



# Phänomene des Kontaktes zwischen Rad und Schiene und seine Randbedingungen

DI Martin Rosenberger

DI Bernd Luber

DI Gábor Müller

DI István Németh

DI(FH) Christoph Tomberger

Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug,  
Forschungsgesellschaft mbH

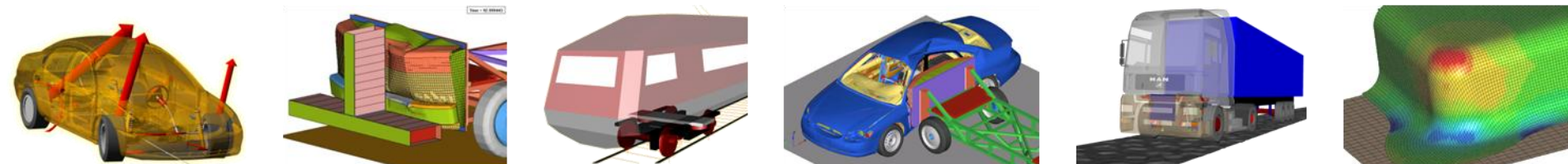
Inffeldgasse 21a/1.Stock

A-8010 Graz/Österreich

Tel: +43/316/873-9001

Fax: +43/316/873-9002

Email: [office@v2c2.at](mailto:office@v2c2.at)





## Inhalt

- Einleitung
- Gleislageabweichungen
- Berührgeometrie und Kontaktkinematik
- Kontaktmechanik
- Strukturdynamik des Radsatzes und des Oberbaus
- Schädigung von Rad und Schiene
- Zusammenfassung



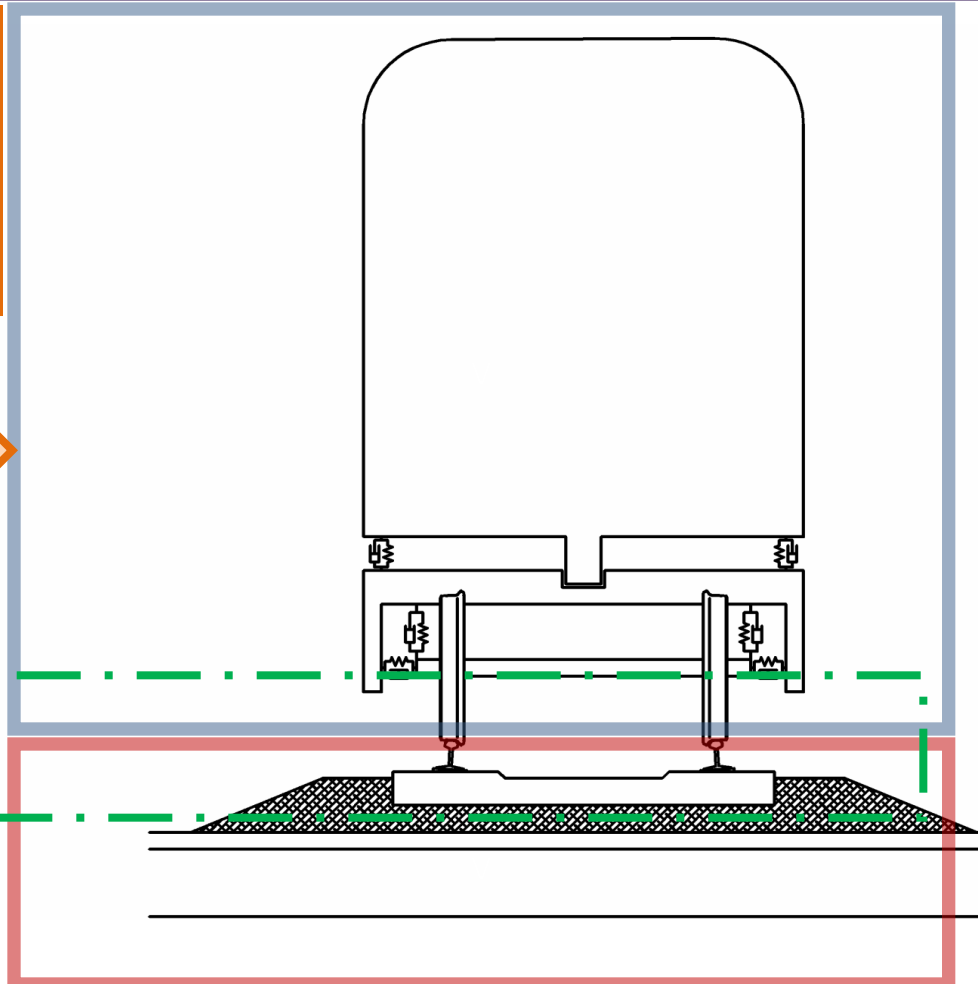
## Fahrzeugsystemdynamik

### Betriebliche Randbedingungen:

- Beladung
- Geschwindigkeit
- ...



### Rad-Schiene Interaktion



Fahrzeug

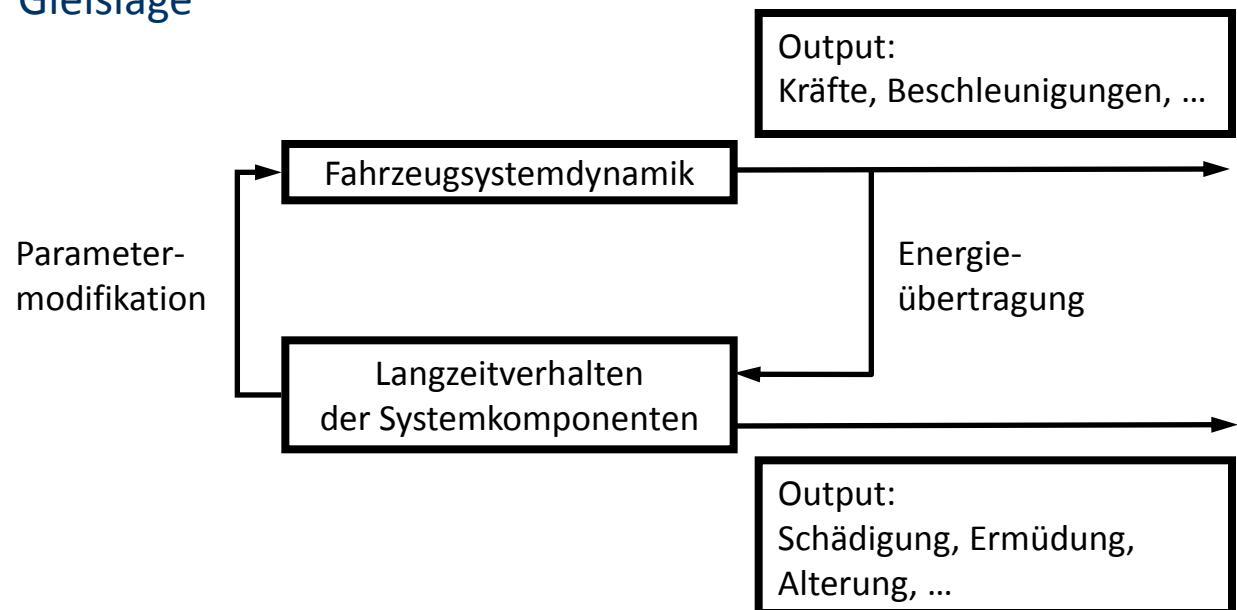
Fahrbahn



### *Kurzeitdynamik - Langzeitverhalten*

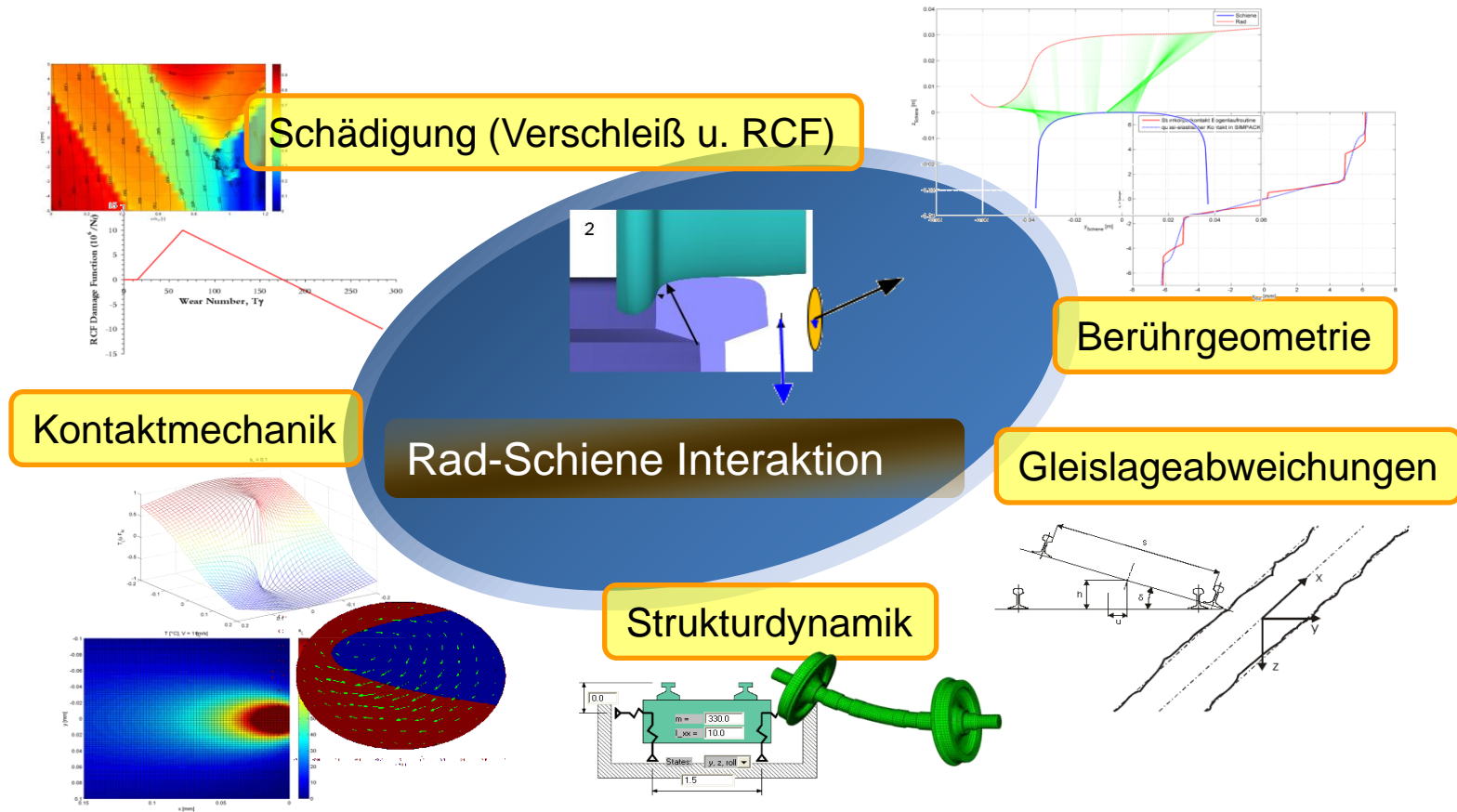
## Fahrzeugsystemdynamik beeinflusst Langzeitverhalten maßgeblich

- Rückwirkung auf die Fahrzeugsystemdynamik
  - Alterung, Ermüdung, Schädigung von Fahrzeug u. Fahrwegkomponenten
- Schnittstelle zwischen Rad u. Schiene
  - Veränderungen der Gleislage
  - Schädigung



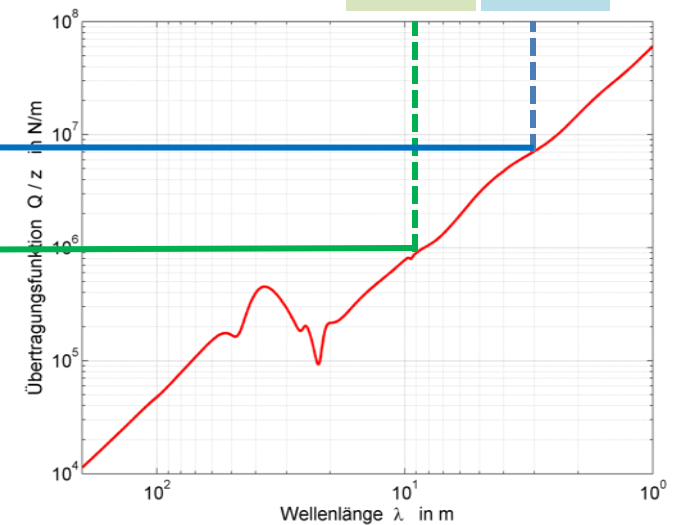
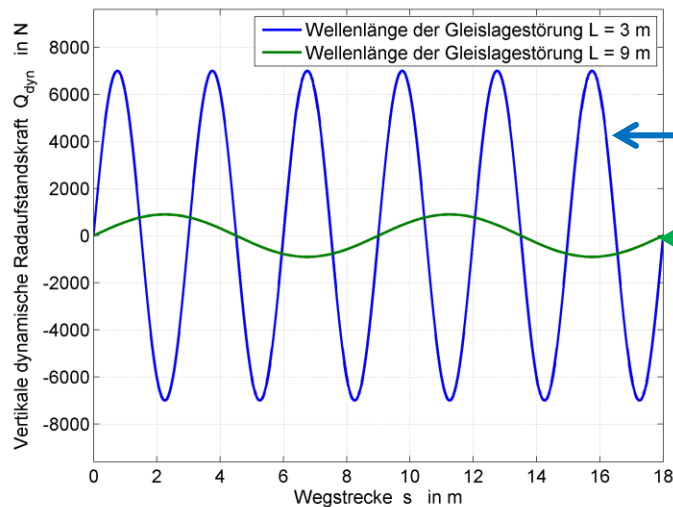
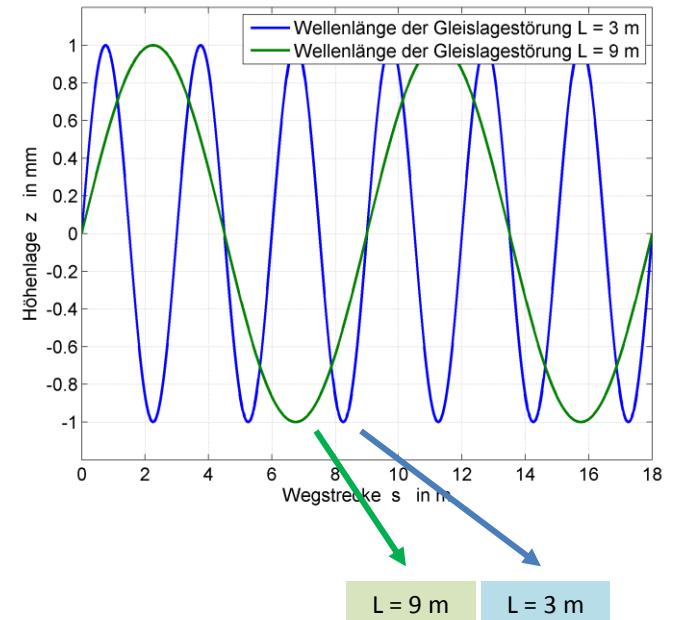


## Aspekte der Rad-Schiene Interaktion





- Abweichungen der realen Gleislage von der Soll-Lage
  - Gleislageabweichungen sind wesentliche Störgrößen für Fahrzeugsystemdynamik
- ⇒ verursachen hohe dynamische Reaktionskräfte im Rad-Schiene Kontakt
- ⇒ Form der Abweichungen entscheidend





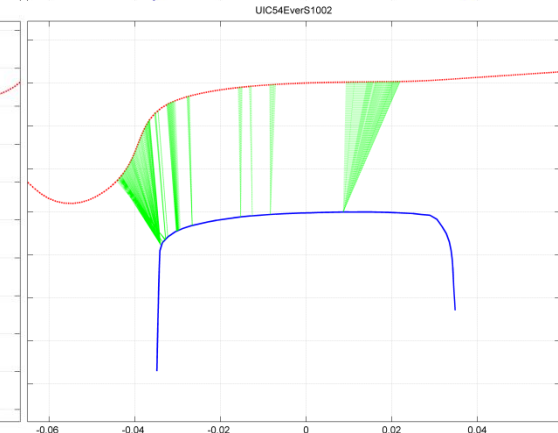
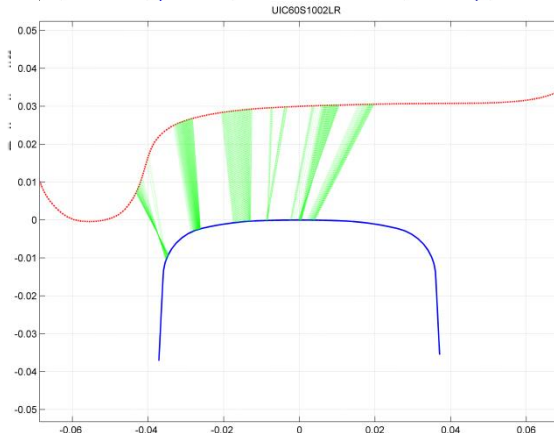
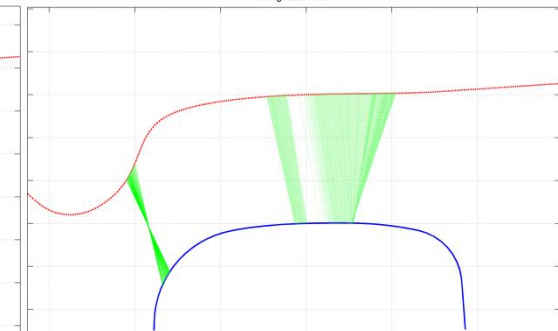
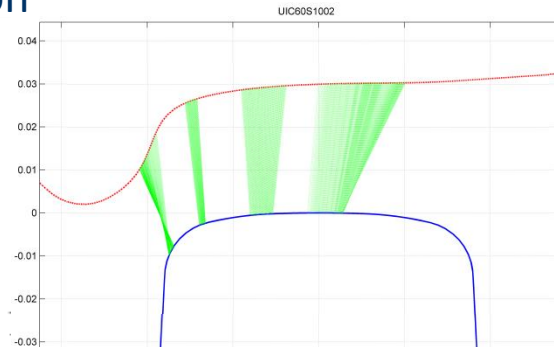
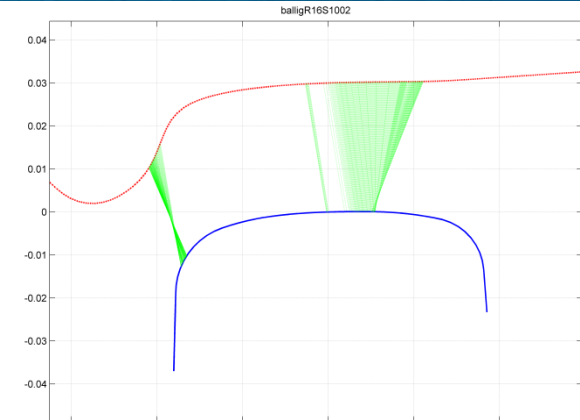
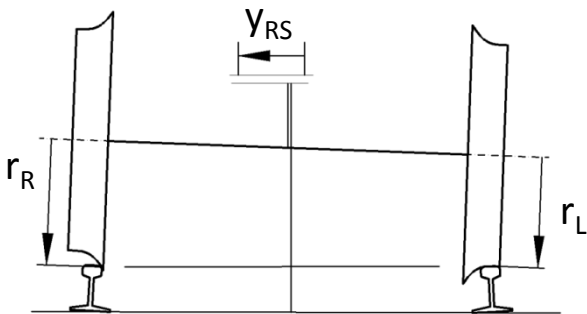


beschreibt geometrische Ausbildung des Kontakts bei unterschiedlichen Relativlagen der Räder zum Gleis

charakteristisch sind

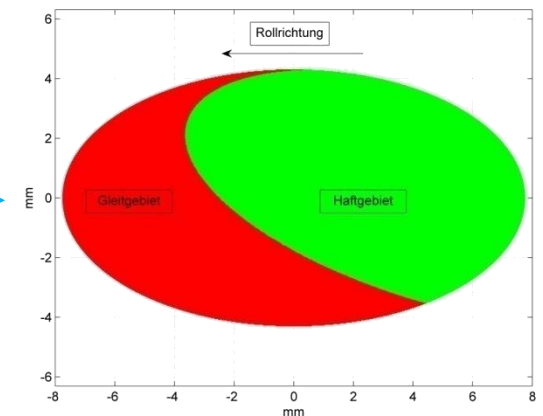
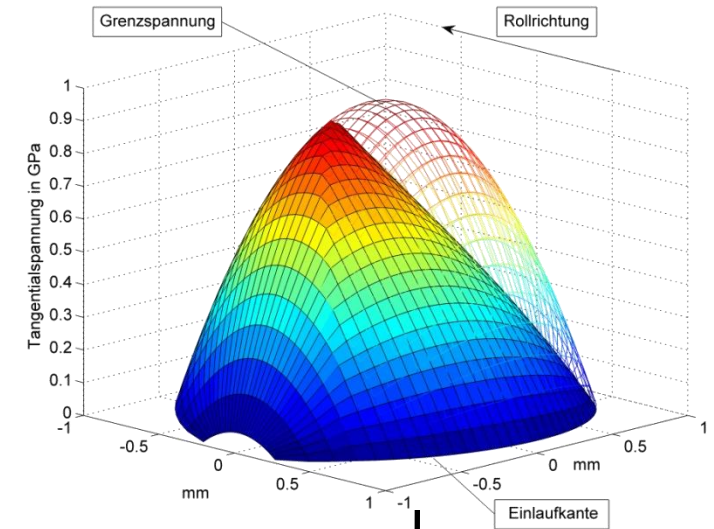
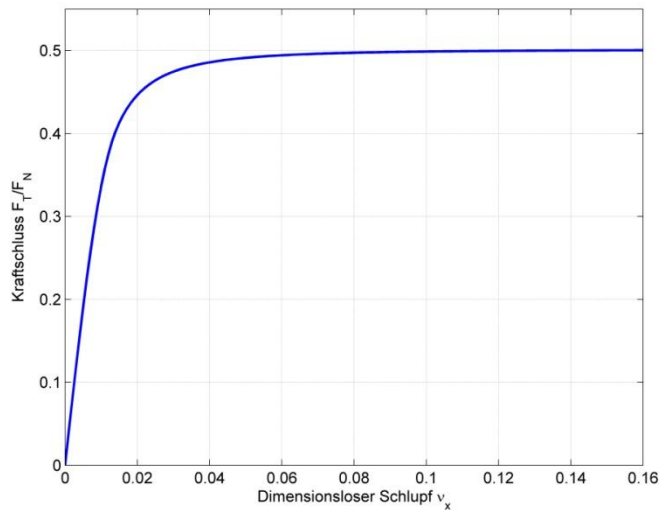
- Rollradiendifferenzfunktion
- äquivalente Konizitäten
- ...

Beeinflussung der Rad-Schiene  
Interaktion durch  
Profilgestaltung?





- Fingernagel-große Kontaktflächen
- Lokale Verformungen und Relativgeschwindigkeiten führen zu Ausbildung von Haft- und Gleitgebieten
- Einfache, statische Modelle geben den prinzipiellen Verlauf im "Mikroschlupf" wieder

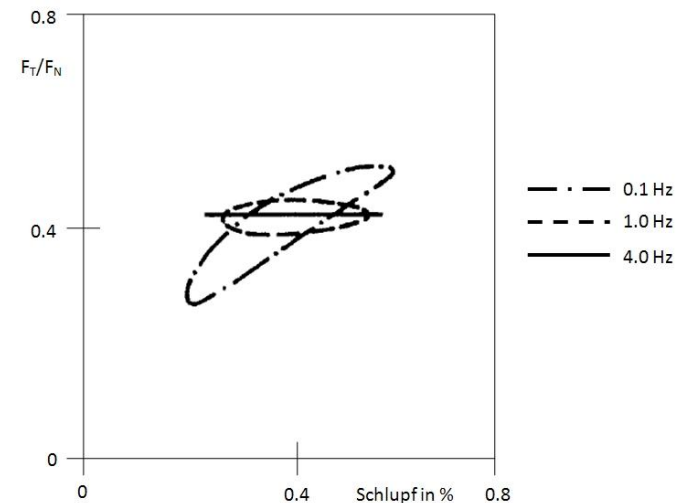
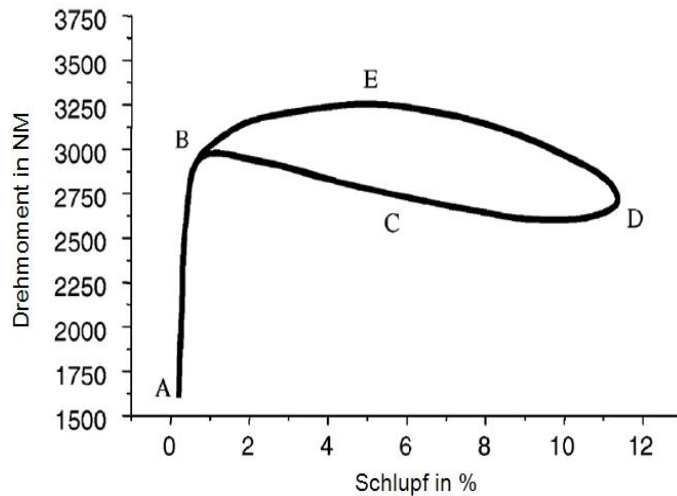
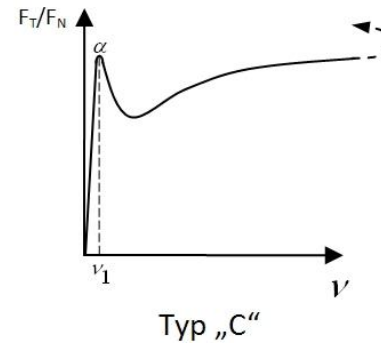
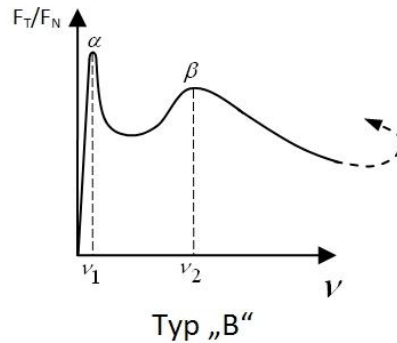
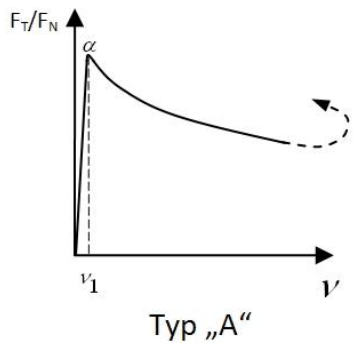






## Kraftschluss-Schlupf Messungen

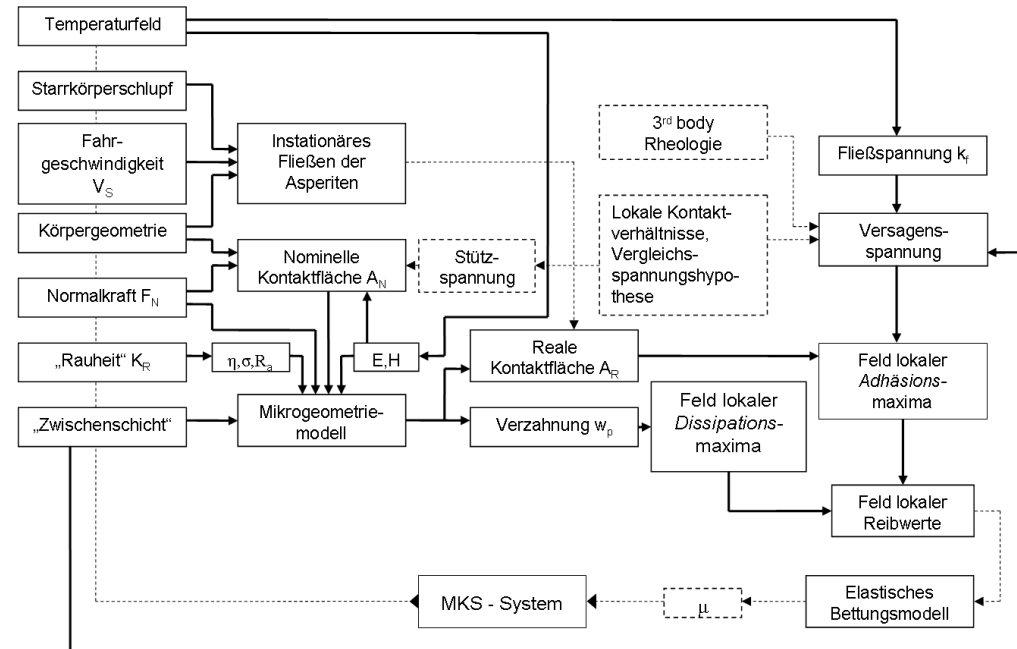
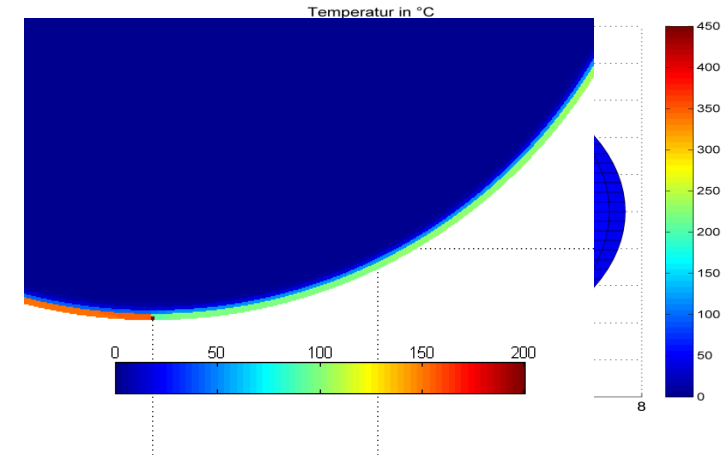
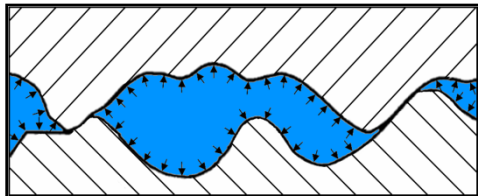
- Feld- und Labormessungen zeigen statische und dynamische Abweichungen





### Einflussgrößen

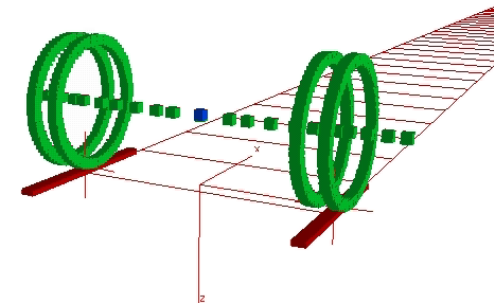
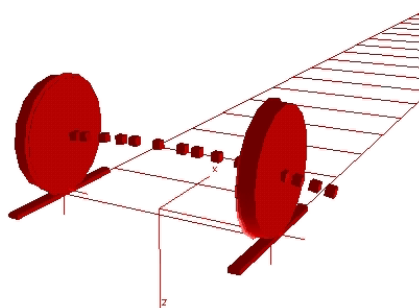
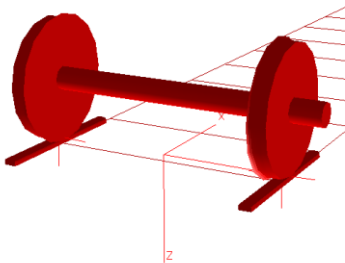
- Lokale Temperaturentwicklung
- Globale Randzonenerwärmung des Rades
- Mikroskopische Oberflächenrauheit
  - Dynamische Entwicklung der Rauheit
  - Plastizität und damit verbundene Dynamik des Mikrokontaktes
- Zwischenschichten, fest und flüssig





## Radsatz

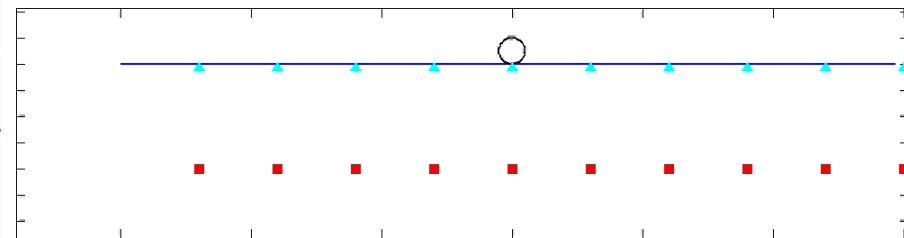
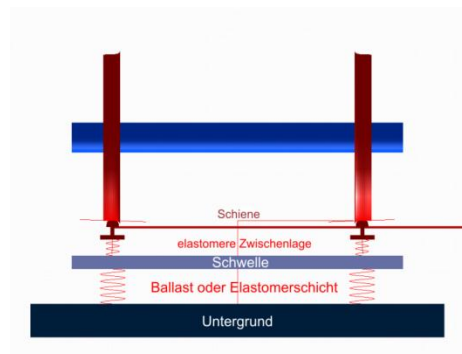
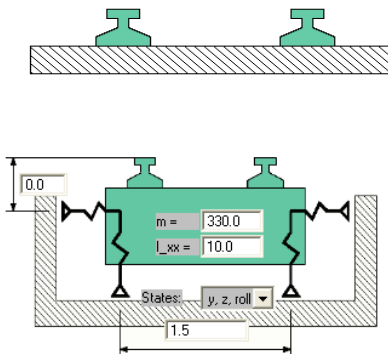
Frequenzbereich	Frequenz	Merkmal	Modellierungsansatz
tief ↓ mittel ↓ hoch	$< 50 \text{ Hz}$	Keine Radsatzeigenform	Starrer Radsatz
	$50 \text{ Hz} - 200-300 \text{ Hz}$	Biege- und Torsionseigenformen der Welle	Elastische Welle + starre Radscheibe
	$200-300 \text{ Hz} <$	Eigenformen der Welle + der Radscheibe	Vollelastischer Radsatz





### Oberbau

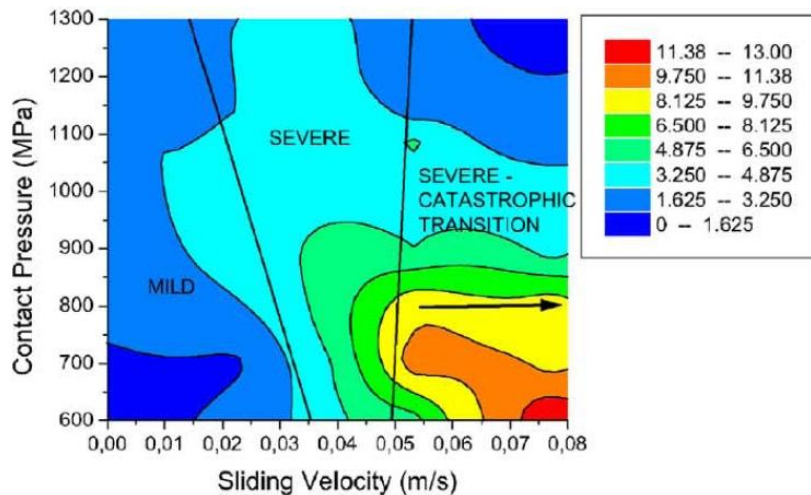
Frequenzbereich	Frequenz	Merkmal	Modellierungsansatz
tief ↓ mittel ↓ hoch	< 50 Hz	Eingangsrezeptanzen: $H_{\text{Schiene}} < H_{\text{Fahrzeug}}$	Starrer Oberbau
	50 Hz – 500 Hz	Taucheigenformen	Mitgeführte Feder-Masse-Systeme
	500 Hz – 2 kHz	pinned-pinned Biegeschwingung	Schiene: Biegebalken





### Verschleiß

- Verschleiß ist (kontinuierlicher) Materialverlust
  - Profilverschleiß
  - unrunde Räder, Schienenriffel
- Verschleißrate abhängig von Materialpaarung, Belastungen u. Relativgeschwindigkeiten im Rad-Schiene Kontakt



Verschleißkarte nach Lewis, 2004





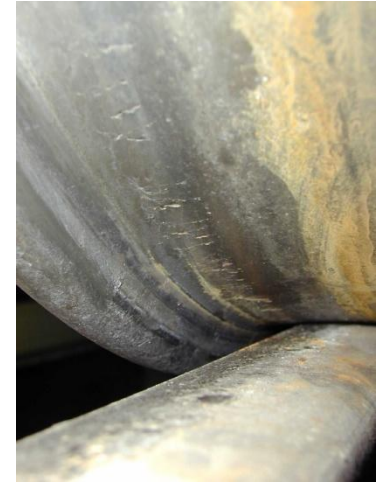


### ***Rollkontaktermüdung***

- Normalkräfte bis zu 100 kN und mehr
  - Berührflächen in der Ausdehnung eines Fingernagels
- ⇒ mehrachsige Spannungszustände mit rotierenden Hauptspannungsrichtungen
- auftretende hohe Normal- und Tangentialspannungen
- ⇒ plastische Deformationen,
- ⇒ Rissbildung

Rollkontaktermüdung (engl. Rolling Contact Fatigue, RCF)

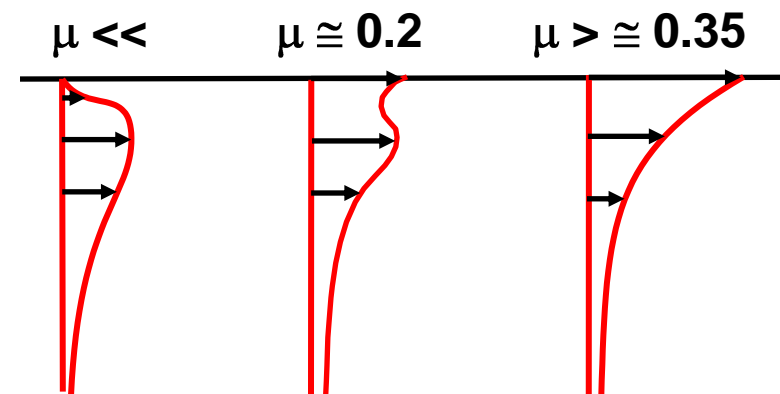
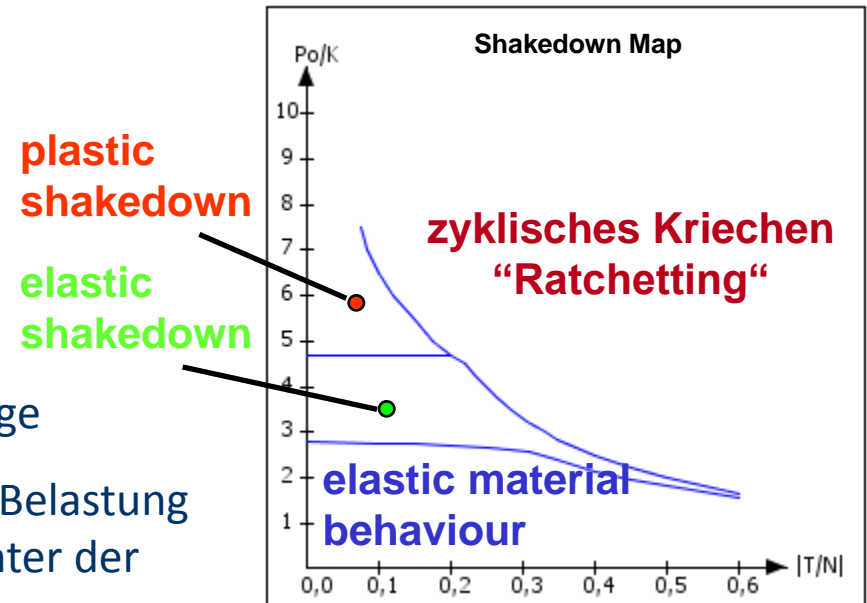
- ⇒ Ausbrechen von mehr oder weniger großen Materialteilen
- ⇒ Im Extremfall: Bruch von Rad bzw. Schiene





### Rollkontaktermüdung

- Rissinitiation auf der Oberfläche
    - zyklisches Kriechen „Ratchetting“
    - Low-Cycle-Fatigue
  - Rissinitiation unter der Oberfläche
    - begünstigt durch Fehlstellen im Gefüge
    - bei Überrollvorgängen mit vertikaler Belastung Schubspannungsmaxima 3 - 5 mm unter der Oberfläche
  - thermischer Einfluss
    - durch lange Antriebs- und Bremsphasen
    - Bildung von weißen Schichten mit Martensit - ähnlichen Strukturen
- ⇒ ausbrechen ⇒ hohe dynamische Radlasten





- gemeinsame Betrachtung von Fahrzeug und Fahrweg von entscheidender Bedeutung für Optimierung des Gesamtsystems
  - Gleislageabweichungen
  - Berührgeometrie und Kontaktkinematik
  - Strukturdynamik Radsatz u. Oberbau
- Phänomene der Kontaktmechanik derzeit noch nicht vollständig beschreibbar
- Schädigung (Verschleiß und RCF) bergen eine Vielzahl offener Fragen,
  - optimale Werkstoffpaarung Rad u. Schiene?
  - Wo entstehen Risse?
  - Wie pflanzen sich Risse fort?



*Danke für Ihre Aufmerksamkeit!*



Infrastruktur Betrieb

**SIEMENS**

*30 Mannjahre Forschung zu  
Fragestellungen der Rad-Schiene  
Interaktion*



FFG K plus Kompetenzzentrenprogramm



Das Land Steiermark

Eine Förderinitiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT).  
Gefördert mit Mitteln der FFG, des Landes Steiermark und der steirischen Wirtschaftsförderung (SFG)