen noch vieles offen
- Schallemission noch vieles offen (Weichen, Kreischen)



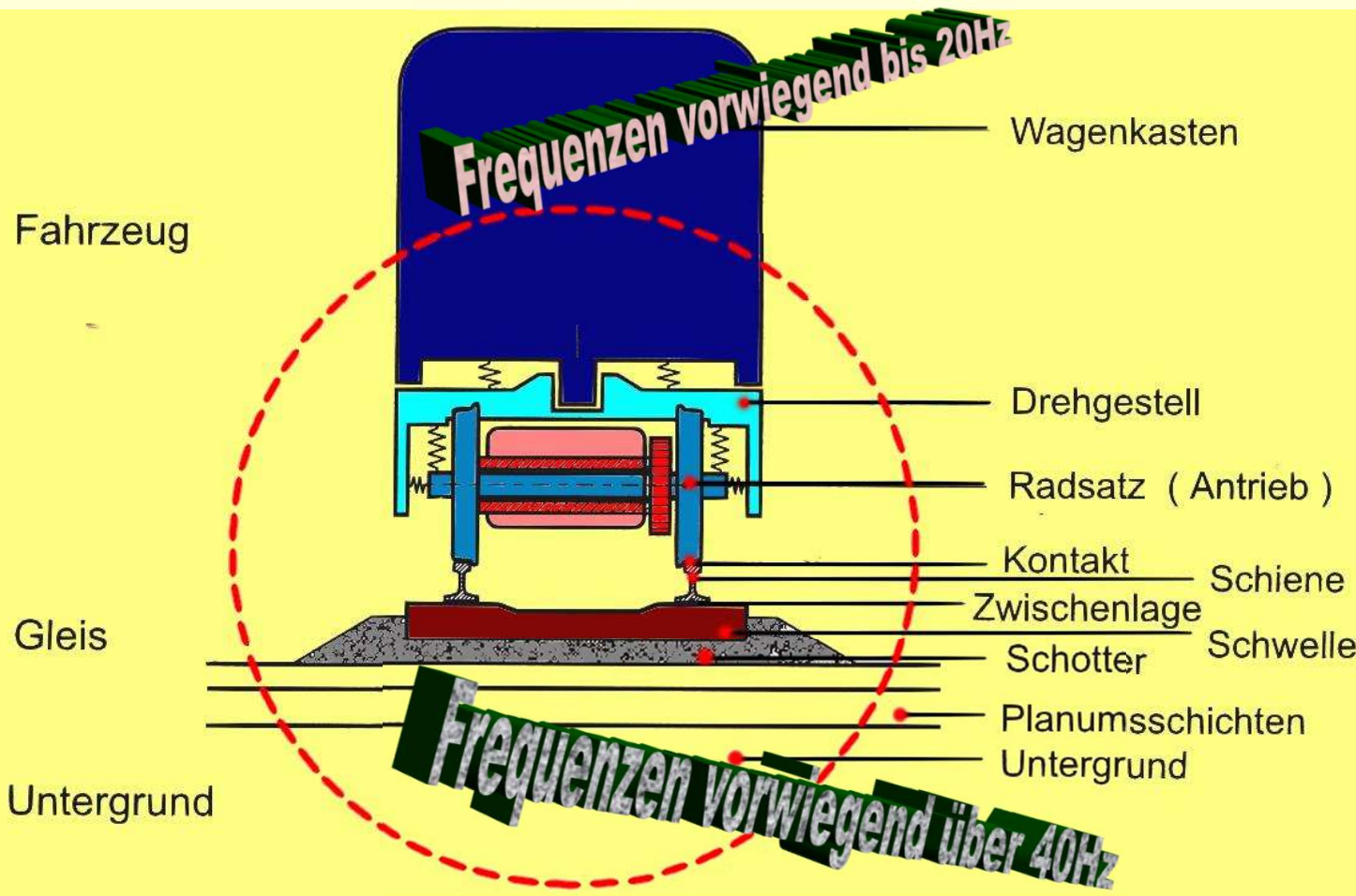
Gleislageabweichungen und Rauigkeiten

Unregelmässigkeiten mit kurzer Wellenlänge, oft Rauheit genannt, führen zu starken Geräuschen und Vibrationen.

Unregelmässigkeiten mit langer Wellenlänge beeinträchtigen Sicherheit und Fahrkomfort



Fahrzeug und Fahrweg sind schwingende Gebilde

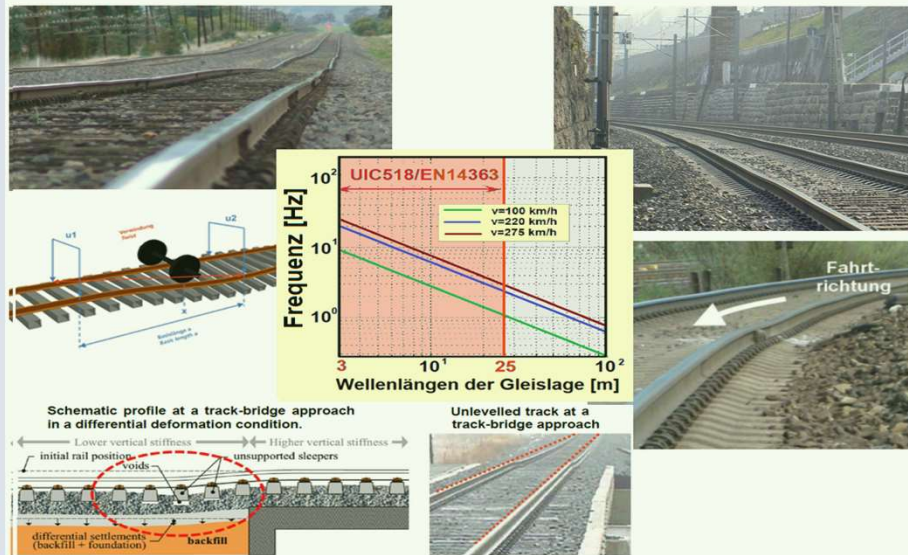
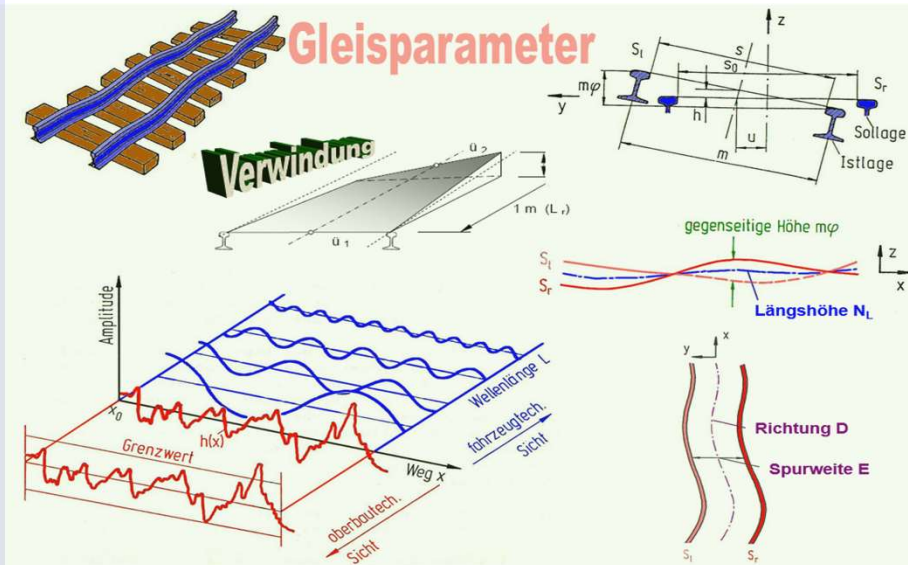


Fahrzeugdynamik

Viele Mechanismen bei der Interaktion Rad/Schiene sind hochfrequent

Gleisdynamik

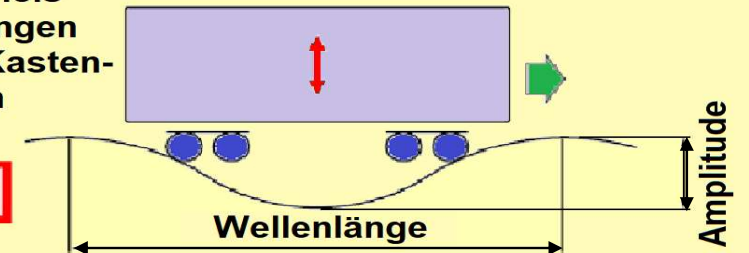
Sicht auf das Gleis und Auswirkungen der Gleislage auf die Interaktion Fahrzeug - Fahrweg



Fahrsicherheit, Fahrkomfort

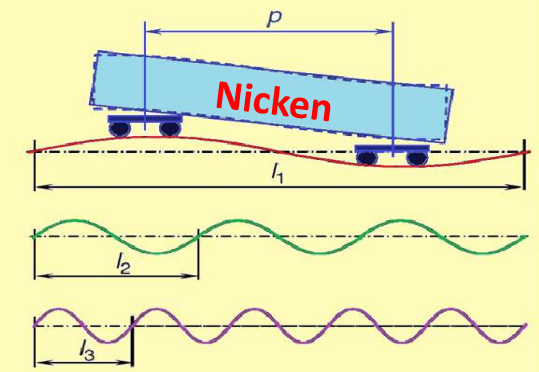
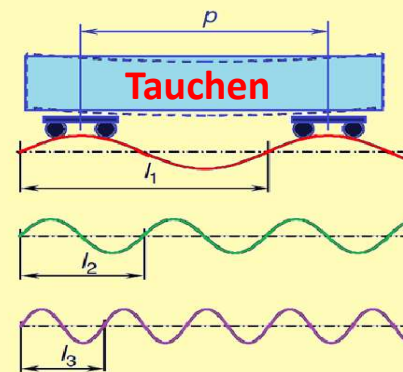
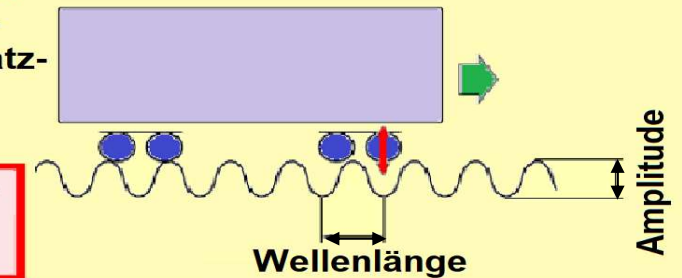
Langwellige Gleislageabweichungen verursachen Kasten-schwingungen

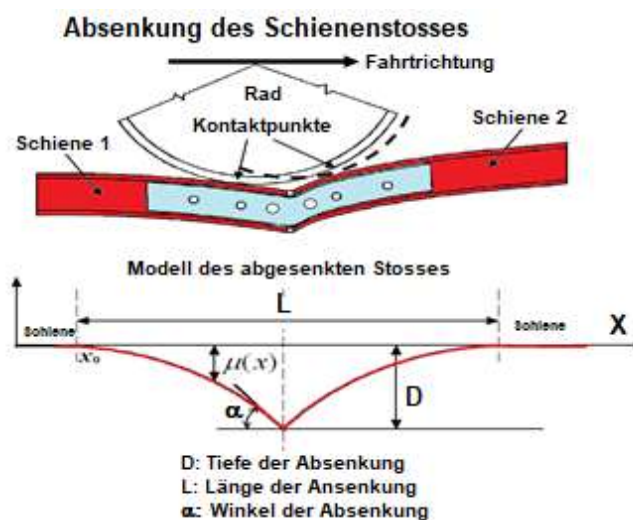
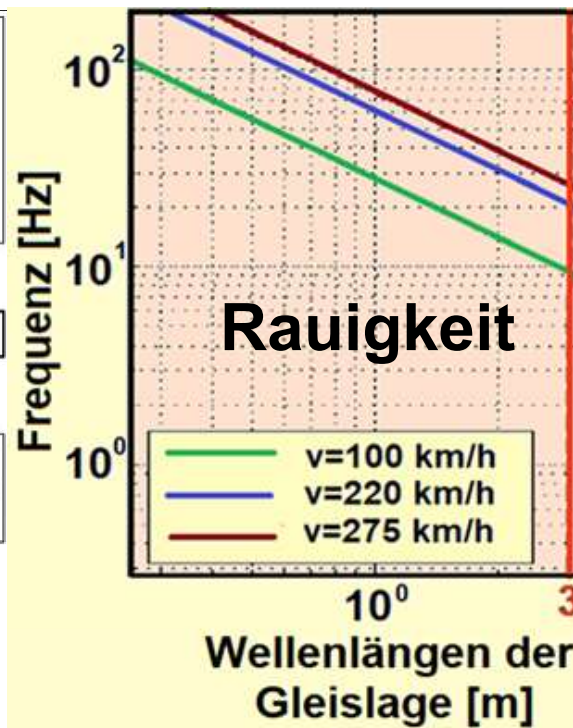
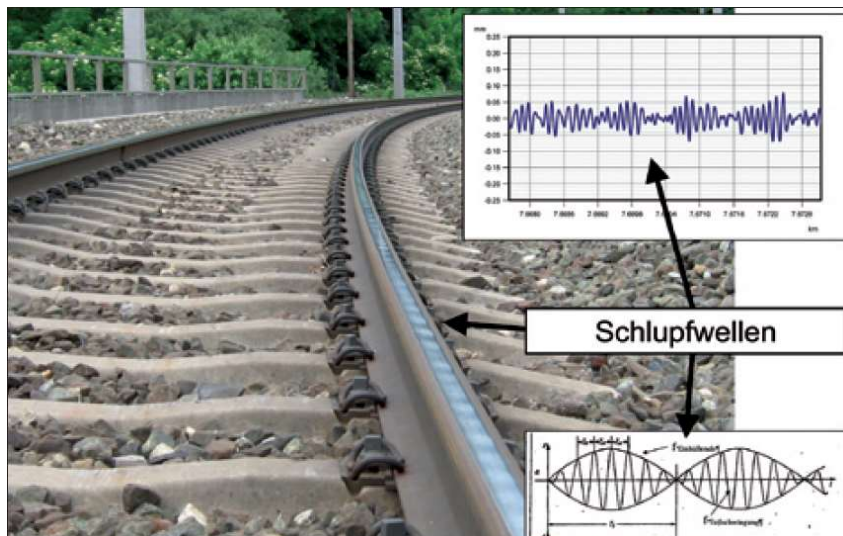
Fahrkomfort



Kurzwellige Gleislageabweichungen verursachen Drehgestell und Radsatz-schwingungen

Radlastschwankungen und Vibrationen





Einige Struktur-Schwingungsmodi aus der Interaktion Fahrzeug/Fahrweg

Gleisdynamik



Schwingung des gesamten Gleises



40 Hz bis 140 Hz

Anti-Resonanz-Schwingung



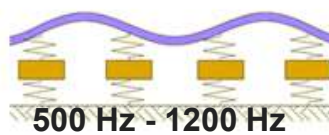
80 Hz bis 300 Hz

Gleis-Schwingung



250 Hz bis 1500 Hz

Pin-Pin Schwingung



500 Hz - 1200 Hz

Strukturschwingungen Wagenkasten



Erste Biegung vertikal,
9.1 Hz



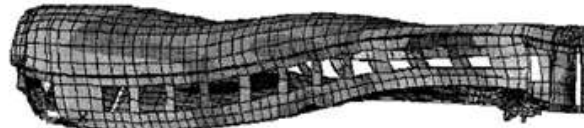
Erste Biegung quer,
12.2 Hz



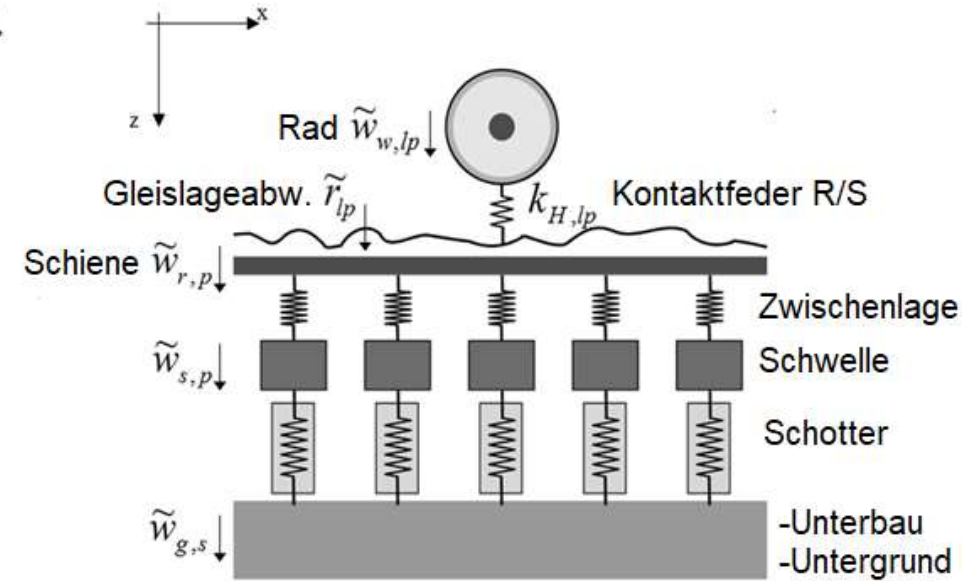
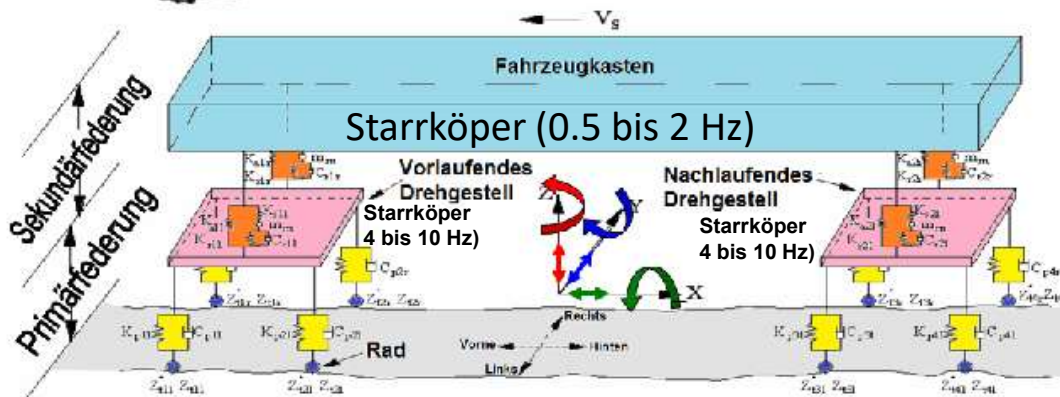
Torsion 1, 12.8 Hz



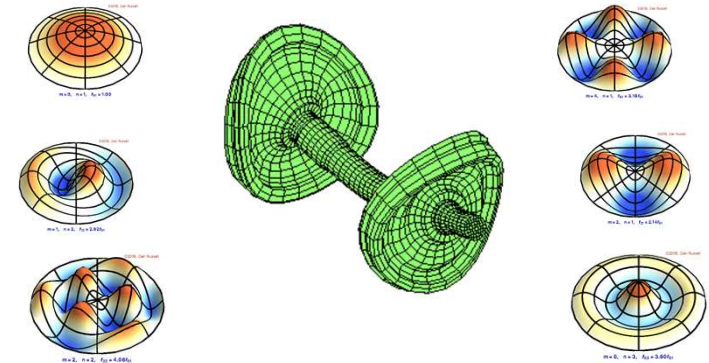
Atmen 1, 13.4 Hz



Torsion 2, 13.9 Hz



Sehr viele Schwingungsmodi Rad/Radsatz



Berührung von Rad und Schiene im Bogen

Unmittelbar nach der Reprofilierung



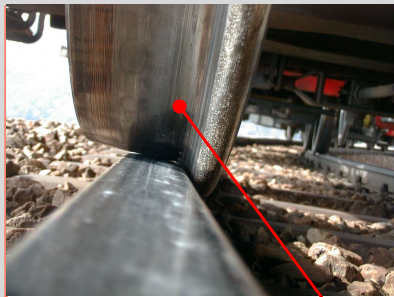
Nach Verschleiss-Anpassung des Radprofils im Betriebseinsatz



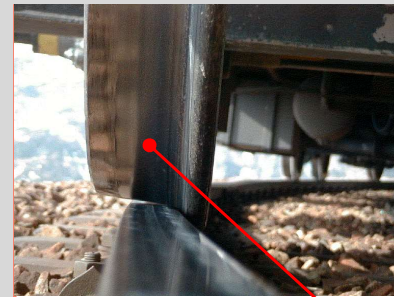
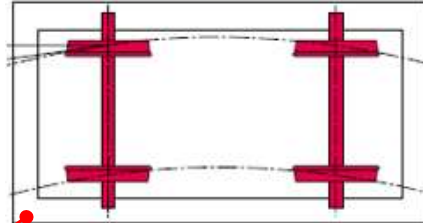
→ Nominalprofil

- Gleiche Fahrzeugbauart
- Gleicher Bogen
- Gleiches Schienenprofil
- Gleicher Zug

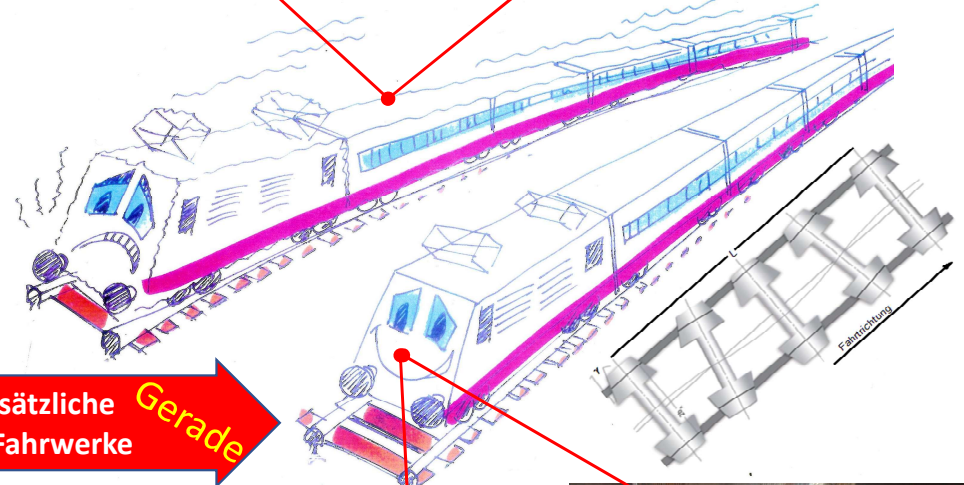
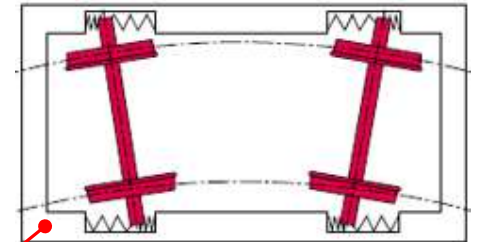
Radprofil ändert sich im Betriebseinsatz
→ Nominalprofil nicht
«verschleissangepasst»!!!



Radsätze mit starrer Führung



Radsätze mit weicher Führung

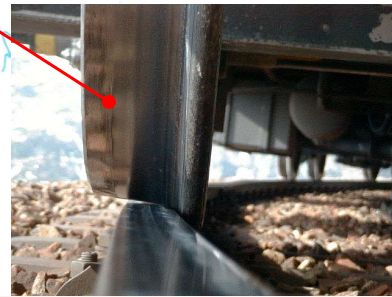
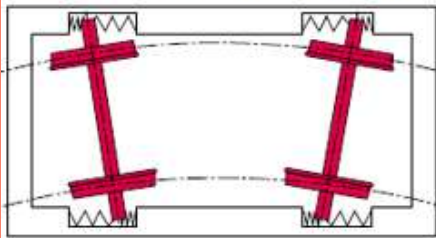


Bogen

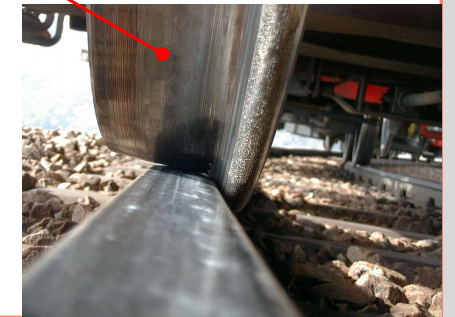
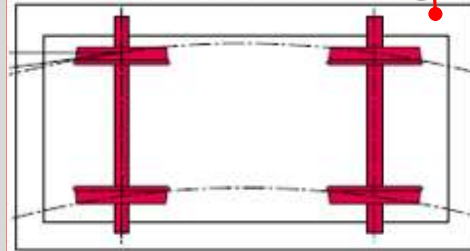
Physikalisch gegensätzliche Anforderungen an Fahrwerke

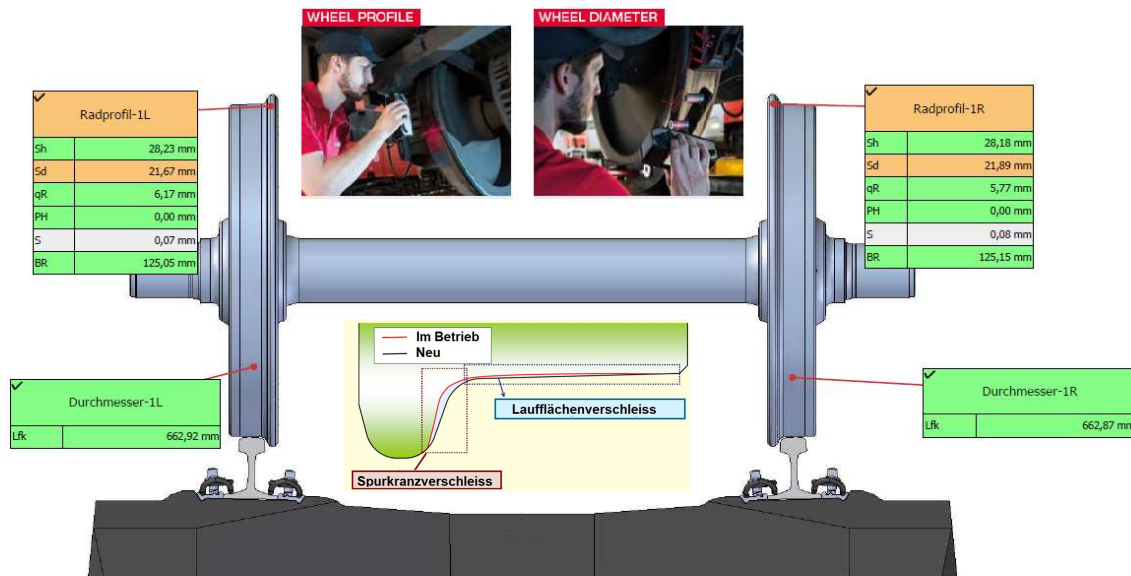
Gerade

Radsätze mit weicher Führung

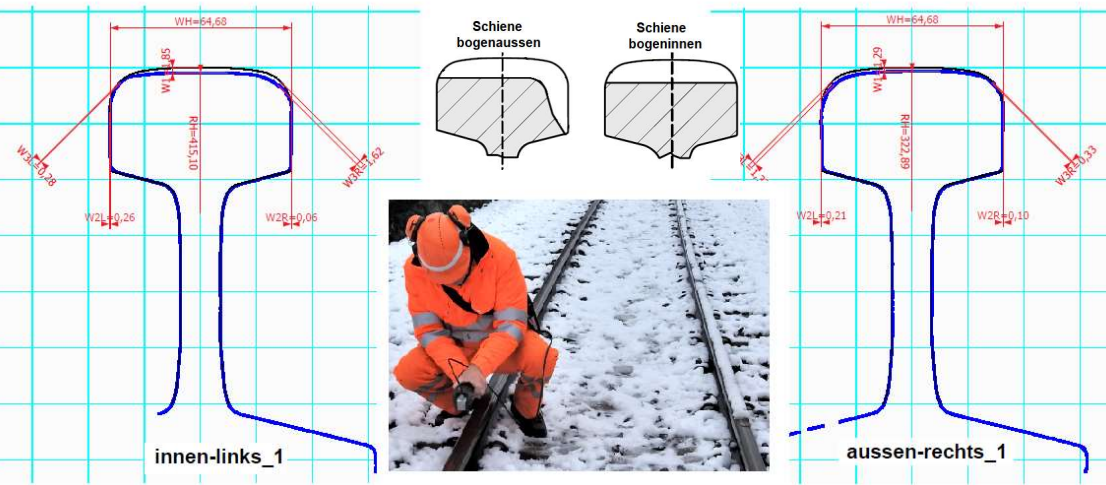


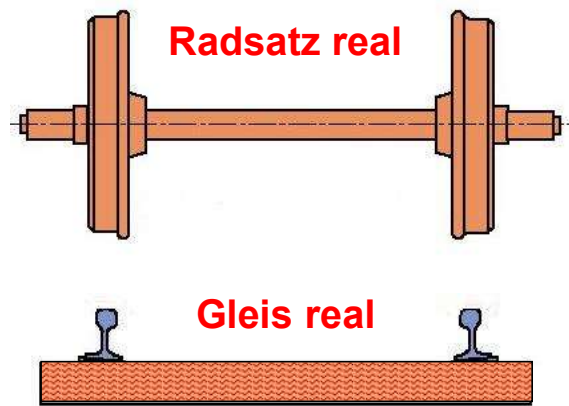
Radsätze mit starrer Führung



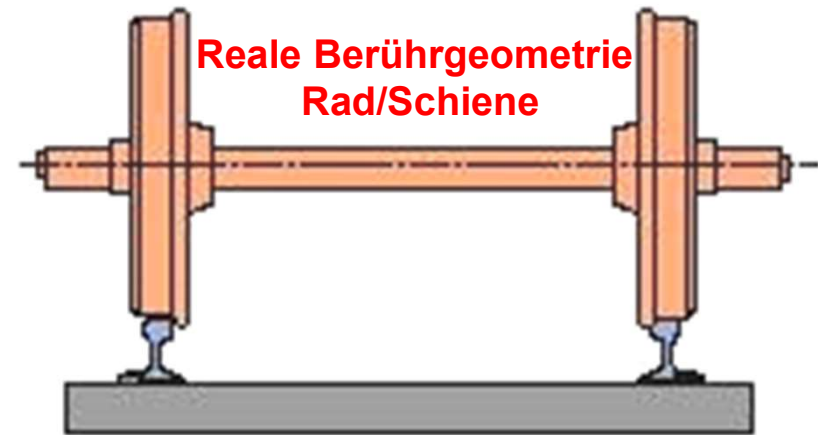


Rad- und Schienenprofile aus den Gesichtspunkten der Instandhaltung





Reale Paarung
Radsatz/Gleis

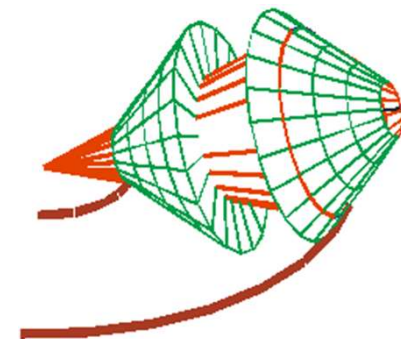
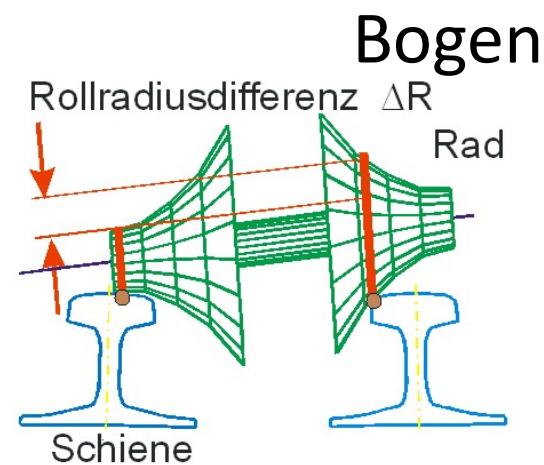
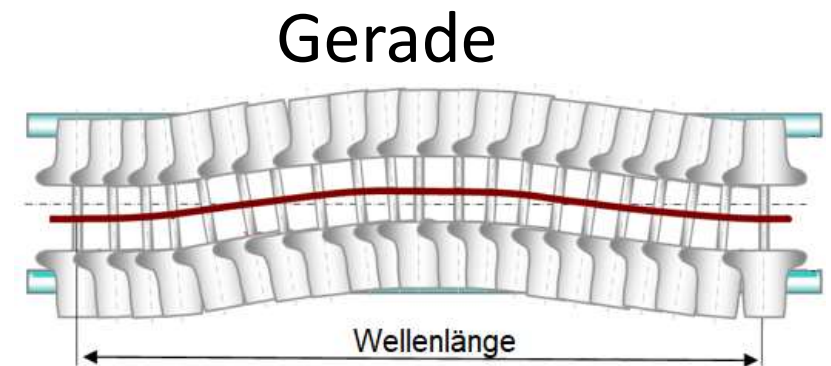
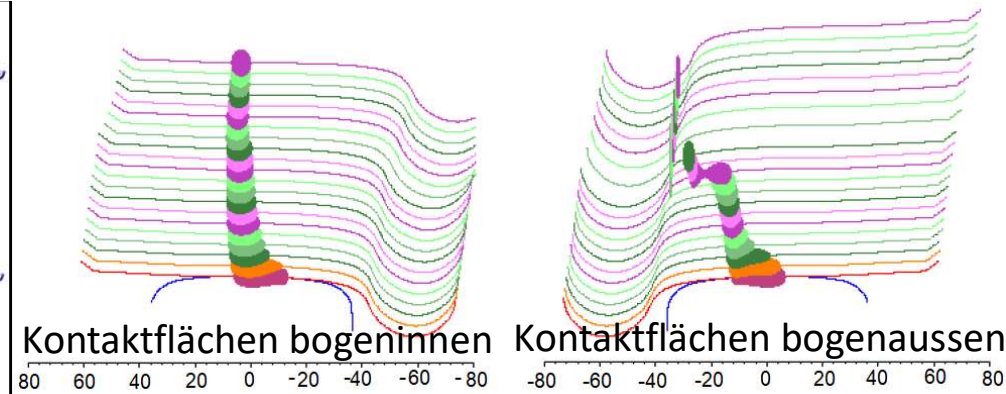
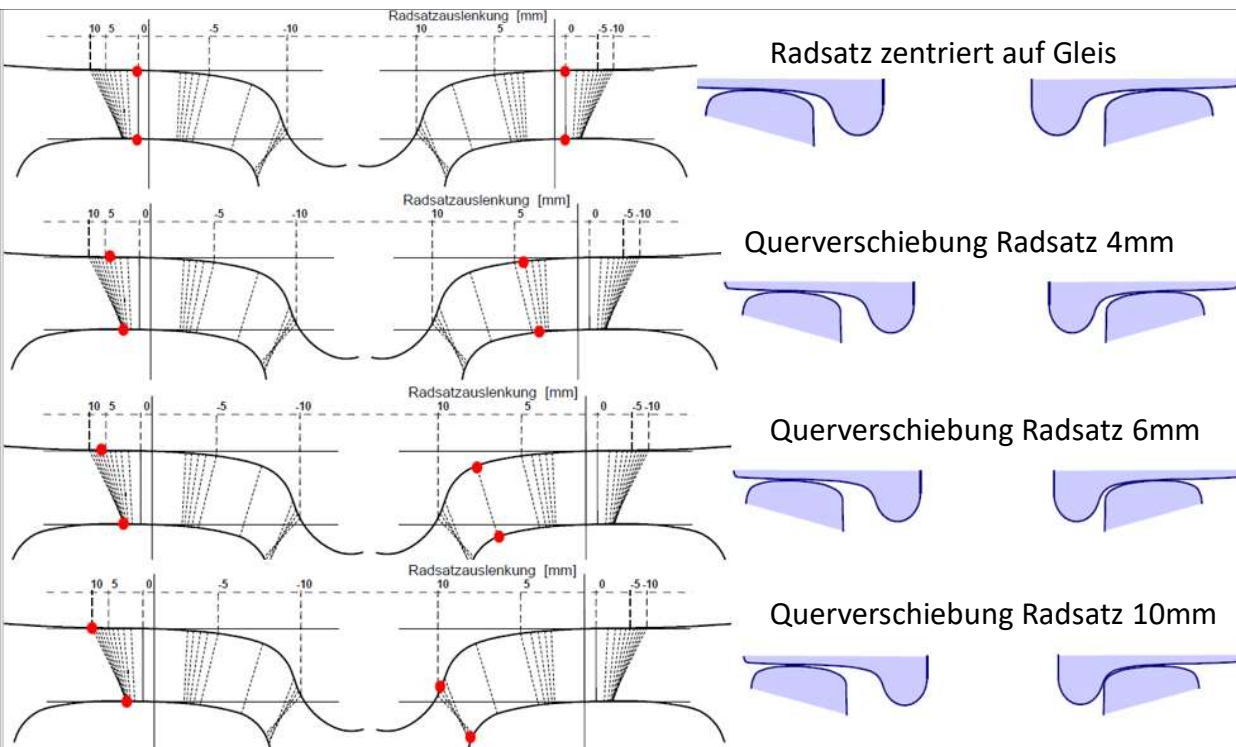


Messung Radprofile vom Gleis aus

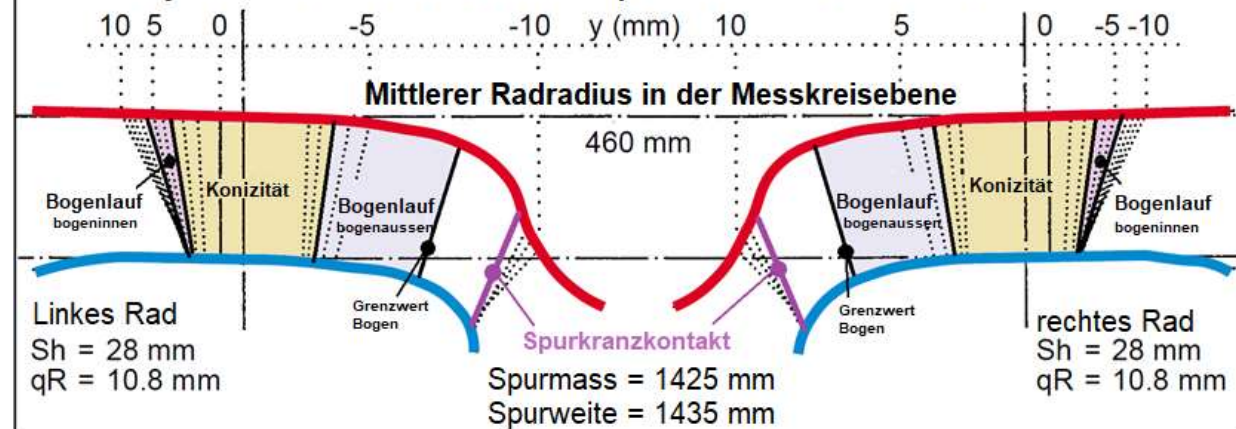
Messung Schienenprofile vom Fahrzeug aus



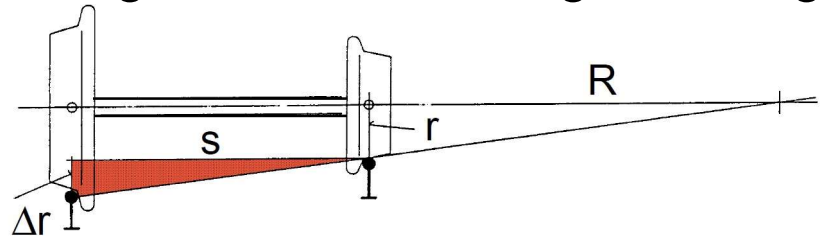
**Automatisierung der Erfassung, Auswertung und Interpretation
des Rad-Schienenkontaktes aus den Gesichtspunkten Instandhaltung und Lauftechnik**



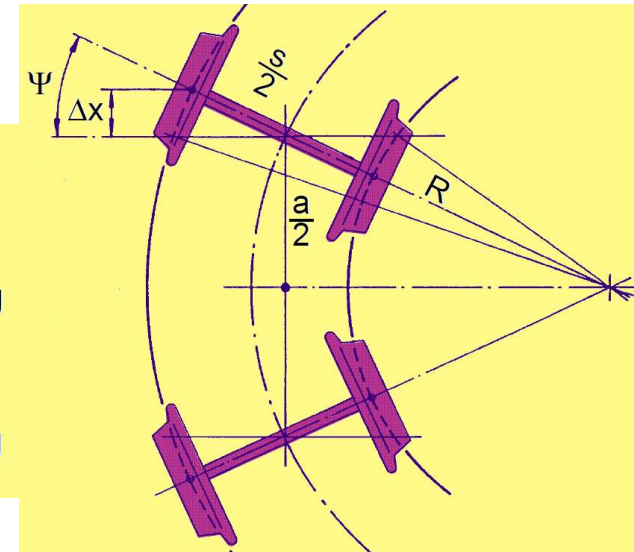
Systematik der Kontaktpunkte Rad/Schiene



Bogen: Von Fahrzeug/Fahrweg zu erfüllende Bedingungen

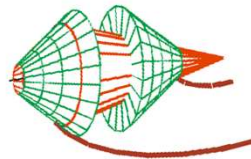
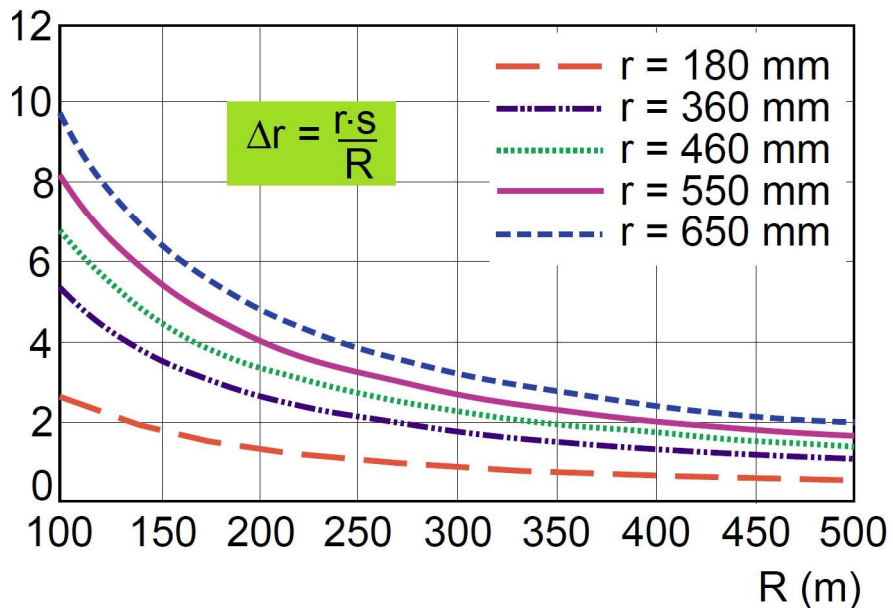


R = Bogenhalbmesser
 s = Abstand der Laufkreise der Räder eines Radsatzes
 a = Achsabstand
 Δx = Erforderliche Längsauslenkung eines Radsatzes zur Erzielung der Radsatzeinstellung
 Ψ = Ausdrehwinkel zwischen Radsatz und Radsatzhalterung um die Radsatzhochachse

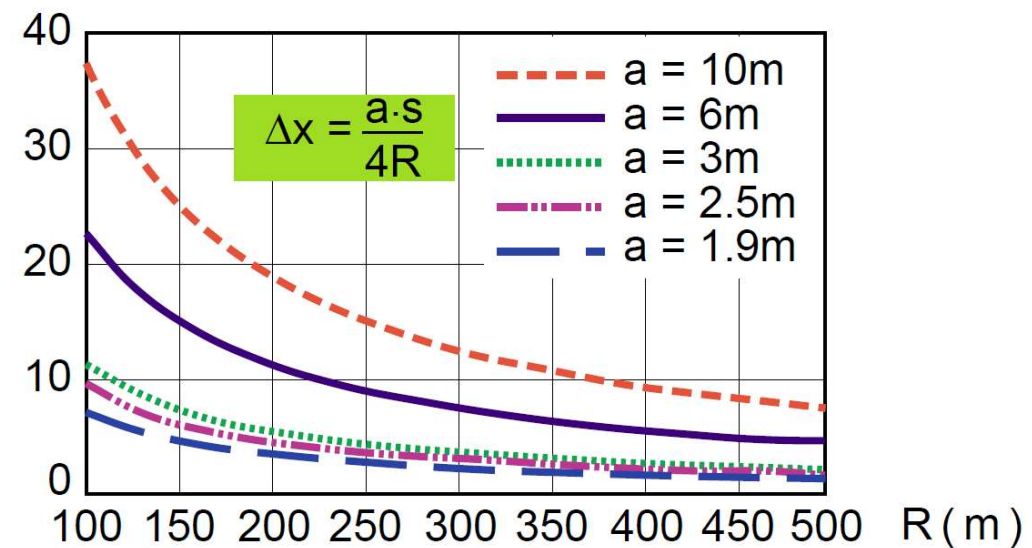


R = Bogenhalbmesser
 s = Abstand der Laufkreise der Räder eines Radsatzes
 r = Halbmesser des Rades im Laufkreis
 Δr = Radiusdifferenz der Räder eines Radsatzes

Δr (mm) → Anforderung Profile Rad/Schiene





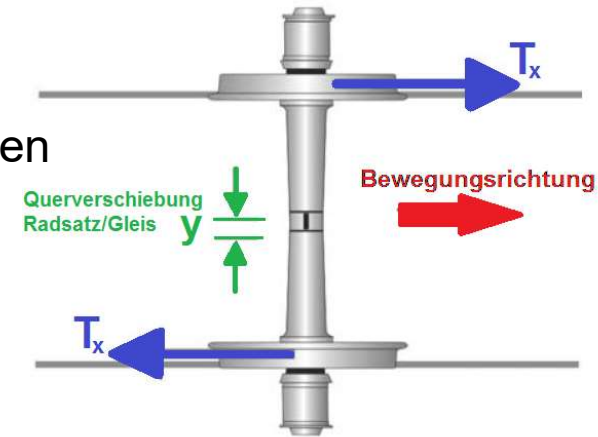
Δx (mm) → Anforderung Fahrwerk des Fahrzeugs



Bogen: Beitrag der Berührung von Rad und Schiene

$$q_E = \frac{R_E}{R}$$

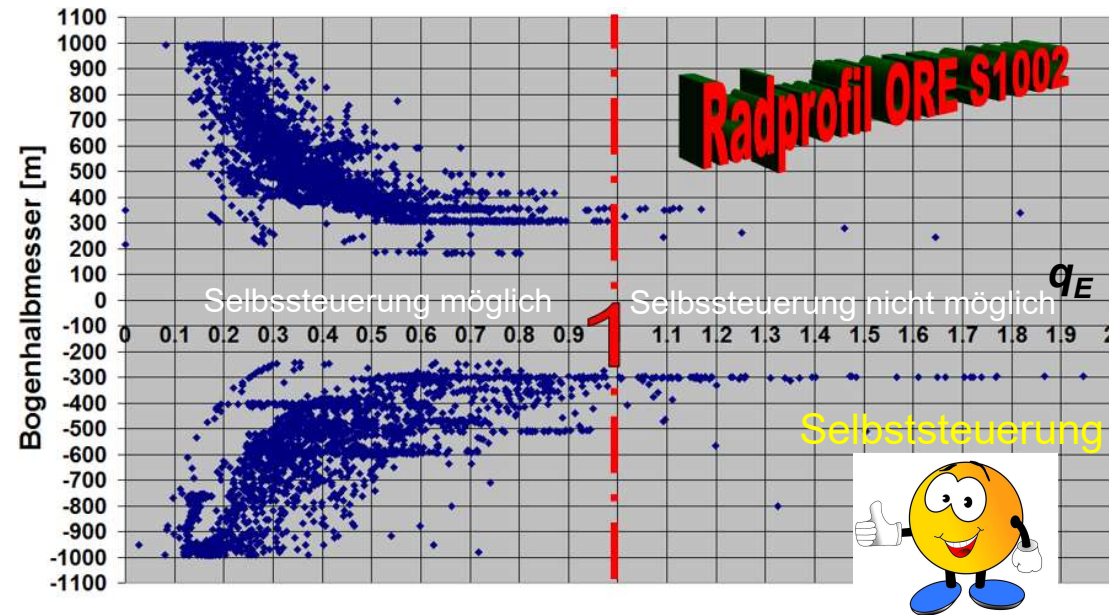
 kleinster Bogenradius, bei welchem mit der gemessenen Rollradiusdifferenz die Radialstellung möglich ist
 untersuchter Bogenradius



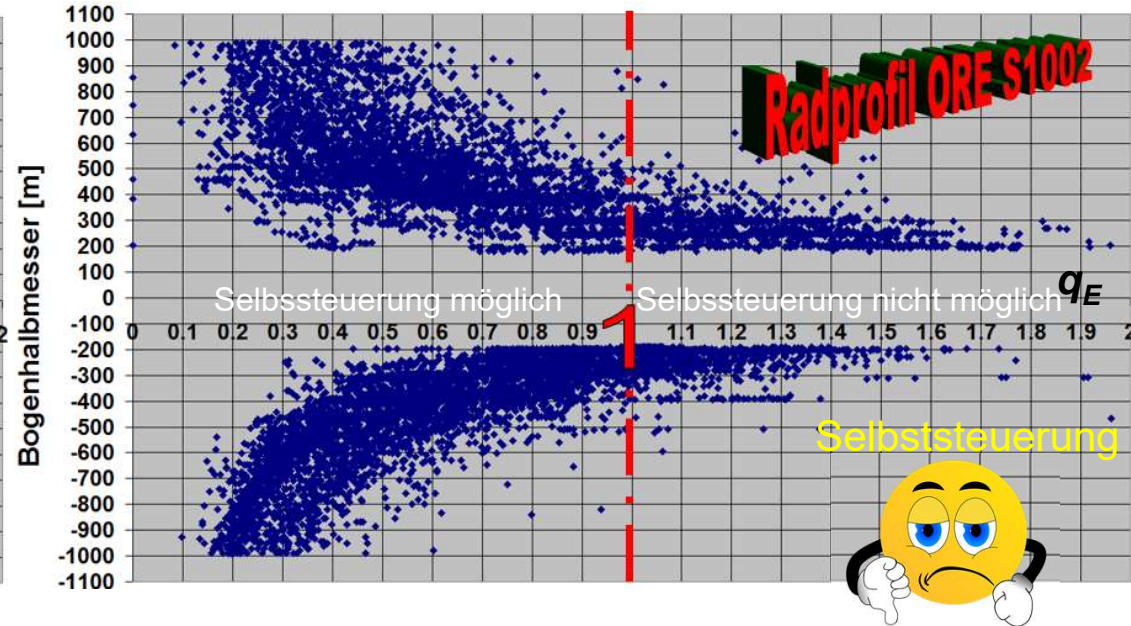
Radialstellungsindex (EN 14363:2016):

$\rightarrow q_E \leq 1$ Radialstellung möglich $\rightarrow q_E > 1$ Radialstellung nicht möglich

R Reale Schienen Strecke A für untersuchtes Fahrzeug

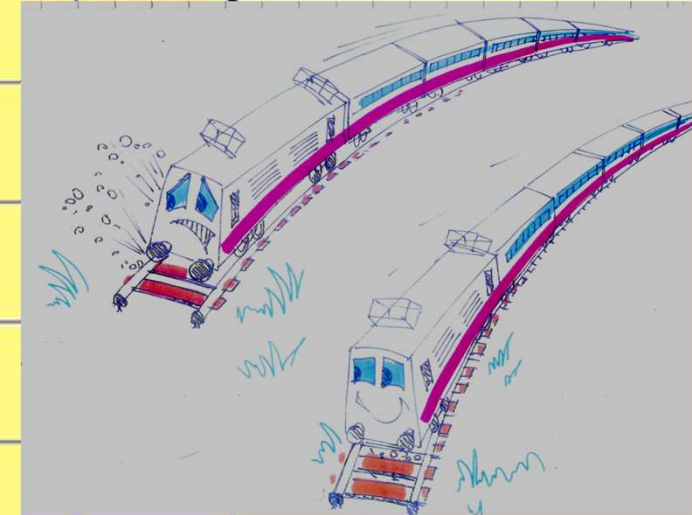
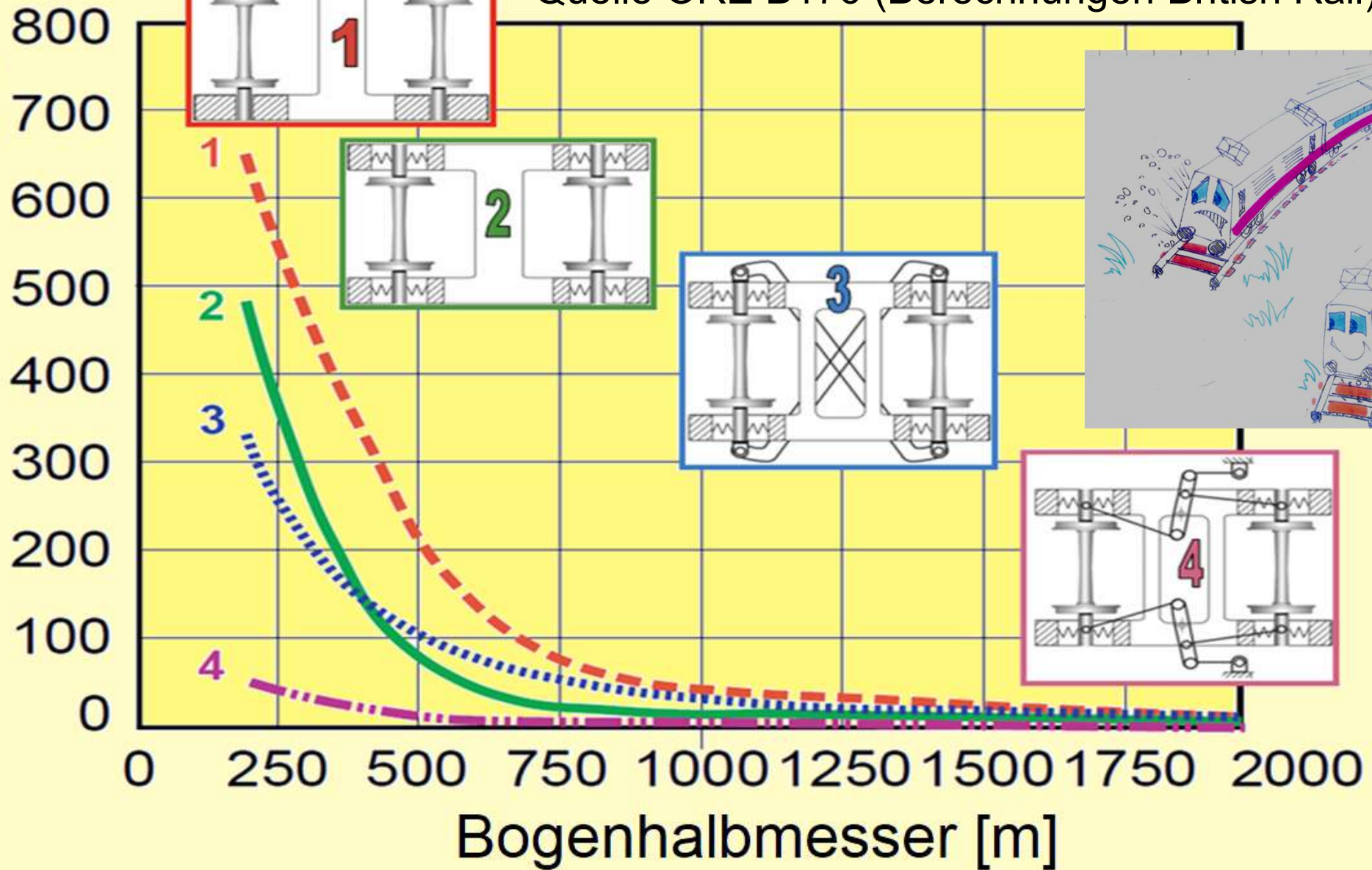


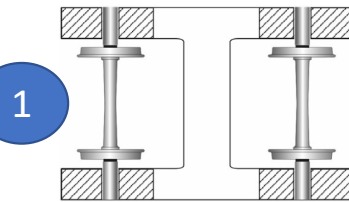
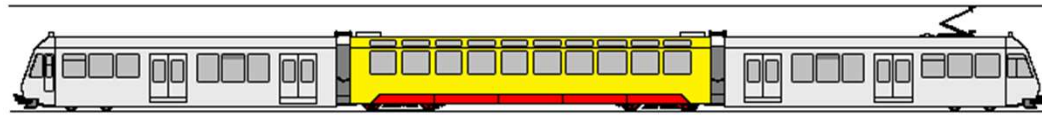
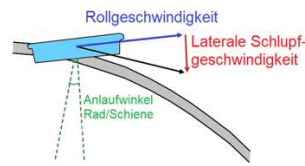
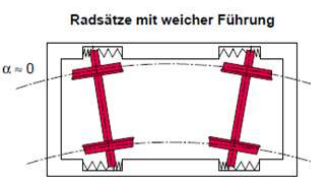
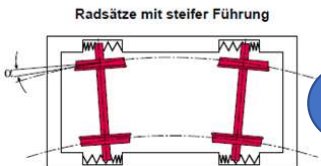
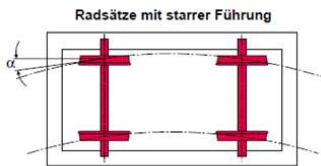
R Reale Schienen Strecke B für untersuchtes Fahrzeug



Verschleisskennziffer [N]

Quelle ORE B176 (Berechnungen British Rail)

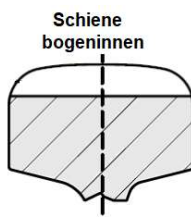
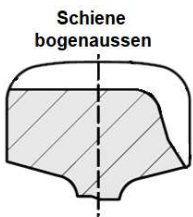
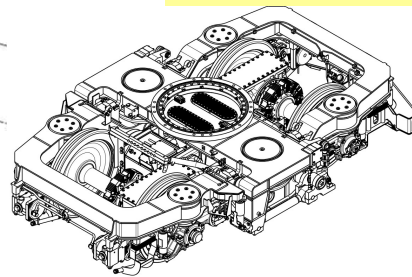




1

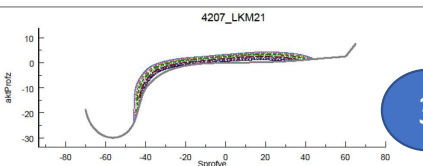
Spurführungsbedingte Kraftschlusskräfte reduzieren

- 1 Verringerung Anlaufwinkel Rad/Schiene
- 2 Verringerung Reibwert Fahrfläche Rad/Schiene (TOR)

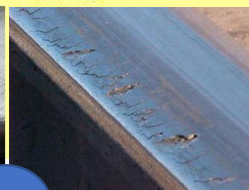
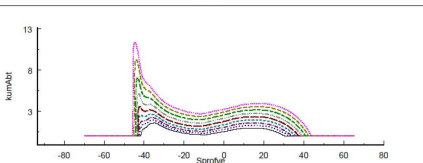


Widerstandsfähigkeit Werkstoffe R/S

- 3 Erhöhung Verschleisswiderstand
- 4 Erhöhung Widerstand gegen RCF



3

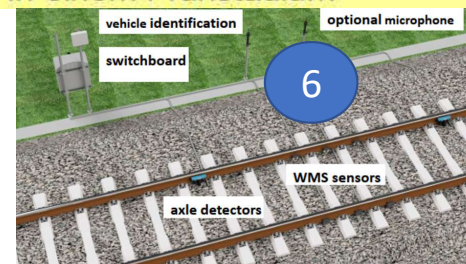


4



Optimierung Radsatzinstandhaltung

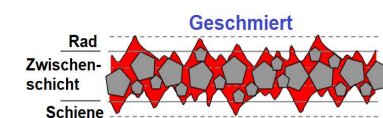
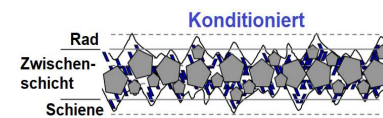
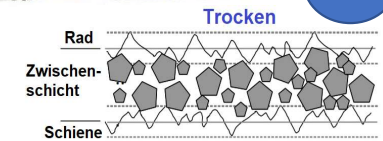
- 5 Abgesicherte fixe Reprofilierungsintervalle
- 6 Detektion von Rundheitsabweichungen in einem Frühstadium mittels ortsfesten Detektionsanlagen
- 7 Beurteilungsmittel und Kriterien für die Erkennung von Radlauflächenschäden in einem Frühstadium



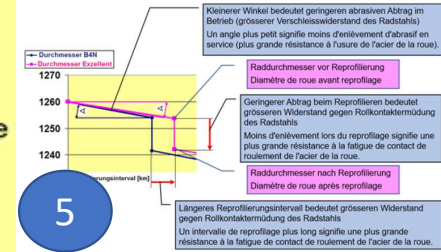
6



2



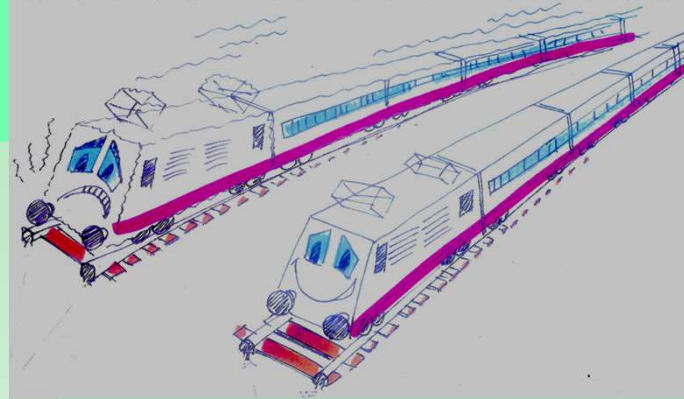
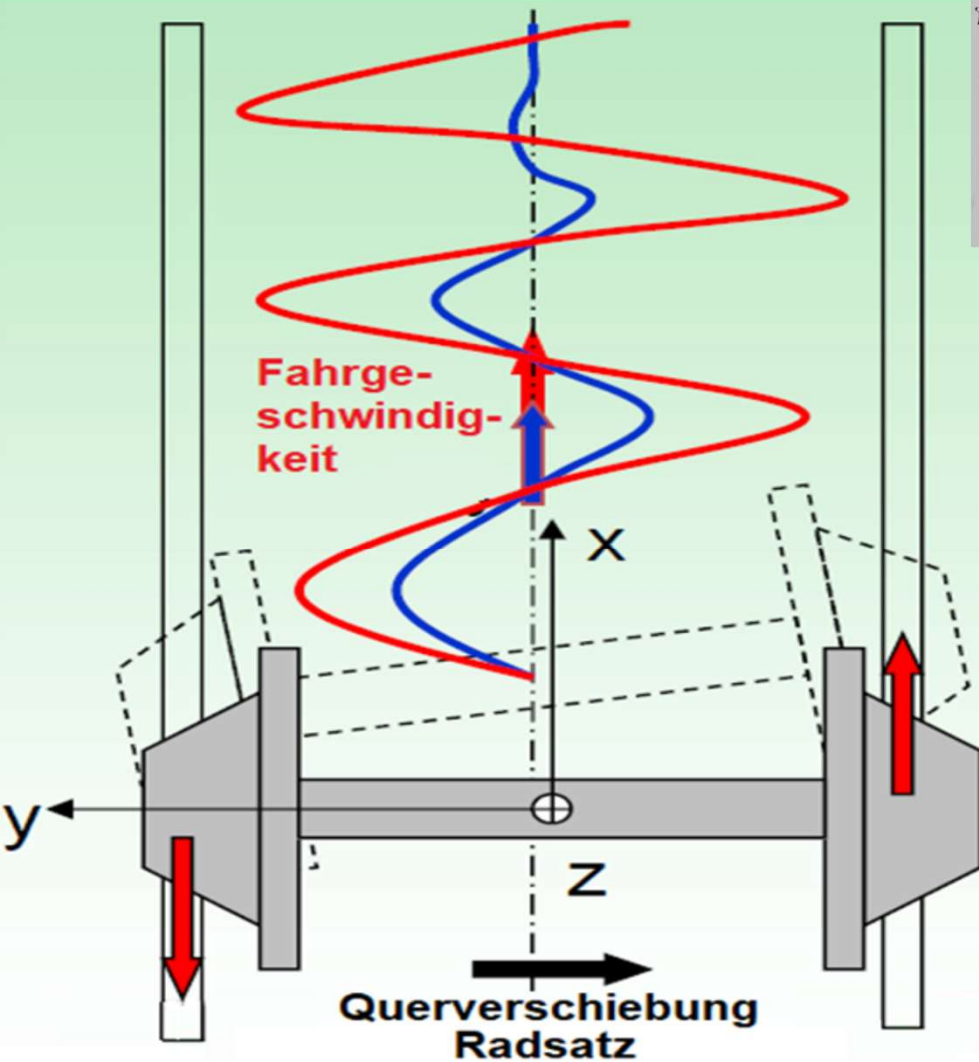
5



7



Selbsterregung



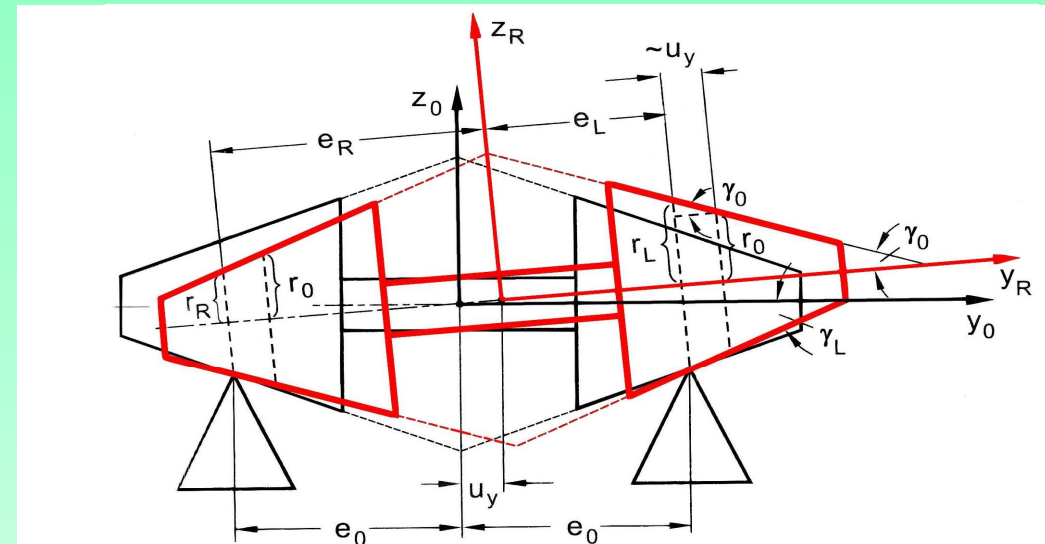
Gerade Strecke

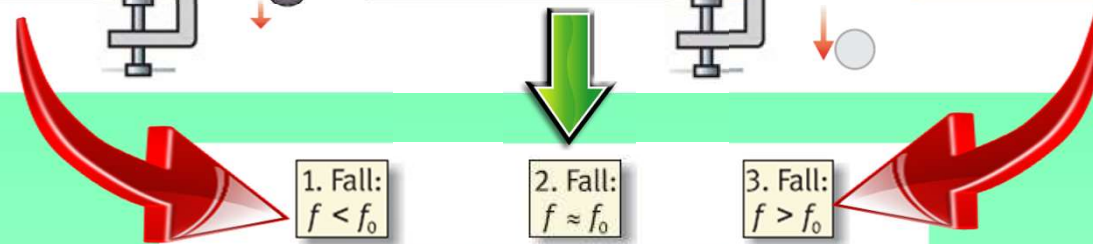
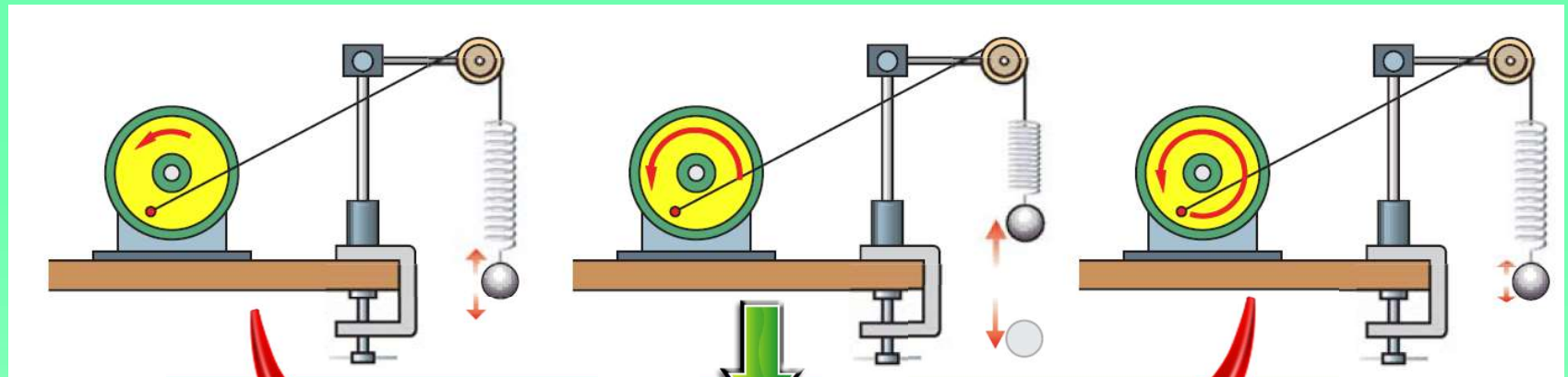
Wellenlänge

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{e_0 r_0}{\gamma_0}}$$

Frequenz

$$f[\text{Hz}] = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma_0}{e_0 \cdot r_0}}$$

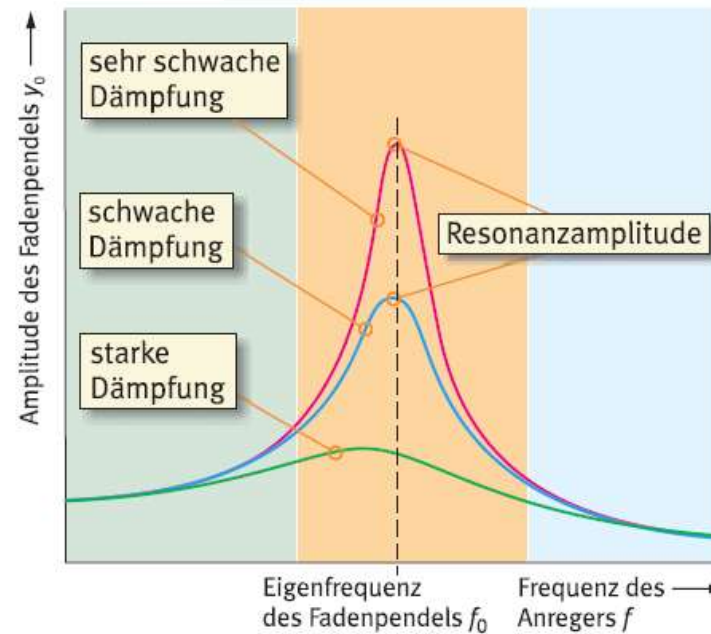




1. Fall:
 $f < f_0$

2. Fall:
 $f \approx f_0$

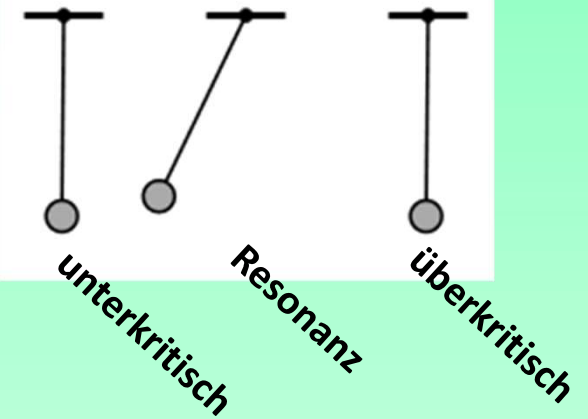
3. Fall:
 $f > f_0$



1. Fall

2. Fall

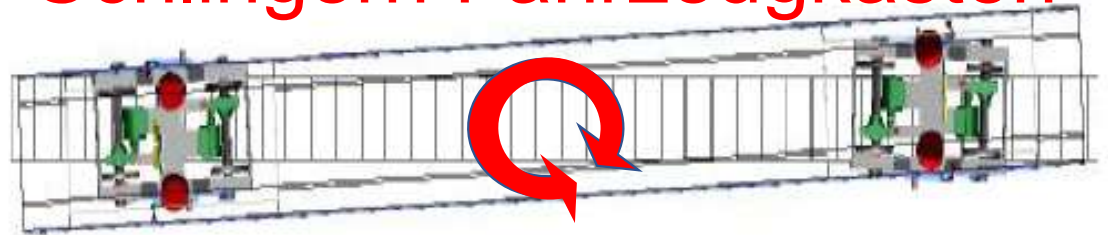
3. Fall



- Instabilität des Kastens
 - Frequenz 1 - 2 Hz
 - niedrige äquivalente Konizität
 - grosse Kastenbewegungen
 - Beeinträchtigung des Fahrkomforts
 - bei Fahrzeugen mit weicher Sekundärfederung keine Überschreitung der Grenzwerte der Fahrsicherheit

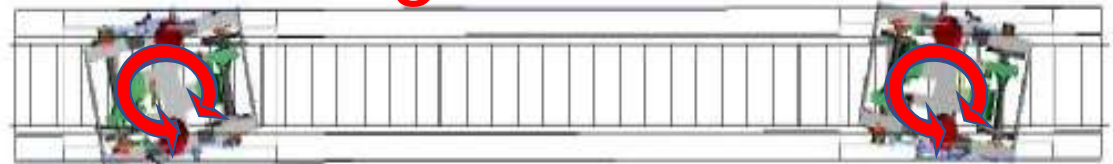
Formen der Instabilität

Schlingern Fahrzeugkasten

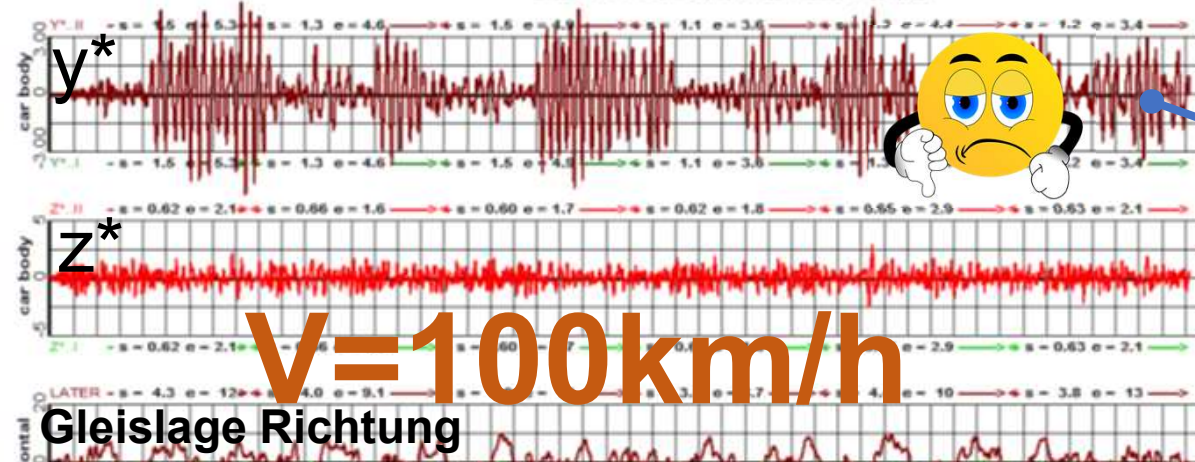


- Drehgestellinstabilität
 - Frequenz 3 - 9 Hz
 - hohe äquivalente Konizität
 - sicherheitsrelevant
 - Kräfte zwischen Rad und Schiene nehmen mit steigender Geschwindigkeit zu
 - Risiko von Gleisverschiebung und Entgleisung

Schlingern Fahrwerke



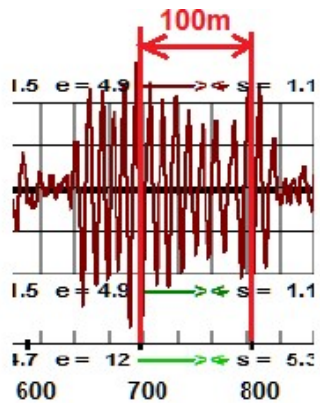
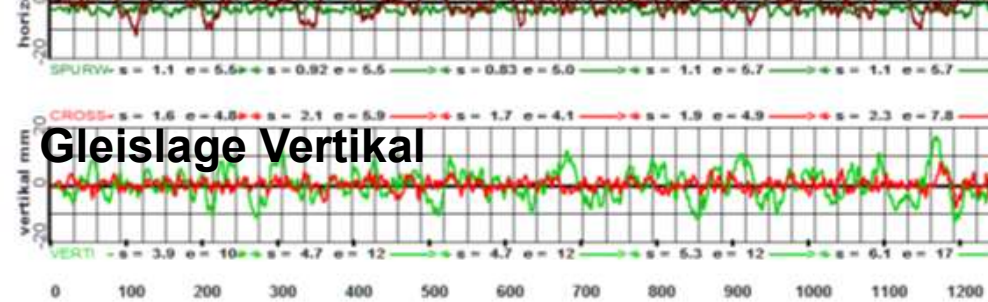
Beschleunigungen, Gleisstörungen



V=100km/h

Gleislage Richtung

Gleislage Vertikal

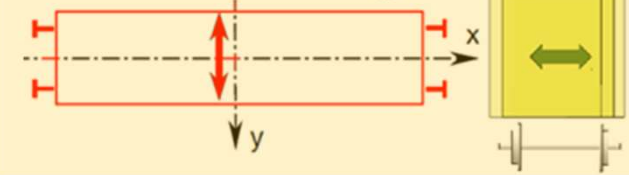


8 Schwingungen auf 100m

$V=110\text{km/h} \Rightarrow f=2.44\text{Hz}$

Wellenlänge 12.5m

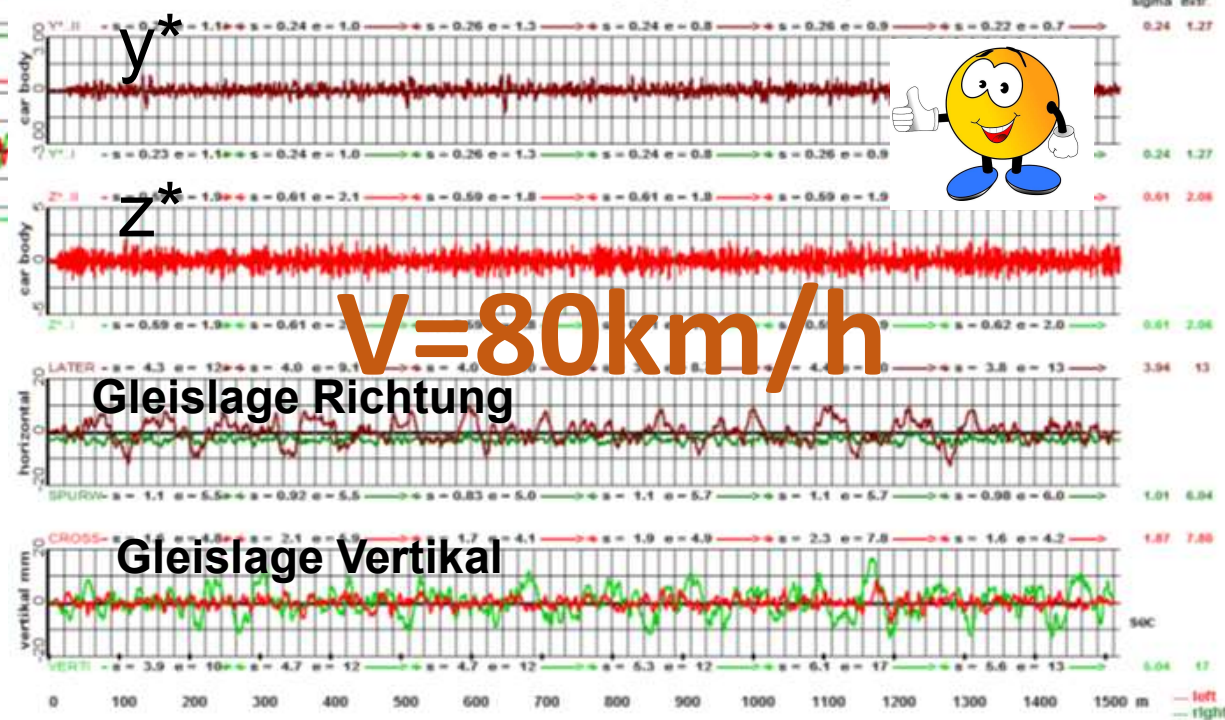
Querschwingen



Schlingern



Beschleunigungen, Gleisstörungen



V=80km/h

Gleislage Richtung

Gleislage Vertikal

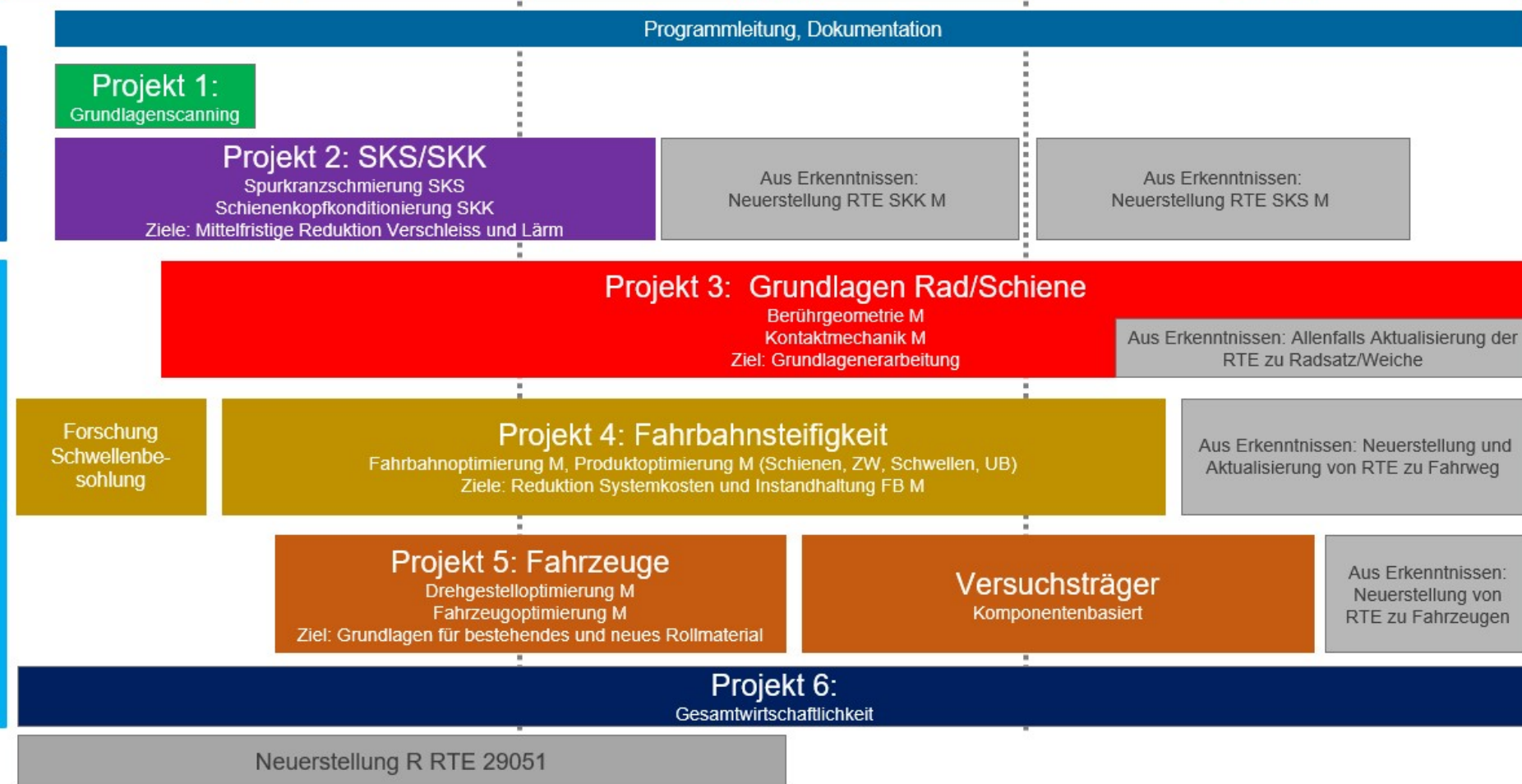
Nationales Forschungsprogramm Interaktion Fahrzeug/Fahrweg Meterspur



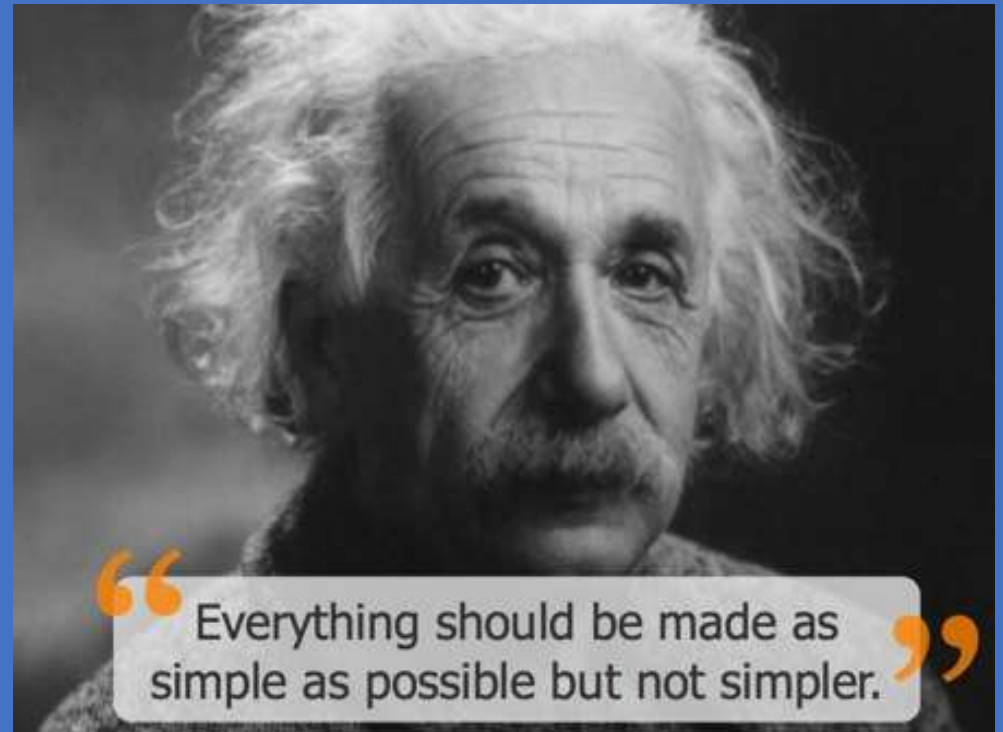
2021	2022	2023	2024	2025	2026
Phase 1		Phase 2		Phase 3	

mittelfristiger Fokus

langfristiger Fokus



Vielen Dank für
Ihre Aufmerk-
samkeit!



“Everything should be made as
simple as possible but not simpler.”