

Verbesserung der Fahrdynamik durch geregelte Luftfederdämpfer unter Beachtung von Sicherheit und Komfort

Improving the vehicle dynamics by Means of Controlled Air Spring Dampers with surveillance of safety and comfort

Autor 1 (Vortragender)

Dipl.-Ing. Matthias Puff
Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Research Associate
TU Darmstadt
Fluidsystemtechnik
Magdalenenstr. 4
64287 Darmstadt

Tel. 06151 / 16 2653
e-mail: matthias.puff@fst.tu-darmstadt.de

Autor 2

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Pelz
Institutsleiter / Head of Chair
TU Darmstadt
Fluidsystemtechnik
Magdalenenstr. 4
64287 Darmstadt

Tel. 06151 / 16 2153
e-mail: peter.pelz@fst.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Bei der Fahrwerksabstimmung ist stets der Zielkonflikt zwischen Dynamik und Komfort zu lösen. Eine Möglichkeit zur Milderung des Konflikts stellt die Verwendung adaptiver, pneumatischer Federbeine dar, welche Feder- und Dämpfungsfunktion vereinen. Ein Luftfederdämpfer ermöglicht eine Spreizung der Steifigkeit je nach Geometrie bis zu einem Faktor 26. Durch die dadurch mögliche gezielte Abstützung des Wankmoments an Vorder- und Hinterachse kann positiv Einfluss auf die Fahrdynamik genommen werden.

In diesem Vortrag werden folgende Punkte vorgestellt:

- Verhalten des semiaktiven Luft-Feder-Dämpfer Elements,
- Vorstellung des verwendeten 5-Körper Fahrzeugmodells,
- Beeinflussung der Fahrdynamik durch geregelte Luftfederdämpfer und
- die hieraus entstehende Beeinflussung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit.

Neuigkeitswert

Der Neuigkeitswert hinsichtlich Fahrdynamik wird als hoch eingestuft. Der Vortrag geht auf die mögliche Verbesserung der Fahrdynamik durch geregelte, semi-aktive Luftfederdämpfer ein, welche bisher nicht untersucht ist.

Verbesserung der Fahrdynamik durch geregelt Luftfederdämpfer unter Beachtung von Sicherheit und Komfort



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Matthias Puff | Prof. Peter Pelz | Institut für Fluidsystemtechnik



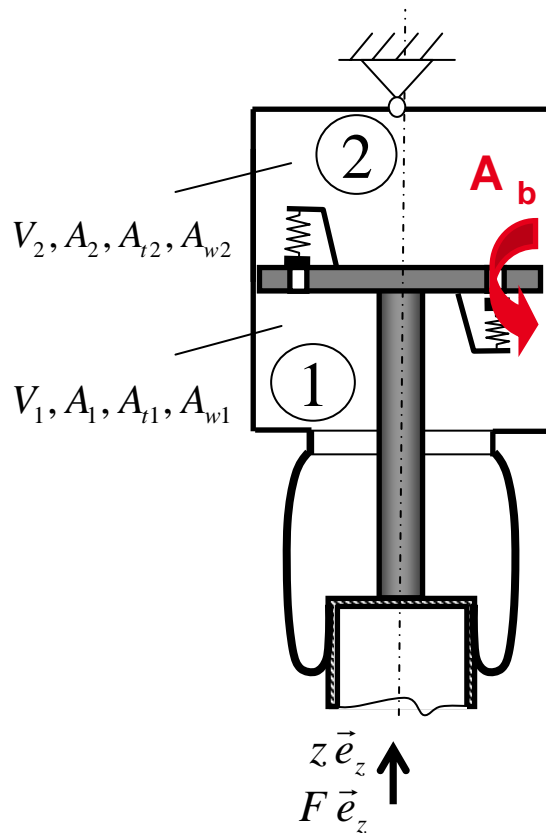
Quelle Vibracoustic

Gliederung

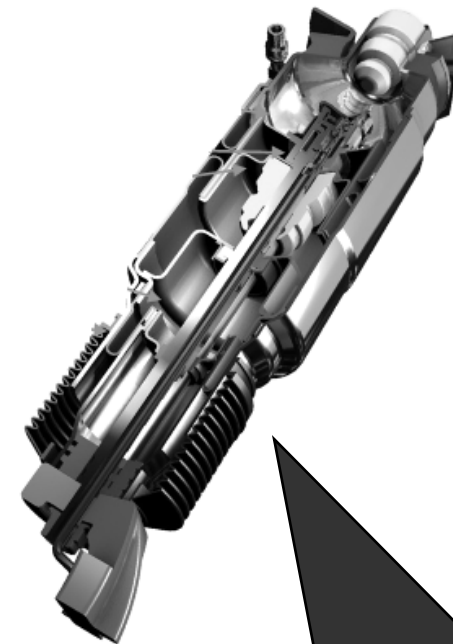
1. Aufbau und Funktion eines Luftfederdämpfers
2. Modellbildung Gesamtfahrzeug
3. Luftfederdämpfer Regelstrategien für Fahrdynamik
4. Virtuelle Fahrversuche
5. Zusammenfassung und Ausblick

- 1. Aufbau und Funktion eines Luftfederdämpfers**
2. Modellbildung Gesamtfahrzeug
3. Luftfederdämpfer Regelstrategien für Fahrdynamik
4. Virtuelle Fahrversuche
5. Zusammenfassung und Ausblick

Aufbau eines Luftfederdämpfers (LFD)

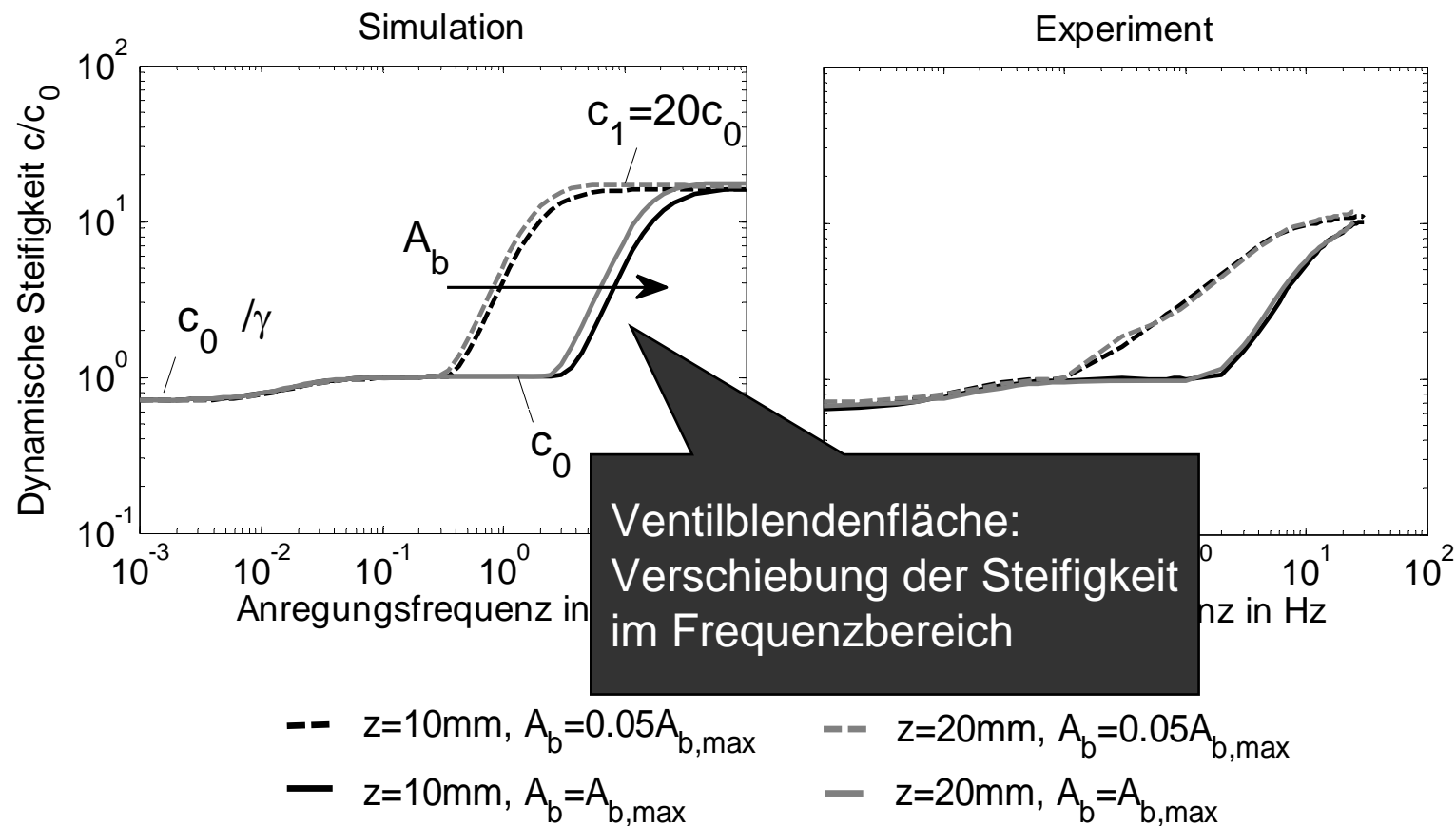


- Volumen V_j
- Verdrängerfläche A_j
- Wandfläche A_{wj}
- Tragfläche A_{tj}
- absoluter Ruhedruck p_0
- Temperatur T_0
- Wärmedurchgangszahl ... k
- Umgebungsdruck p_u
- Ventilblendenfläche A_b
- ($j=1,2$)

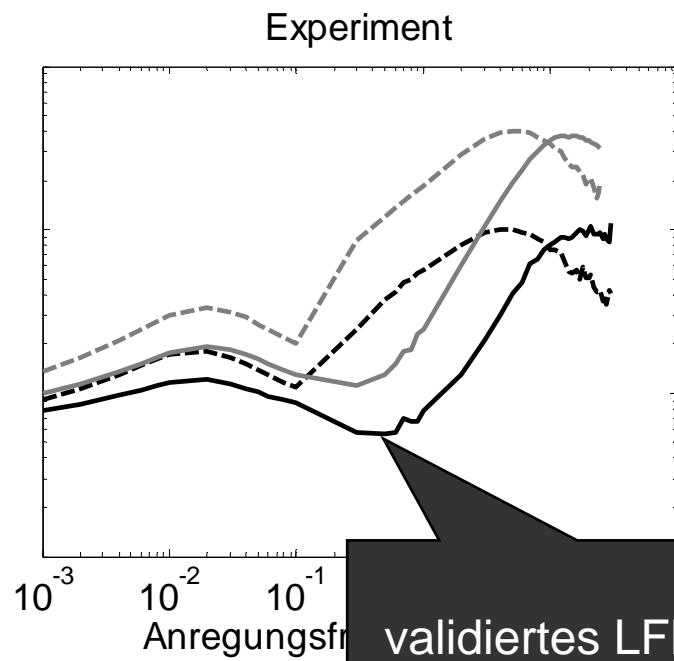
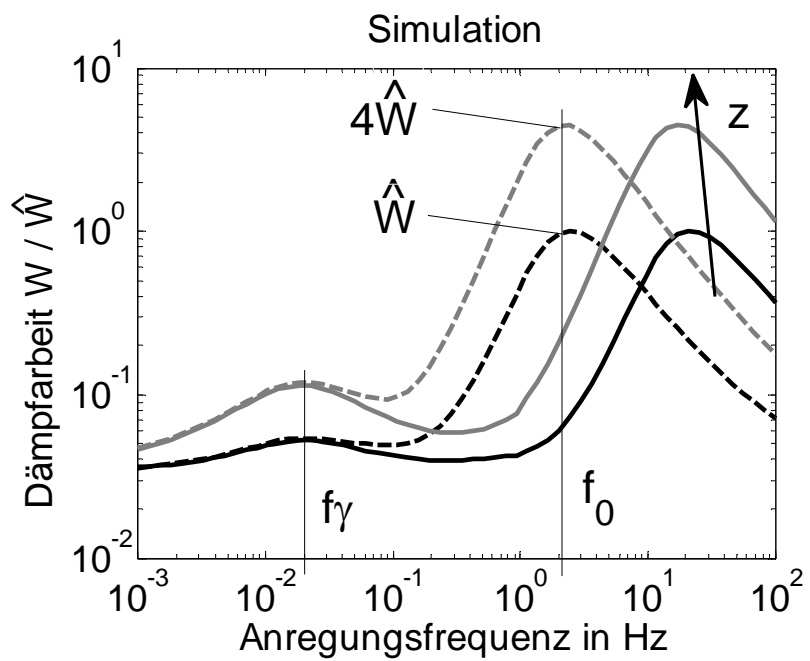


Nichtlineares Bauteilverhalten
über physikalisches Modell
abgebildet

Dynamische Steifigkeit eines LFD



Dämpfungsvermögen eines LFD



validiertes LFD-Modell

-- $z=10\text{mm}, A_b=0.05A_{b,\text{max}}$
 — $z=10\text{mm}, A_b=A_{b,\text{max}}$

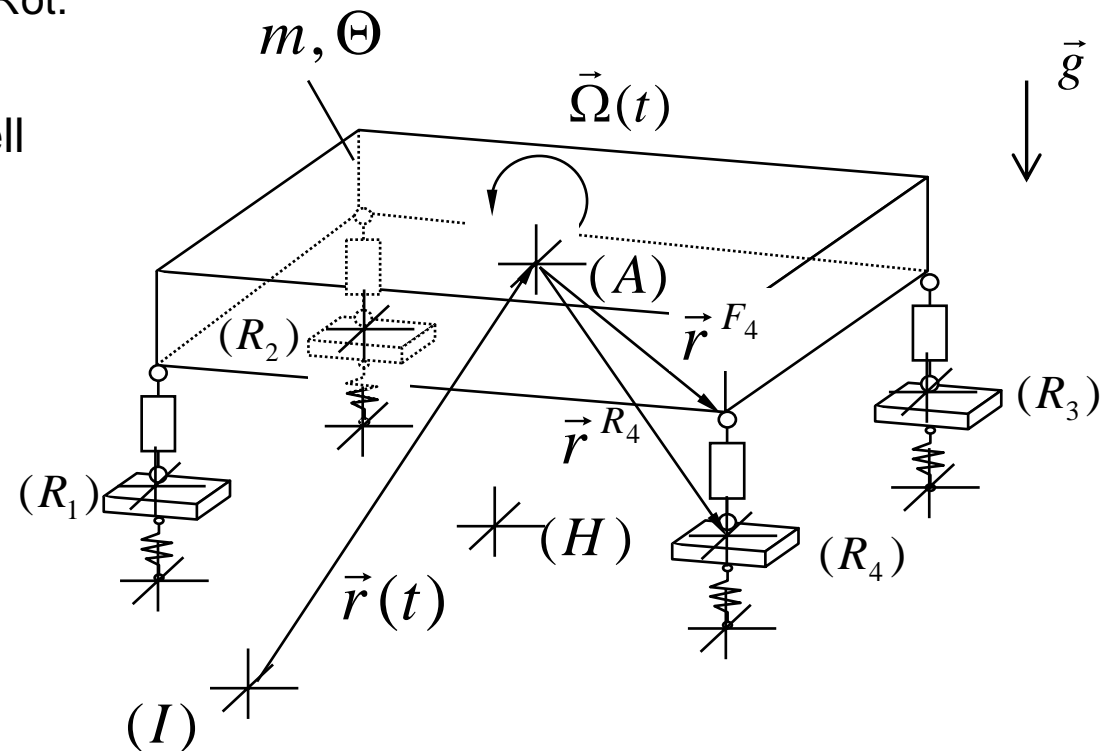
-- $z=20\text{mm}, A_b=0.05A_{b,\text{max}}$
 — $z=20\text{mm}, A_b=A_{b,\text{max}}$

Gliederung

1. Aufbau und Funktion eines Luftfederdämpfers
- 2. Modellbildung Gesamtfahrzeug**
3. Luftfederdämpfer Regelstrategien für Fahrdynamik
4. Virtuelle Fahrversuche
5. Zusammenfassung und Ausblick

Modellbildung Gesamtfahrzeug

- Physikalisches Zweispurmodell mit 16 Freiheitsgraden
 - Aufbau mit 3 Transl. + 3 Rot.
 - Räder vorne mit 1 Transl. + 2 Rot.
 - Räder hinten mit 1 Transl. + 1 Rot.
- Physikalisches LFD Modell
- Kennlinienbasiertes Reifenmodell und Achskinematik
- Fahrerregler



Impuls- und Drallsatz für den Aufbaukörper

Impulssatz im Inertialsystem

$$m \frac{d^2 r_j^{(I)}}{dt^2} = \sum K_j^{(I)}$$

$$\sum K_j^{(I)} = G_j^{(I)} + a_{ji}^{(HI)} a_{ik}^{(AH)} W_k^{(A)} + \sum_{s=1}^4 \left(a_{ji}^{(HI)} F_i^{(H)s} + a_{ji}^{(HI)} a_{ik}^{(RH)} R_k^{(R_s)} \right)$$

Gewichtskraft Luftwiderstandskraft Federbeinkräfte Reifenkräfte

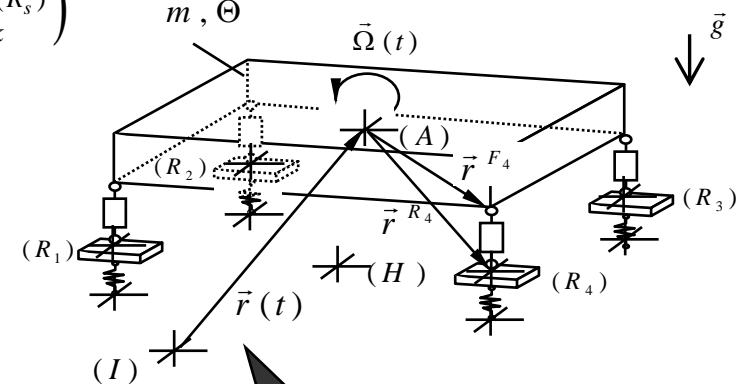
Drallsatz im aufbaufesten System

$$\dot{\Omega}_k^{(A)} \theta_{lk}^{(A)} + \varepsilon_{ljk} \Omega_j^{(A)} \Omega_p^{(A)} \theta_{kp}^{(A)} = \sum M_l^{(A)}$$

$$\sum M_l^{(A)} = \sum_{s=1}^4 \left(\varepsilon_{qjl} r_q^{F_s(A)} F_i^{(H)s} a_{ij}^{(AH)} + \varepsilon_{pjl} r_p^{R_s(A)} a_{ik}^{(RH)} R_k^{(R_s)} a_{ij}^{(AH)} \right)$$

Transformationsmatrizen über Quaternionen formuliert

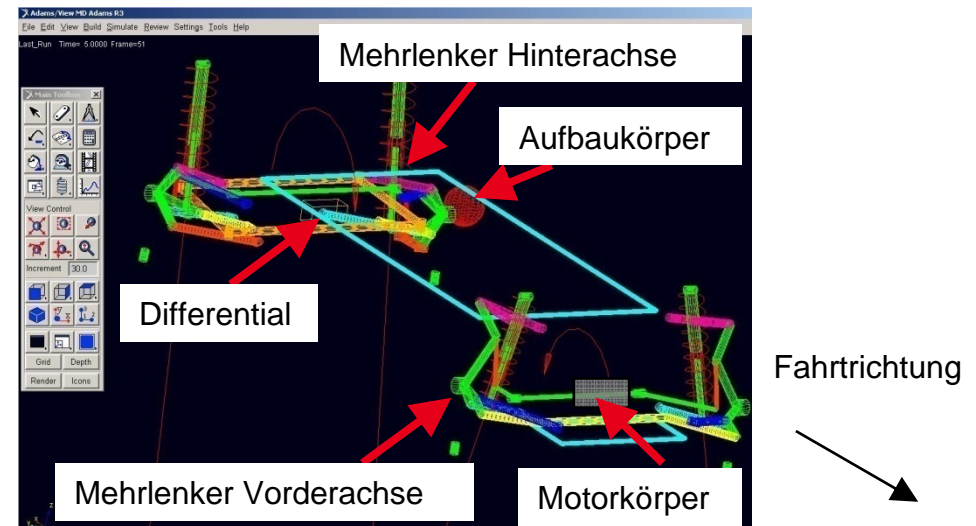
$$a_{ij}^{(AH)}, a_{ij}^{(RH)}, a_{ij}^{(HI)}$$



Nichtlineares
Starrkörpermodell

Achskinematik W221 in ADAMS

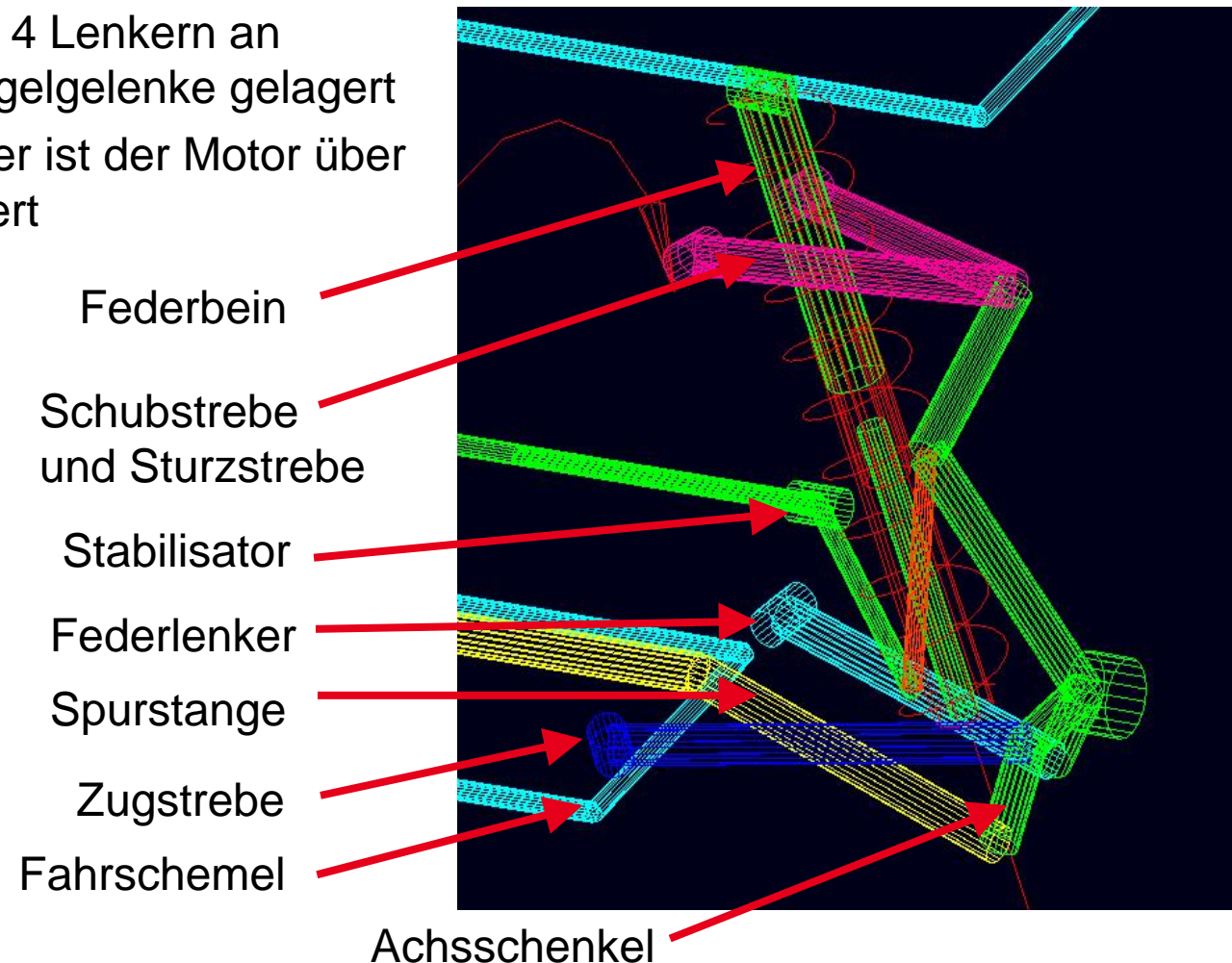
- Modellaufbau in ADAMS/View R3
- Achsmodell dient zur Ermittlung der Achsübersetzung und Lage der Wankachse (Kinematik)
- Ermittlung von kennlinienbasierter Achselastokinematik



Achskinematik W221 in ADAMS

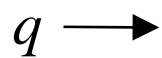
Vorderachsaufhängung

- Raumlenerachse mit 4 Lenkern an Fahrschemel über Kugelgelenke gelagert
- Auf Fahrschemelkörper ist der Motor über vier Motorlager gelagert

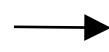


Achsübersetzung in ADAMS

Generalisierte
Koordinate q



ADAMS

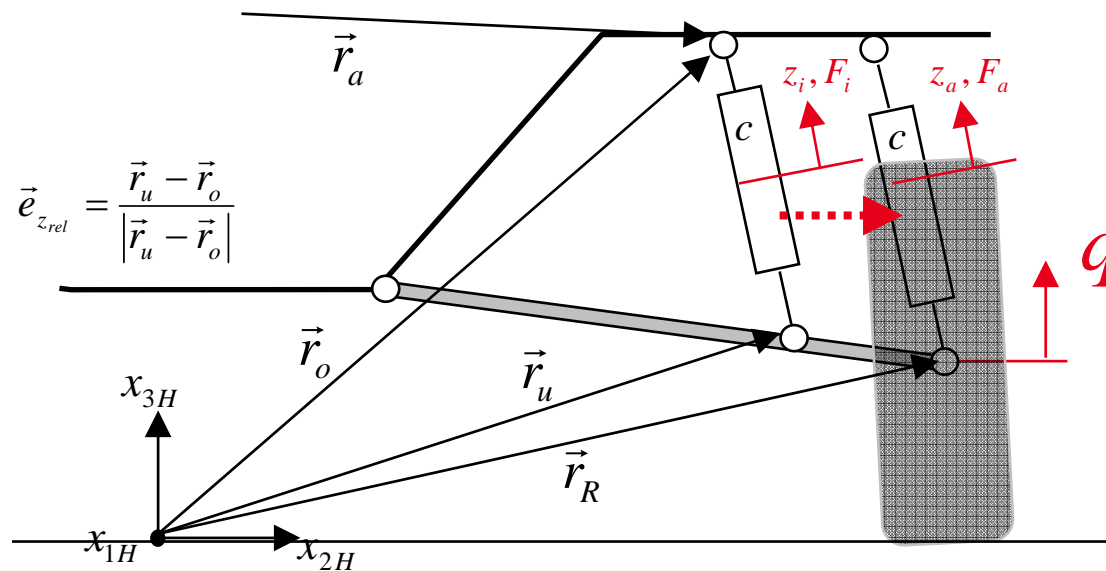


$$i = z_i / q$$

$$z_i = iq$$

$$F_i = cz_i = icq$$

$$F_a = iF_i = i^2cq$$



Reifenmodell nach Burckhardt

$$\mu_{Res}(s_{Res}) = \left(c_1 (1 - e^{-c_2 s_{Res}}) - c_3 s_{Res} \right) e^{-c_4 s_{Res} v_{Ch}} (1 - c_5 F_N^2)$$

c_1 Maximaler Reibwert

c_2 Position des Maximums

c_3 Gleitreibwert

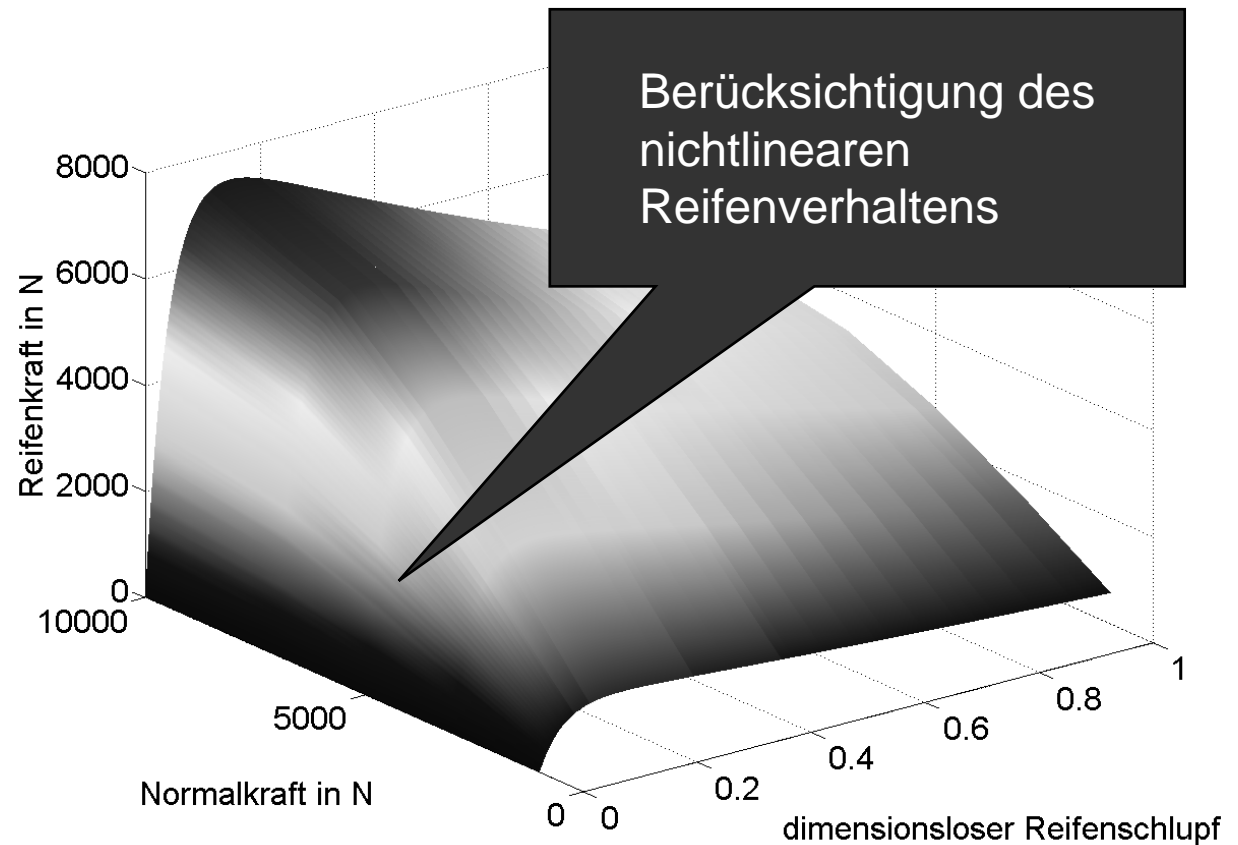
c_4 Geschwindigkeitseinfluss

c_5 Radlasteinfluss

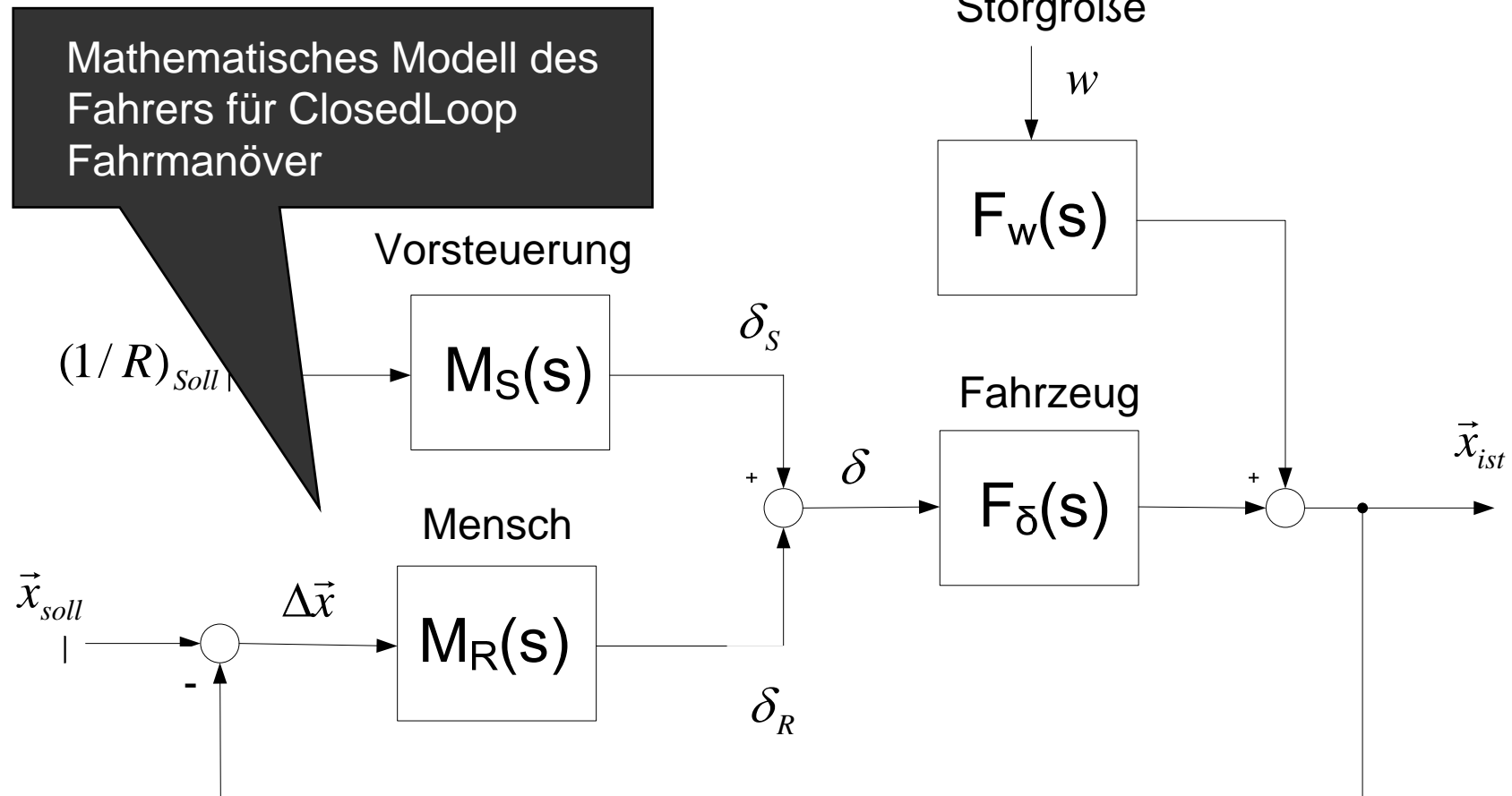
v_{Ch} charakt. Geschwindigkeit

$$s_R = \sqrt{S_{R1}^2 + S_{R2}^2}$$

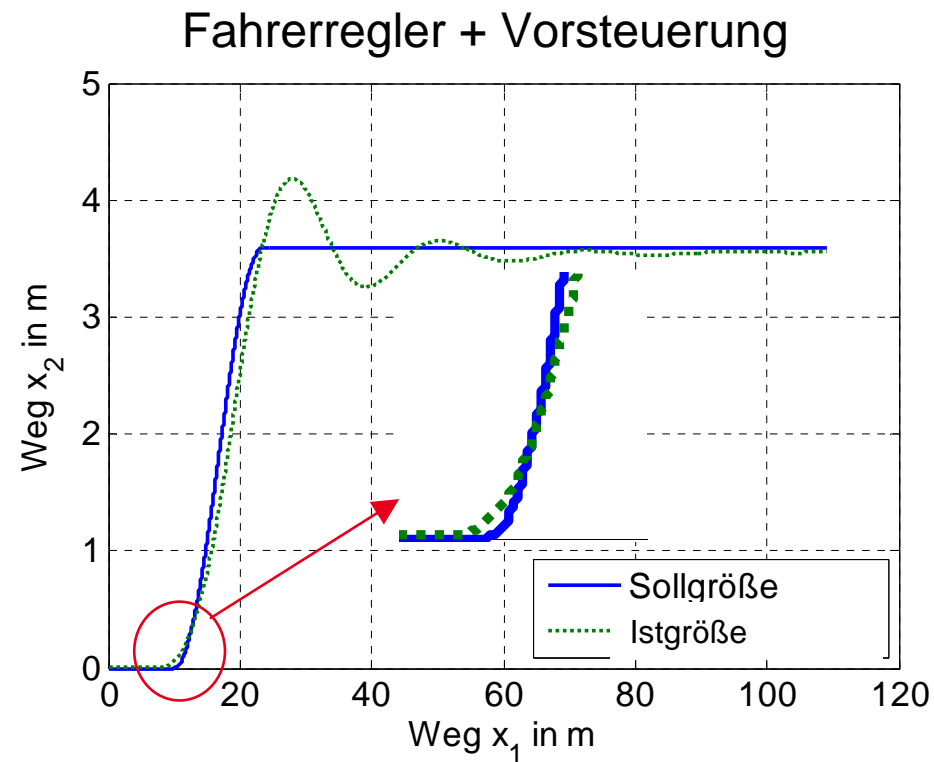
$$F_{Res} = \mu_{Res} F_N$$



Vorausschauender Fahrerregler



Fahrerregler mit Vorsteuerung

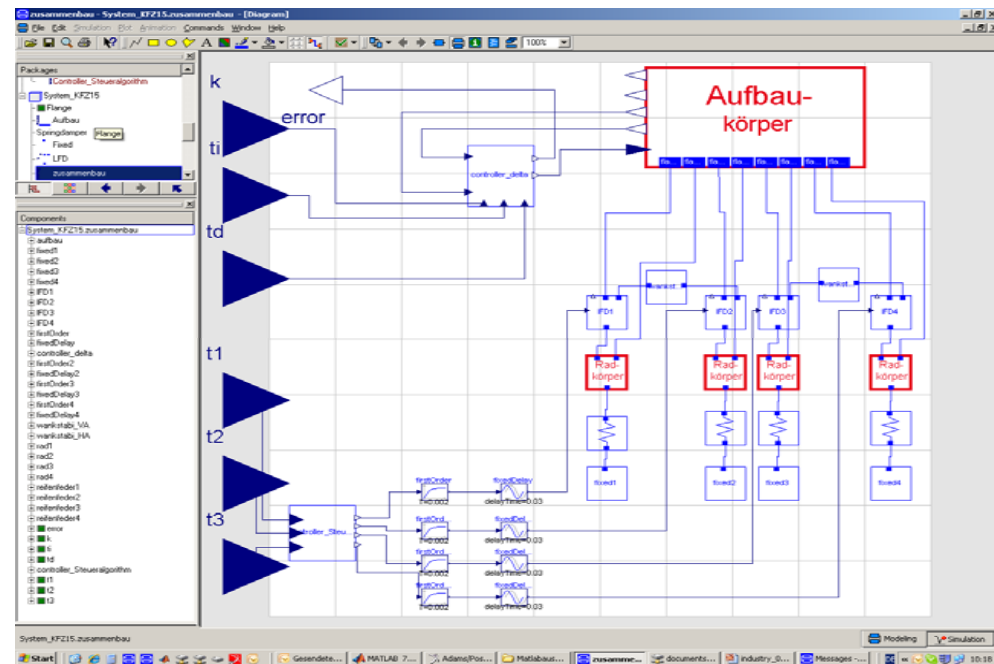


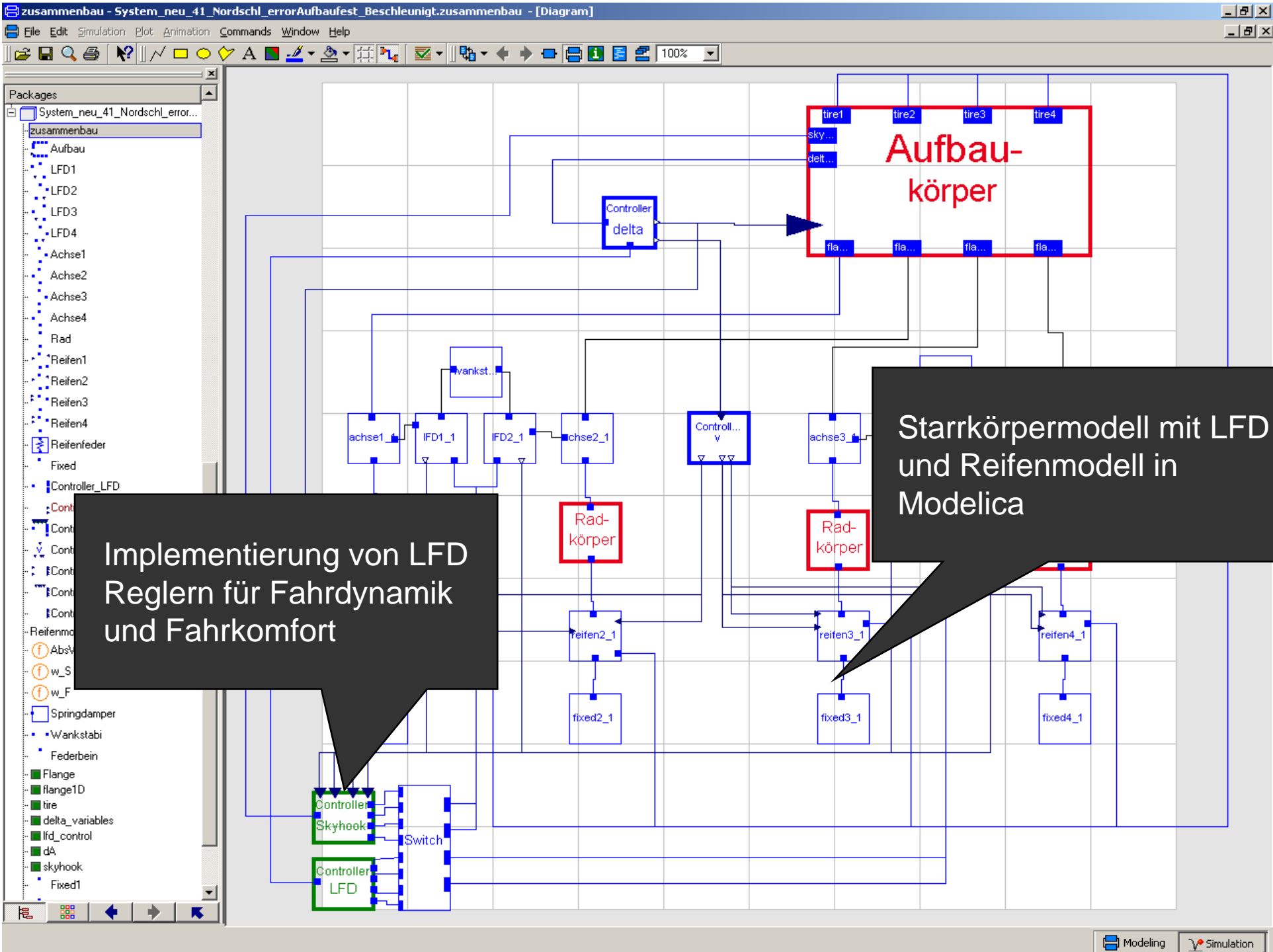
Vorsteuerung erlaubt vorausschauendes Verhalten des Fahrers

Modellaufbau in Dymola / Modelica

Warum Modelica?

- Offener Quellcode
(White Box Charakteristik)
- Objektorientierter Sprachstandard
ermöglicht Wiederverwendung von
Programmstrukturen
- Direkte Eingabe von DGLs
- Lauffähig auf fachgebietseigener
dSPACE Box

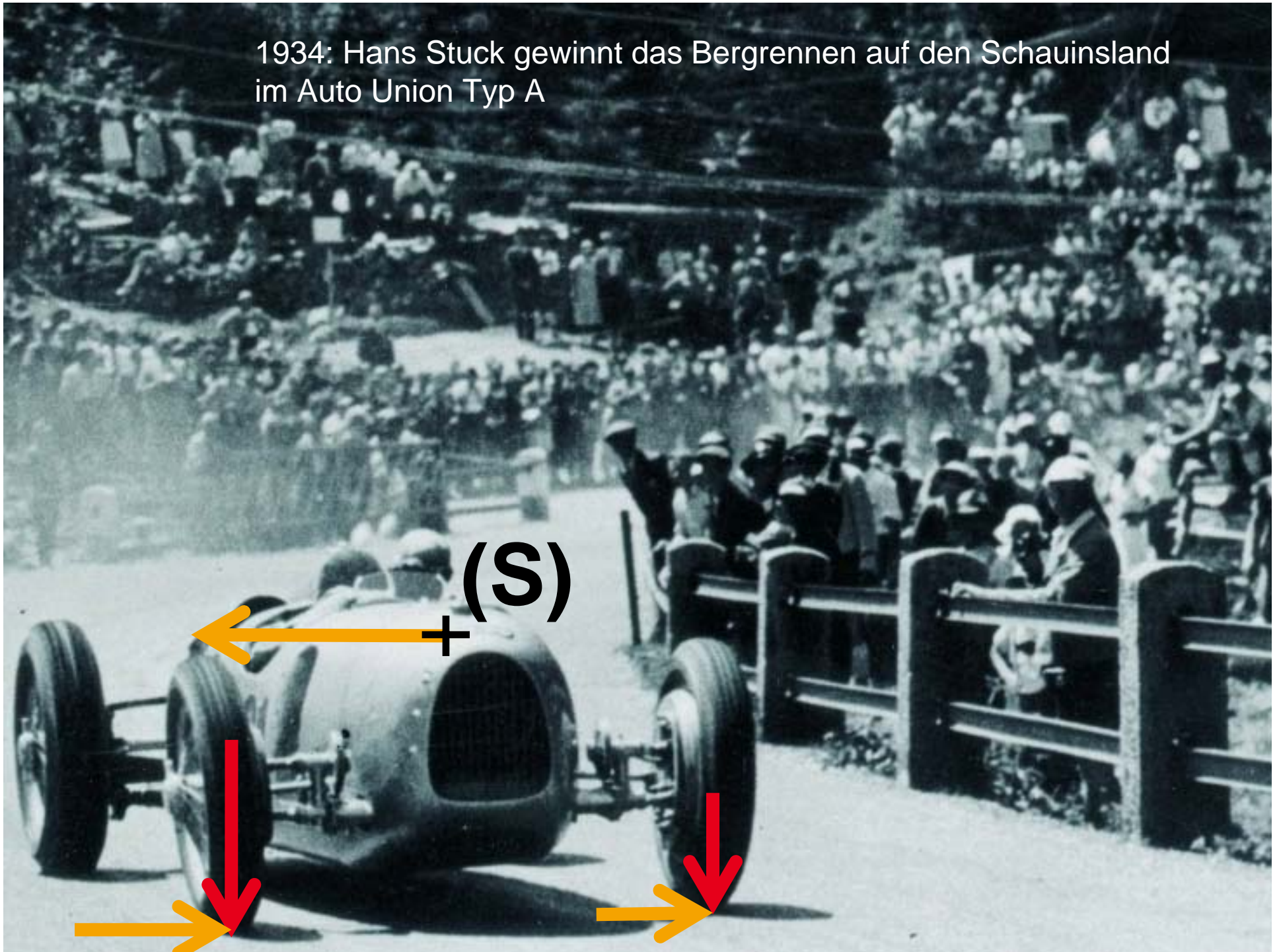




Gliederung

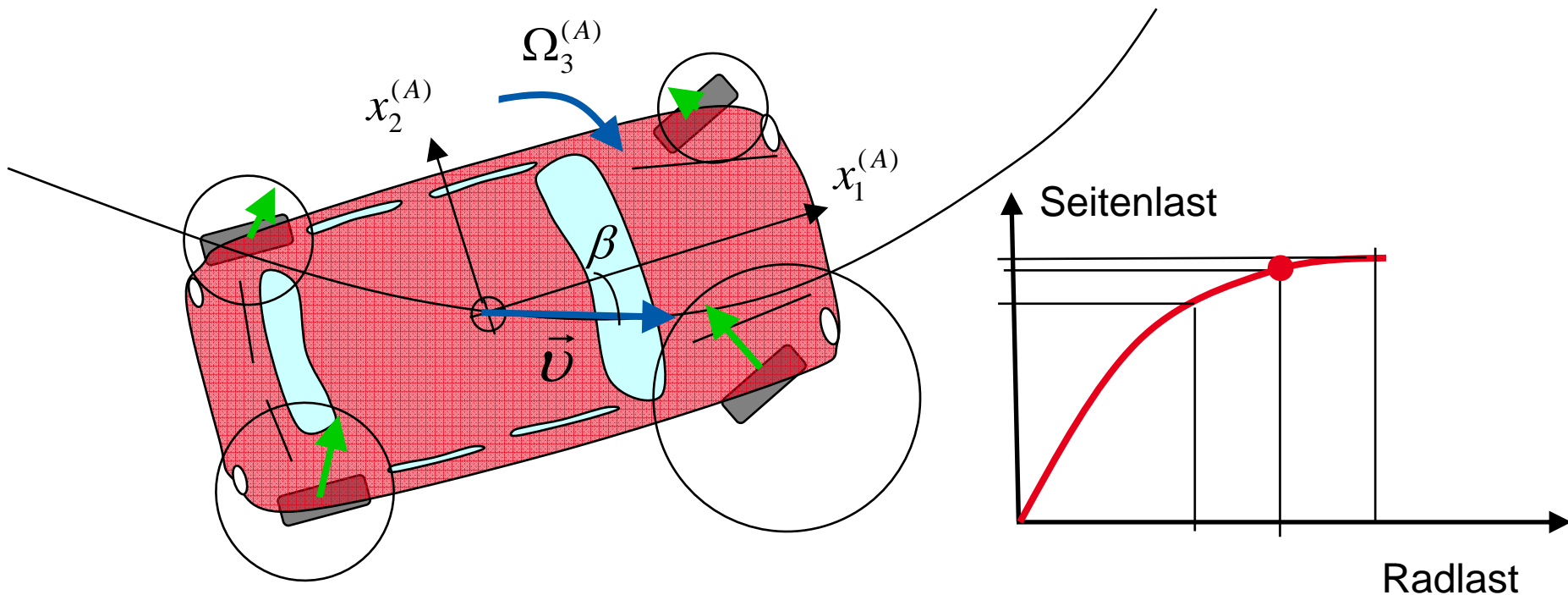
1. Aufbau und Funktion eines Luftfederdämpfers
2. Modellbildung Gesamtfahrzeug
- 3. Luftfederdämpfer Regelstrategien für Fahrdynamik**
4. Virtuelle Fahrversuche
5. Zusammenfassung und Ausblick

1934: Hans Stuck gewinnt das Bergrennen auf den Schauinsland
im Auto Union Typ A

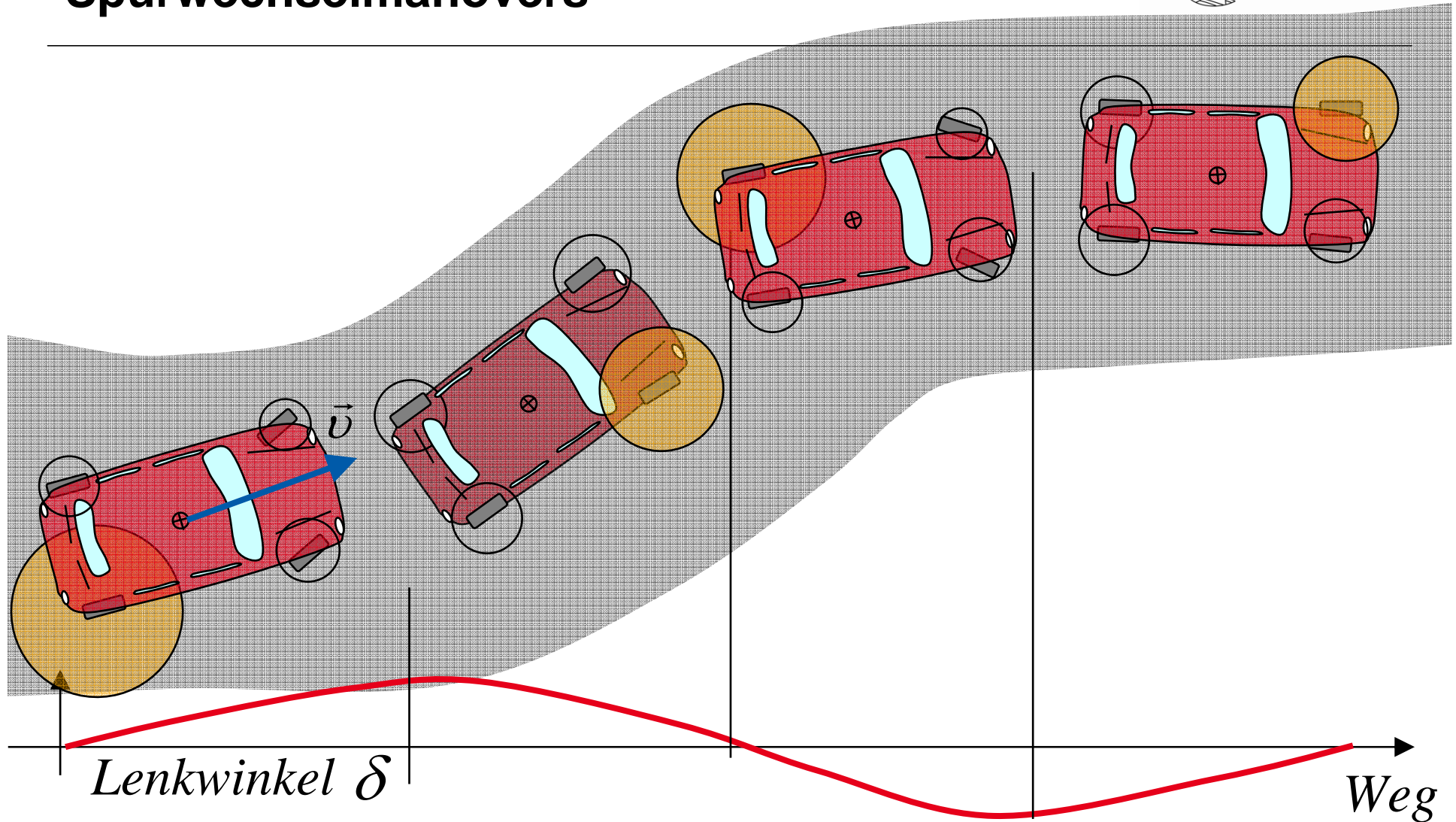


Beeinflussung des Fahrverhaltens durch Adaption der Wanksteifigkeit

\hat{c}_{HA} groß \hat{c}_{VA} klein \implies Radlastdifferenz HA groß \implies Übersteuern
 \hat{c}_{HA} klein \hat{c}_{VA} groß \implies Radlastdifferenz VA groß \implies Untersteuern

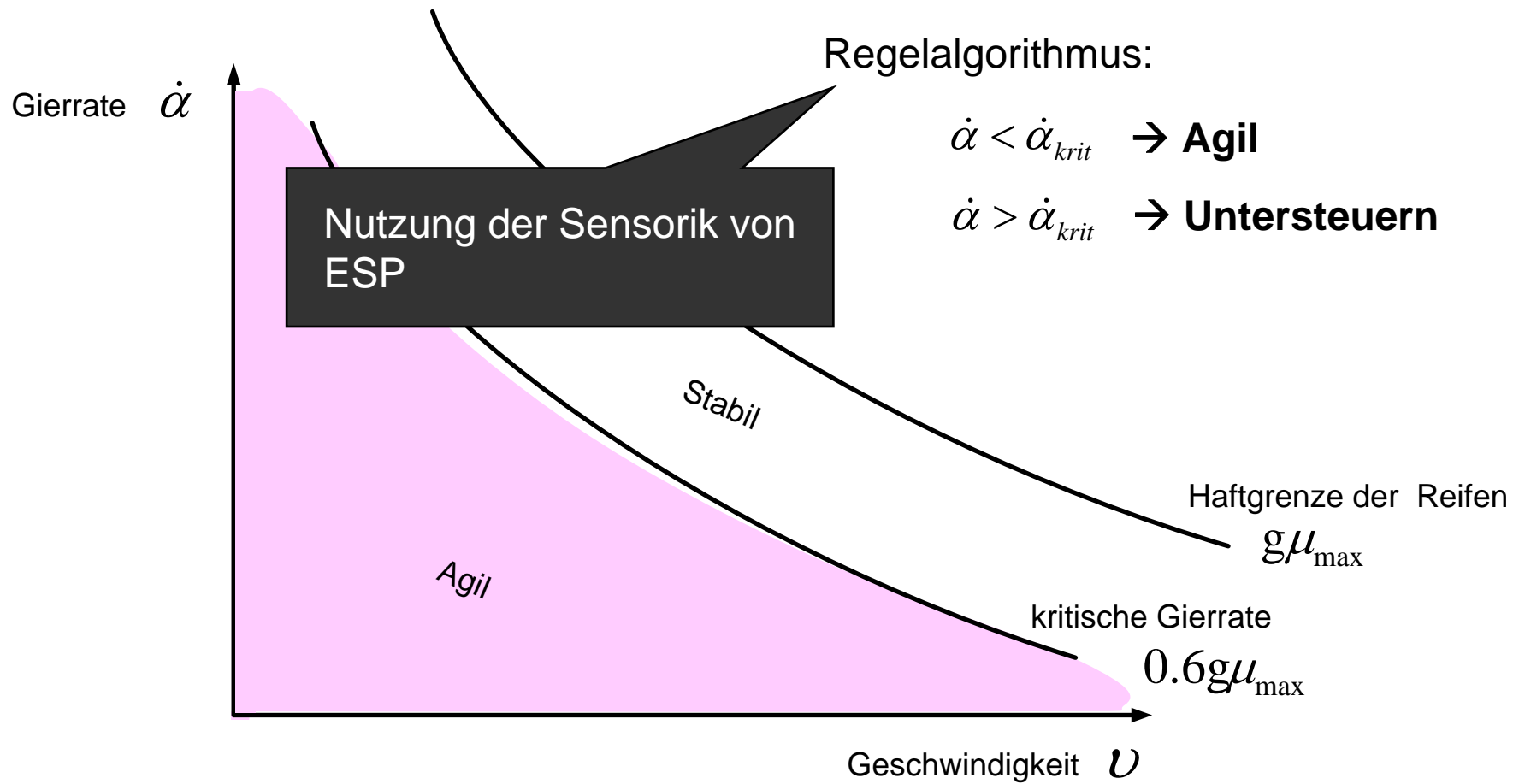


Adaption der Wanksteifigkeit während eines Spurwechselmanövers



Vorstellung der Regelprinzipien

Regler 1: AgilStabil



Vorstellung der Regelprinzipien

Regler 2: Giersollrate

Sollgierrate:

$$\dot{\alpha}_{soll} = \frac{v \delta}{l \left(1 + v^2 / v_{ch}^2\right)}$$

Regelalgorithmus:

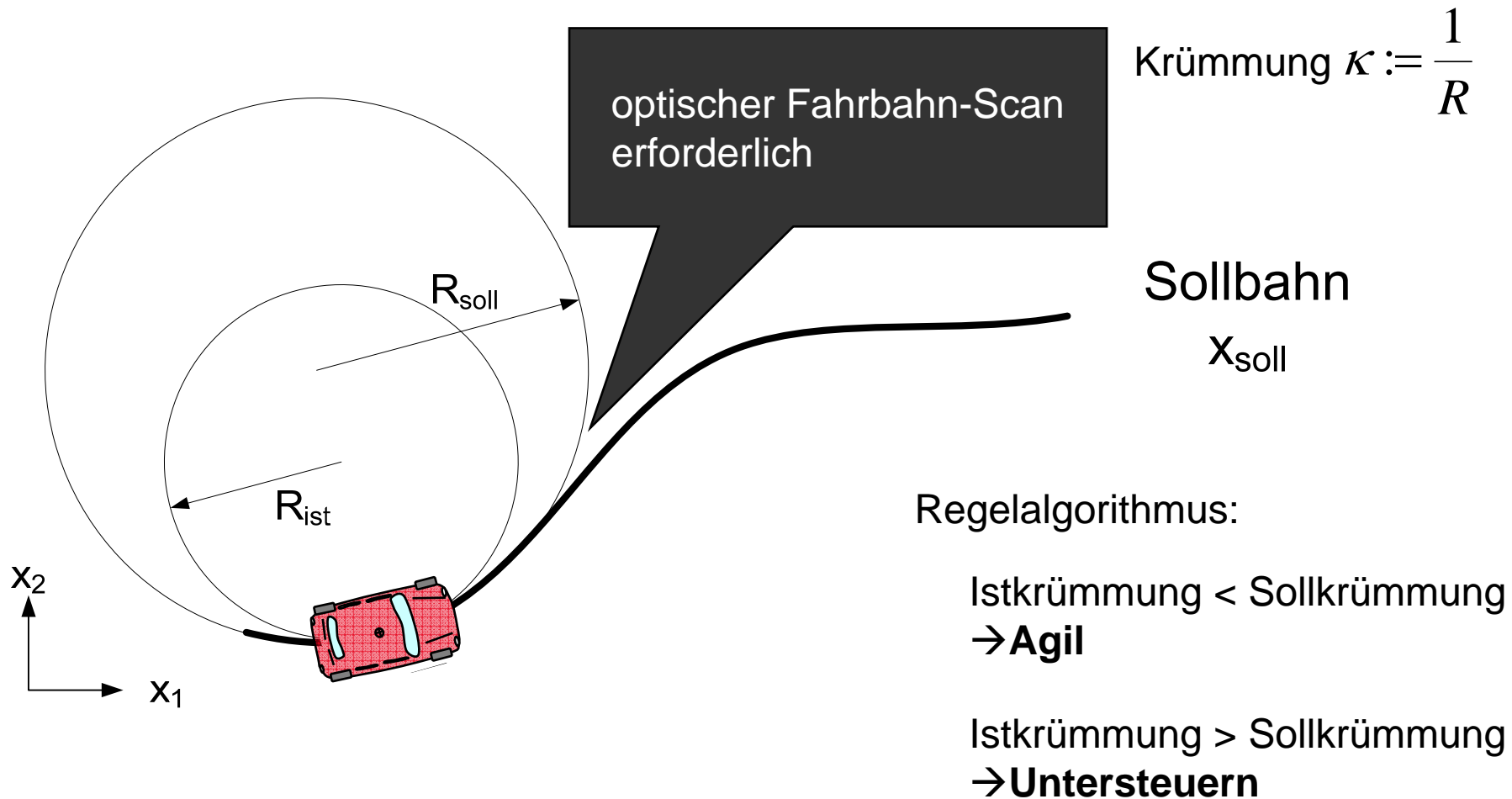
$\dot{\alpha} < \dot{\alpha}_{soll}$ → **Agil**

$\dot{\alpha} > \dot{\alpha}_{soll}$ → **Untersteuern**

Nutzung der Sensorik und
des Regelalgorithmus von
ESP

Vorstellung der Regelprinzipien

Regler 3: Krümmung



Gliederung



1. Aufbau und Funktion eines Luftfederdämpfers
2. Modellbildung Gesamtfahrzeug
3. Luftfederdämpfer Regelstrategien für Fahrdynamik
- 4. Virtuelle Fahrversuche**
5. Zusammenfassung und Ausblick

Fahrmanöver



- **Lenkwinkelsprung**
- Ausweichversuch
- Beeinflussung Fahrkomfort und Fahrsicherheit

Lenkwinkelsprung 6° (am Rad), 15 m/s

Untersteuernd:

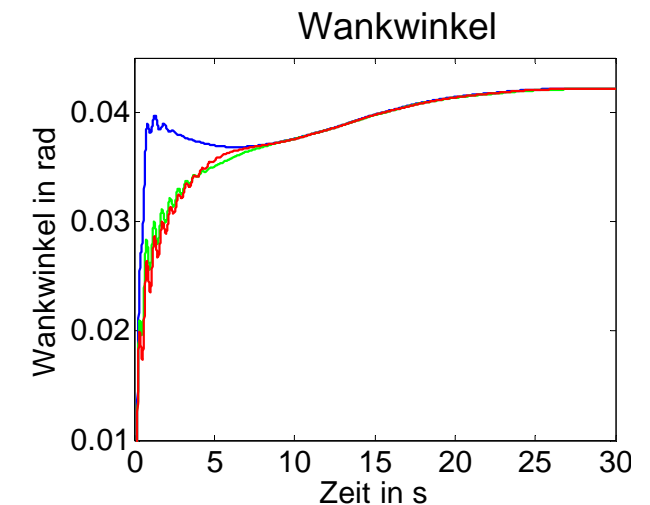
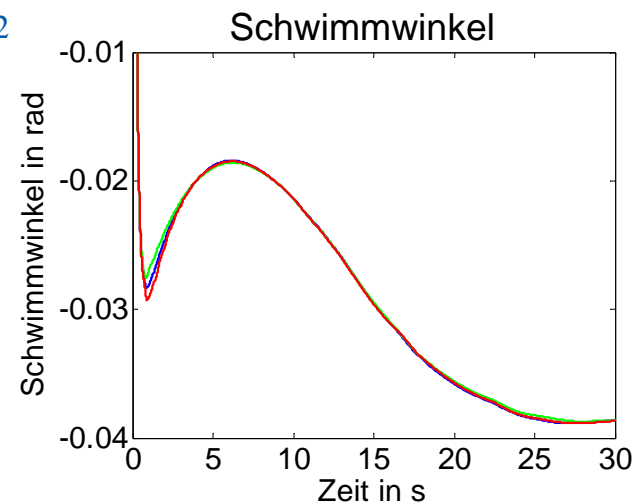
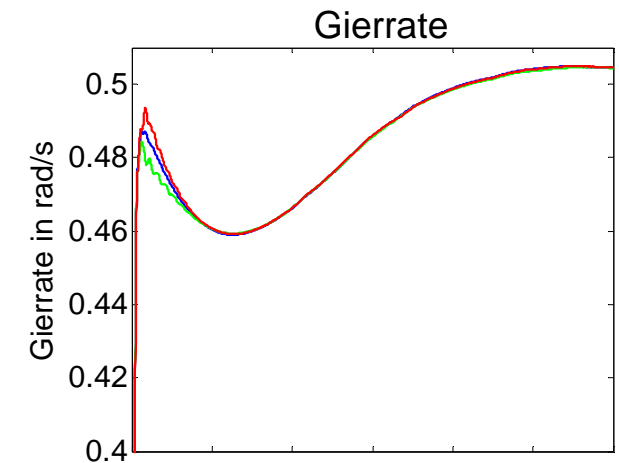
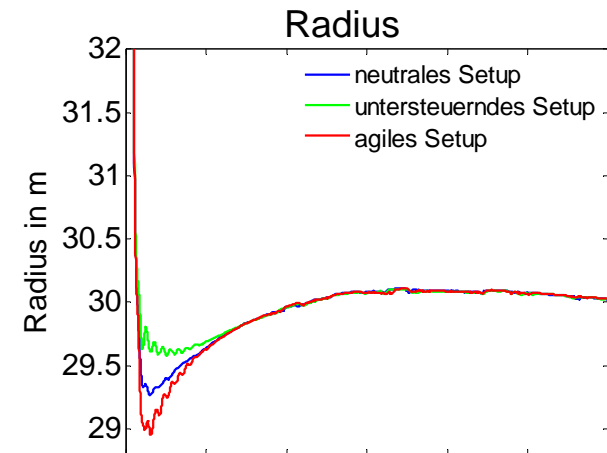
$$A_V = 2\text{mm}^2, A_H = 30\text{mm}^2$$

Neutral:

$$A_V = 30\text{mm}^2, A_H = 30\text{mm}^2$$

Agil:

$$A_V = 30\text{mm}^2, A_H = 2\text{mm}^2$$



Lenkwinkelsprung 6° (am Rad), 15 m/s

Setup-spezifisches
Eigenlenkverhalten
zwischen 1 bis 5 Sek.

Untersteuernd:

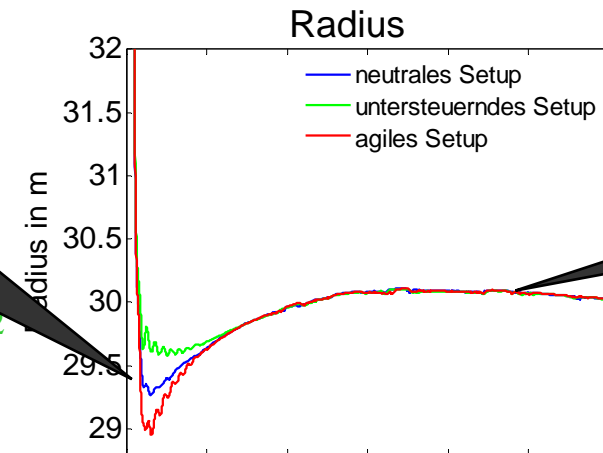
$$A_V = 2\text{mm}^2, A_H = 30\text{mm}^2$$

Neutral:

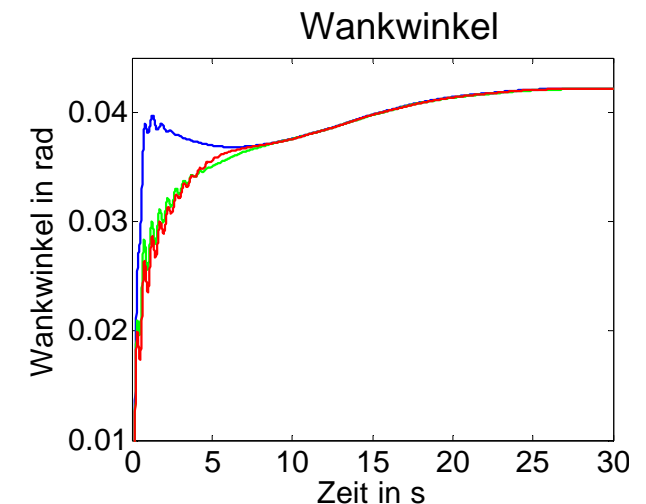
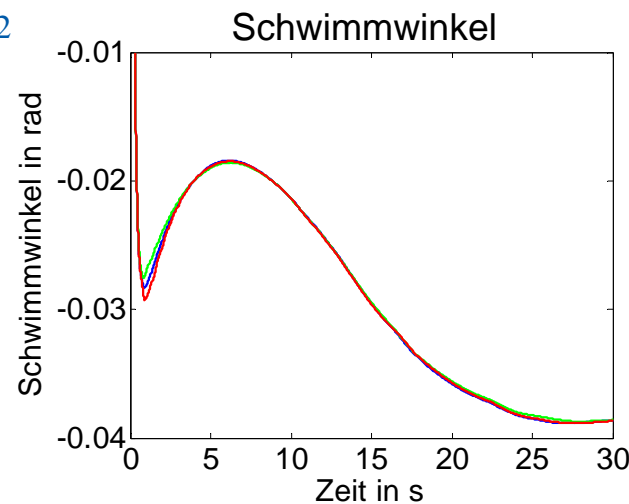
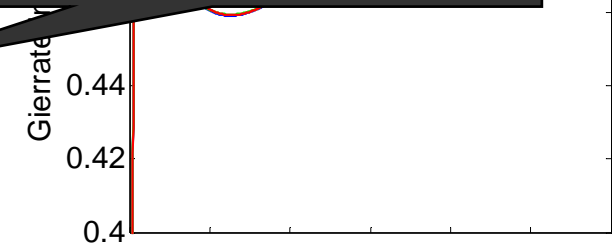
$$A_V = 30\text{mm}^2, A_H = 30\text{mm}^2$$

Agil:

$$A_V = 30\text{mm}^2, A_H = 2\text{mm}^2$$



Gleiches
Eigenlenkverhalten für
große Zeiten



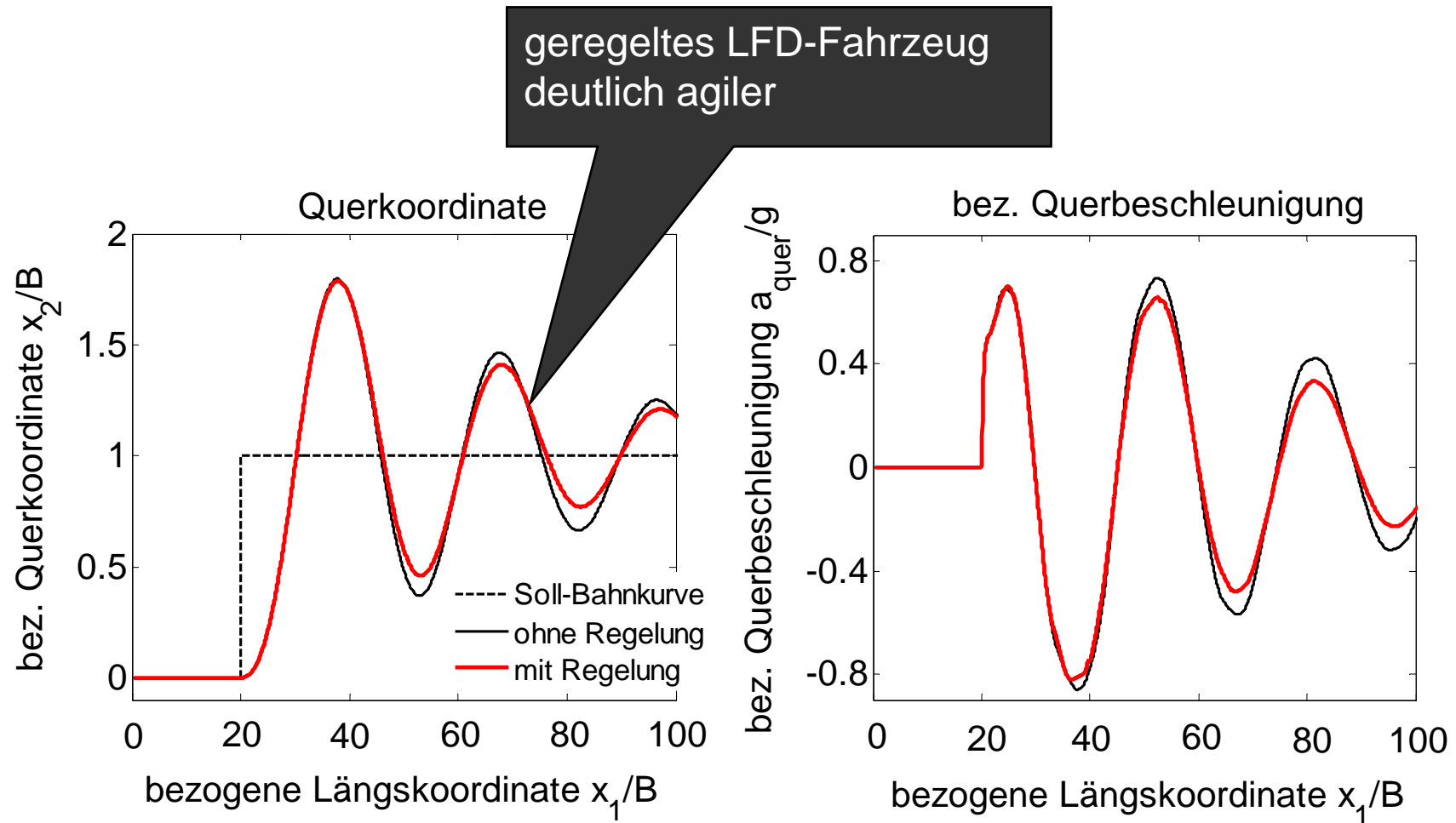
Fahrmanöver



- Lenkwinkelsprung
- **Ausweichversuch**
- Beeinflussung Fahrkomfort und Fahrsicherheit

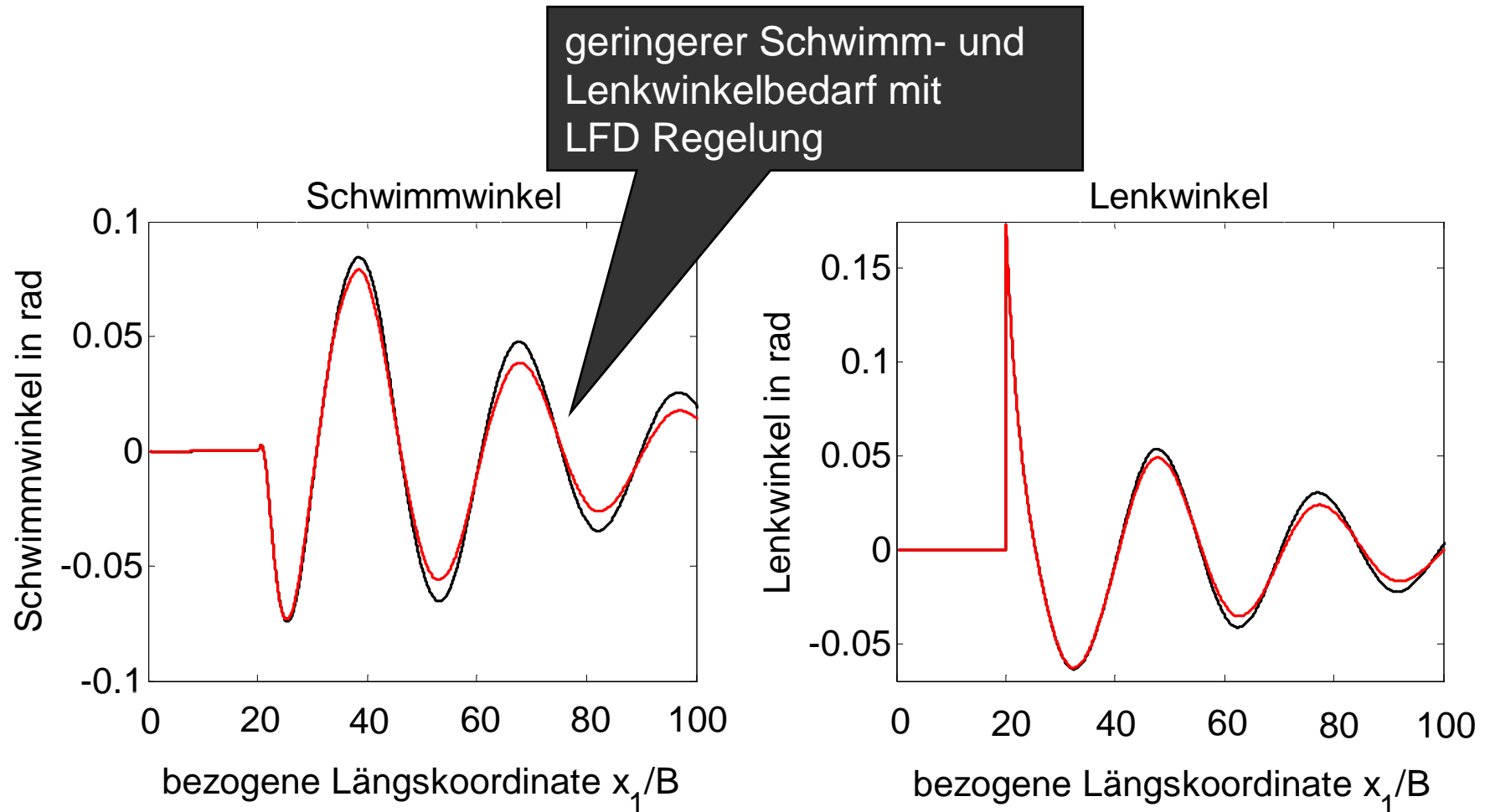
Ausweichversuch

Breite $B=2\text{m}$, Geschwindigkeit 20 m/s , AgilStabil Regler

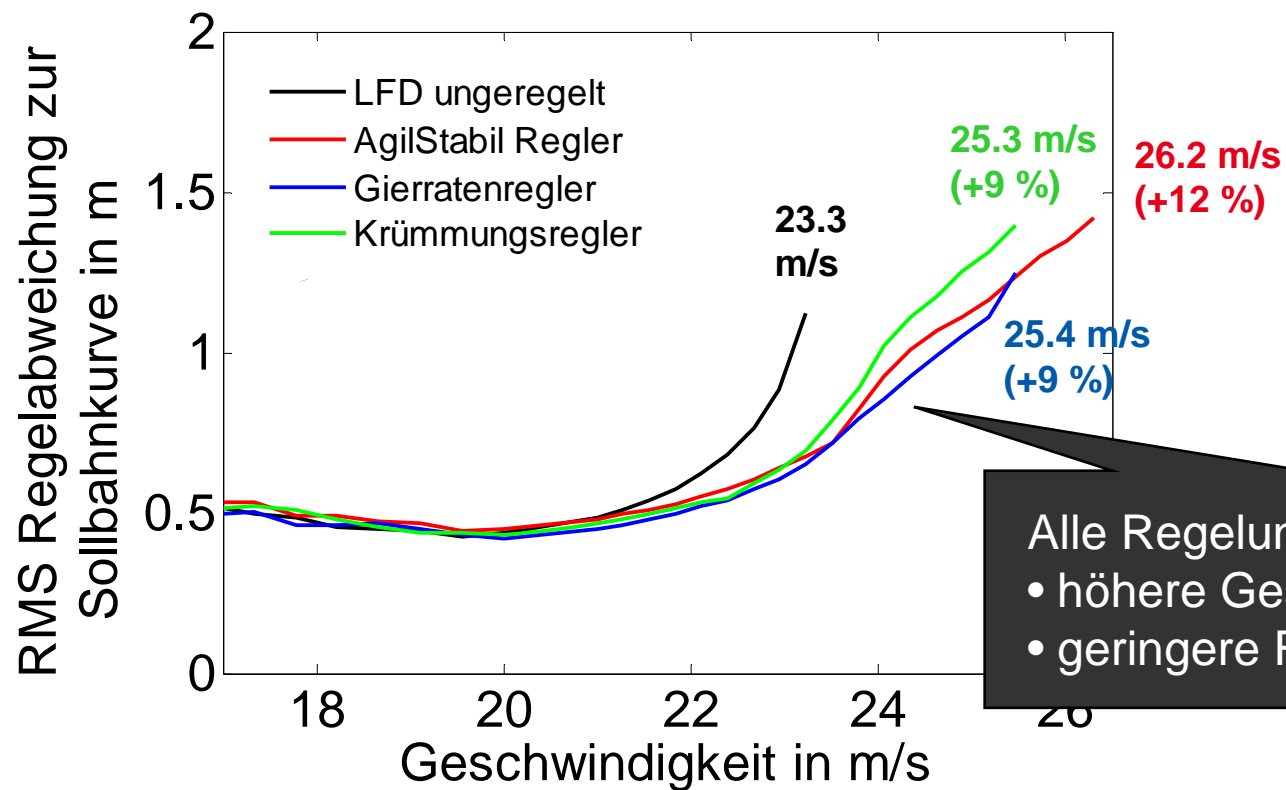


Ausweichversuch

Breite $B=2\text{m}$, Geschwindigkeit 20 m/s , AgilStabil Regler

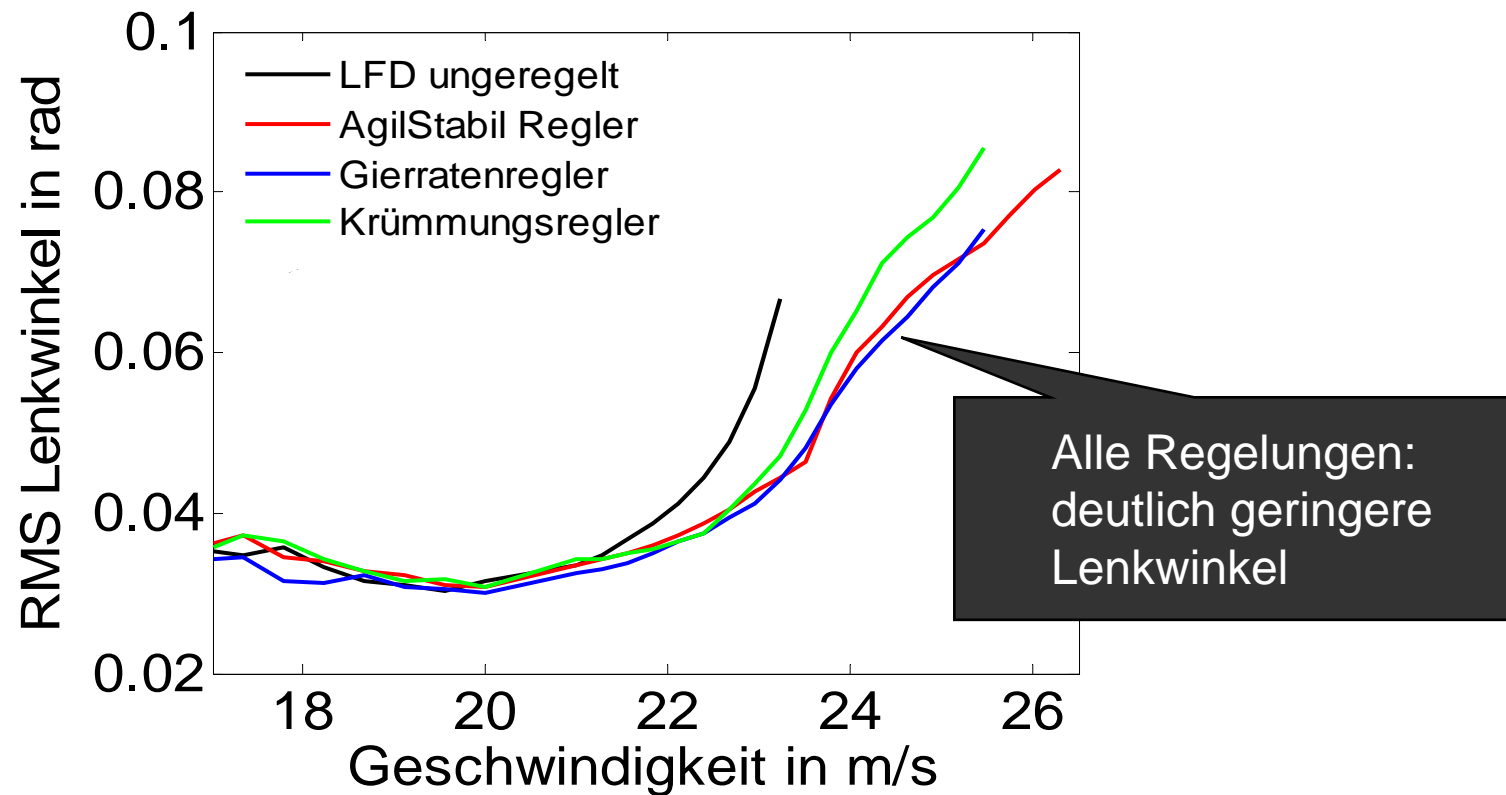


Ausweichversuch - RMS Regelabweichung



Alle Regelungen:
• höhere Geschwindigkeiten
• geringere Regelabweichungen

Ausweichversuch - RMS Lenkwinkel



Fahrmanöver

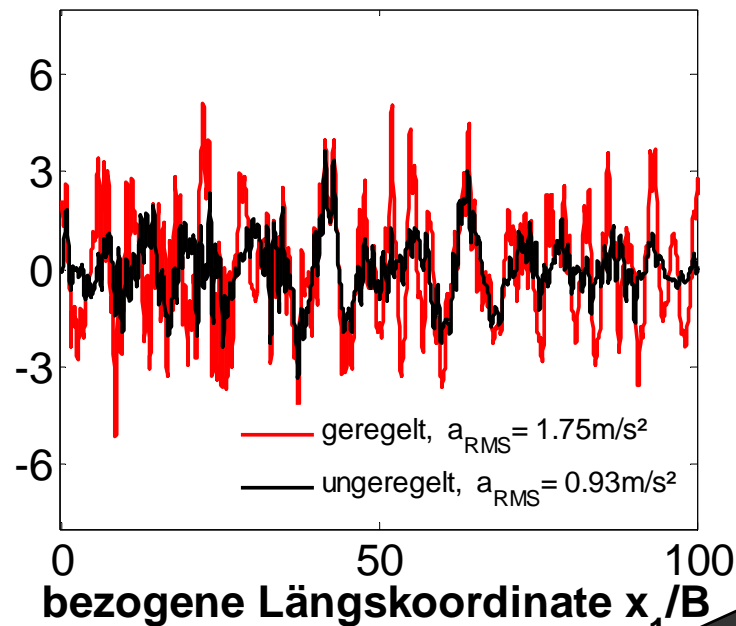


- Stationäre Kreisfahrt
- Lenkwinkelsprung
- Ausweichversuch
- **Beeinflussung Fahrkomfort und Fahrsicherheit**

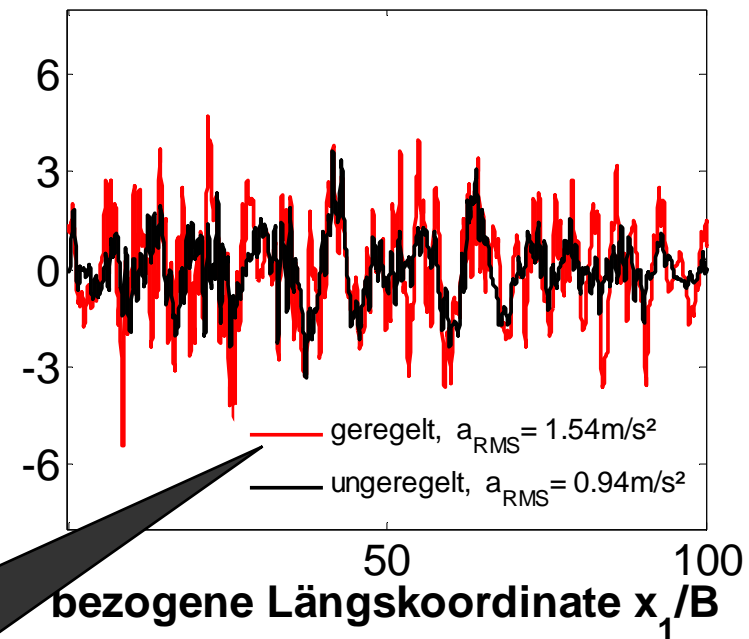
Beinflussung des Fahrkomforts: Vertikale Aufbaubeschleunigung

vertikale Aufbaubeschleunigung
in m/s^2

ohne Bypass, mit Fahrbahnanregung

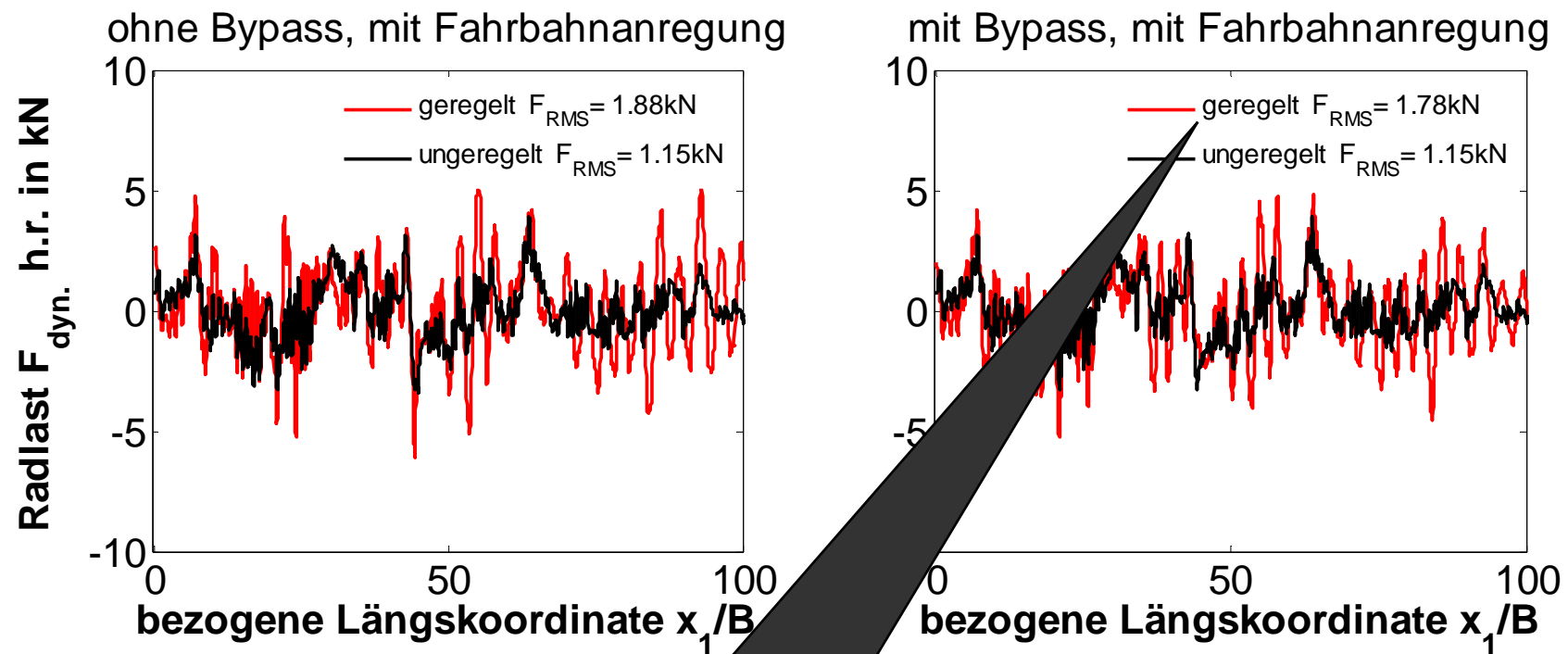


mit Bypass, mit Fahrbahnanregung



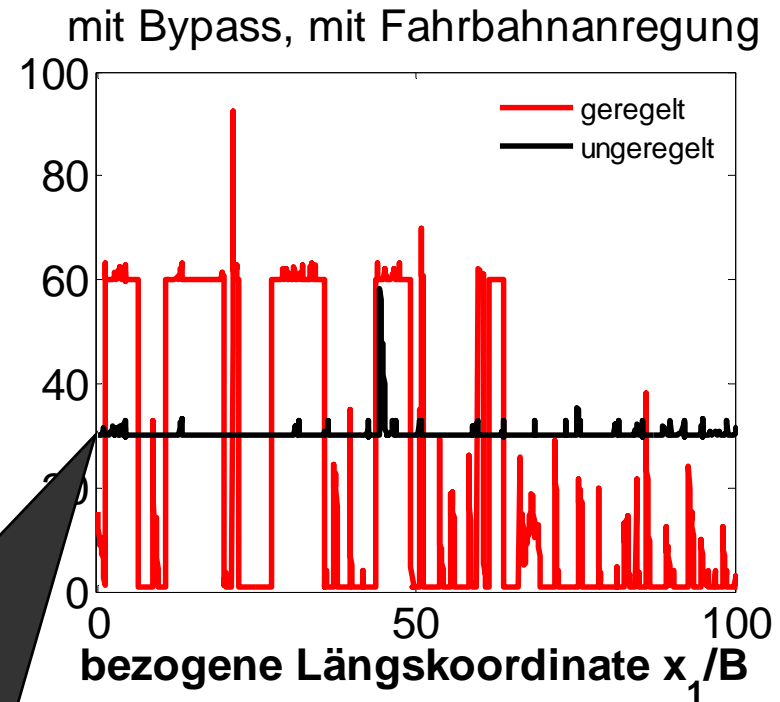
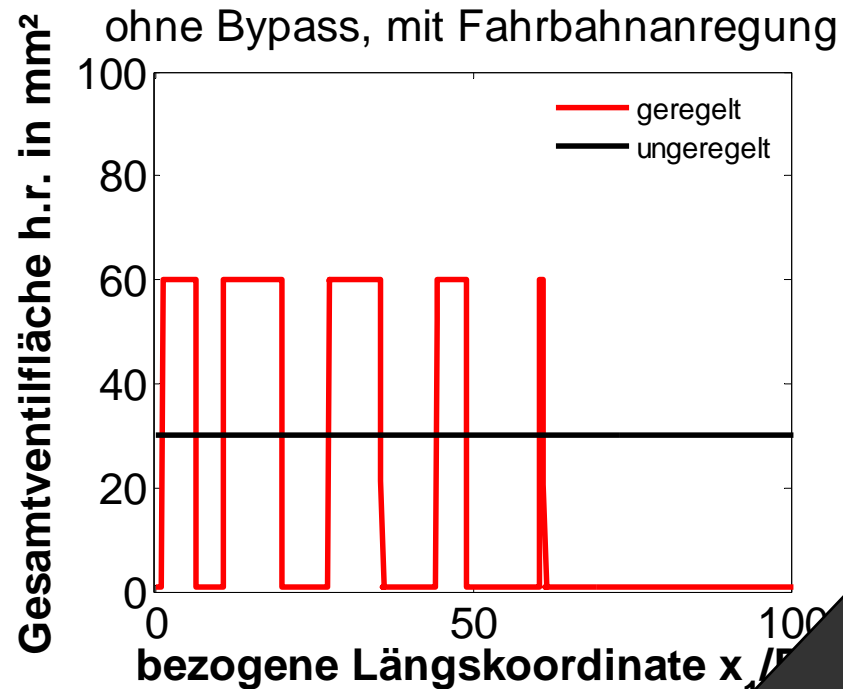
Mit Bypass: Reduktion der
Aufbaubeschleunigung um
12 %

Beeinflussung der Fahrsicherheit: Dynamische Radlastschwankung (hinten rechts)



Mit Bypass: Reduktion der
Radlastschwankung um 6 %

LFD Ventilflächen (Hinterachse)



Ungeregelter LFD besitzt per se große Ventilfläche

Geregelter LFD → häufige Schaltaktivität des Bypassventils

Gliederung

1. Aufbau und Funktion eines Luftfederdämpfers
2. Modellbildung Gesamtfahrzeug
3. Luftfederdämpfer Regelstrategien für Fahrdynamik
4. Virtuelle Fahrversuche
- 5. Zusammenfassung**

Zusammenfassung

- Signifikant geringerer Abstand zur Sollbahn und geringerer Lenkwinkelbedarf mit LFD Regelung erreichbar
- **Agil-Stabil Regler:**
hohe Geschwindigkeiten erreichbar, stabiles Fahrverhalten
- **Gierratenregler:**
Geringster Lenkwinkelbedarf / kleinster Abstand zur Sollbahn
- Bypass im LFD erlaubt optimierte Abstimmung zwischen Fahrdynamik und Sicherheit / Komfort