

# Fahrzeugregelung

## Lenkverhalten und Lenkungsregelung



**Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller**

**M.Sc. Osama Al-Saidi**

**Fachgebiet Kraftfahrzeuge • Technische Universität Berlin**

---

# Einleitung

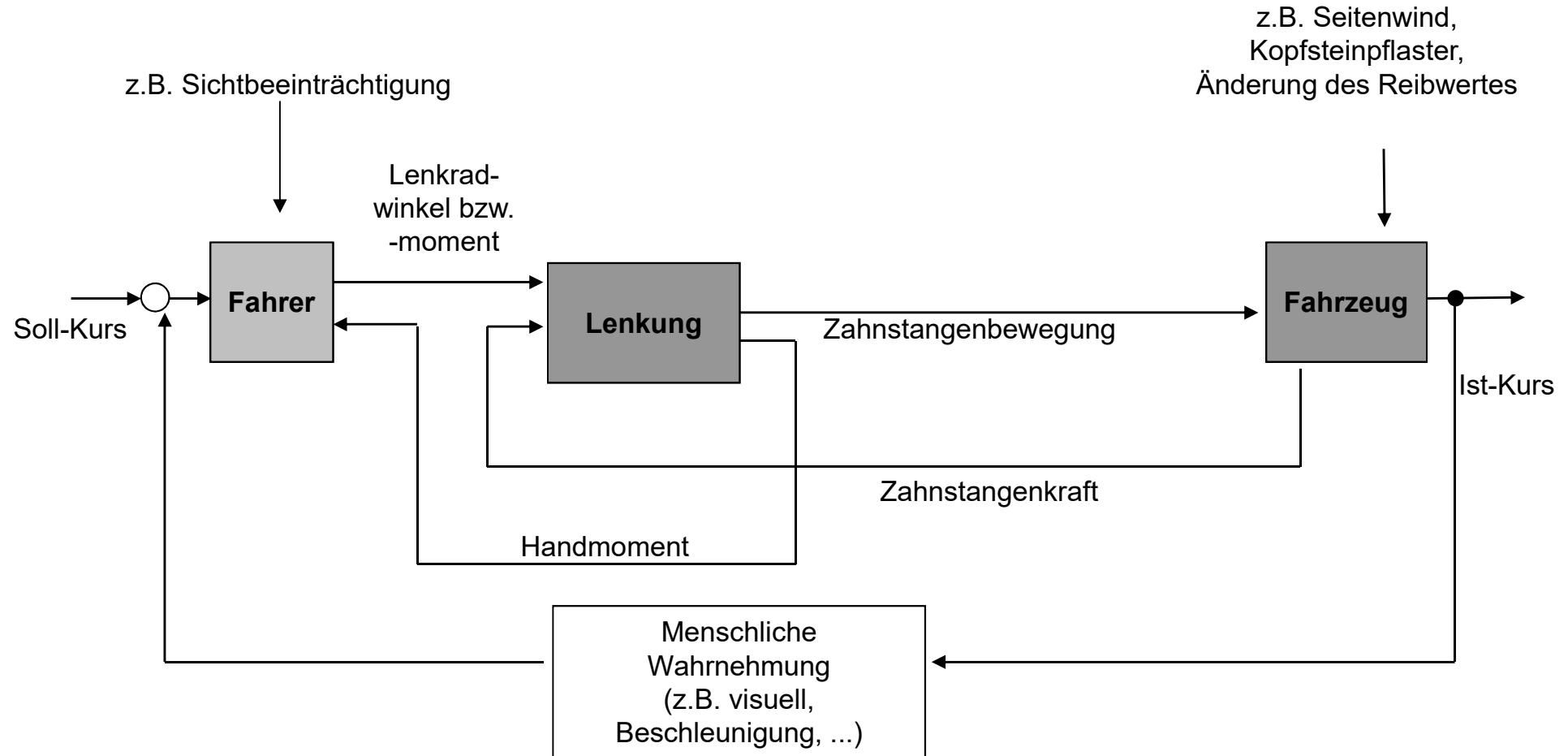
## Anforderungen an das Lenkverhalten

Die ursprüngliche Aufgabe einer Lenkung ist die **Übertragung** einer vom Fahrer **gewünschten Richtungsänderung** oder **Stabilisierung** an die Vorderräder (**Führungsverhalten**). Die Bedienung der Lenkung sollte dabei möglichst **komfortabel** und **zielgenau** erfolgen.

Darüber hinaus sollen dem Fahrer **unterschiedliches Fahrverhalten** und **unterschiedliche Fahrbahneigenschaften** im Lenkverhalten **widergespiegelt** werden (**Störverhalten**).

# Einleitung

## Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis für das Lenkverhalten





# Einleitung

## Das Lenkgefühl

„...sportwagenartig präzise Lenkung.“ (Auto-Motor-Sport, Oktober 2007)

„Um die Mittellage entspricht die Lenkung der des Vorgängers, um den Geradeauslauf nicht durch erhöhte Nervosität zu beeinträchtigen.“ (Auto-Motor-Sport, Juni 2004)

„Er lässt sich millimetergenau fahren und reagiert auf die Lenkung so feinfühlig wie ein Rennpferd.“ (Auto-Motor-Sport, Juni 2004)

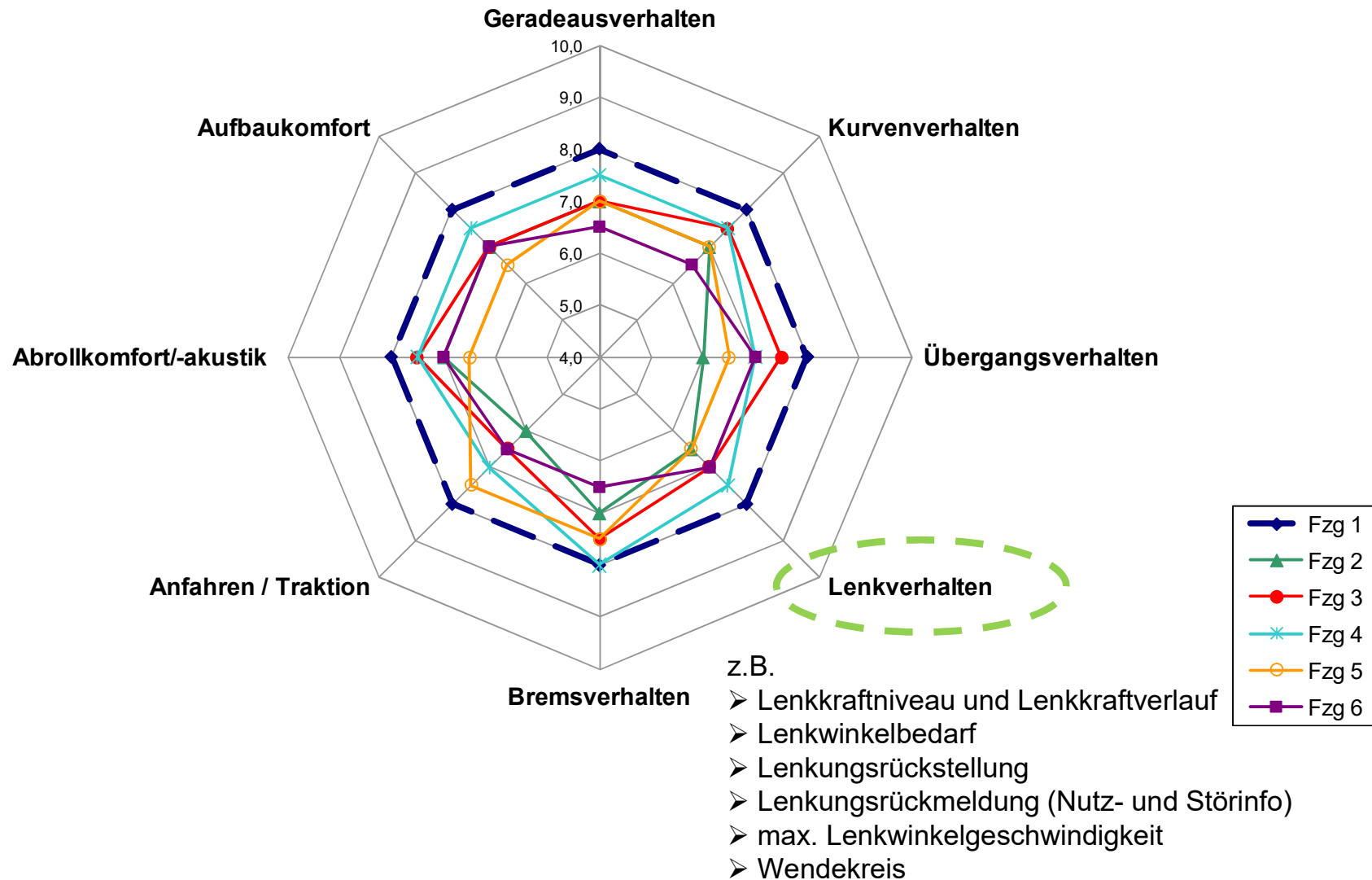
„Seine Lenkung ist ebenfalls zielgenau und agiert harmonisch über den gesamten Lenkeinschlag.“ (SWR, Oktober 2005)

„Präzise, direkt und verbindlich wie ein fester Händedruck lässt die Lenkung nie Zweifel über das Geschehen zwischen Reifen und Piste aufkommen.“ (Auto Bild Februar 2002)

„Das Lenkgefühl ist satt und sämig“ (Auto-Motor-Sport, März 2008)

# Einleitung

## Beurteilung des Lenkverhaltens





# Analyse des Lenkverhaltens

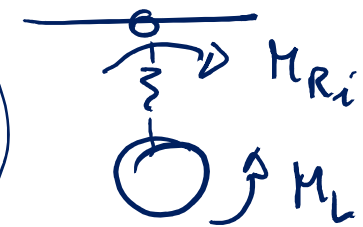
## Ermittlung des Lenkmomentes

Mit der Lenzgehebeübersetzung

$$s_{Ri} = i_{RiZS} u_{ZS}$$

gibt für das Moment am Lenzgehebeausgang  
( $i_{RiZS} = \text{const.}$ )

$$M_{Ri} = \frac{1}{i_{RiZS}} F_{ZS} \approx M_L \quad \left( \begin{array}{l} \text{ohne} \\ \text{Reibung} \\ \text{und Trägheit} \end{array} \right)$$



Somit

$$M_L \approx (F_{y_{ve}} + F_{y_{vr}}) \frac{(u_R + u_K)}{i_{RiZS} (a+b)}$$

$u_v$

$i_L$  Lenzübersetzung

# Analyse des Lenkverhaltens

## Zur Ermittlung der Lenkübersetzung $i_L$

Für die Lenkübersetzung  $i_L$  gilt

$$i_L = i_{RiZS} (a+b) = \frac{\delta_{Ri}}{\delta_V}$$

$a$  und  $b$  sind tatsächlich von  $\delta_V$  abhängig. Auch  $i_{RiZS}$  muss nicht notwendigerweise konstant sein (z.B. Direktlenkung Daimler). Dann gilt für die Winkelfunktion

$$\frac{\delta_{Ri}}{\delta_V} = i_L(\delta_V) \quad \text{bzw.} \quad \delta_{Ri} = i_L(\delta_V) \delta_V$$

und für die Winkelgeschwindigkeiten nach der Kettenregel

$$\frac{d\delta_{Ri}}{dt} = \frac{\partial i_L(\delta_V)}{\partial \delta_V} \frac{\partial \delta_V}{\partial t} \delta_V + i_L(\delta_V) \frac{\partial \delta_V}{\partial t} \Rightarrow i_{L\omega} = \frac{\dot{\delta}_{Ri}}{\dot{\delta}_V} = \frac{\partial i_L(\delta_V)}{\partial \delta_V} \delta_V + i_L(\delta_V)$$

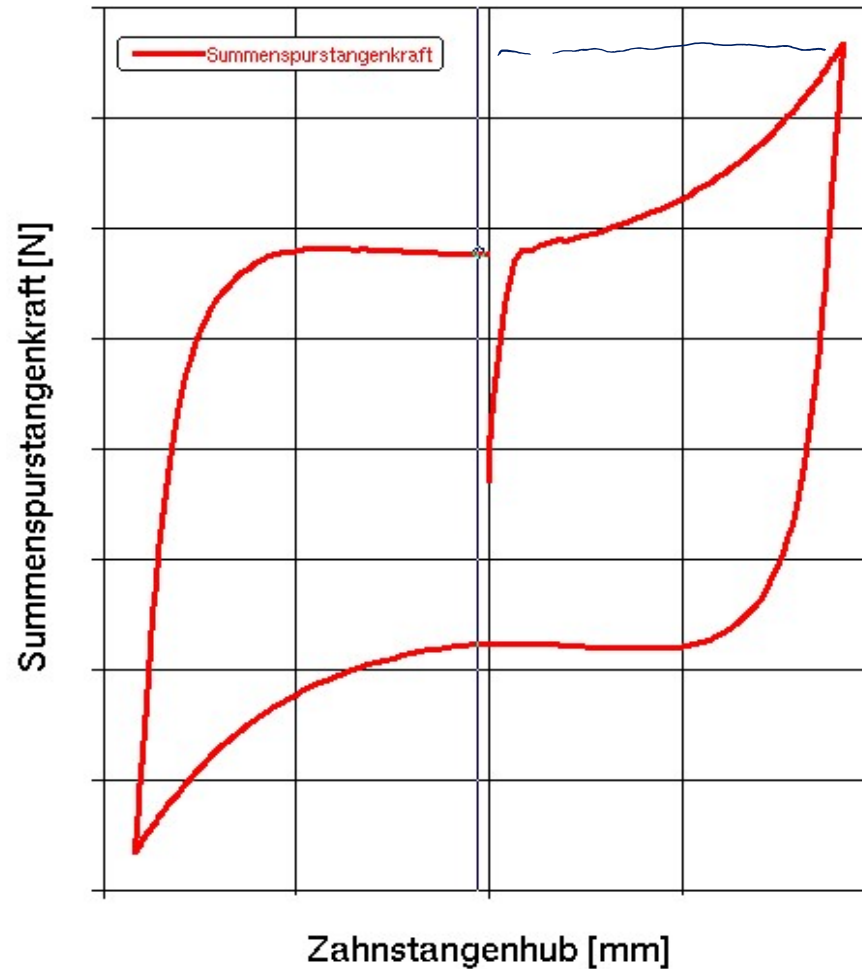


# Analyse des Lenkverhaltens

## Lenkkraftniveau und Lenkkraftverlauf

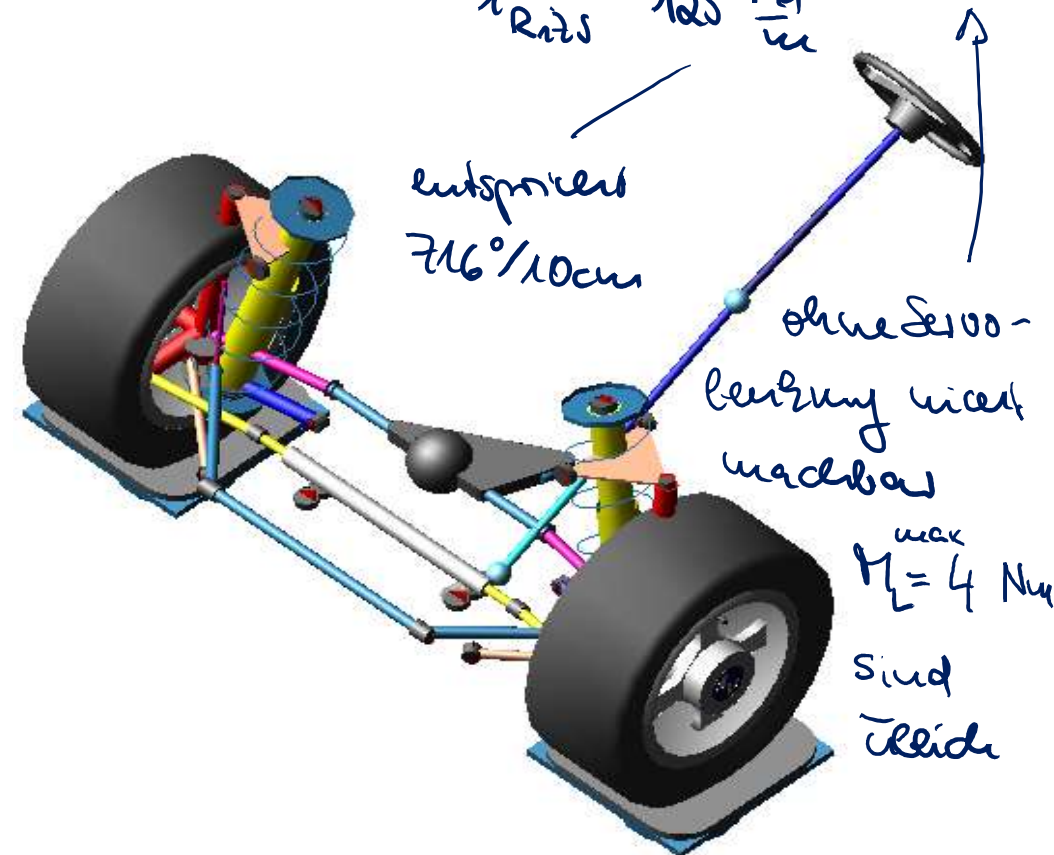
### Beispiel Parkieren

Mittelklasse:  $\sim 1092\text{ N}$



Maximales Handmoment

$$M_L^{\max} = \frac{F_{ZS}^{\max}}{r_{ZS}} = \frac{1092\text{ N}}{125 \frac{\text{cm}}{\text{rad}}} = 80\text{ Nm}$$



# Analyse des Lenkverhaltens

## Lenkkraftniveau und Lenkkraftverlauf

### Beispiel stationäre Kreisfahrt

Für das Handmoment gilt

$$M_L = \frac{F_{yv} \cdot l_v}{i_L} \quad \text{nimmt ab, wenn VA seitlich mischt. wäre wünschenswert zu spüren.}$$

Aus den Beziehungen für das lin. RSM folgt bei stationärer Kreisfahrt

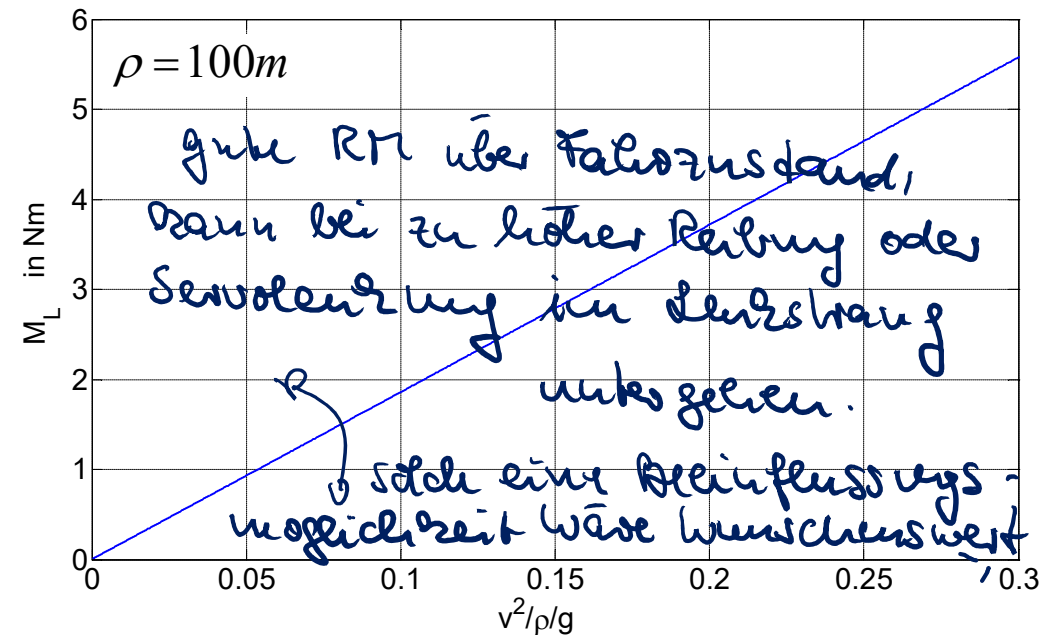
$$\left. \begin{aligned} \frac{mv^2}{g} &= F_{yv} + F_{yL} \\ F_{yv} l_v &= F_{yL} l_L \end{aligned} \right\} \frac{mv^2}{g} = F_{yL} \left( 1 + \frac{l_v}{l_L} \right)$$

bzw.

$$F_{yL} = F_{yv} \frac{l_v}{l_L}$$

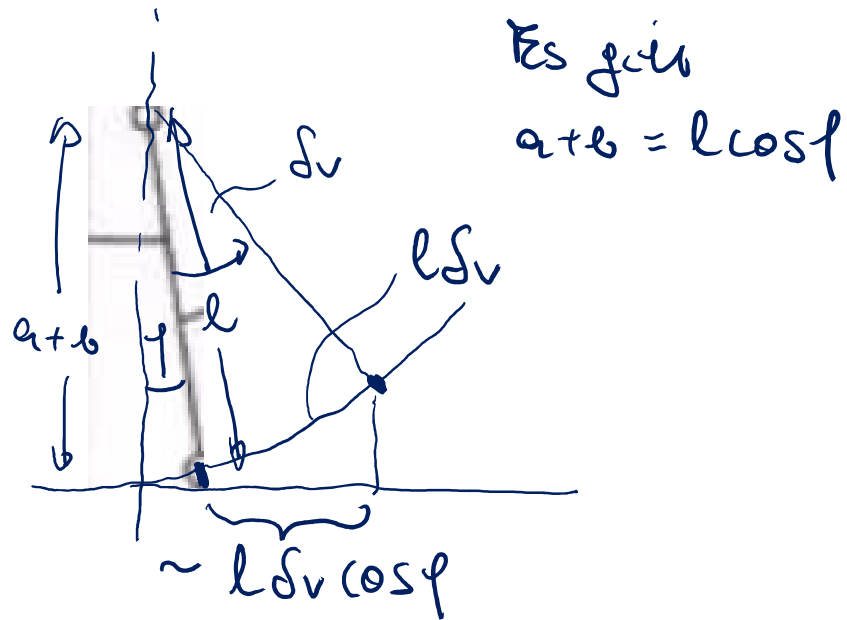
Somit

$$M_L = \frac{l_L}{l} \frac{l_v}{i_L} m v \frac{v^2}{g}$$



# Analyse des Lenkverhaltens

## Lenkwinkelbedarf



Somit ist

$$u_{zs} \approx (a+b) \delta_v$$

und es folgt  $i_L$

$$\delta_{Ri} = i_{Ri:zs} (a+b) \delta_v$$

Weiterhin gilt

$$M_L = C_{DS} (\delta_L - \delta_{Ri})$$

$$\Leftrightarrow \delta_L = \delta_{Ri} + \frac{M_L}{C_{DS}}$$

$$\delta_L = i_L \delta_v + \frac{M_L}{C_{DS}}$$

Beeinflussungsmöglichkeit wäre  
wünschenswert

# Analyse des Lenkverhaltens

## Lenkwinkelbedarf

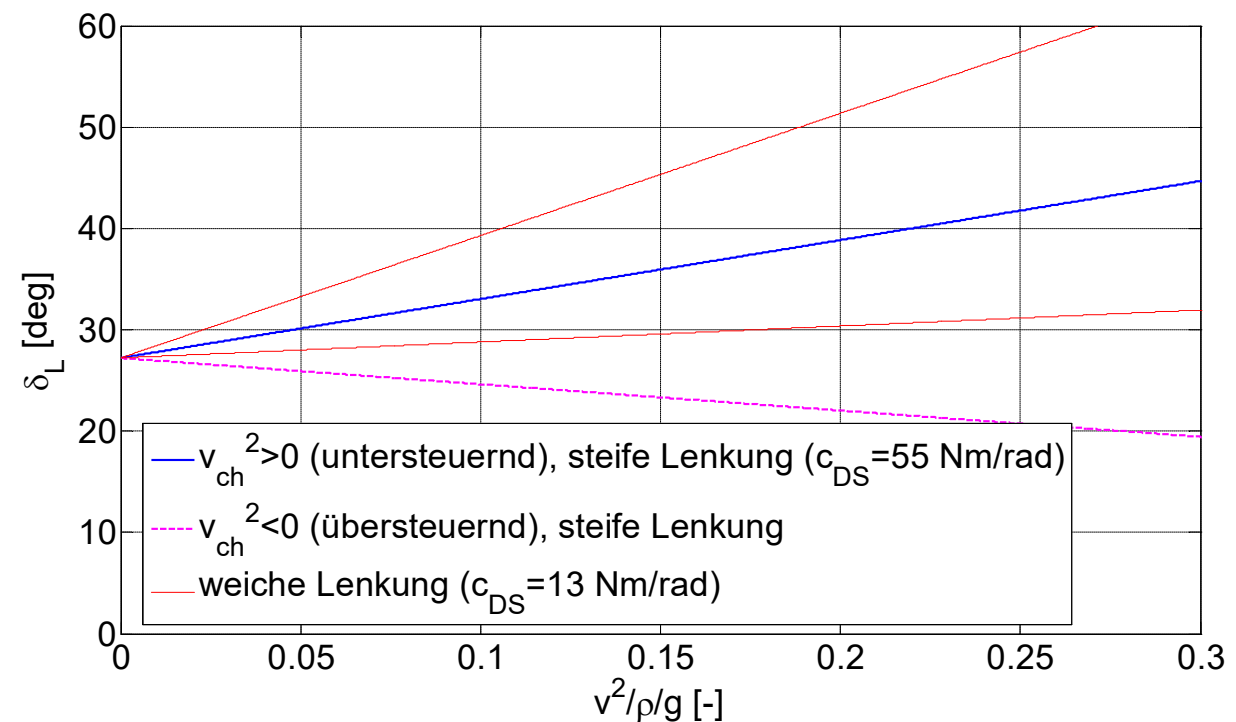
### Beispiel stationäre Kreisfahrt

$$\delta_L = i_L \frac{l}{\rho} + i_L \frac{l}{v_{ch}^2} \frac{v^2}{\rho}$$

mit

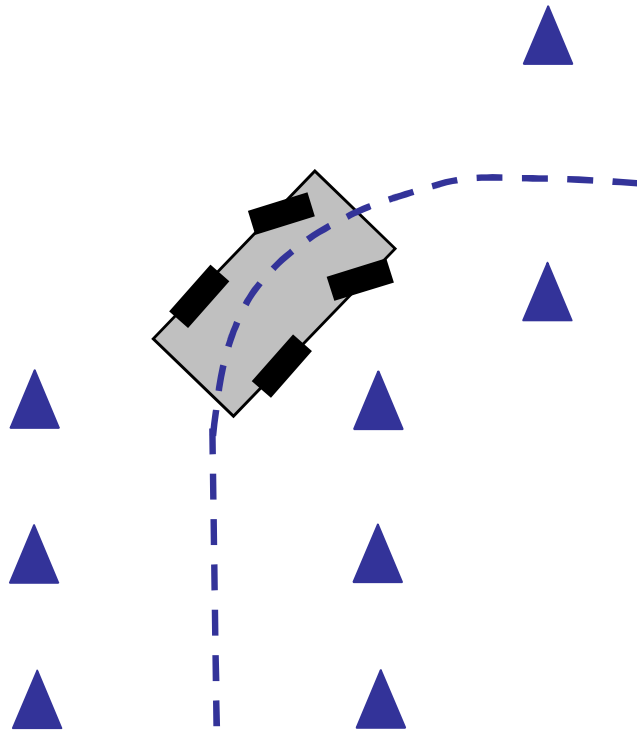
$$v_{ch}^2 = \frac{c'_{\alpha v} c_{\alpha h} l^2}{m(c_{\alpha h} l_h - c'_{\alpha v} l_v)}$$

$$\frac{1}{c'_{\alpha v}} = \frac{1}{c_{\alpha v}} + \frac{n_V}{c_{DS} i_L^2}$$



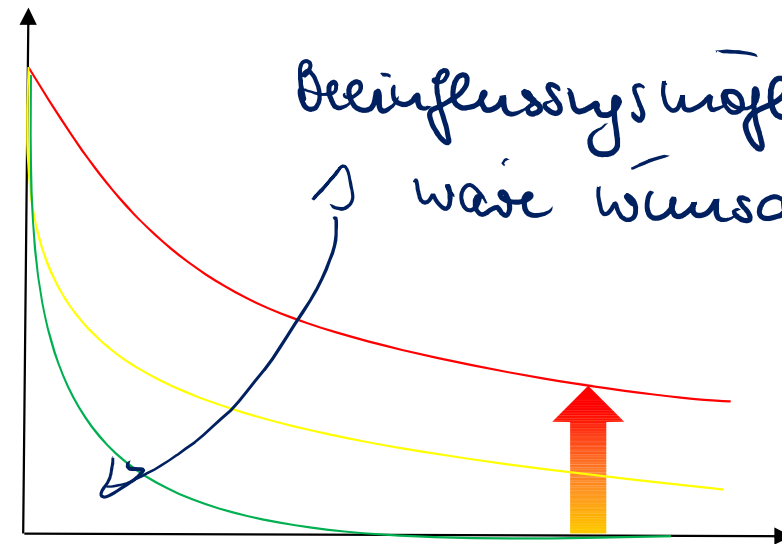
# Analyse des Lenkverhaltens

## Lenkungsrückstellung



$$M_L = \frac{l_{tr}}{l} \frac{m v^2}{i_L} \frac{v^2}{g} + \text{„Pendeleffekt“}$$

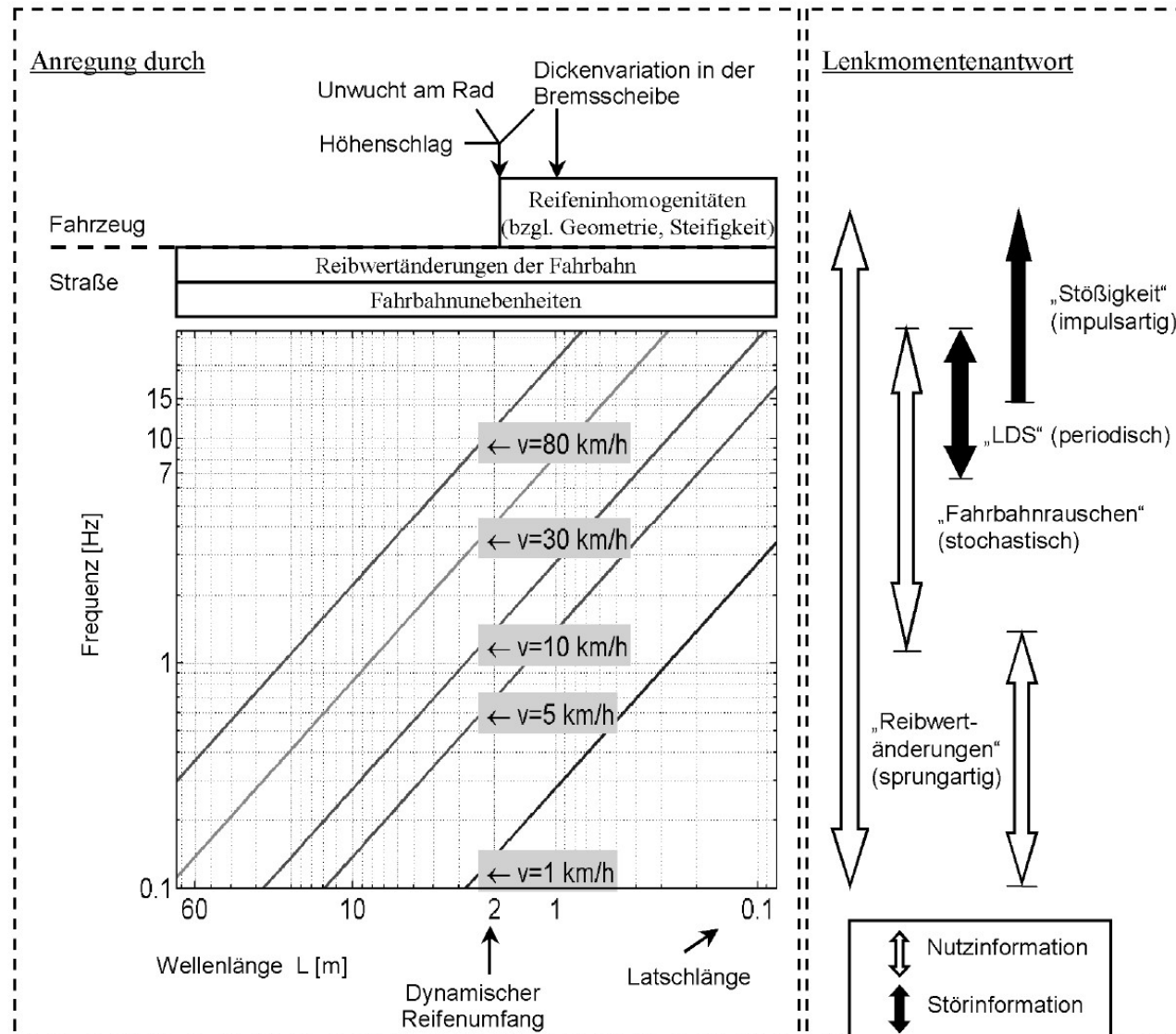
Lenkwinkel [Grad]



Zeit [s]

# Analyse des Lenkverhaltens

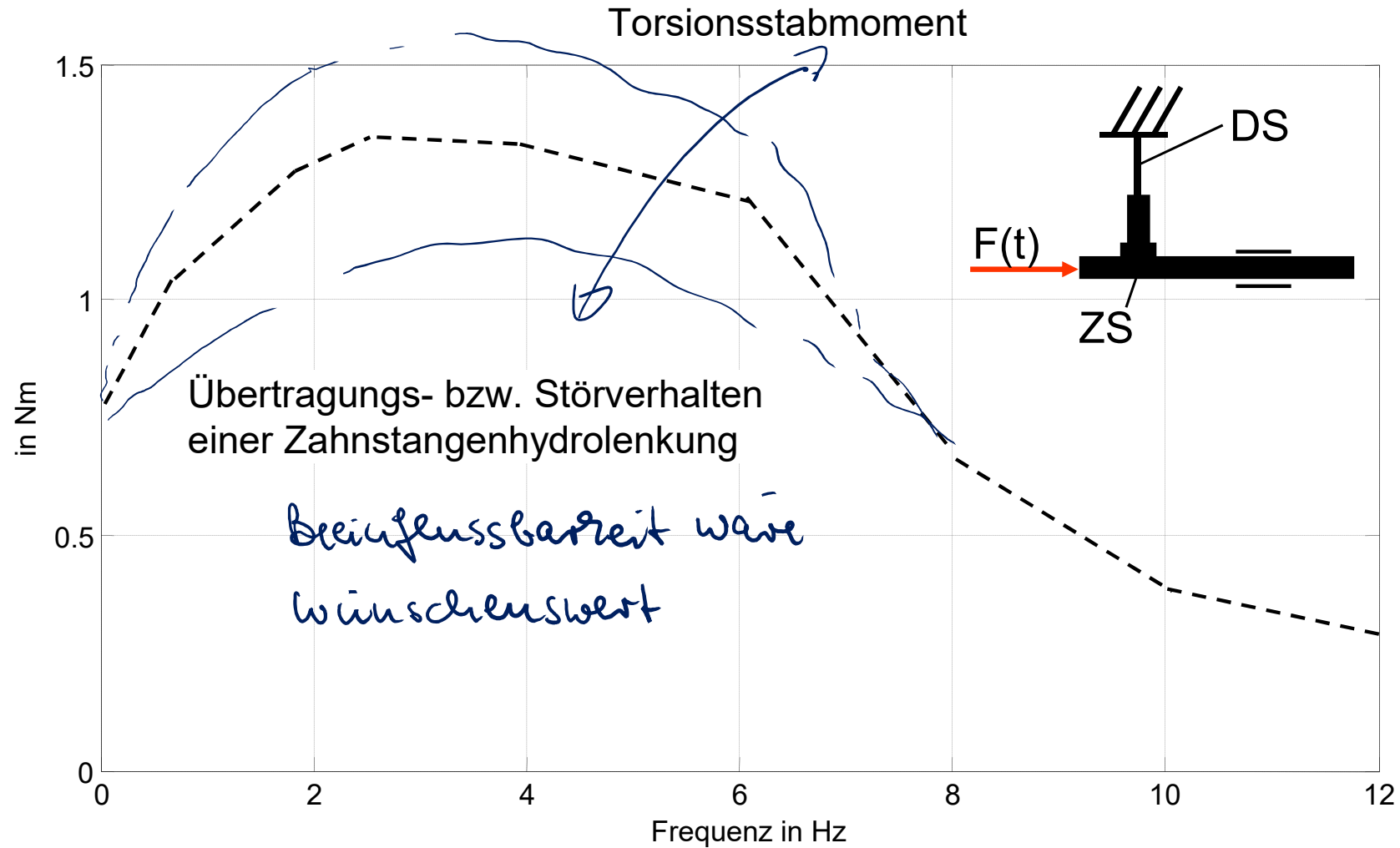
## Lenkungsrückmeldung (Stör- und Nutzinfo)



$$f = \frac{v}{L}$$

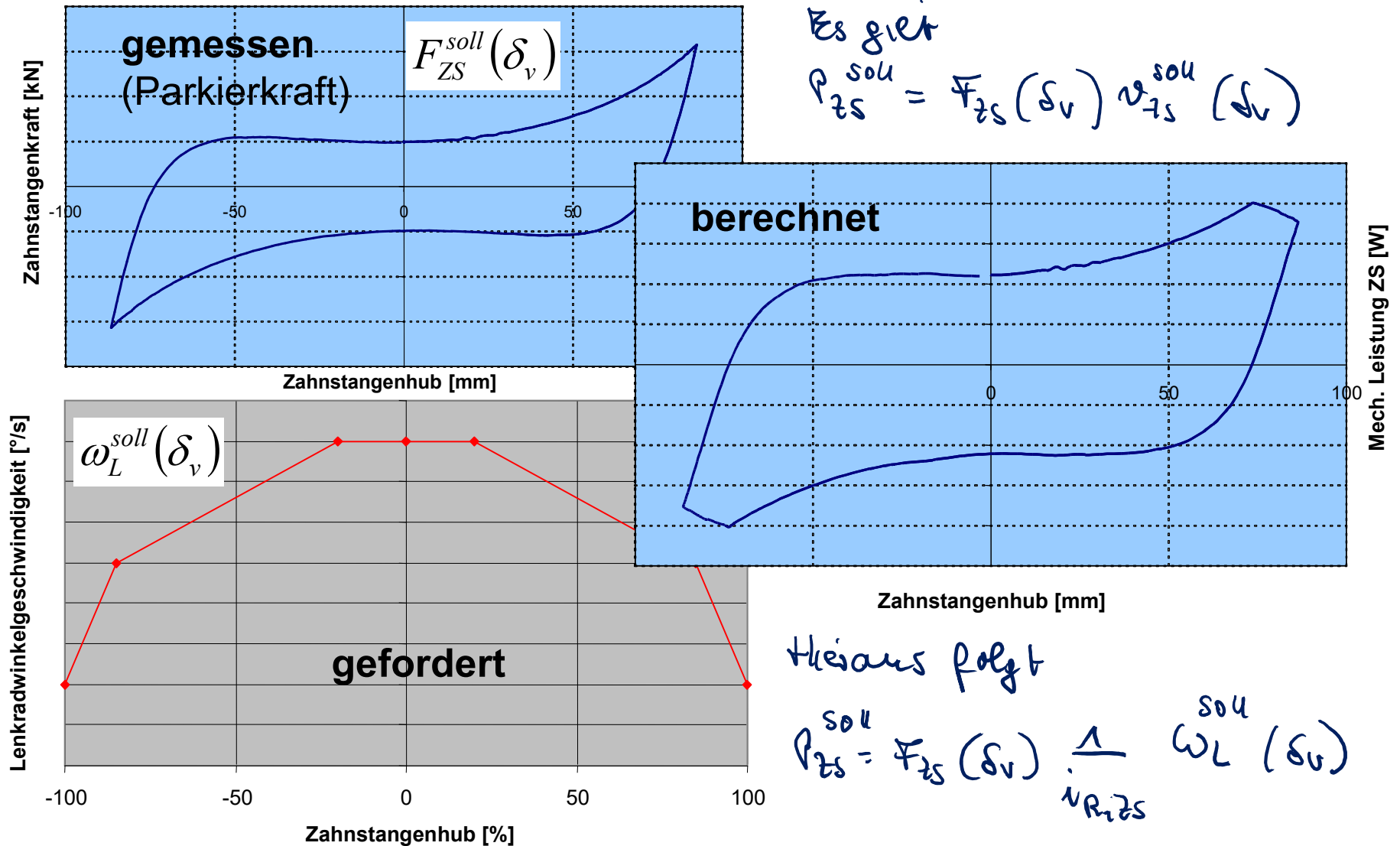
# Analyse des Lenkverhaltens

## Lenkungsrückmeldung (Stör- und Nutzinfo)



# Analyse des Lenkverhaltens

## Maximale Lenkwinkelgeschwindigkeit

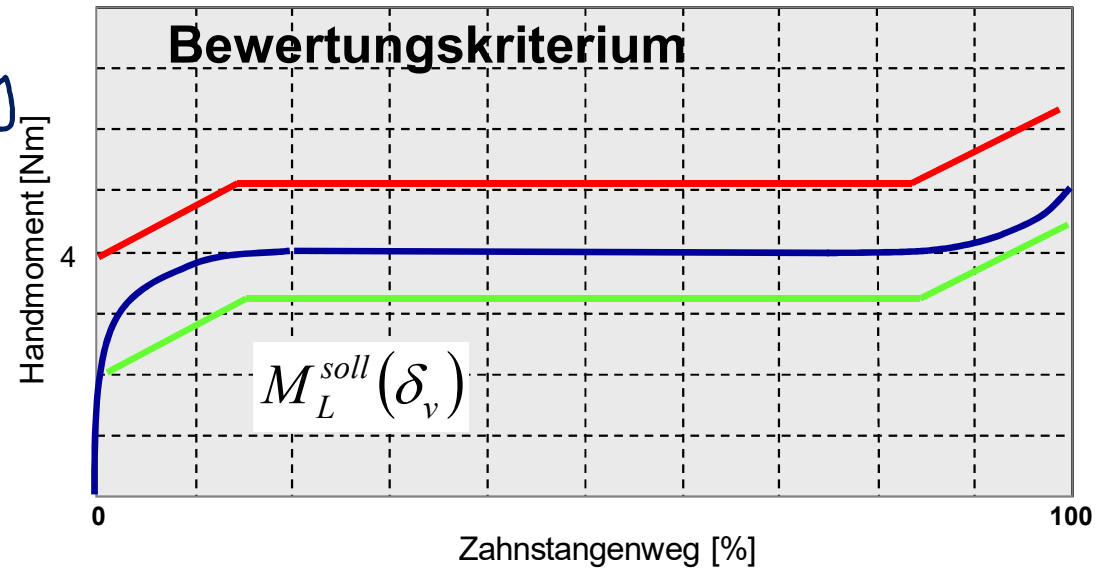
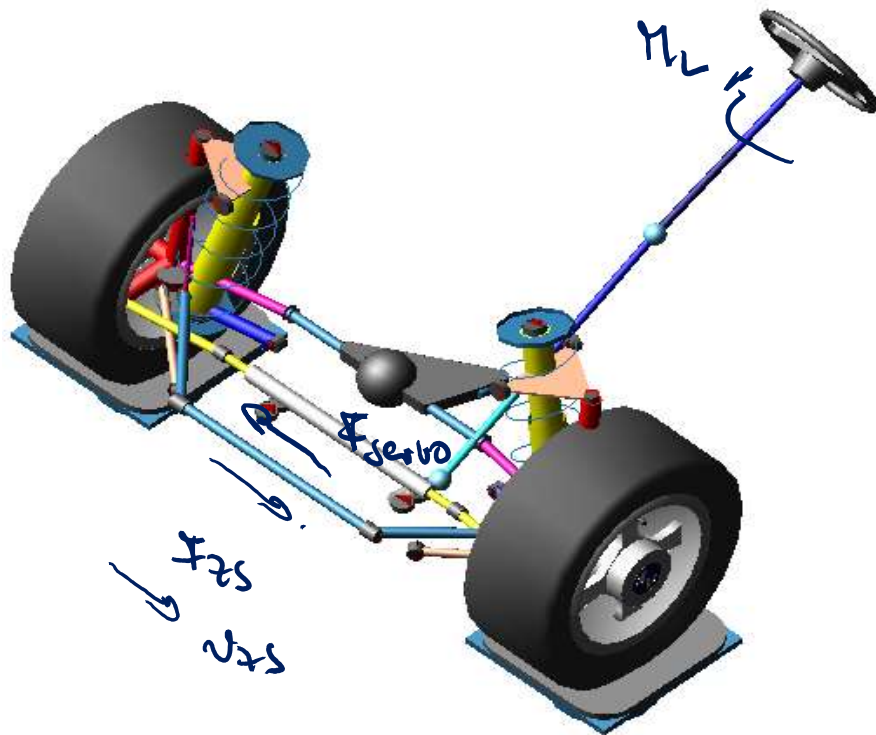




# Analyse des Lenkverhaltens

## Maximale Lenkwinkelgeschwindigkeit

Für die geforderte Servounterstützung  
gilt

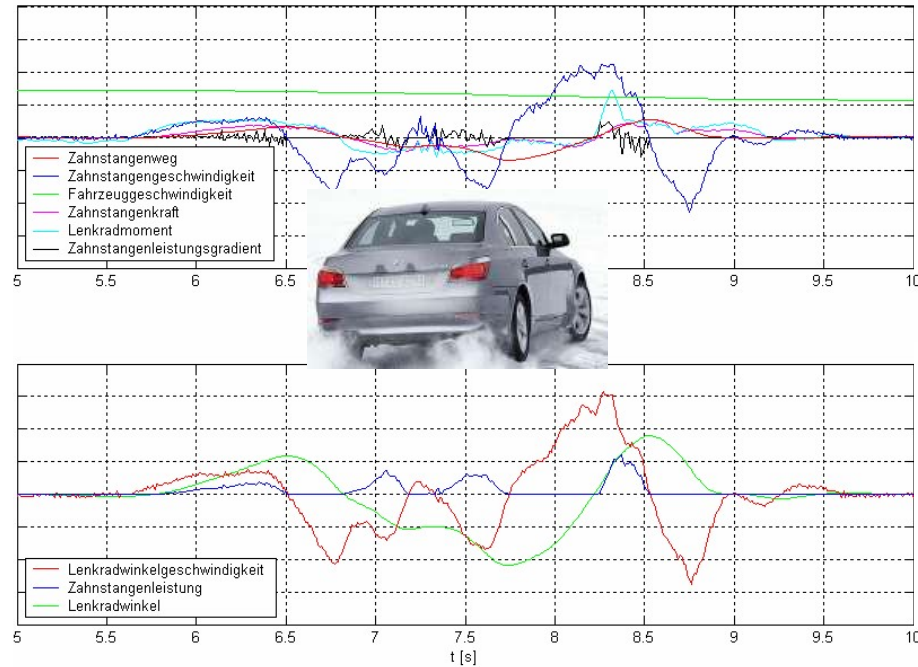
$$F_{\text{Servo}} = F_{\text{ZS}}^{\text{soll}} - i_{RiZS} \cdot M_L^{\text{soll}}(\delta_v)$$


$$F_{\text{Servo}}^{\text{soll}} = F_{\text{ZS}}^{\text{soll}}(\delta_v) - i_{RiZS} M_L^{\text{soll}}(\delta_v)$$

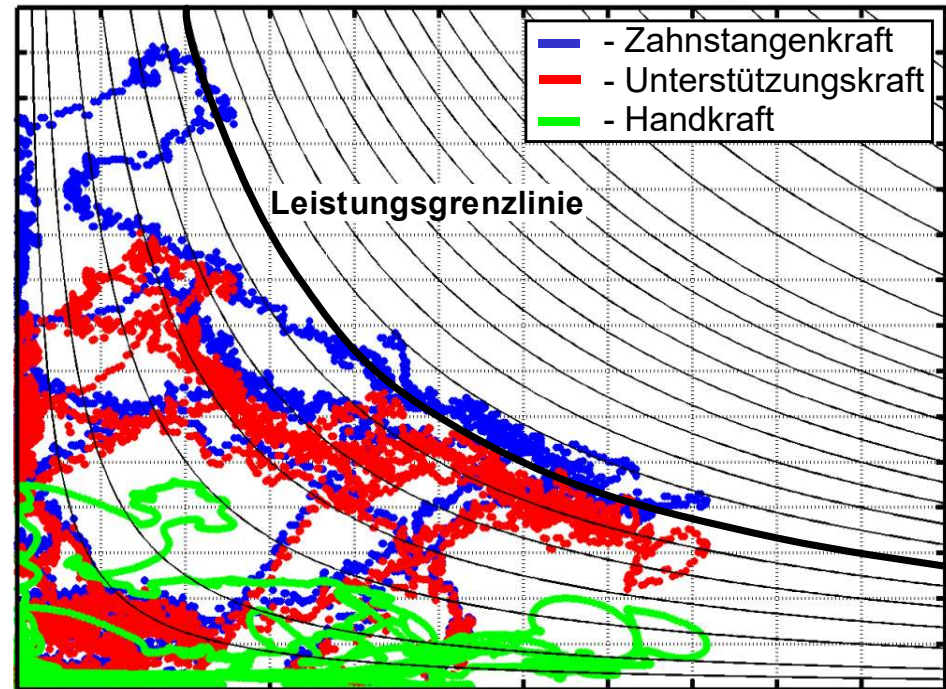
$$v_{ZS}^{\text{soll}} = \frac{1}{i_{RiZS}} \omega_L^{\text{soll}}(\delta_v)$$

# Analyse des Lenkverhaltens

## Maximale Lenkwinkelgeschwindigkeit



Zahnstangenkräfte vs. Zahnstangengeschwindigkeit

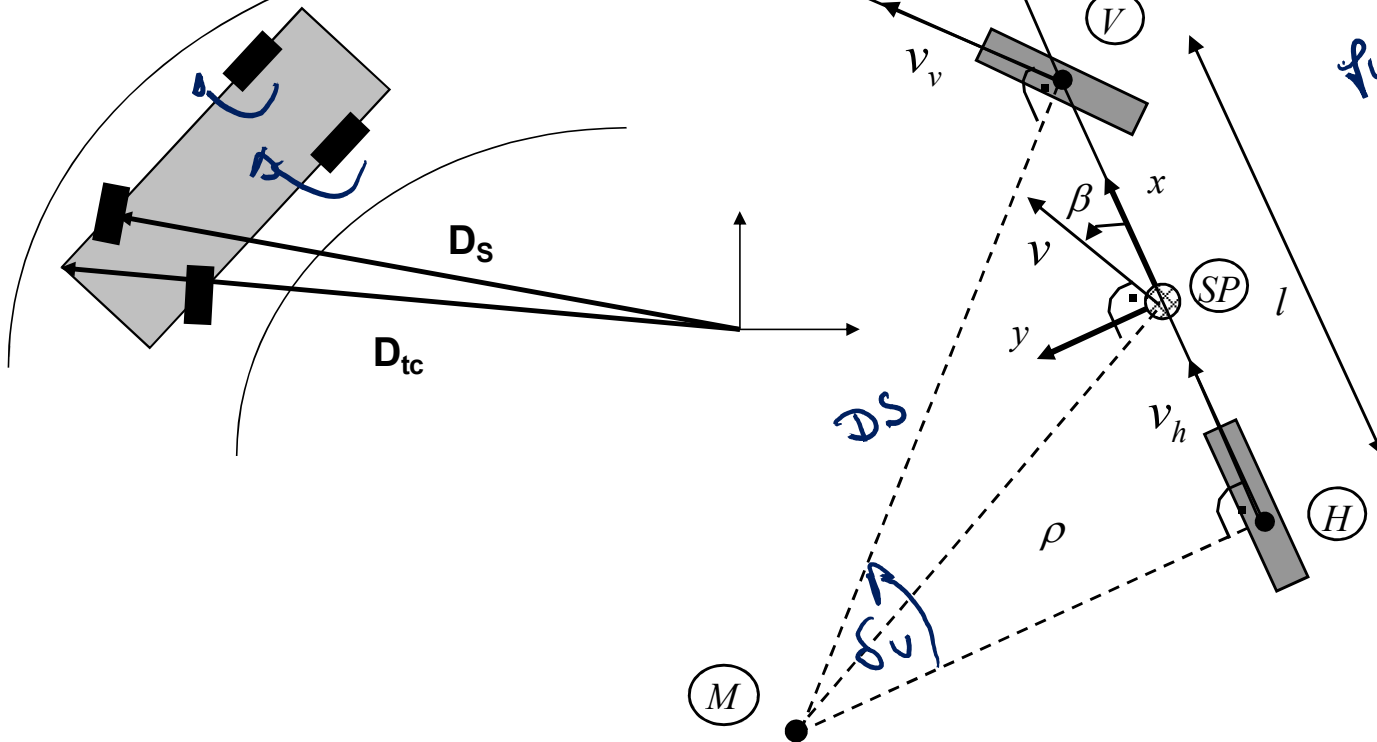


# Analyse des Lenkverhaltens

## Wendekreis

### Abschätzung über das Einspurmodell

Beeinflussungsmöglichkeit  
wäre wünschenswert



Bei langsamer Kreisfahrt  
ohne Seitenkräfte gilt  
für den Spurekreis des EST

$$D_s \sin \delta_v = l$$

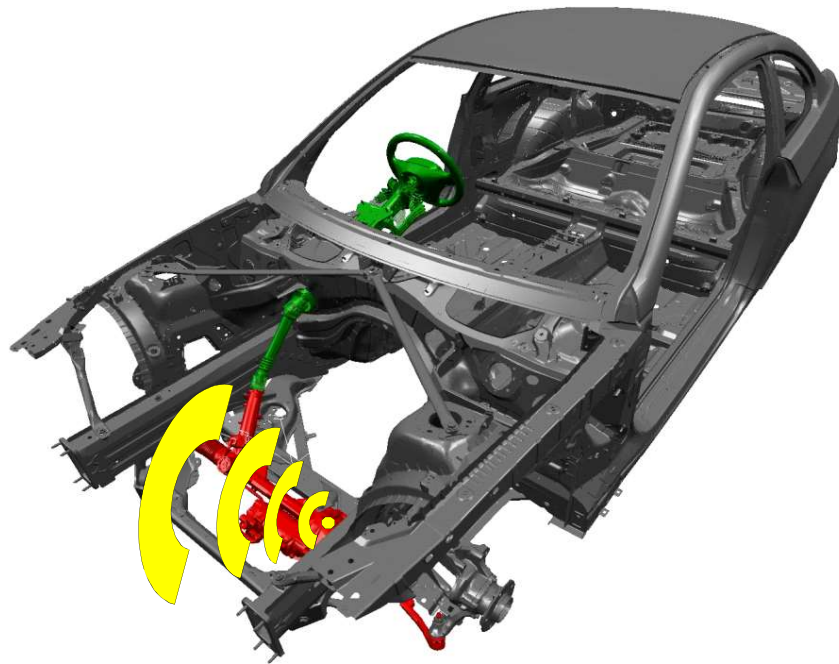
$$D_{smin} = \frac{l}{\sin \delta_{vmax}}$$

Radstand

Begrenzt durch Geometrie  
des Radkastens

# Analyse des Lenkverhaltens

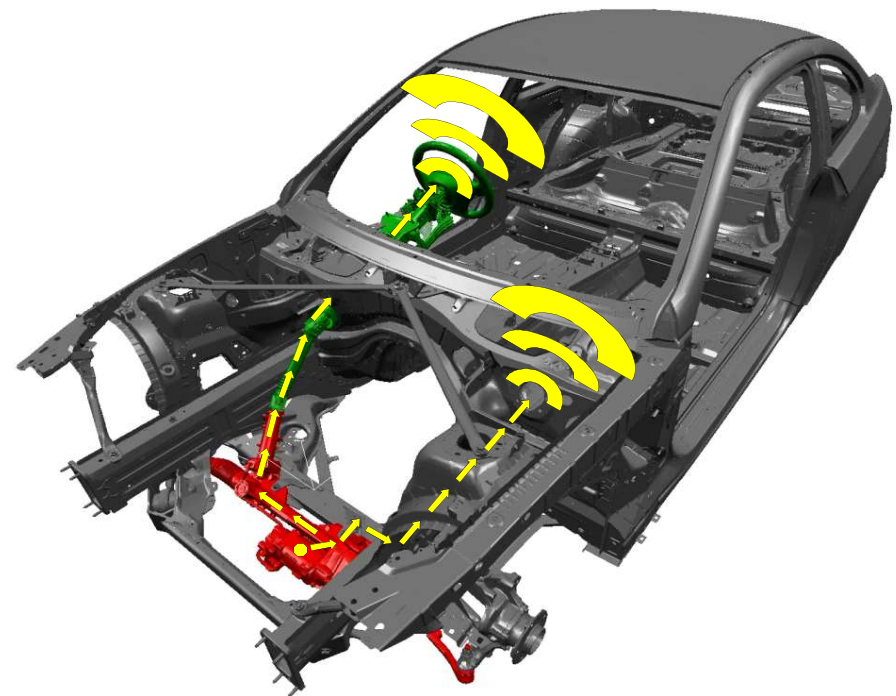
## Lenkungsakustik



### Luftschall

*Quelle:* Lenkung

*Hörbar abstrahlendes Medium:* Lenkung



### Körperschall

*Quelle:* Lenkung

*Hörbar abstrahlendes Medium:* Lenkrad,  
Karosserie, Instrumententafel

# **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

# Analyse des Lenkverhaltens

## Lenkwinkelbedarf

### Beispiel stationäre Kreisfahrt - Interpretation

$$\delta_L = i_L \frac{l}{\rho} + i_L \frac{l}{v_{ch}^2} \frac{v^2}{\rho}$$

mit

$$v_{ch}^2 = \frac{c'_{\alpha v} c_{\alpha h} l^2}{m(c_{\alpha h} l_h - c'_{\alpha v} l_v)}$$

$$\frac{1}{c'_{\alpha v}} = \frac{1}{c_{\alpha v}} + \frac{n_V}{c_{DS} i_L^2}$$

