



BOMBARDIER
TRANSPORTATION

**Optimierung moderner
Lok-Drehgestelle durch
fahrzeugdynamische Systemanalyse**

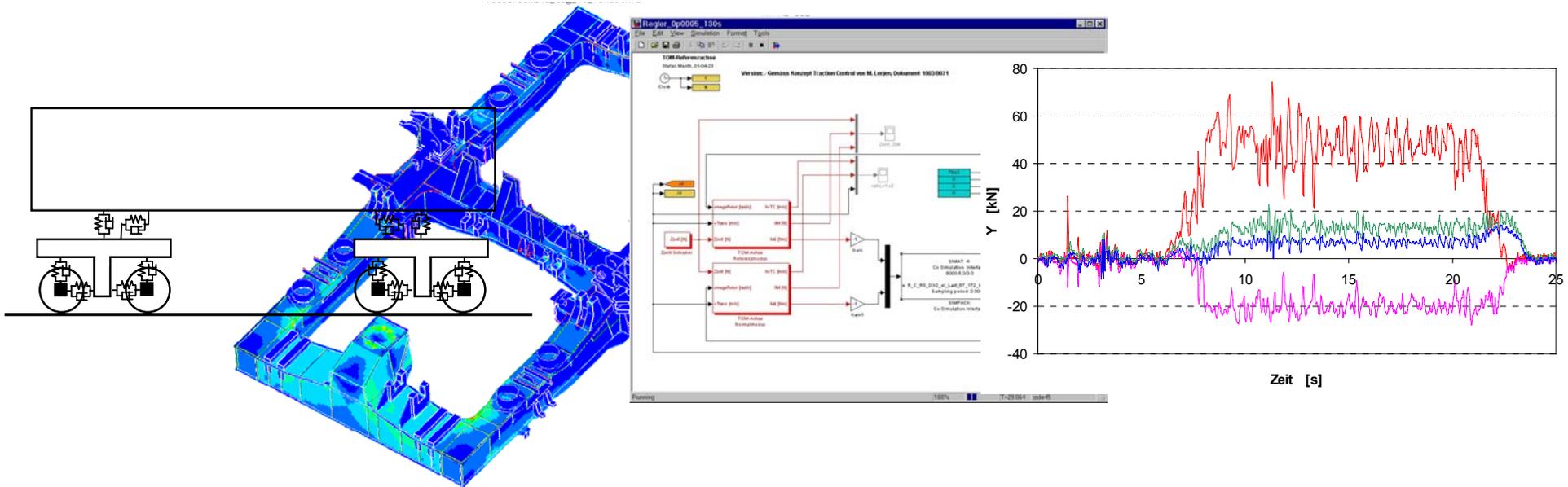
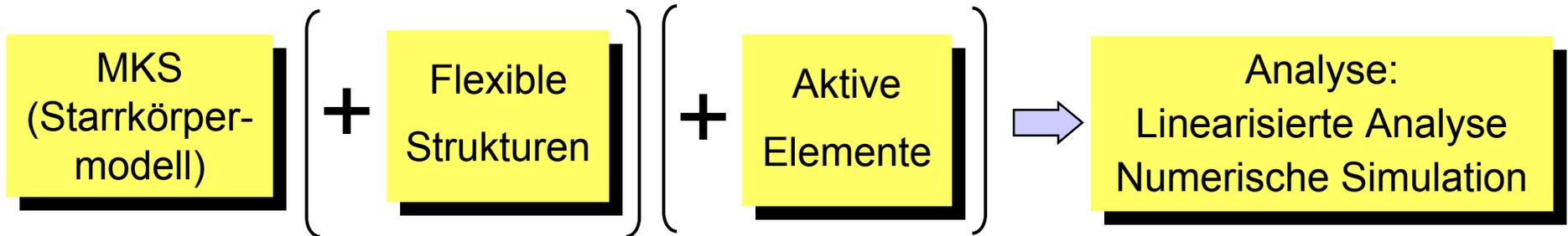
Oldrich Polach

Bombardier Transportation (Schweiz) AG, Winterthur

Inhalt

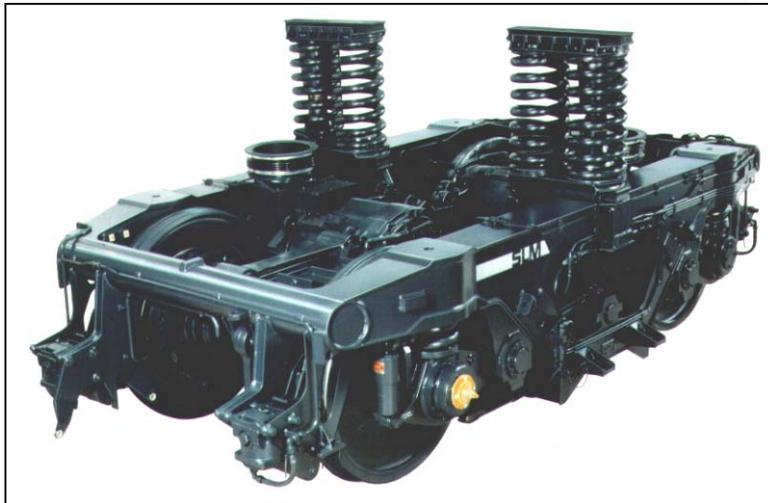
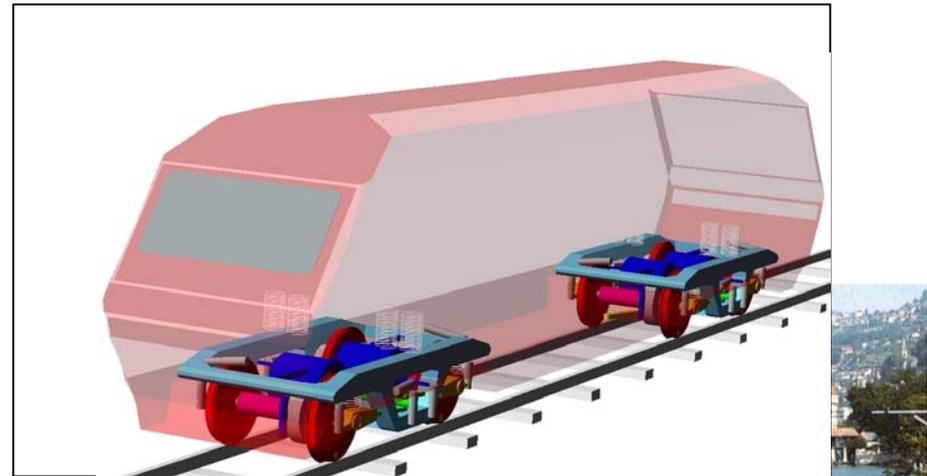
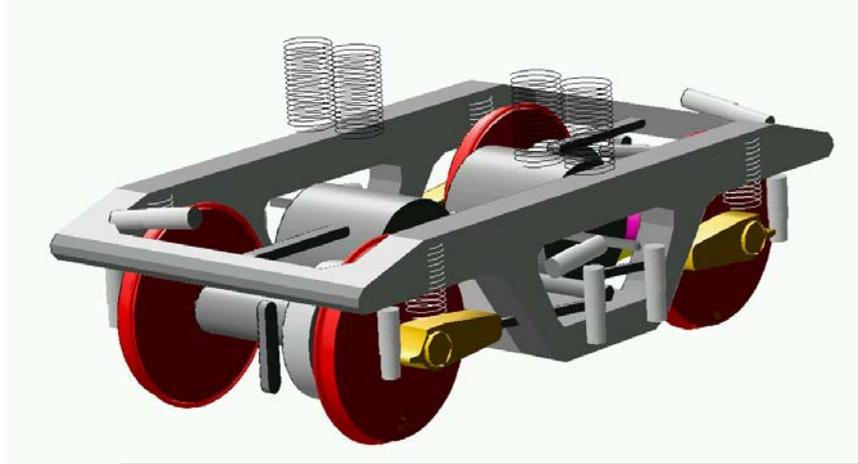
- ◆ **Typische fahrzeugdynamische Analysen (Standardanalysen)**
- ◆ **Optimierung der Anforderungen auf Fahrstabilität und Bogenfahrt**
- ◆ **Systemanalyse der Kraftschlussregelung und Fahrzeugdynamik**
 - **Erweitertes Kraftschlussmodell**
 - **Beispiel der Systemanalyse Kraftschlussregelung-Fahrzeugdynamik**

Systemdynamik der Schienenfahrzeuge



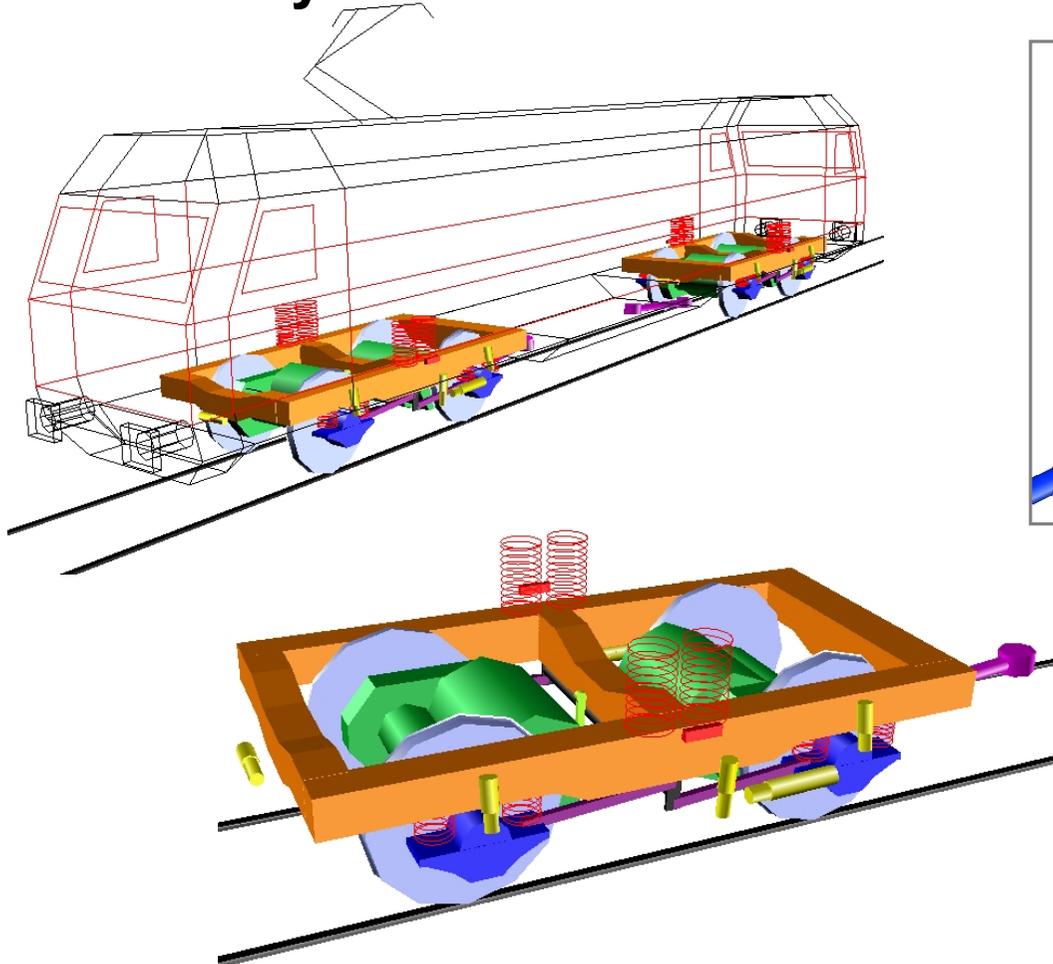
Beispiele der Simulationsmodelle: ADAMS/Rail

◆ Lokomotive SBB 460

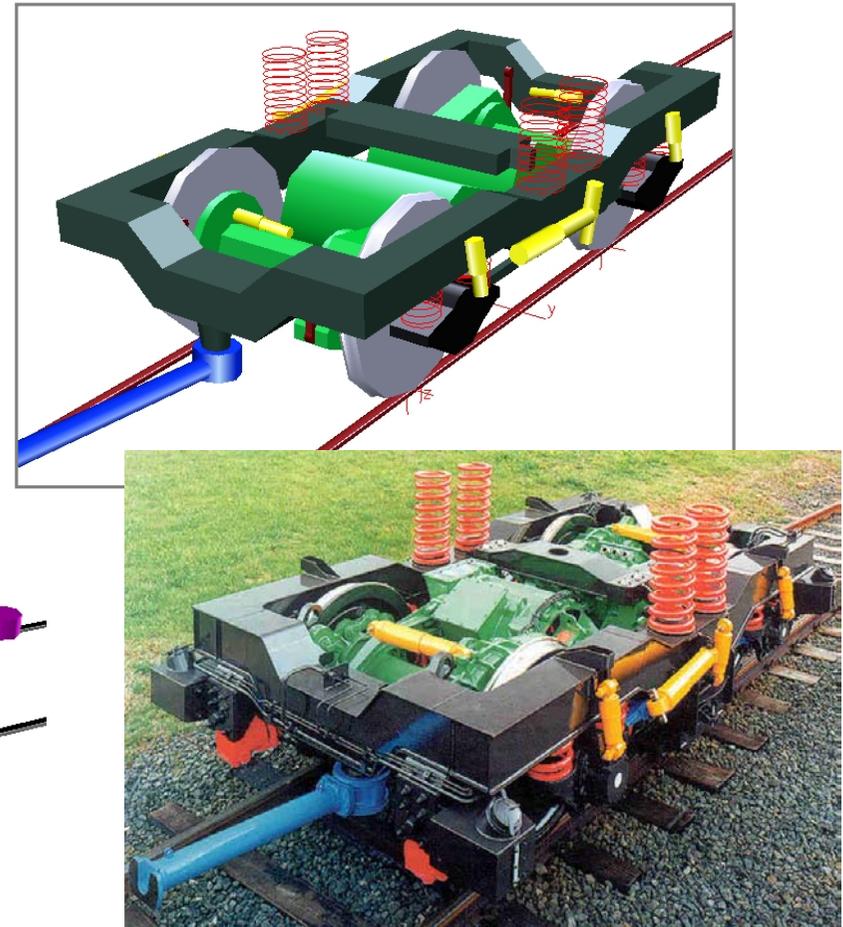


Beispiele der Simulationsmodelle: SIMPACK

◆ Multi-System-Lok



◆ Lok DB BR 101

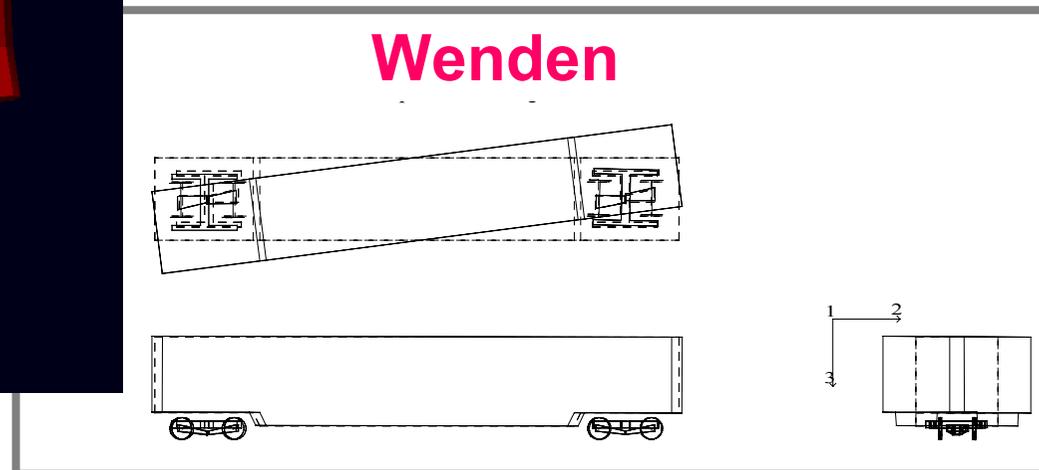
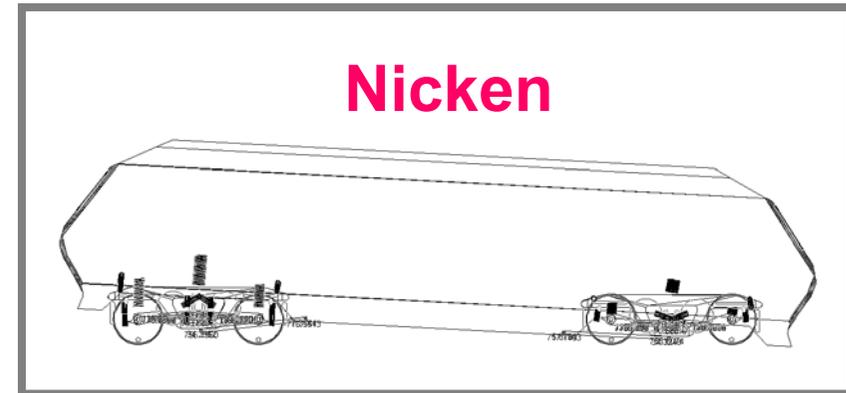
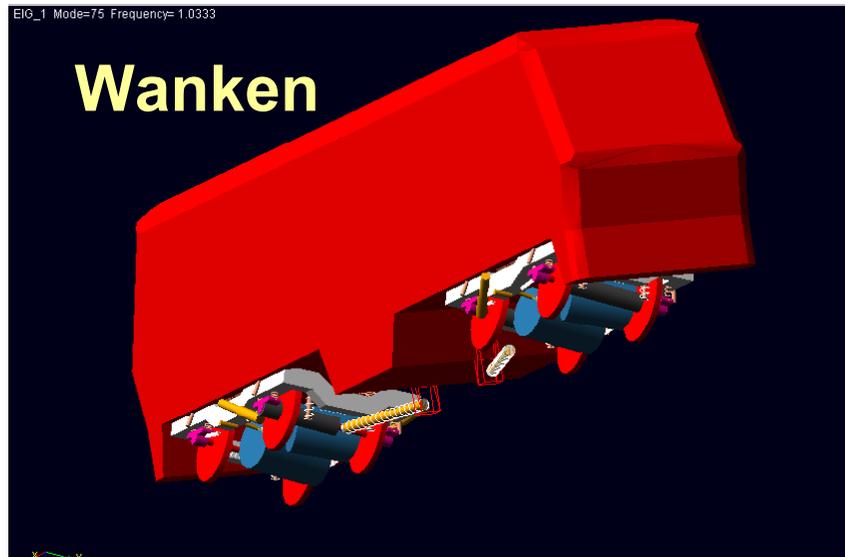


Fahrtechnische Standardanalysen bei Lokomotiven

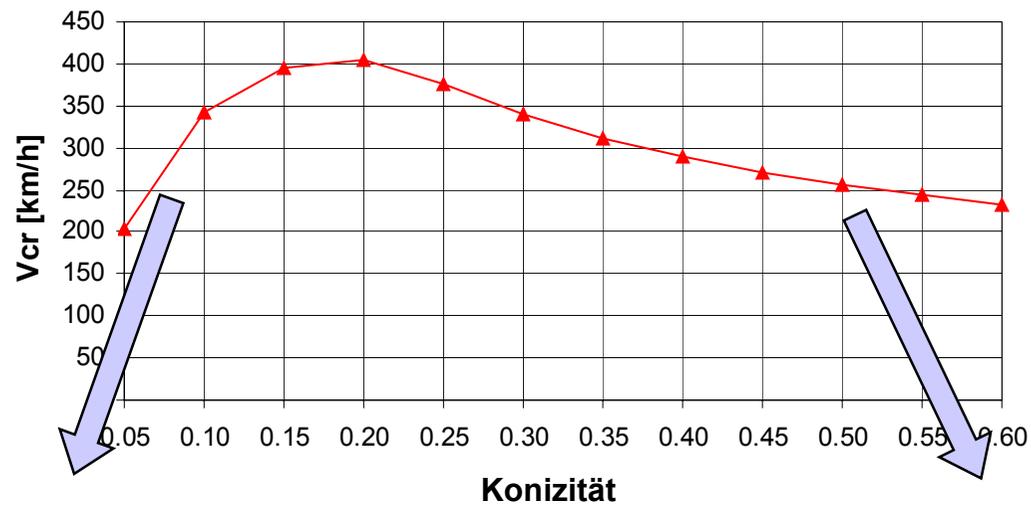
- ◆ **Eigenwerte**
- ◆ **Linearisierte Stabilitätsanalyse**
- ◆ **Nichtlineare Stabilitätsanalyse**
- ◆ **Fahrt in der Geraden mit gemessener Gleislagestörung**
- ◆ **Bogenfahrt ohne und mit gemessener Gleislagestörung**

Eigenwerte

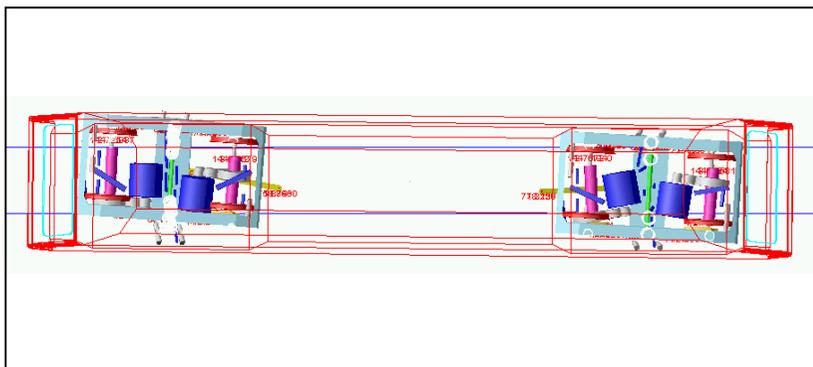
- ◆ Beurteilung der Eigenfrequenzen und -dämpfungen



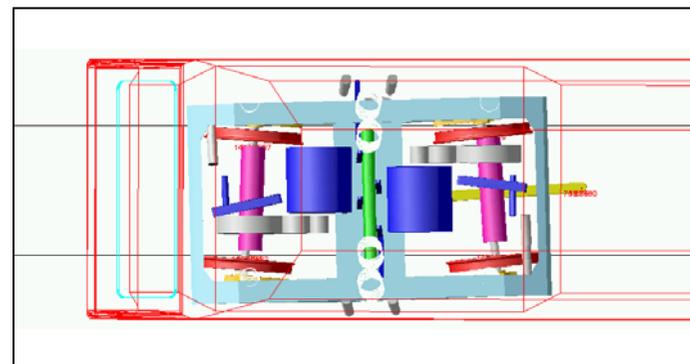
Linearisierte Stabilitätsanalyse (Stabilitätskarte)



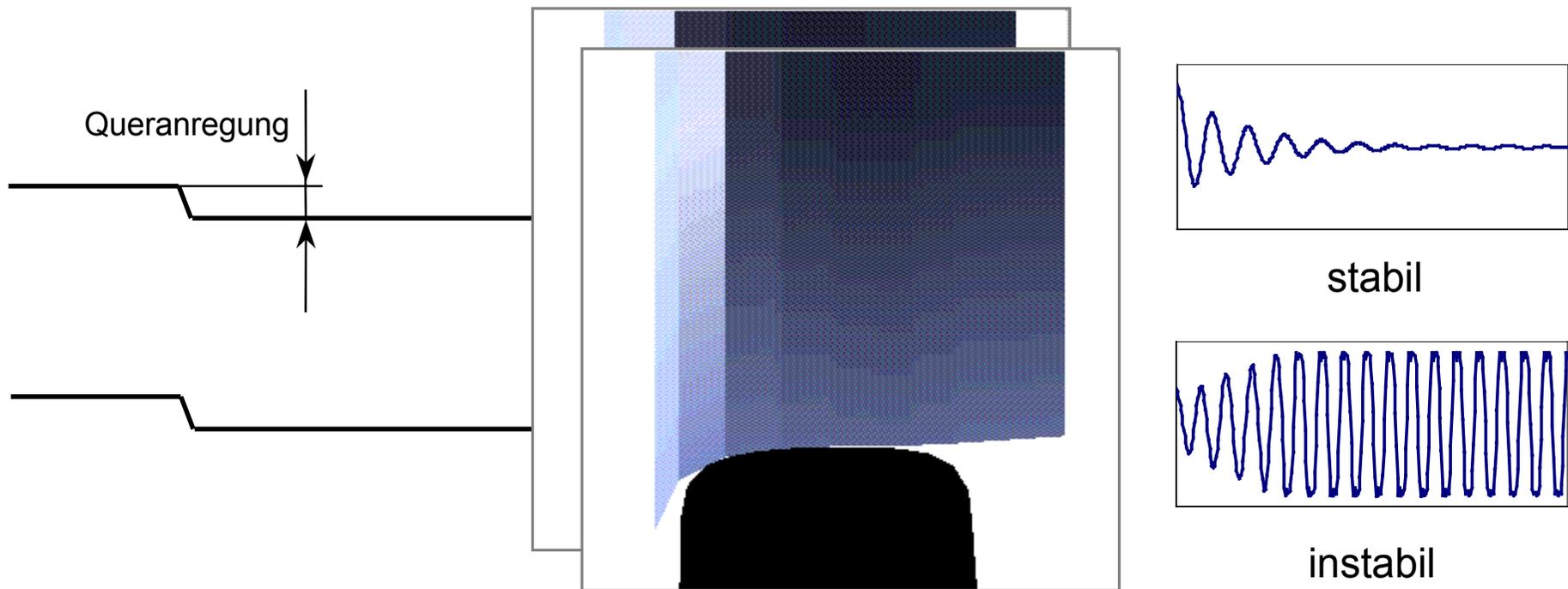
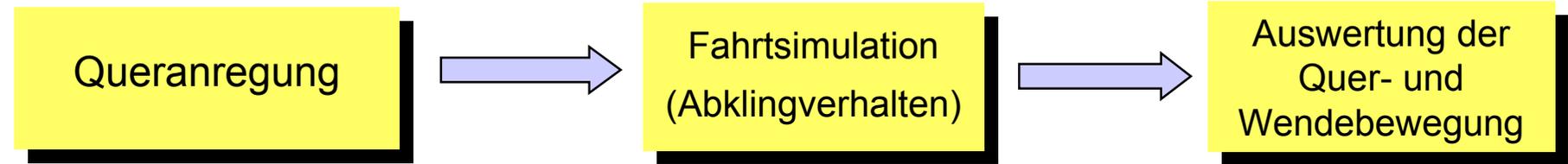
Kasten-Schlingern



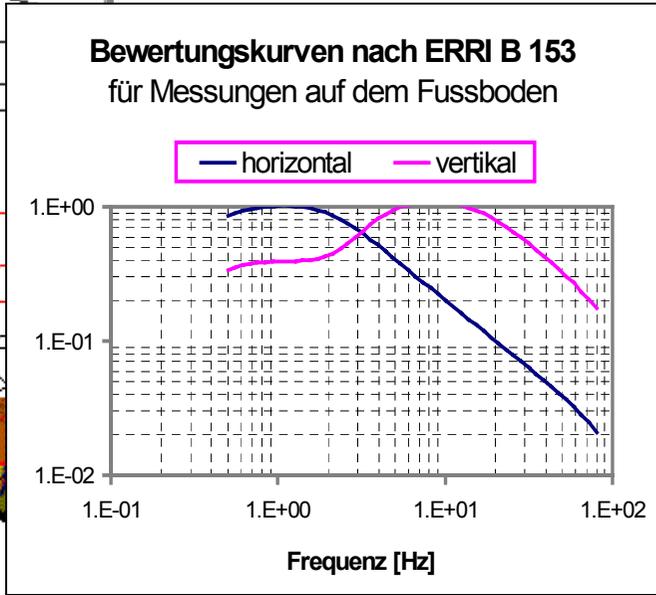
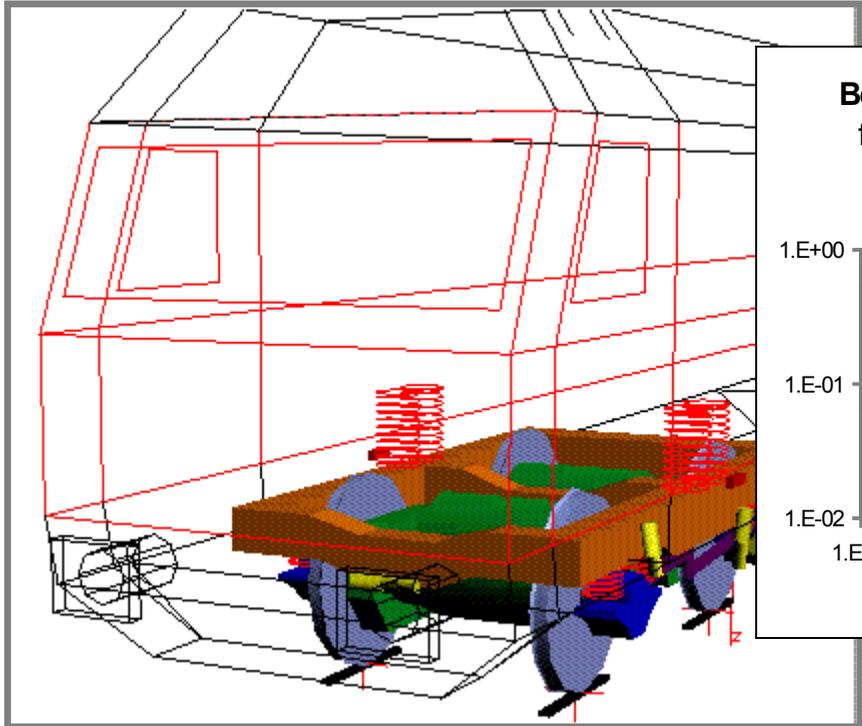
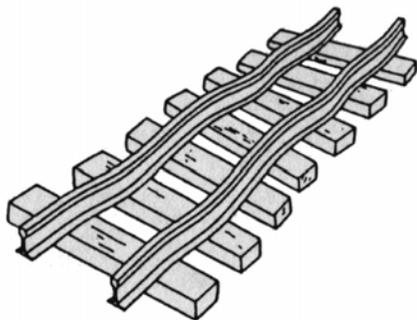
Drehgestell-Schlingern



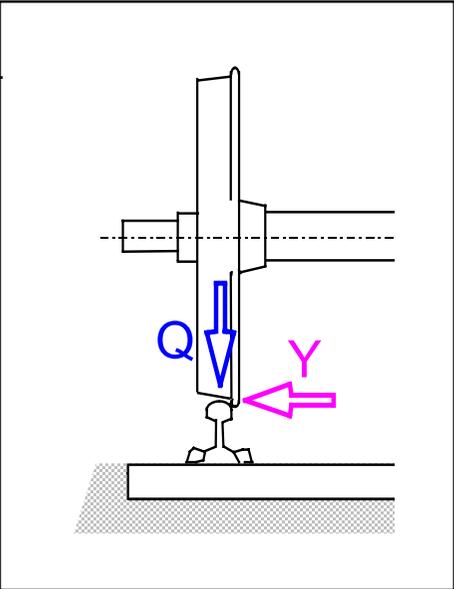
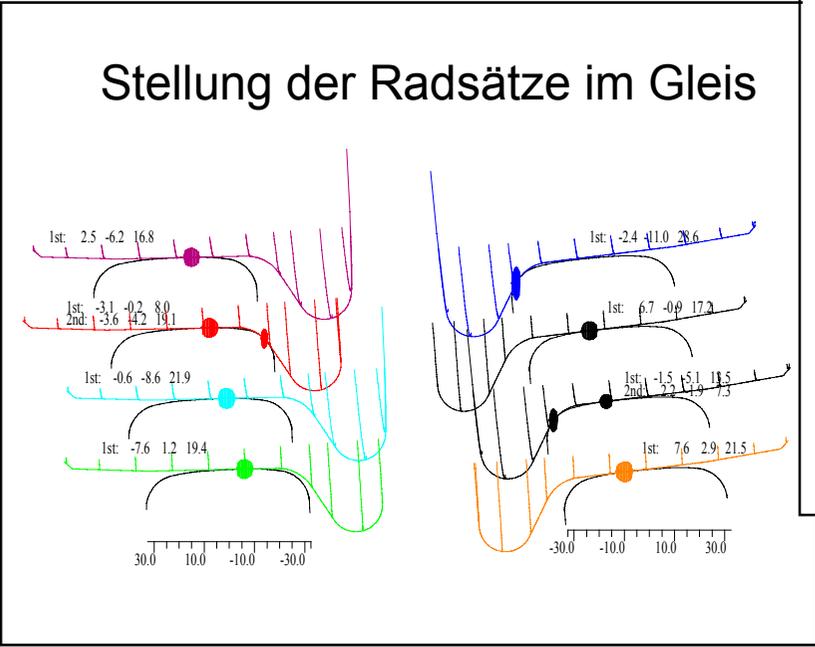
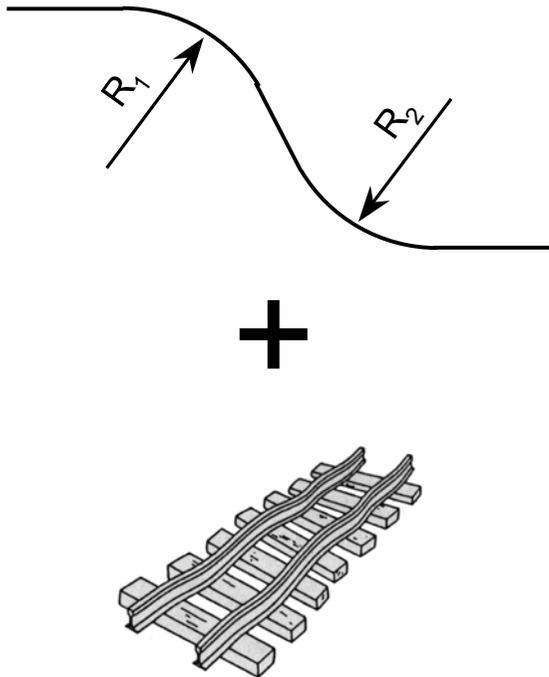
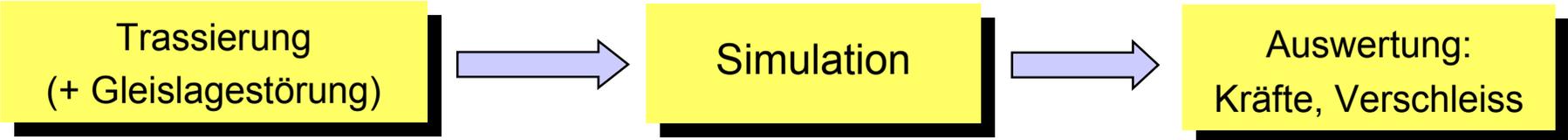
Nichtlineare Stabilitätsuntersuchung



Fahrverhalten und Fahrkomfort

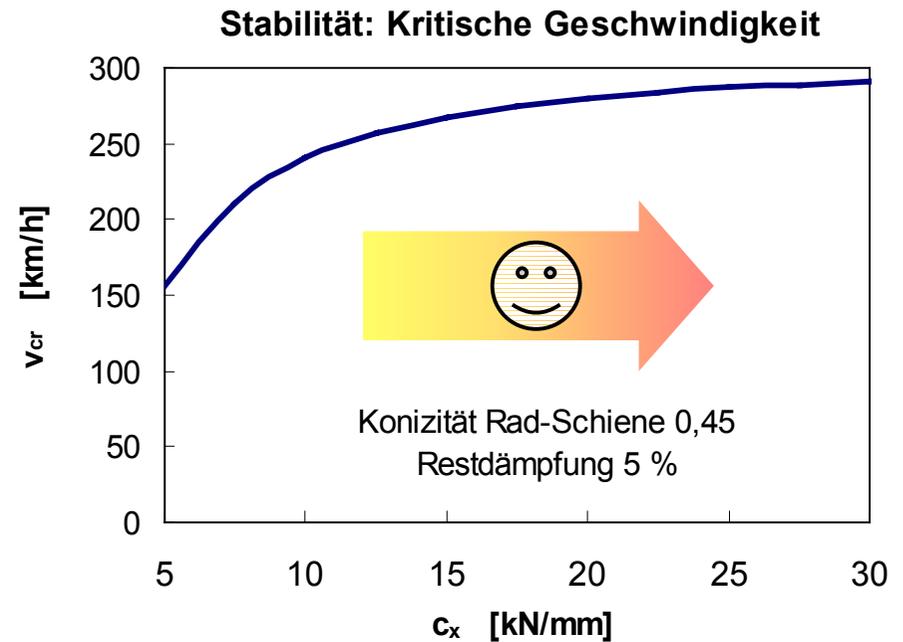
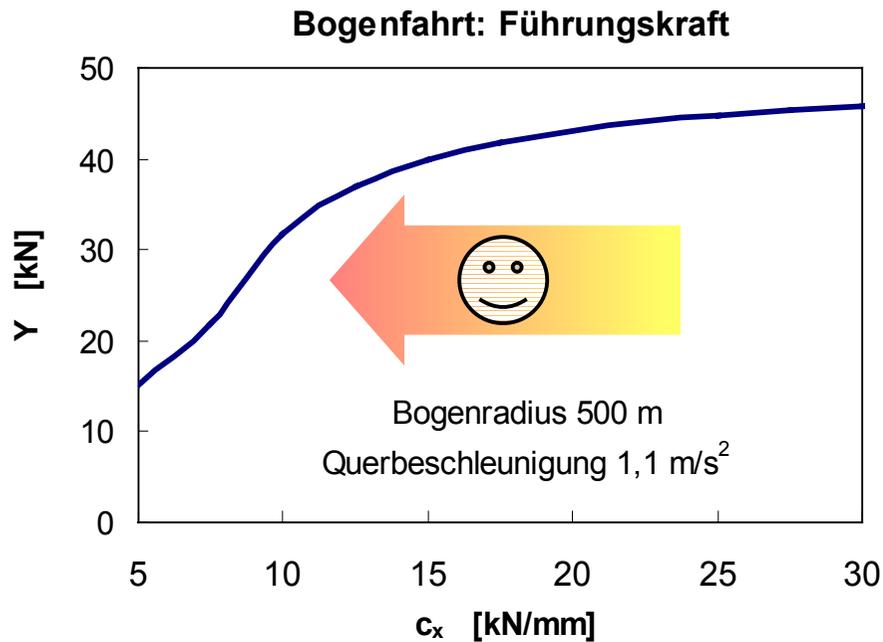


Bogenfahrt



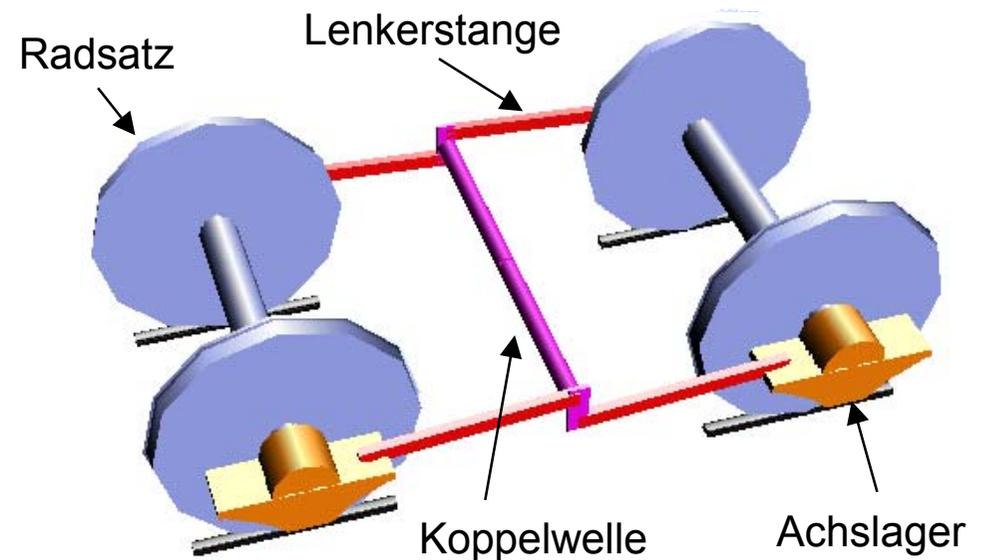
Optimierung des Konflikts Fahrstabilität - Bogenfahrt

- ◆ Auslegung der Radsatzführung:
Zielkonflikt zwischen Stabilität und Bogenfahrt



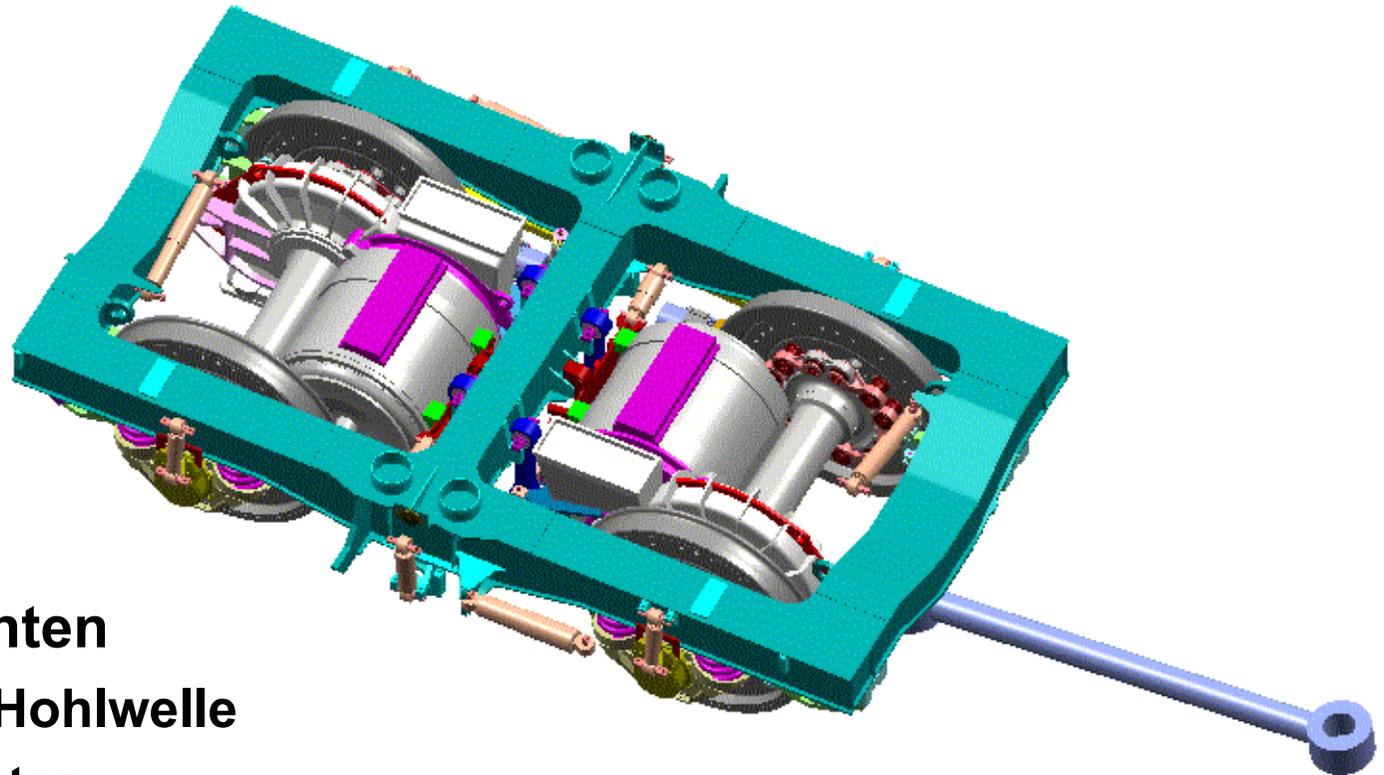
Lösung des Zielkonflikts: Kopplung der Radsätze

- ◆ Erprobte Lösung:
Koppelwelle im Drehgestell der Lokomotive 2000
(SBB 460, BLS 465, NSB EI 18, VR Sr2)



- ◆ Funktionen der Koppelwelle
 - Erhöhung der Stabilität
 - Übertragung der Zug/Bremskräfte Radsatz-Drehgestellrahmen
 - Bessere radiale Einstellung der Radsätze im Bogen

Entwicklungsprojekt: Drehgestell der Multi-System-Lok

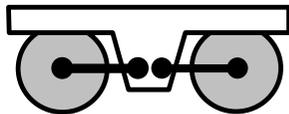


- ◆ **Antriebsvarianten**
 - **Antrieb mit Hohlwelle**
 - **Tatzlagermotor**

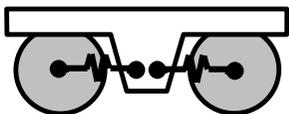
- ◆ **Radsatzführung: modulare Bauweise**

Modulare Bauweise der Radsatzführung

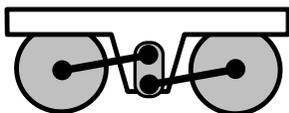
◆ Module



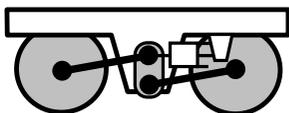
⇒ **steife Radsatzführung**



⇒ **weiche Radsatzführung**



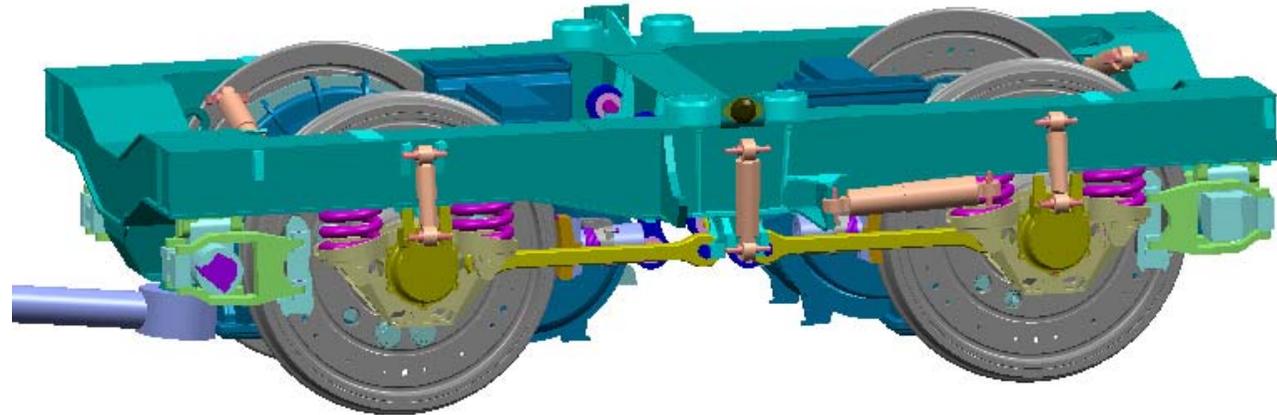
⇒ **sehr weiche Radsatzführung mit Koppelwelle (KW)**



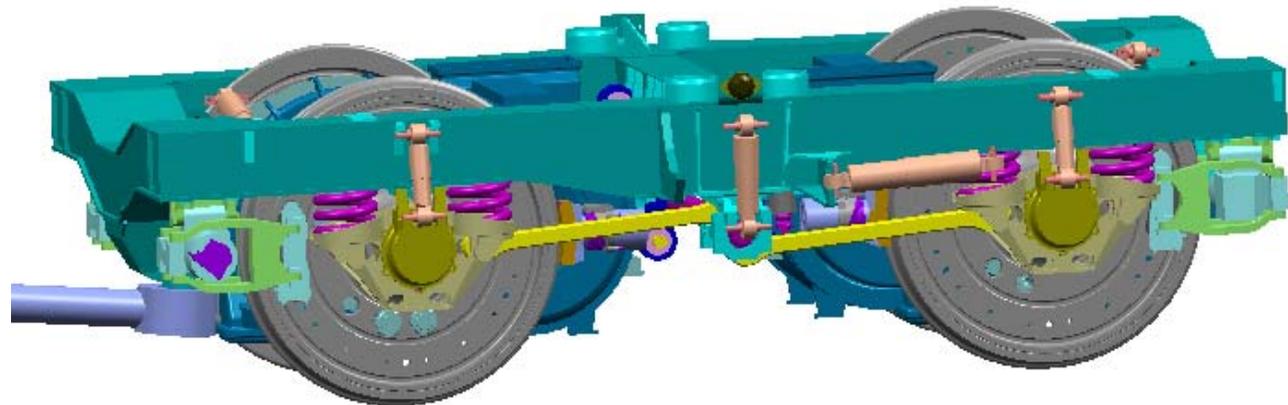
⇒ **sehr weiche Radsatzführung mit Koppelwelle und Koppelwellendämpfer (KWD)**

Konstruktion des Drehgestells

- ◆ steife / weiche Radsatzführung



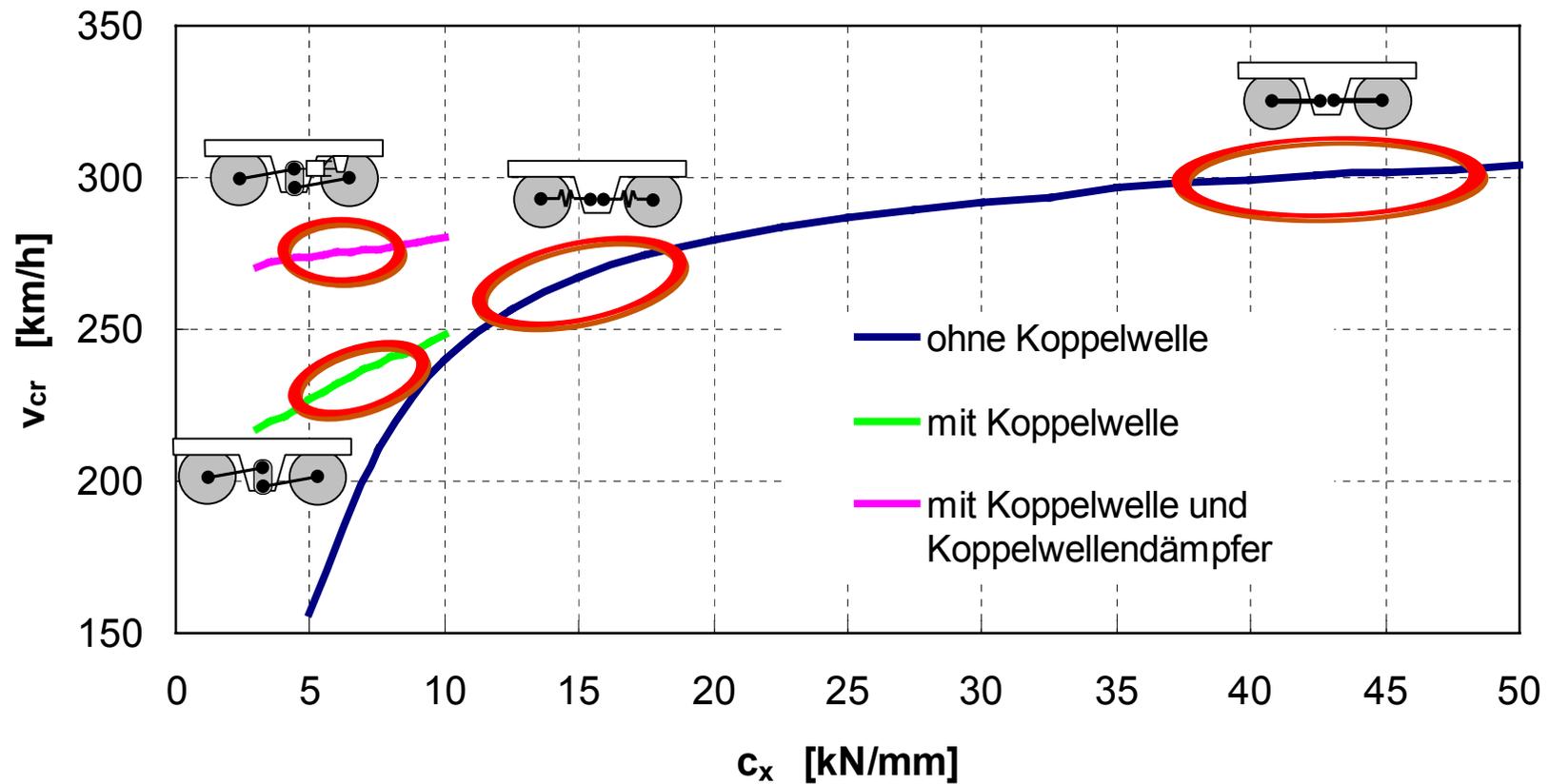
- ◆ sehr weiche Radsatzführung mit Koppelwelle



Stabilität - linearisierte Analyse

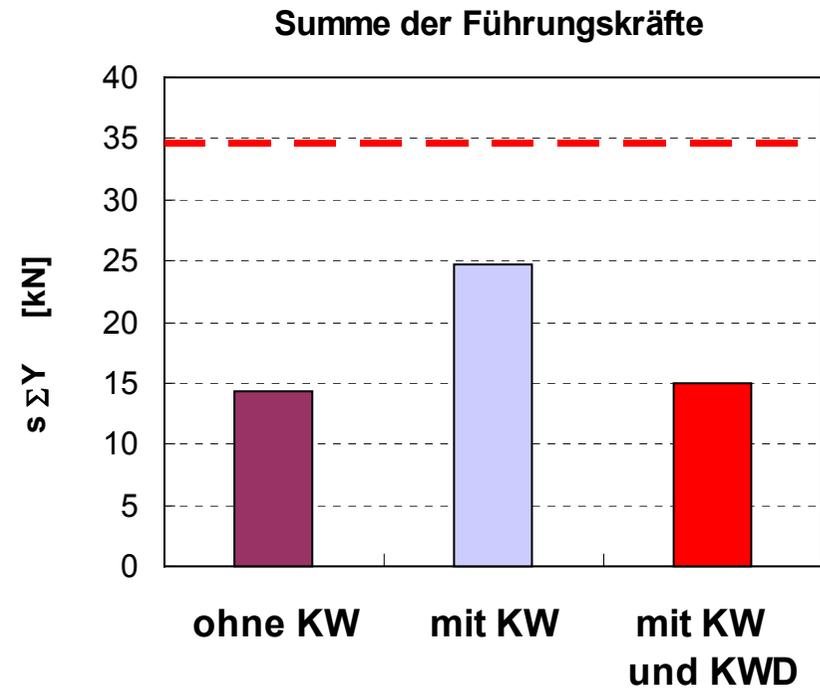
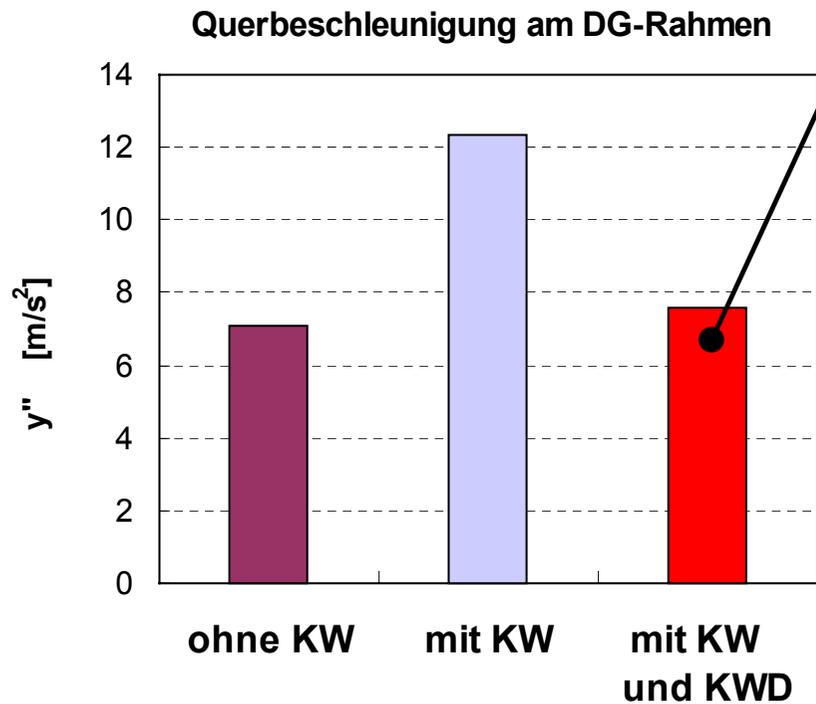
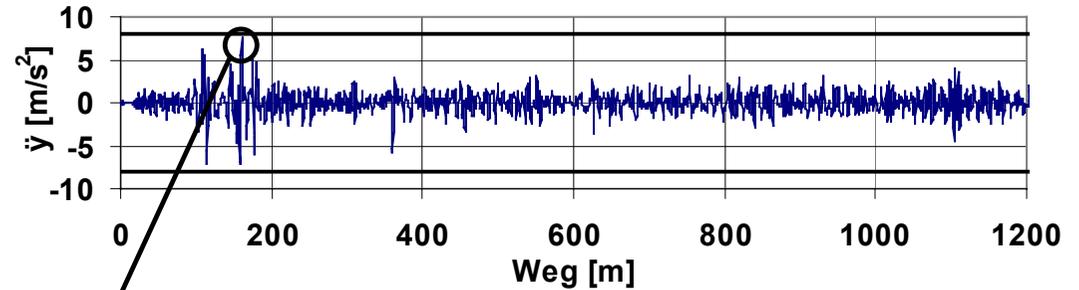
◆ Kritische Geschwindigkeit

(Konizität Rad-Schiene 0,45)



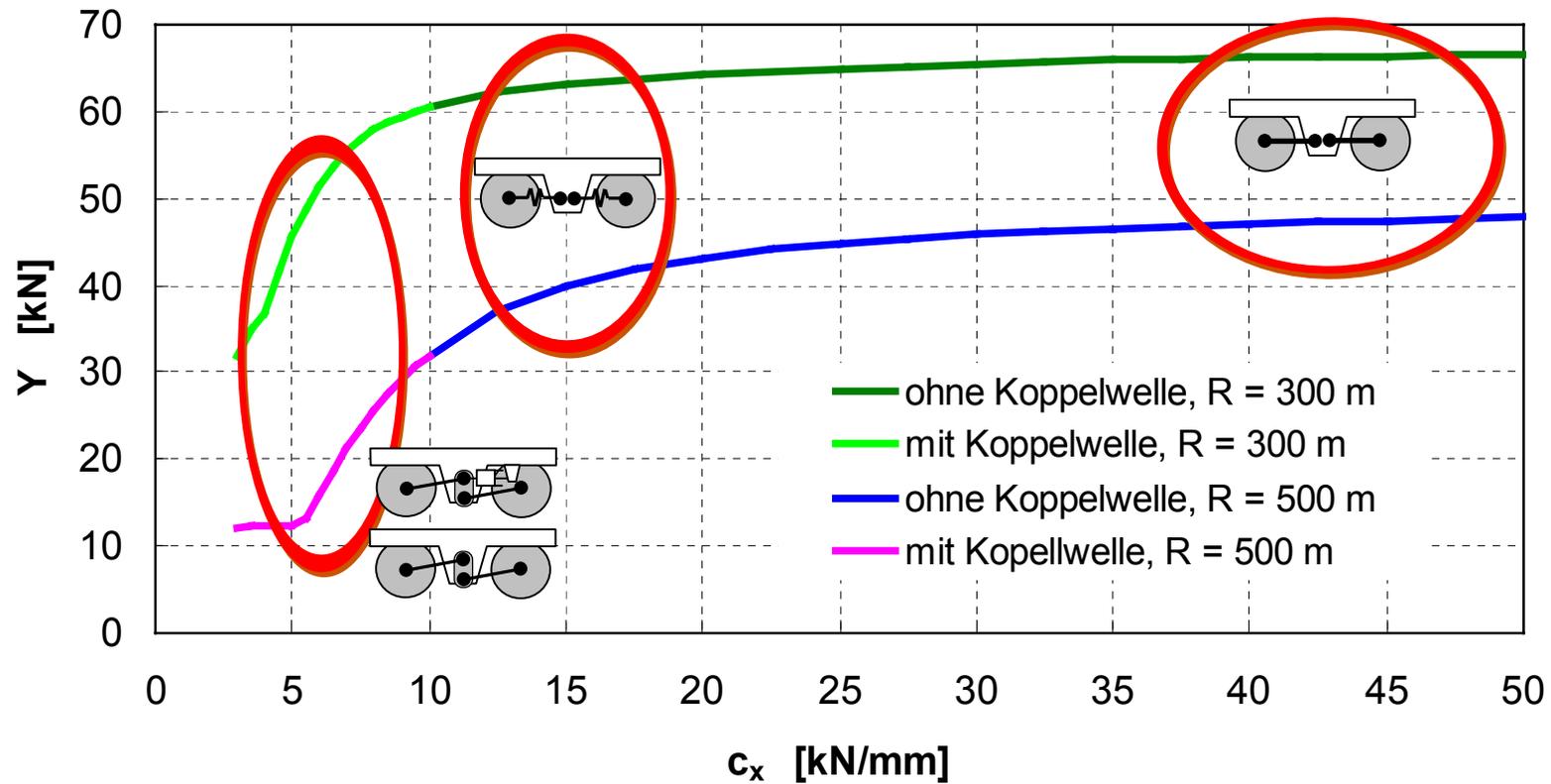
Stabilität - nichtlineare Analyse

- ◆ Maximalwerte bei der Simulation der Fahrt mit Testgeschwindigkeit



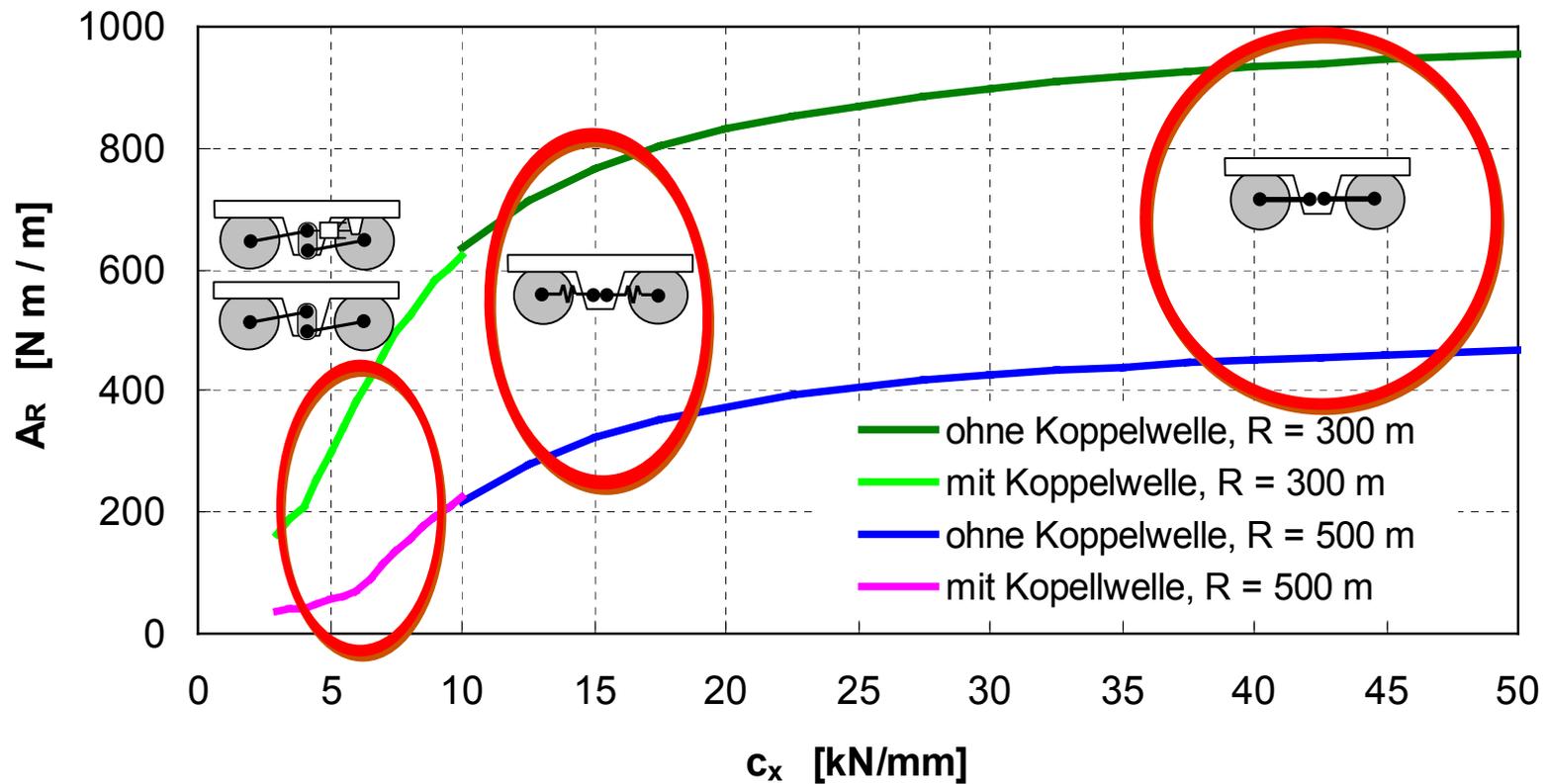
Bogenfahrt

◆ Führungskraft des anlaufenden Rades



Bogenfahrt

◆ Verschleiss am anlaufenden Rad

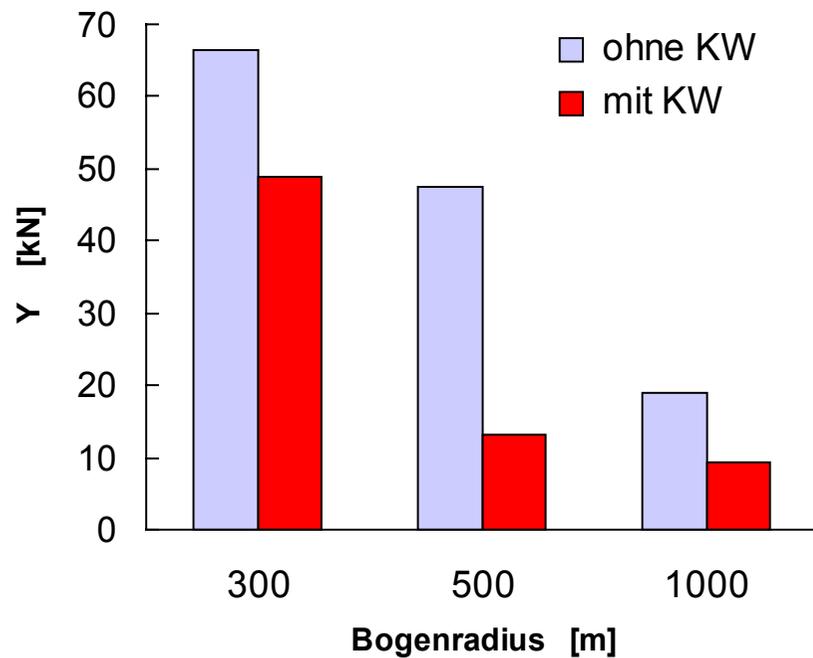


Bogenfahrt: Einfluss der Einbauneigung der Schienen

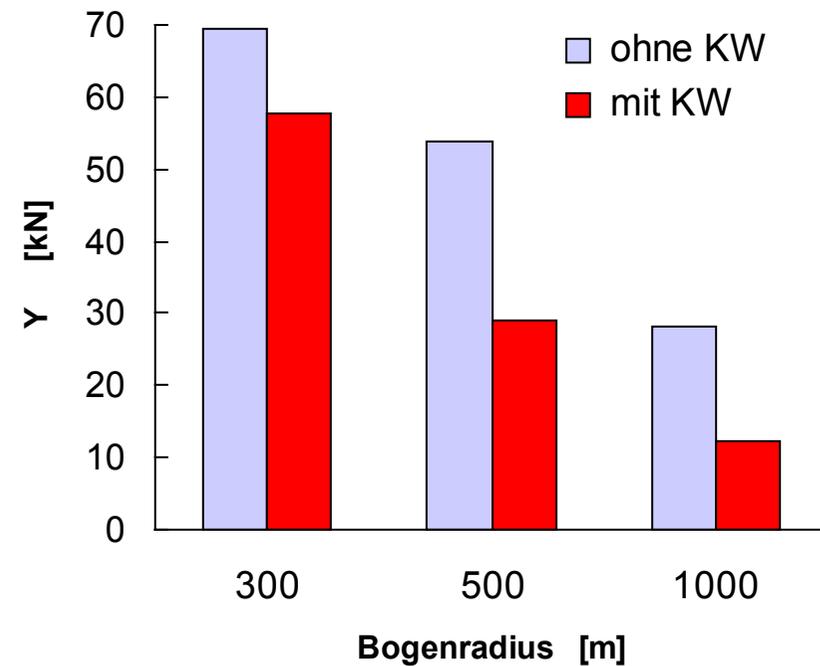
◆ Führungskraft Rad-Schiene

(Radprofil S 1002, Schiene UIC 60)

Neigung 1 : 40



Neigung 1 : 20

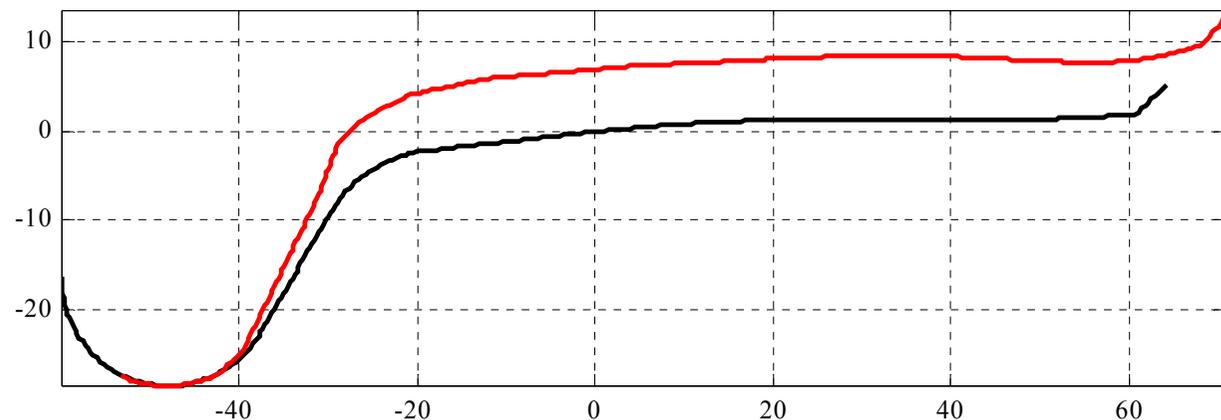


Erfahrungen mit radial einstellbaren Drehgestellen

Verschleissreduktion:

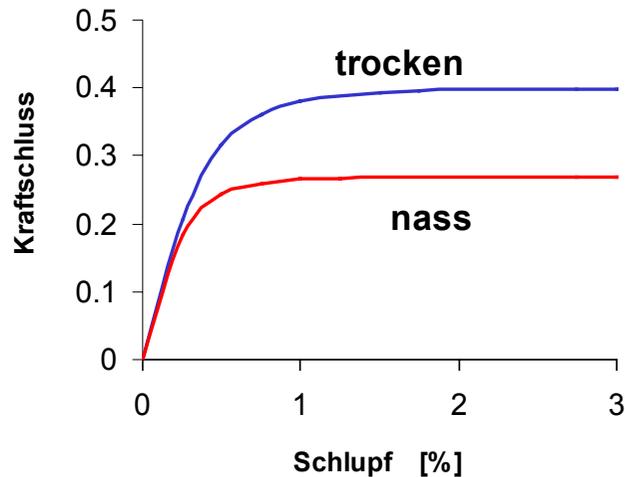
- ◆ Reprofilierungsintervalle mit Lok SBB 460 auf der Gotthardstrecke 3 - 4 x länger als bei älteren Lok
- ◆ Reprofilierungsintervalle der Lokomotiven Ge 4/4^{III} der RhB etwa 4x länger als bei älteren Lokomotiven

Radprofil der Lok RhB
Ge 4/4^{III} nach 310 000 km
Laufleistung



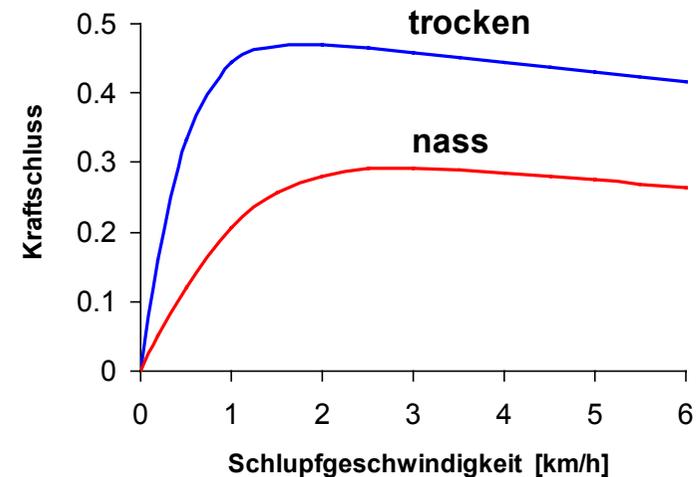
Weiterentwicklung des Rad-Schiene-Modells

Fahrzeugdynamik



- ◆ geeignet für Lauftechnik (Mikroschlupf)
- ◆ wird für Längs- und Querrichtung betrachtet
- ◆ abhängig vom Schlupf

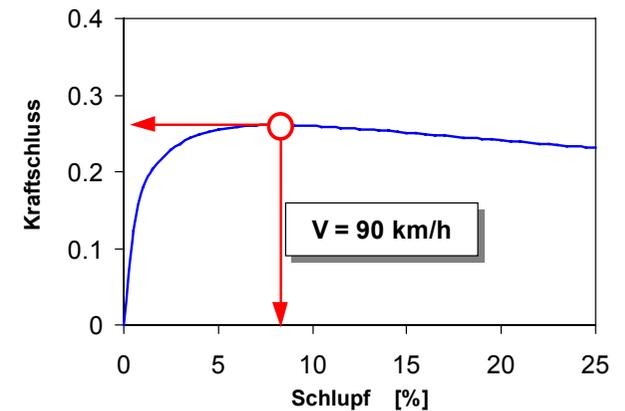
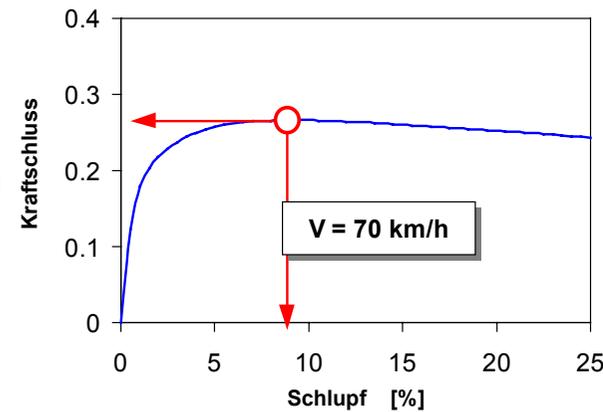
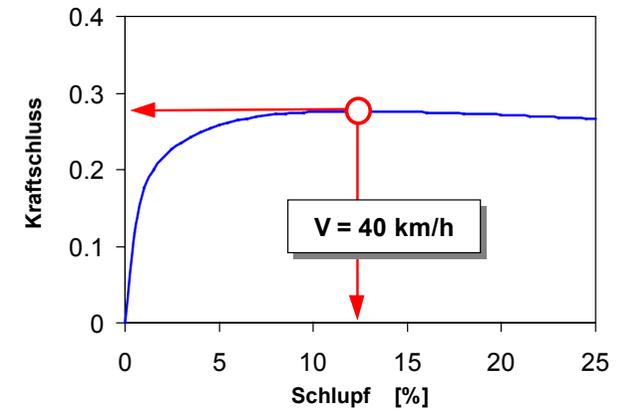
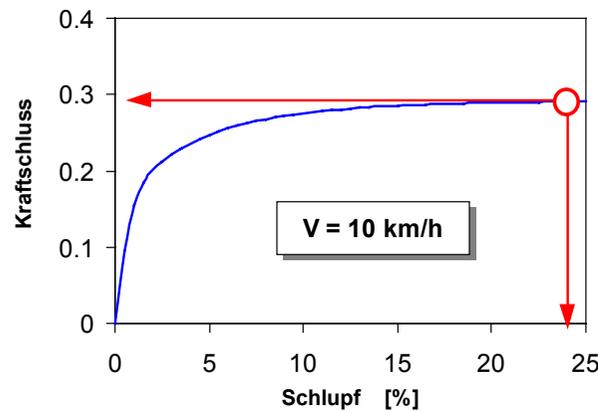
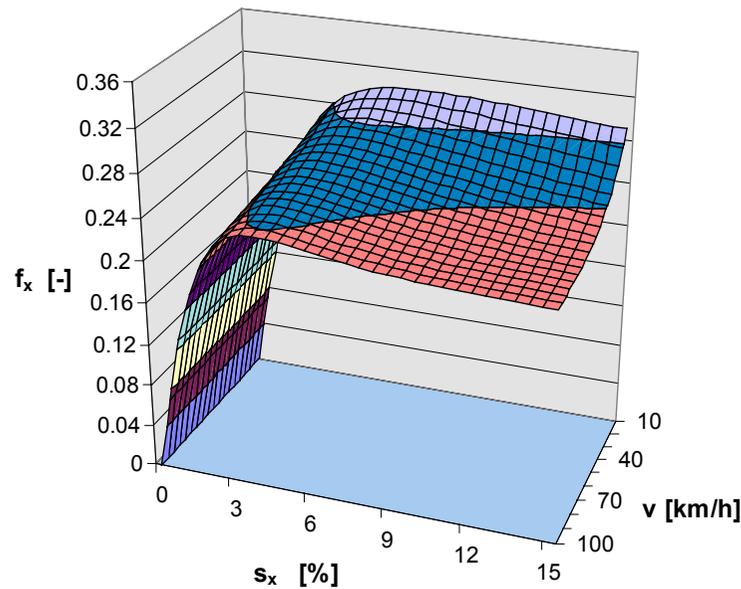
Antriebsdynamik



- ◆ notwendig für Antriebsdynamik (Makroschlupf)
- ◆ in Rechnung bis jetzt nur für Längsrichtung betrachtet
- ◆ abhängig von Schlupfgeschwindigkeit

Rad-Schiene-Modell für Fahrzeug- und Antriebsdynamik

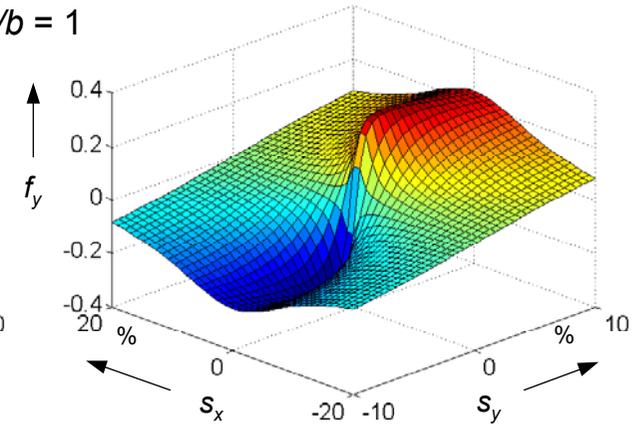
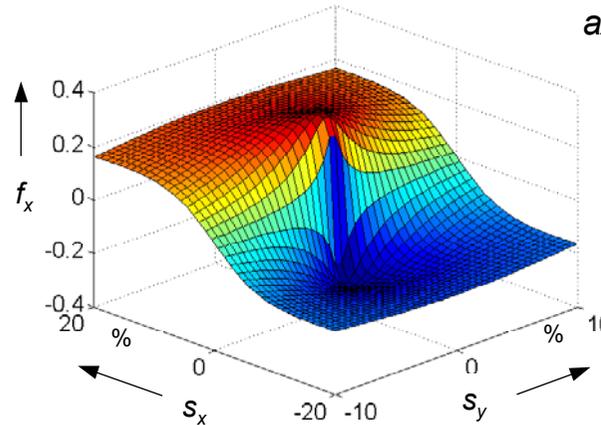
◆ Einfluss der Fahrgeschwindigkeit



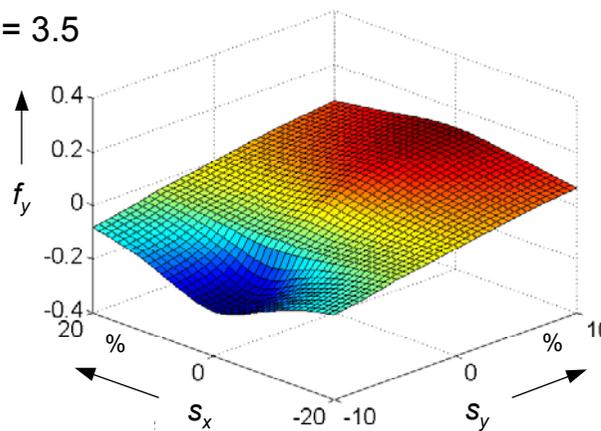
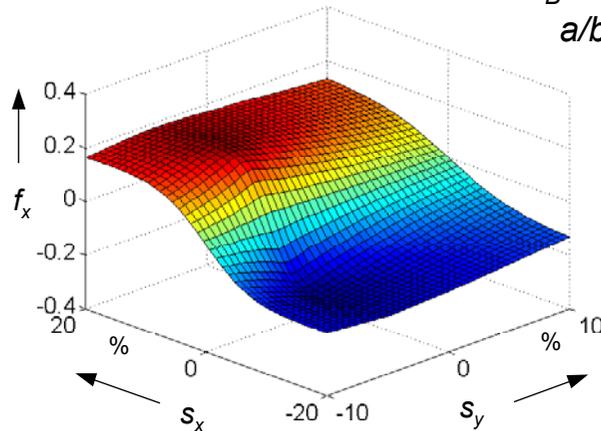
Erweitertes Rad-Schiene-Modell auf Basis von Messungen

- ◆ Zusammenhang Längs-, Quer-, Bohrschlupf und Form der Kontakellipse im erweiterten Kraftschlussgesetz

$\omega_B = 0 \text{ rad/m}$
 $a/b = 1$



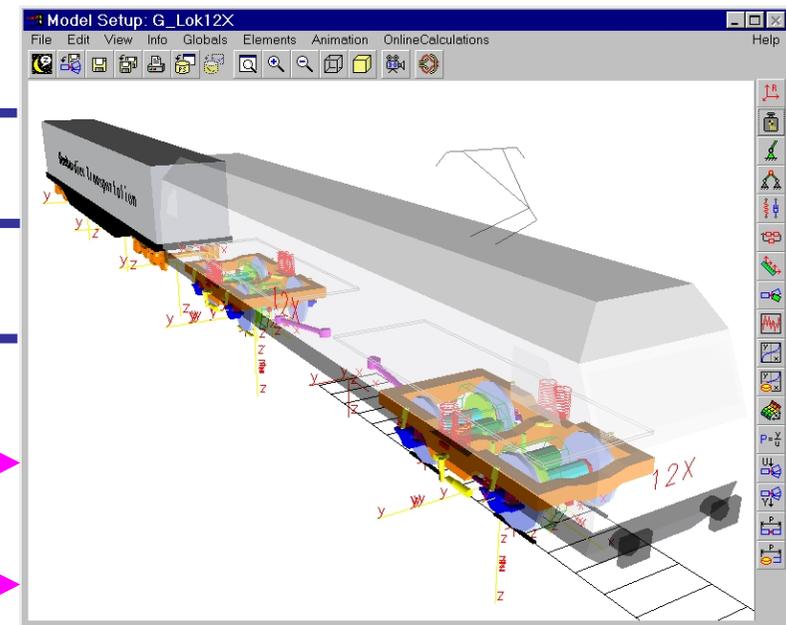
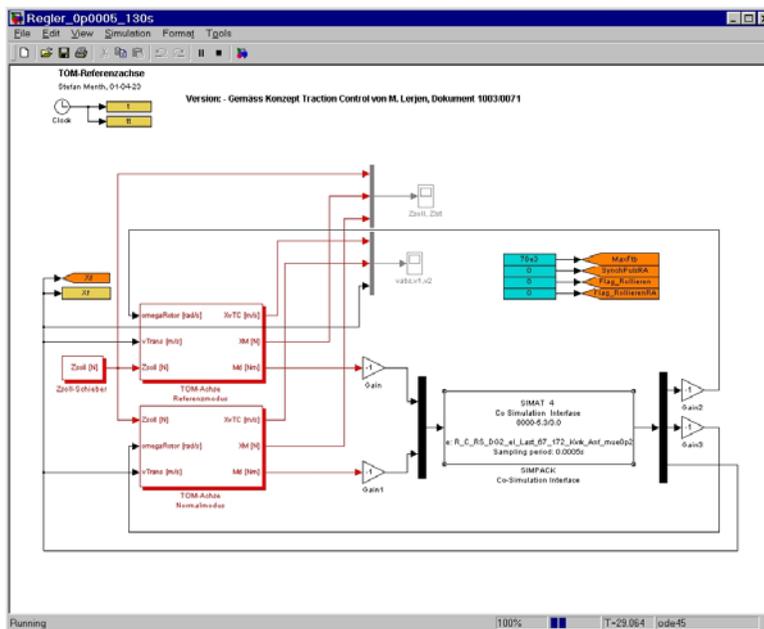
$\omega_B = 10 \text{ rad/m}$
 $a/b = 3.5$



Co-Simulation Fahrzeugdynamik - Kraftschlussregelung

Kraftschlussregler (MATLAB-SIMULINK)

Fahrzeugmodell (SIMPACT)



ω_{R3}

ω_{R4}

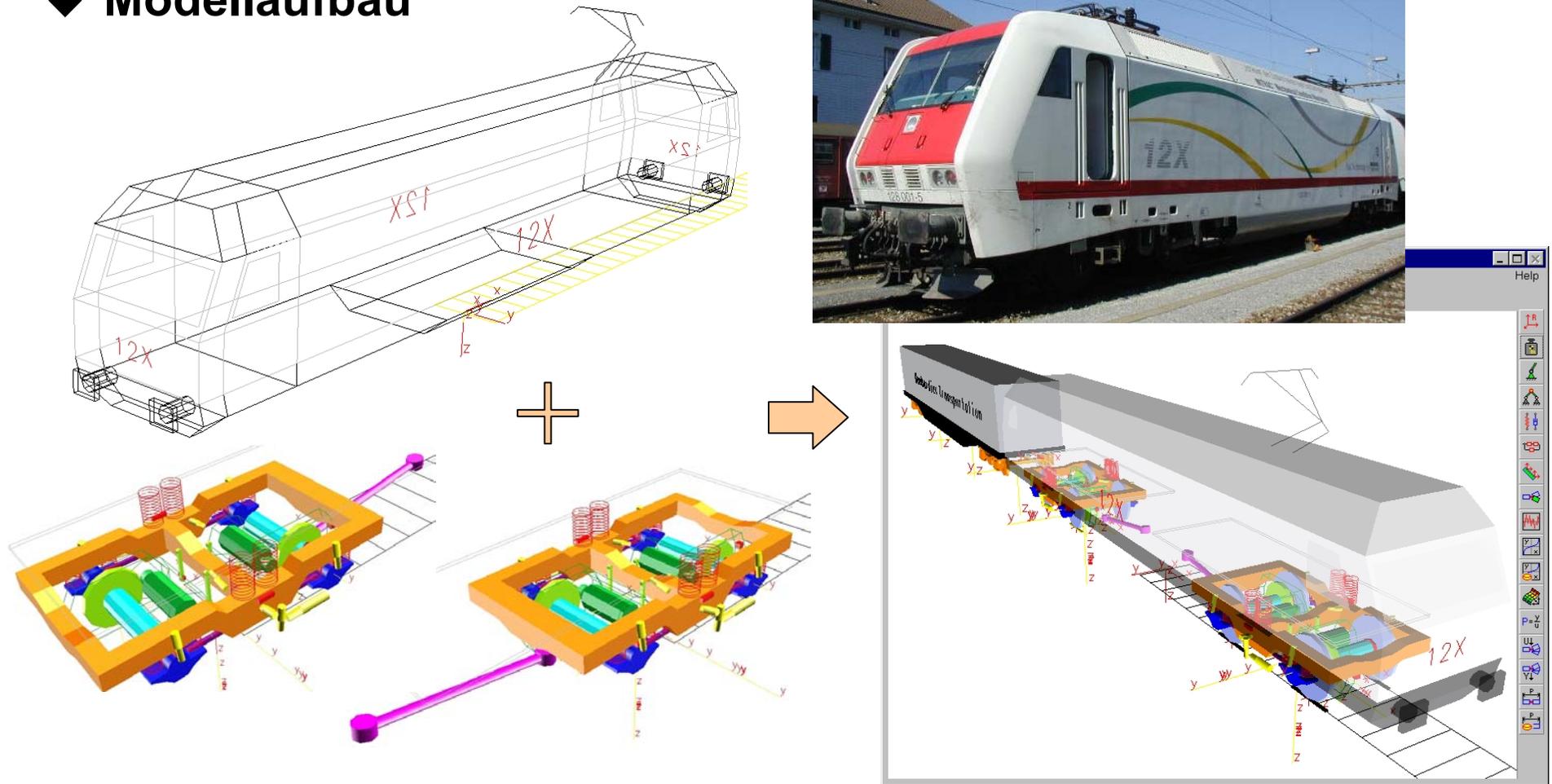
V

M_{R3}

M_{R4}

Fahrzeugmodell: Versuchslokomotive BR 128 (Lok 12X)

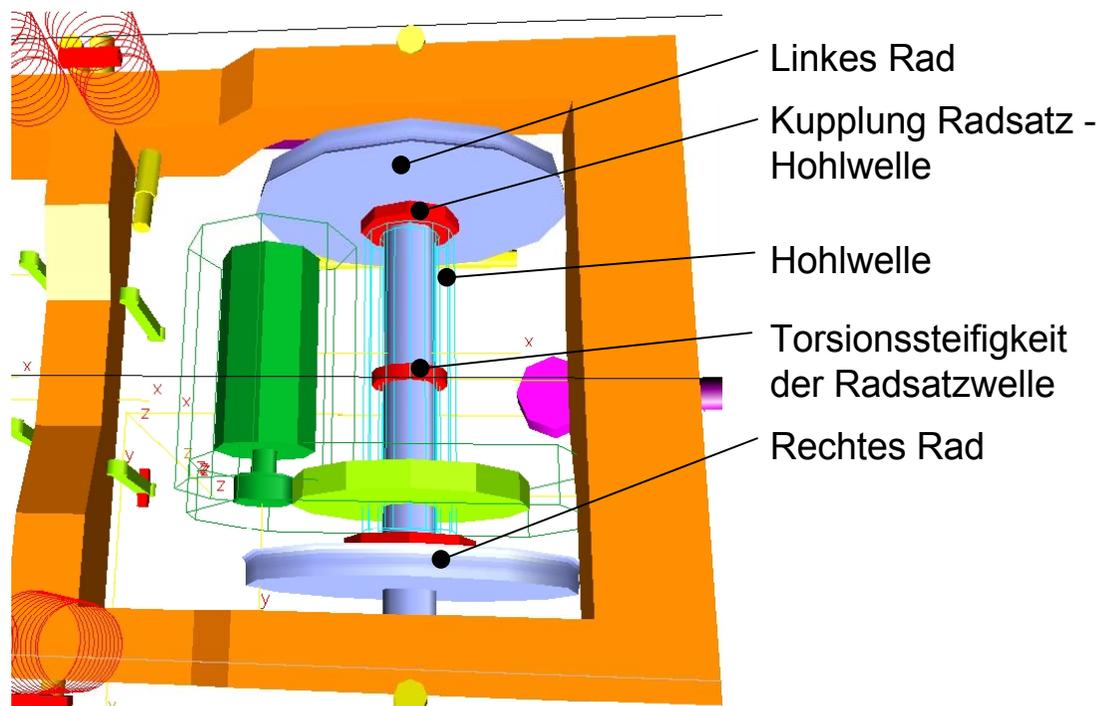
◆ Modellaufbau



Fahrzeugmodell: Versuchslokomotive BR 128 (Lok 12X)

◆ Ergänzung des Lokmodells

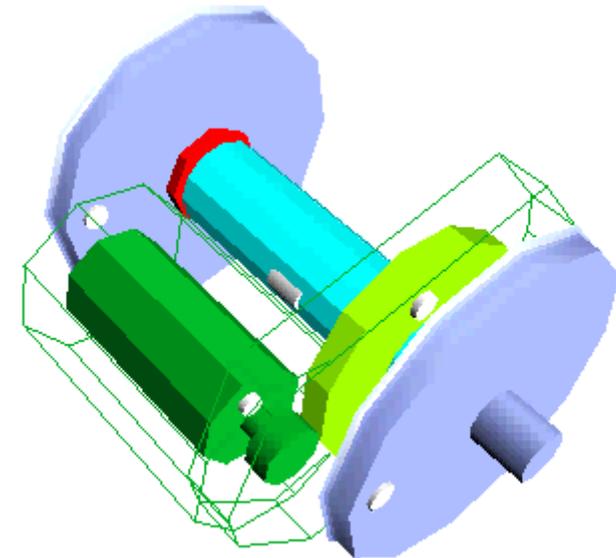
- Antriebstrang (Motor, Getriebe, Hohlwelle)
- Torsionselastischer Radsatz



Eigenschwingungen
des Antriebstrangs:

Rattern (21.7 Hz)

Rollieren (49.2 Hz)

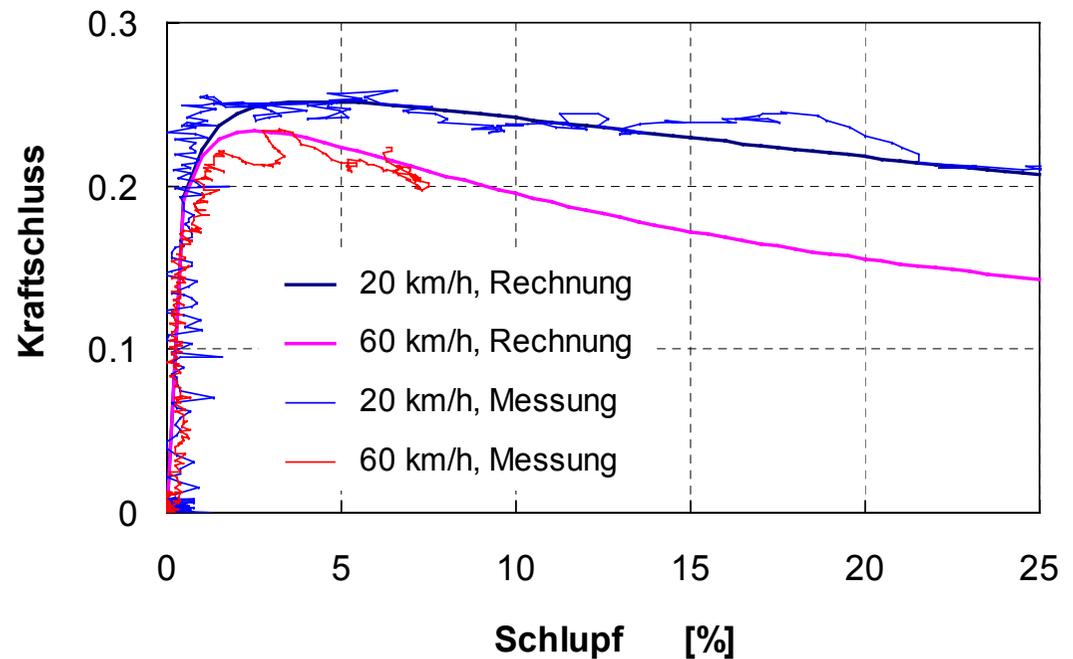


Evaluation der Parameter des Kraftschlussmodells

◆ Anpassung des Rad-Schiene-Modells nach gemessenen Kraftschluss-Kennlinien

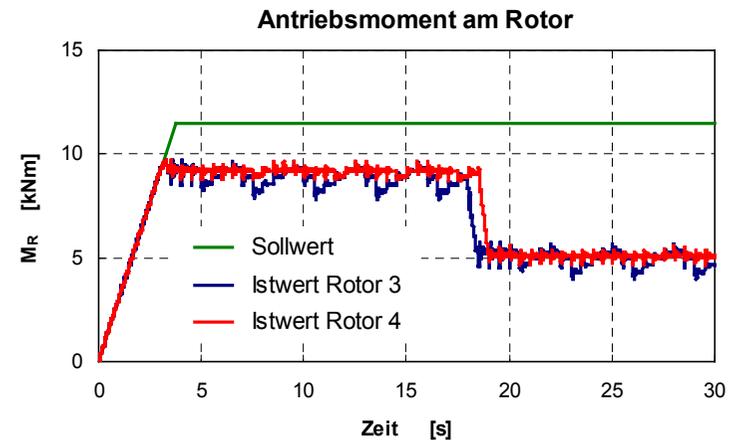
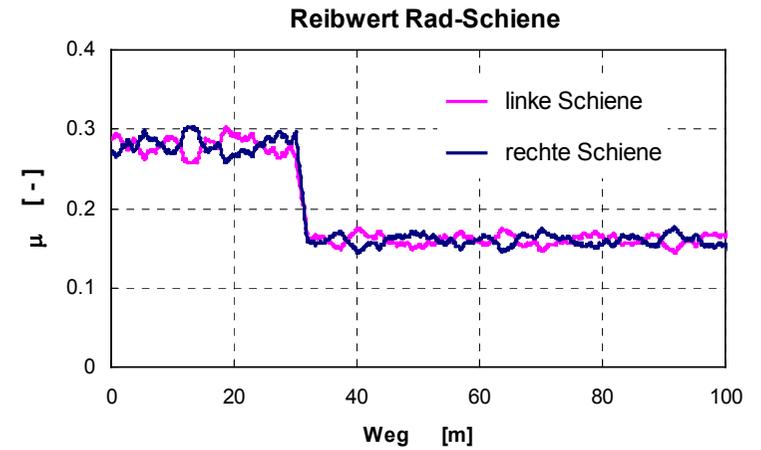
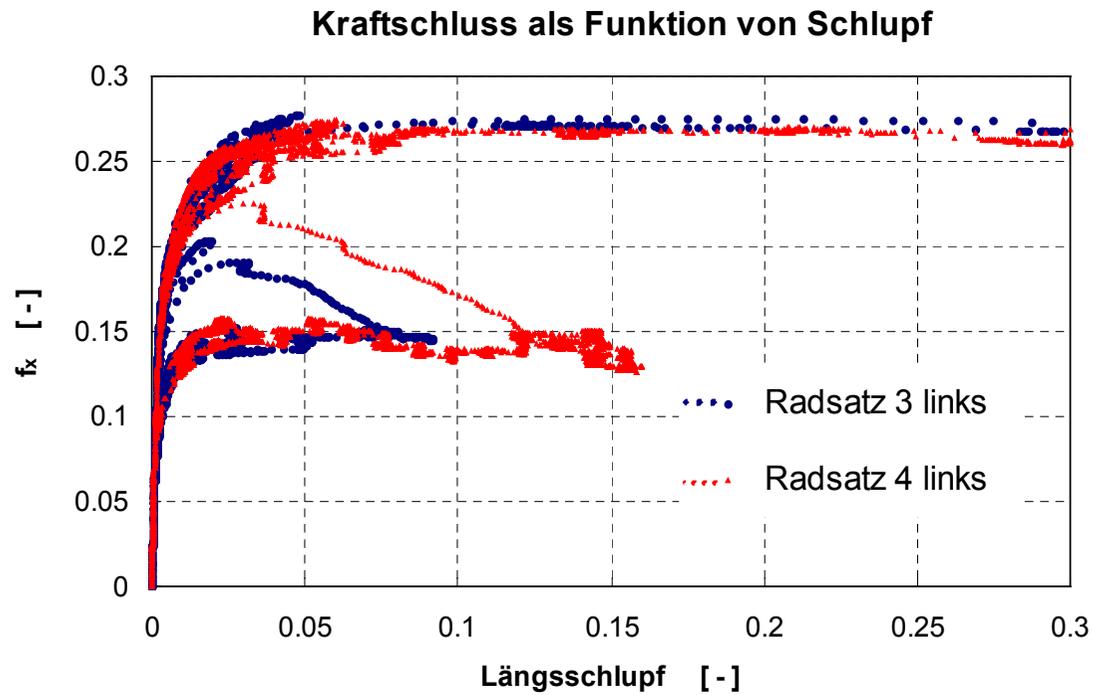
Ein Parametersatz berücksichtigt die Einflüsse:

- Geschwindigkeit
- Längsschlupf
- Querschlupf
- Spin
- Berührgeometrie
- Normalkraft



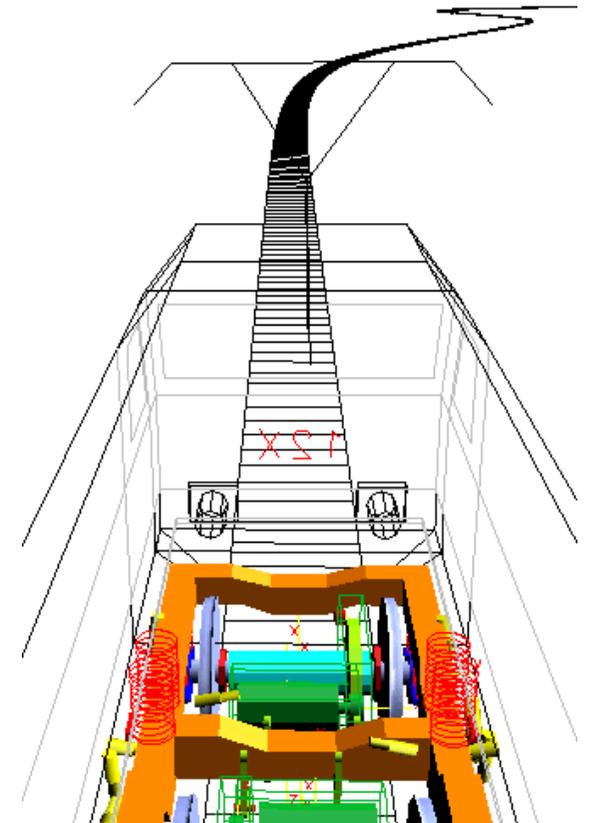
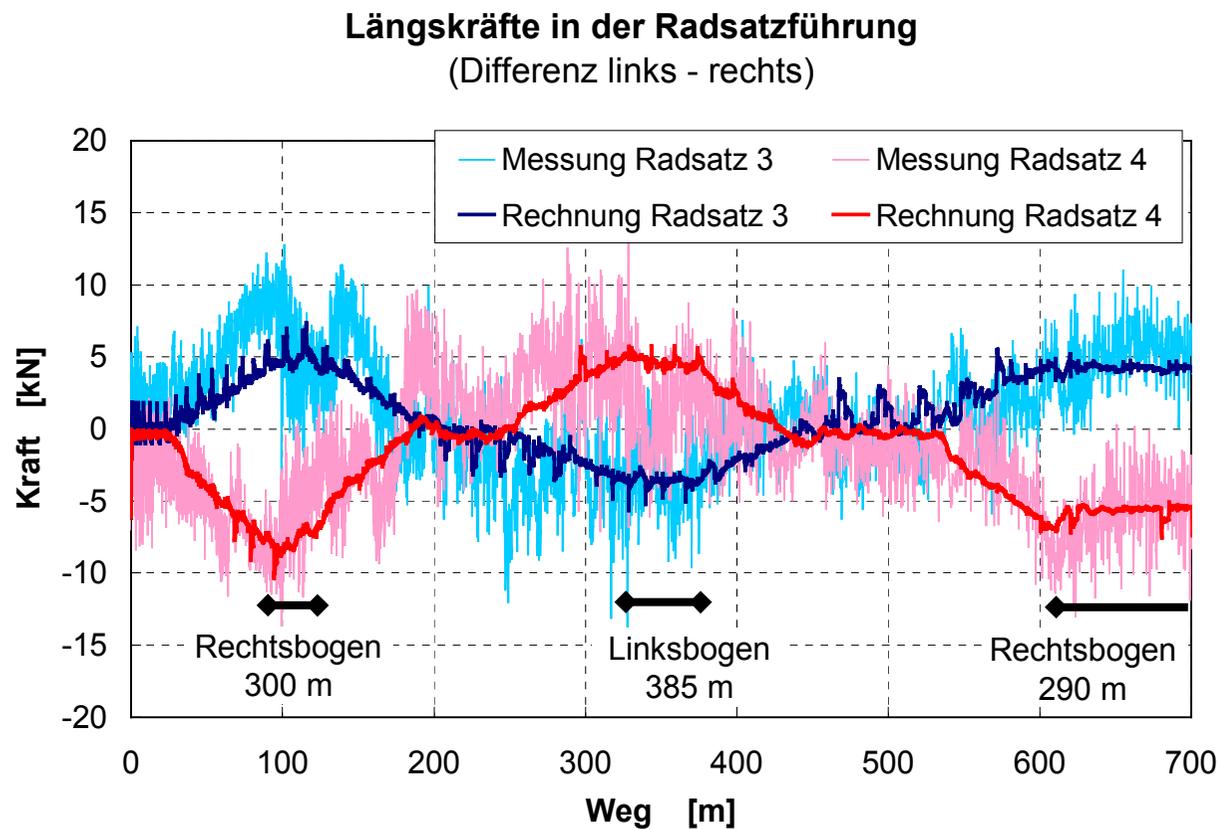
Simulation des Übergangs trocken-nass

◆ Anfahrt in der Geraden



Vergleich Messung - Rechnung

- ◆ **Anfahrt der Versuchskomposition auf bogenreicher Strecke** (Kanderviadukt, Schweiz, August 2001)



Schlussfolgerungen

- ◆ **Die Standardanalysen ermöglichen virtuelle Erprobung während der Entwicklung**
- ◆ **Die Zielkonflikte der fahrtechnischen Anforderungen auf die Drehgestellkonstruktion lassen sich mit Unterstützung der Simulationen weitgehend optimieren**
- ◆ **Weiterentwicklung der Modellierung des Rad-Schiene-Kontaktes zusammen mit Co-Simulation ermöglichen komplexe Analysen mechatronischer Systeme moderner Lokomotiven**