

Fahrzeugregelung

Antriebskraftverteilung



Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller

M.Sc. Osama Al-Saidi

Fachgebiet Kraftfahrzeuge • Technische Universität Berlin

Einleitung

Ziele der Antriebskraftverteilung

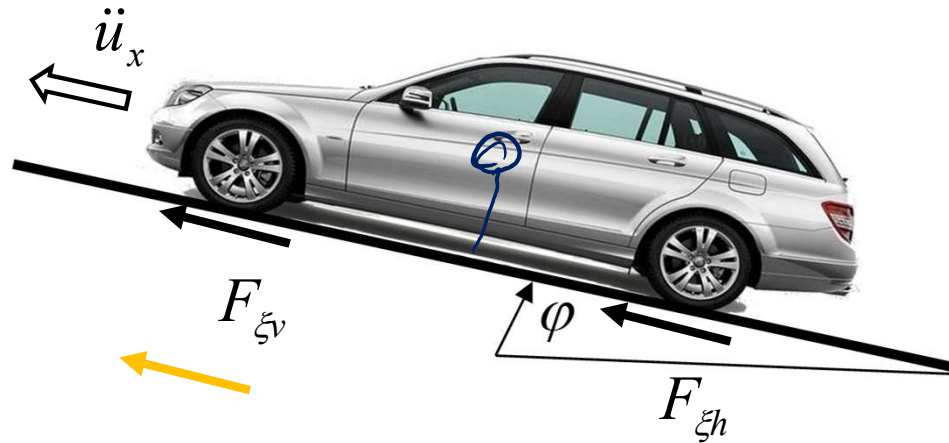
Über eine **Antriebskraftverteilung** kann das Antriebsmoment **variabel** zwischen **links und rechts** sowie **vorne und hinten** verteilt werden.

Hierdurch können die folgenden **fahrdynamischen Ziele** erreicht werden:

- Verbesserung **Traktion** an **Steigungen**
- Verbesserung **Traktion** in μ -**low** und μ -**Split** Situationen
- Verbesserung **Traktion** beim **Beschleunigen aus enger Kurve**
- Verminderung **Beschleunigungsuntersteuern**
- Verbesserung des **Anlenkverhaltens**
- Steigerung der **maximalen Querschleunigung**
- Umsetzung einer **Gierratenregelung**
- Beeinflussung der **Lastwechselreaktion**
- Beeinflussung des **Eigenlenkverhaltens**

Ziele der Antriebskraftverteilung

Traktion an Steigungen

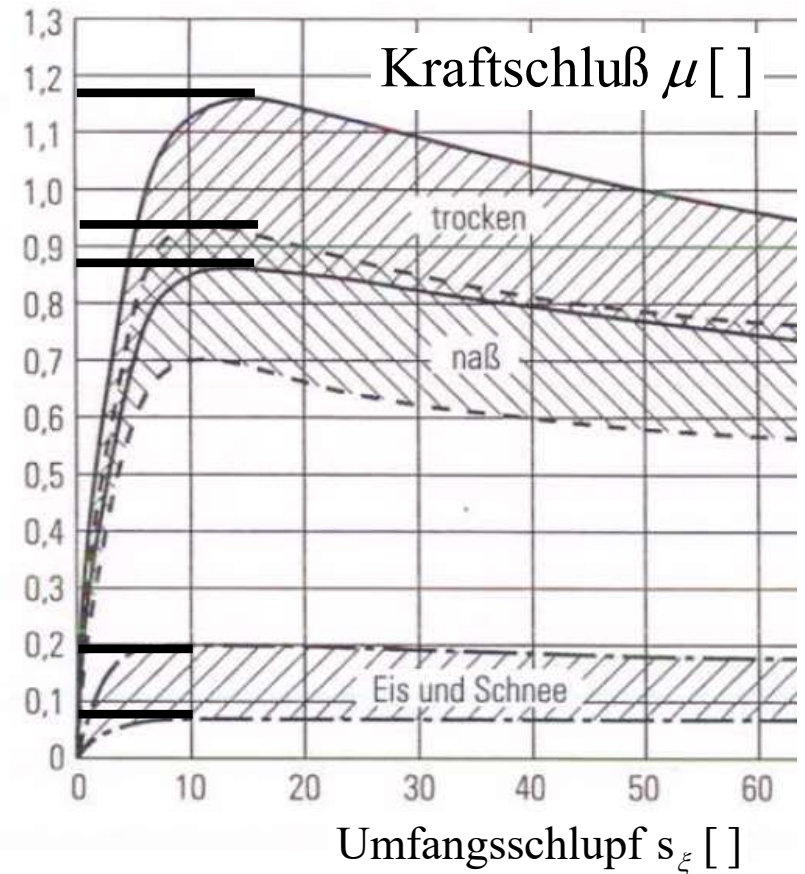


ohne Antriebskraftverteilung (Vorderradantrieb)

Ausnutzung des **maximal möglichen** Traktionspotenzials **an allen Rädern**.

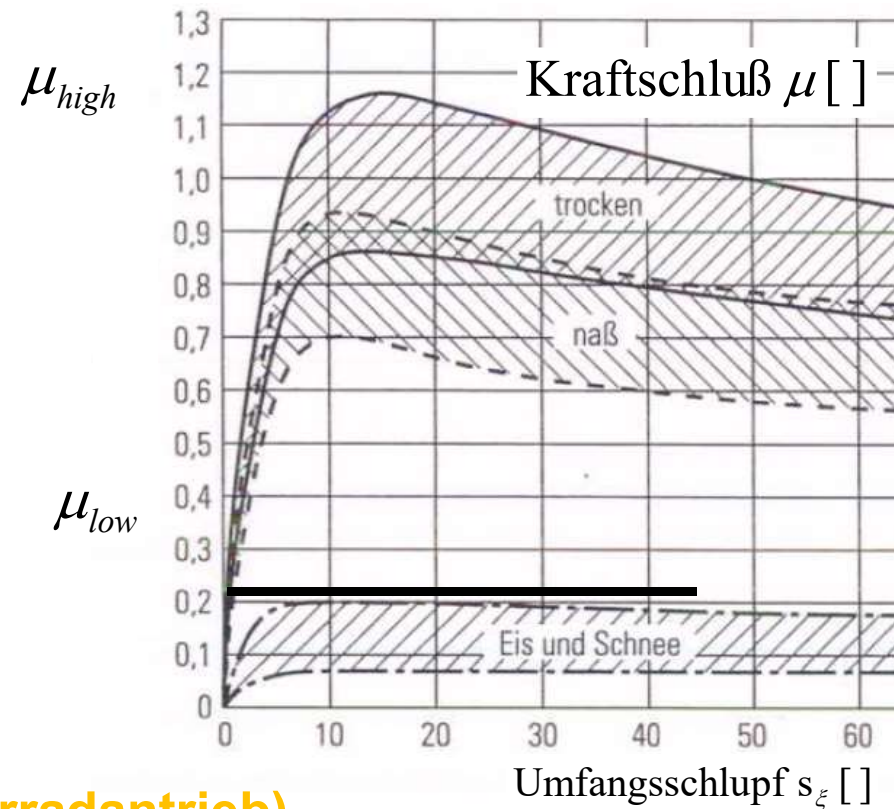
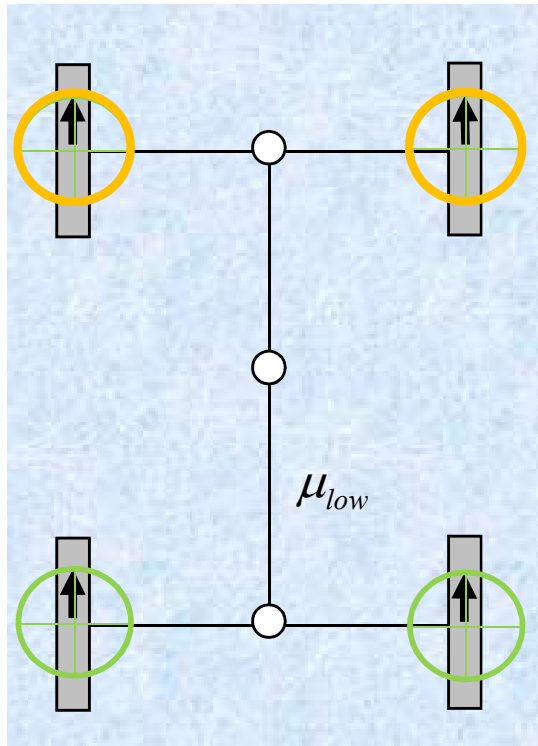
$$F_{\xi v} = N_{\xi v} \mu \quad \text{und} \quad F_{\xi h} = N_{\xi h} \mu, \quad \text{mit}$$

$$N_{\xi h} = N_{\xi v}$$



Ziele der Antriebskraftverteilung

Traktion in μ -low und μ -Split Situationen

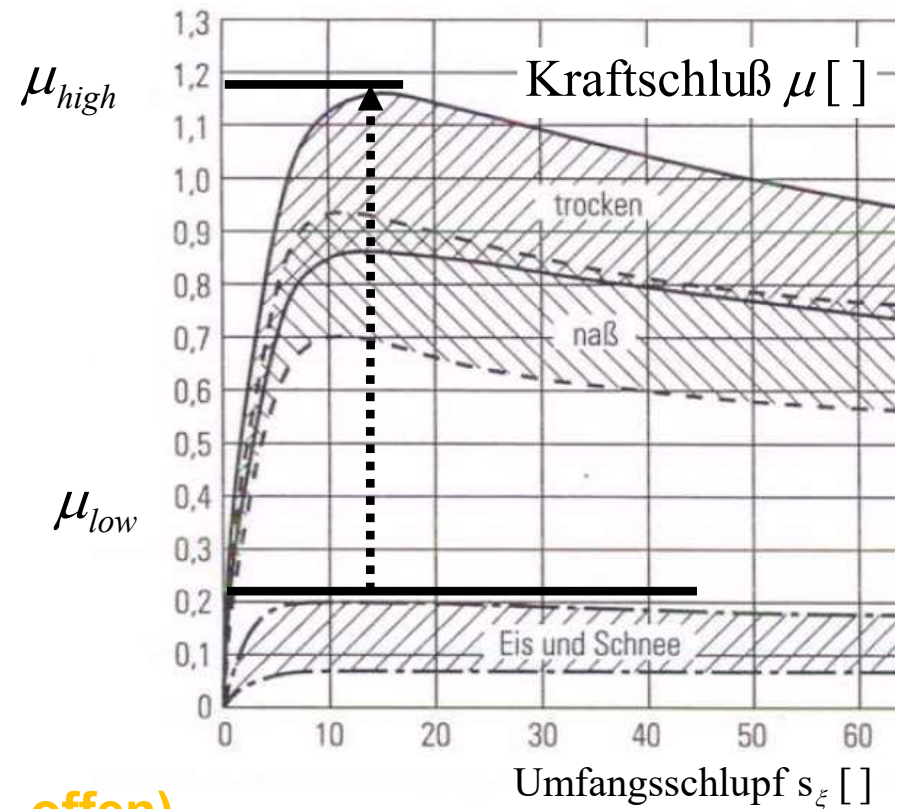
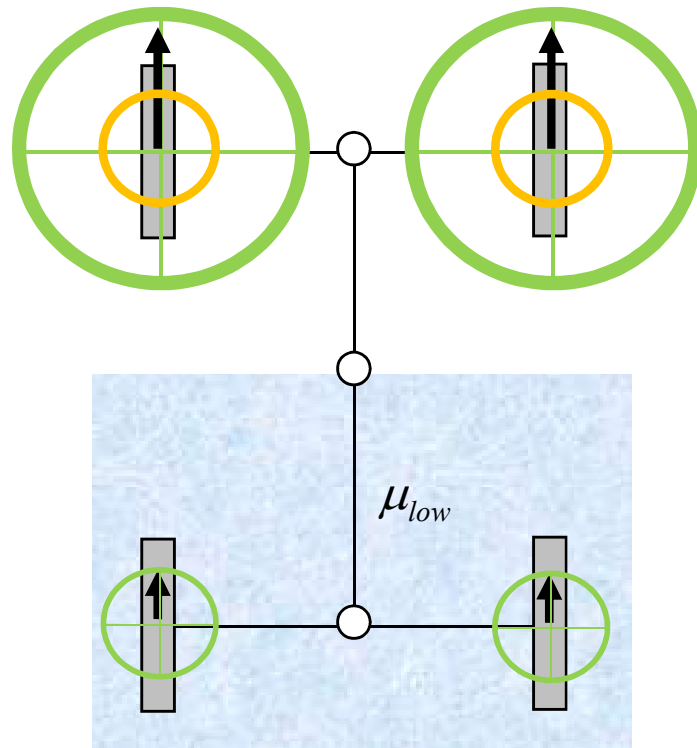


ohne Antriebskraftverteilung (Vorderradantrieb)

Ausnutzung des maximal möglichen Traktionspotenzials an allen Rädern bei μ -low ...

Ziele der Antriebskraftverteilung

Traktion in μ -low und μ -Split Situationen

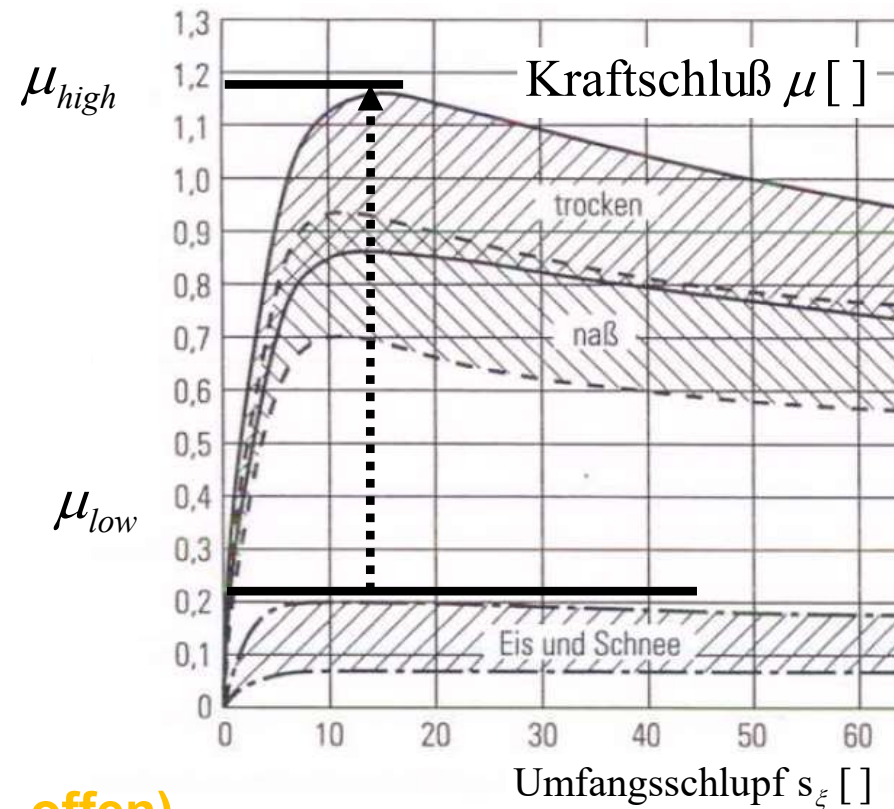
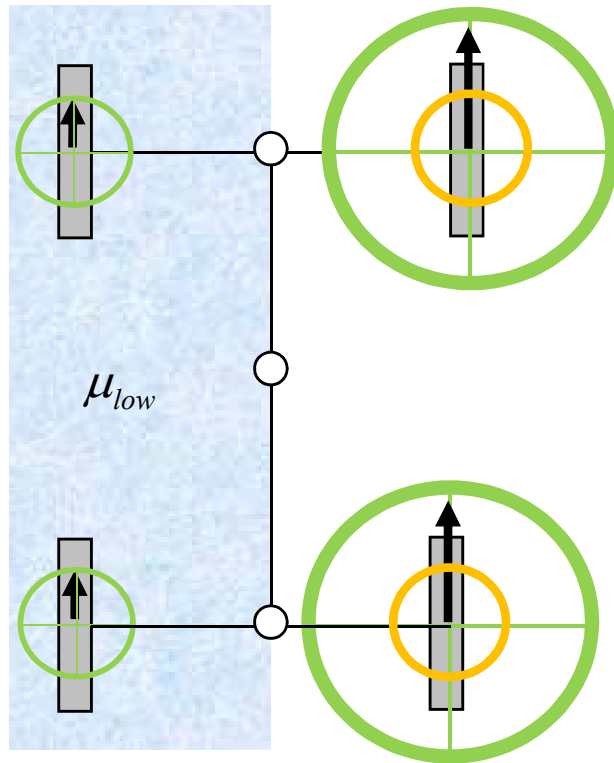


ohne Antriebskraftverteilung (Allrad, offen)

Ausnutzung des maximal möglichen Traktionspotenzials an allen Rädern bei μ -low, μ -Split vorne-hinten (μ -Sprung)...

Ziele der Antriebskraftverteilung

Traktion in μ -low und μ -Split Situationen

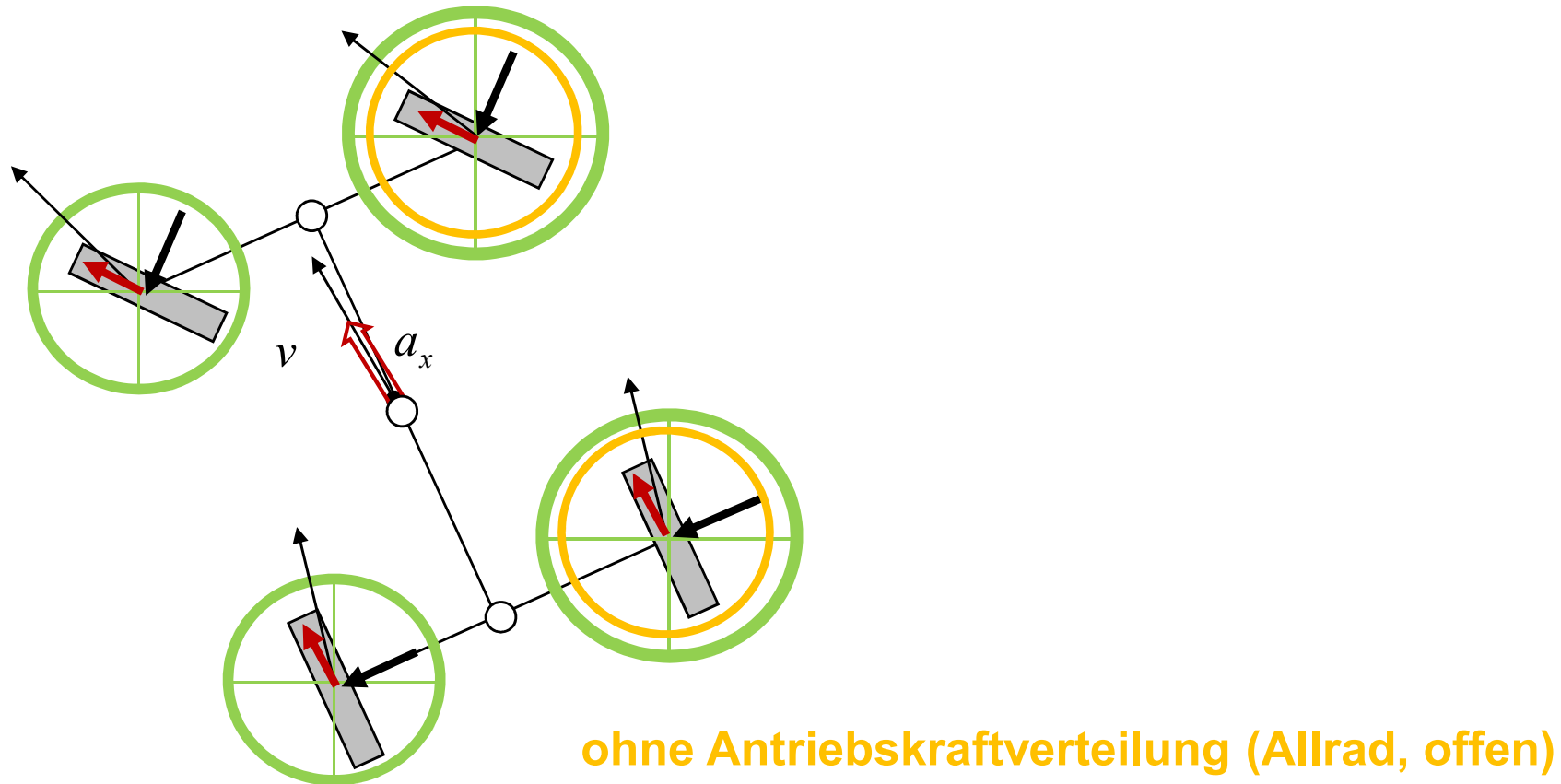


ohne Antriebskraftverteilung (Allrad, offen)

Ausnutzung des maximal möglichen Traktionspotenzials an allen Rädern bei μ -low, μ -Split vorne-hinten und μ -Split links-rechts.

Ziele der Antriebskraftverteilung

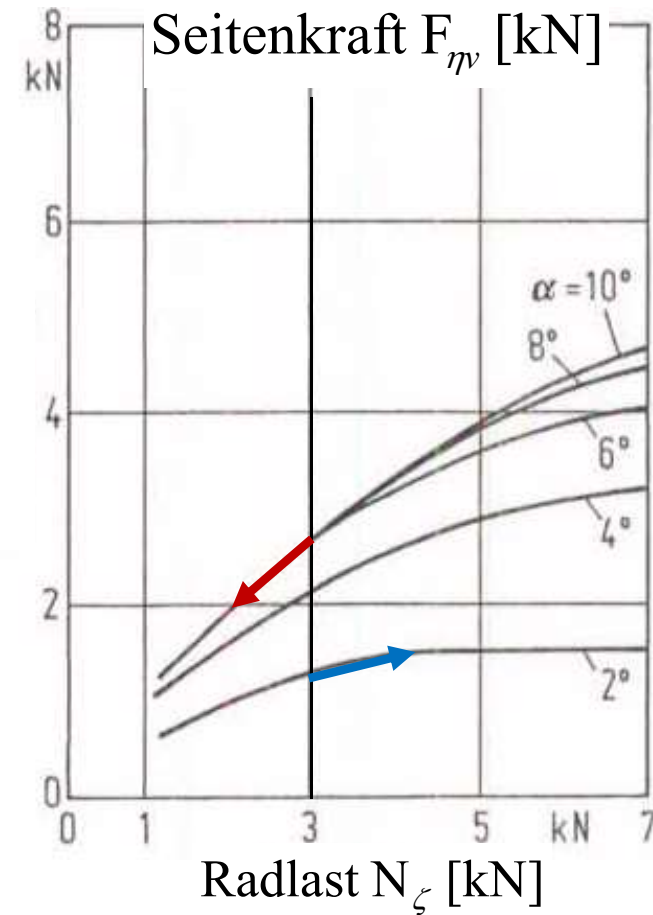
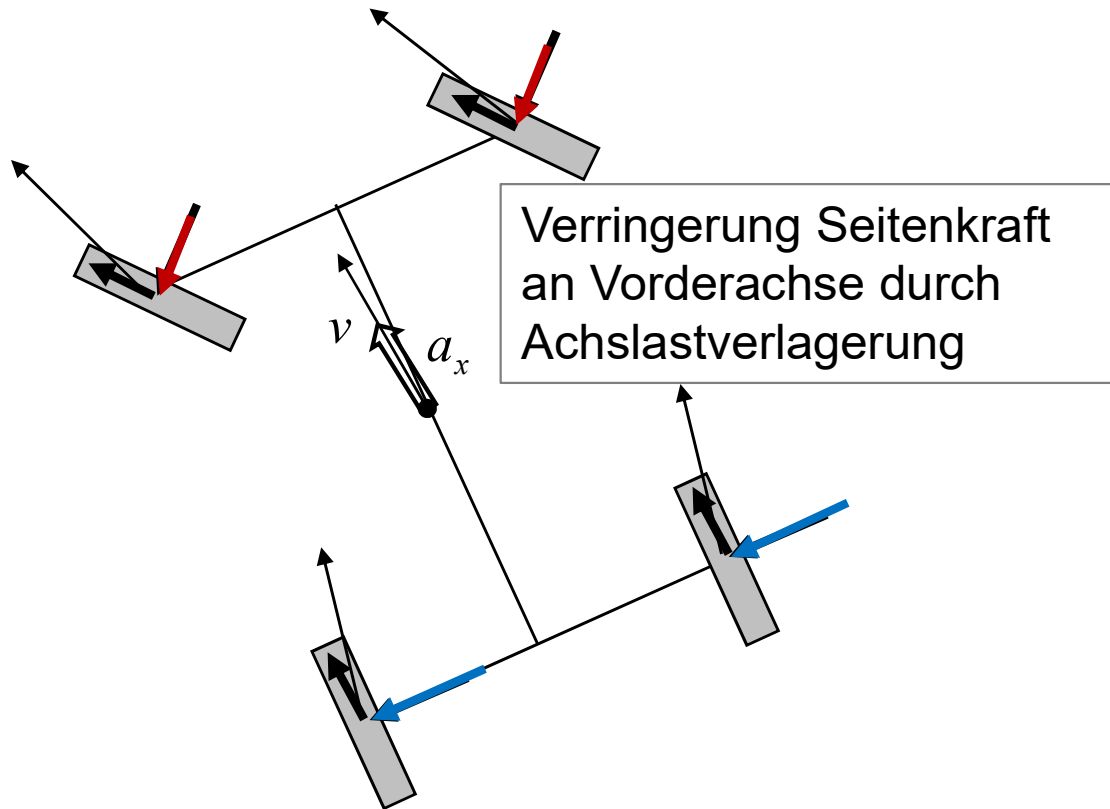
Traktion beim Beschleunigen aus enger Kurve



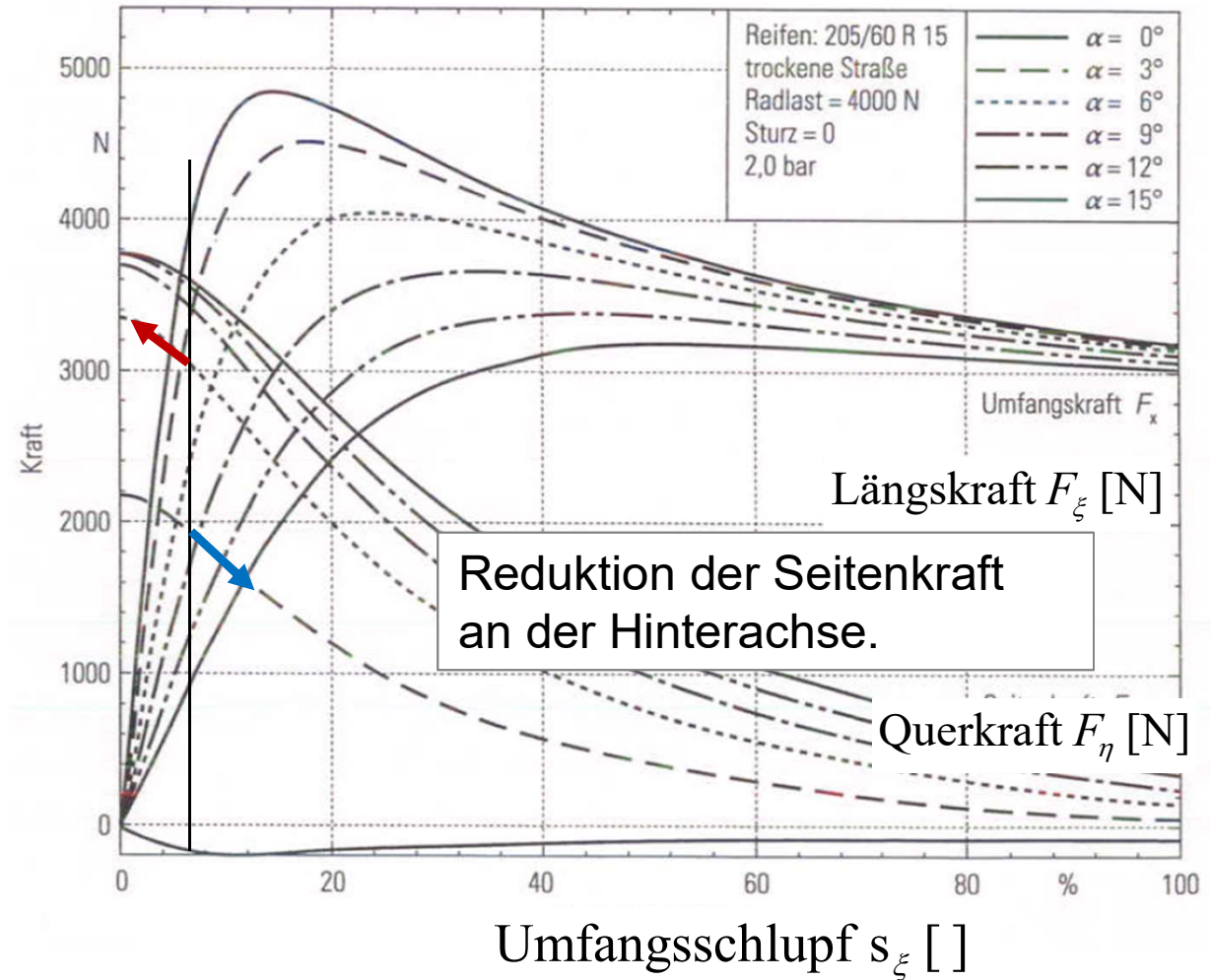
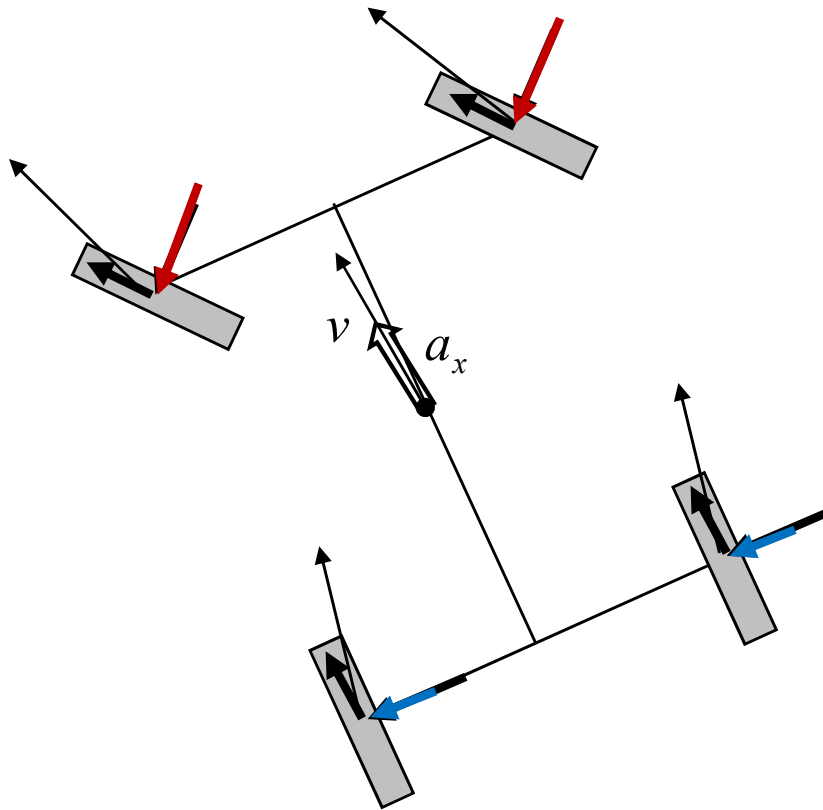
Nutzung des **Traktionspotenzials**
der **äußeren Räder**.

Ziele der Antriebskraftverteilung

Beschleunigungsuntersteuern



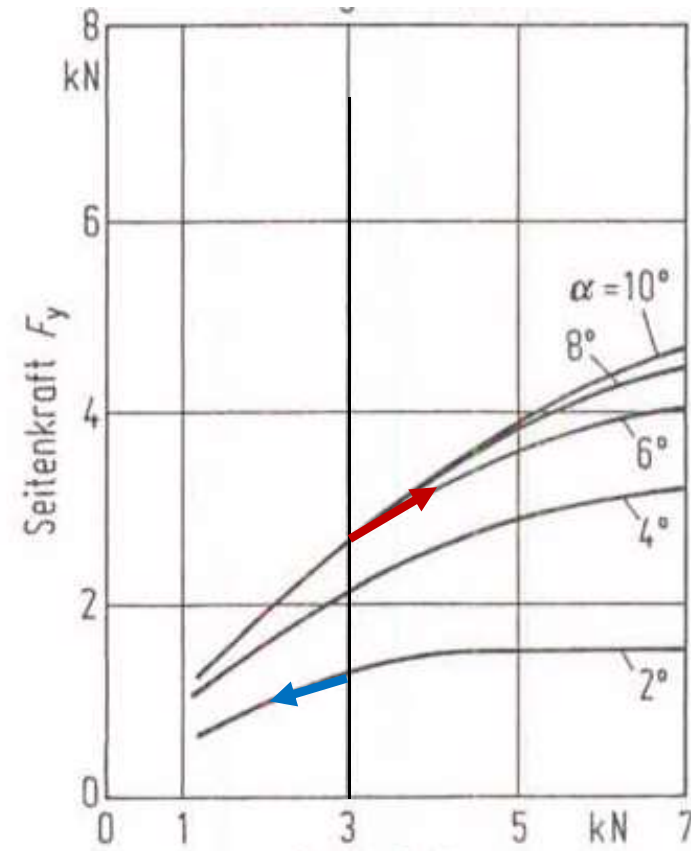
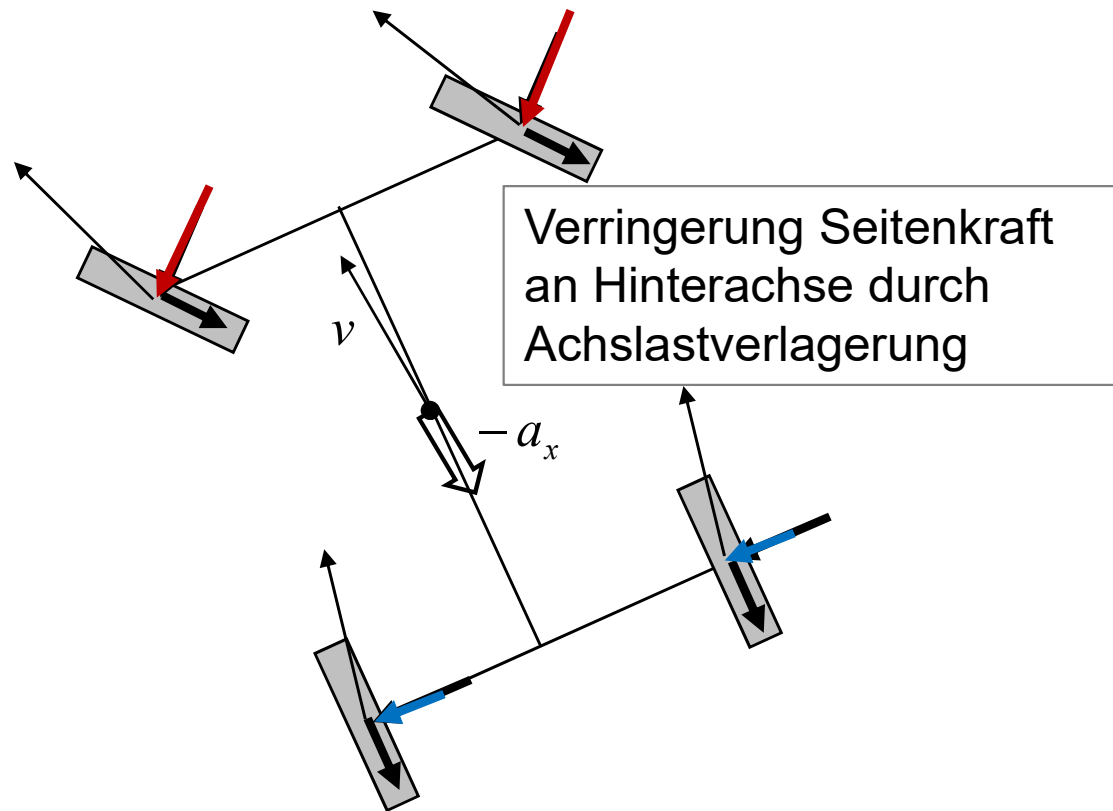
Ziele der Antriebskraftverteilung Beschleunigungsuntersteuern



Verringerung der Untersteuertendenz durch Erhöhung des Antriebsanteils an der Hinterachse.

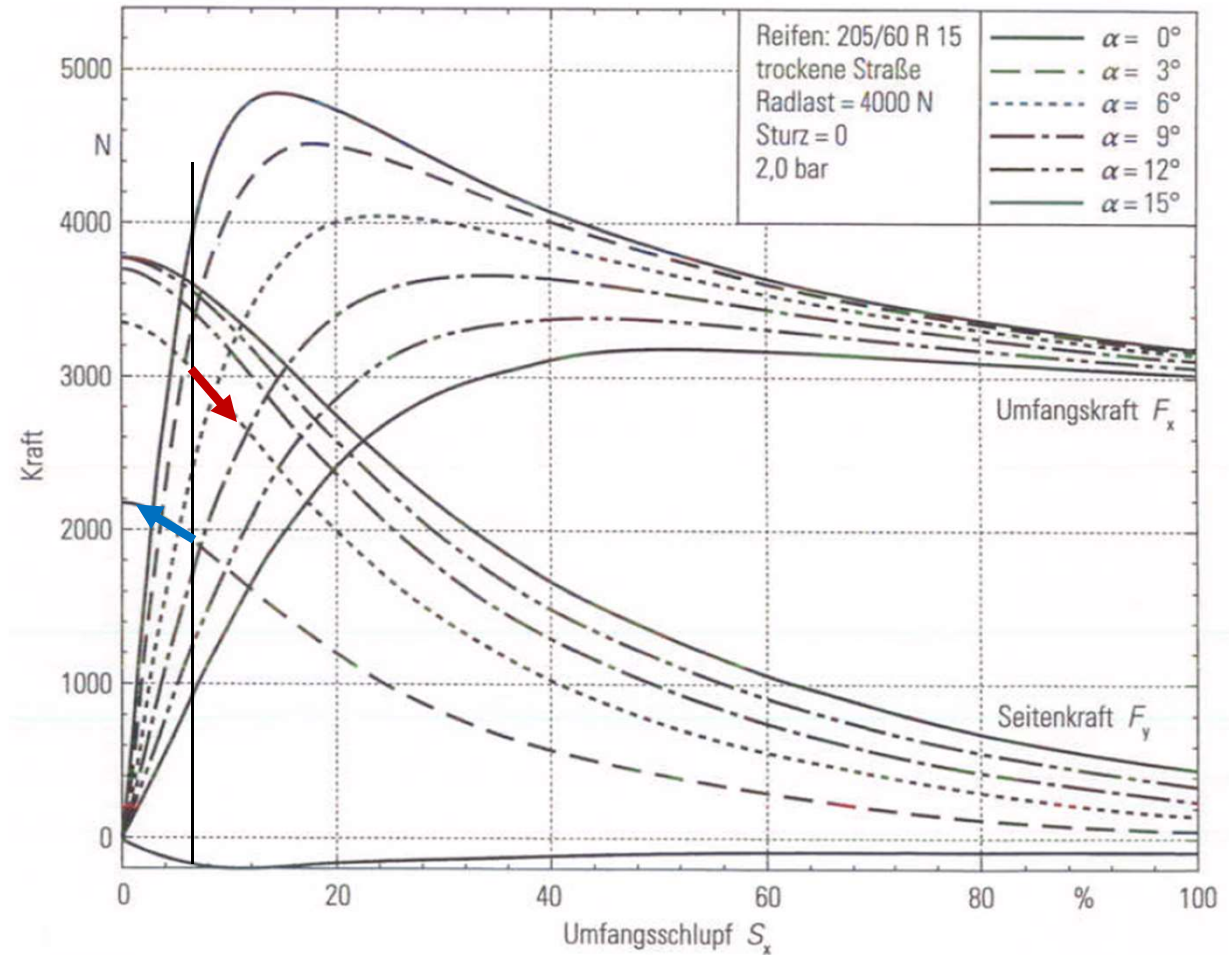
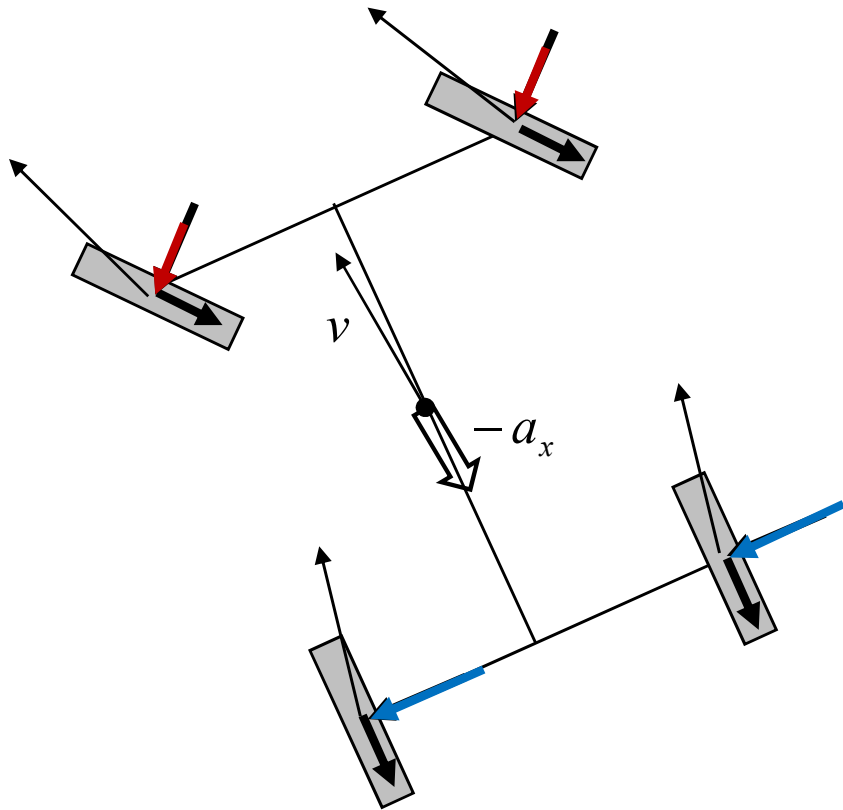
Ziele der Antriebskraftverteilung

Lastwechselreaktion Übersteuern



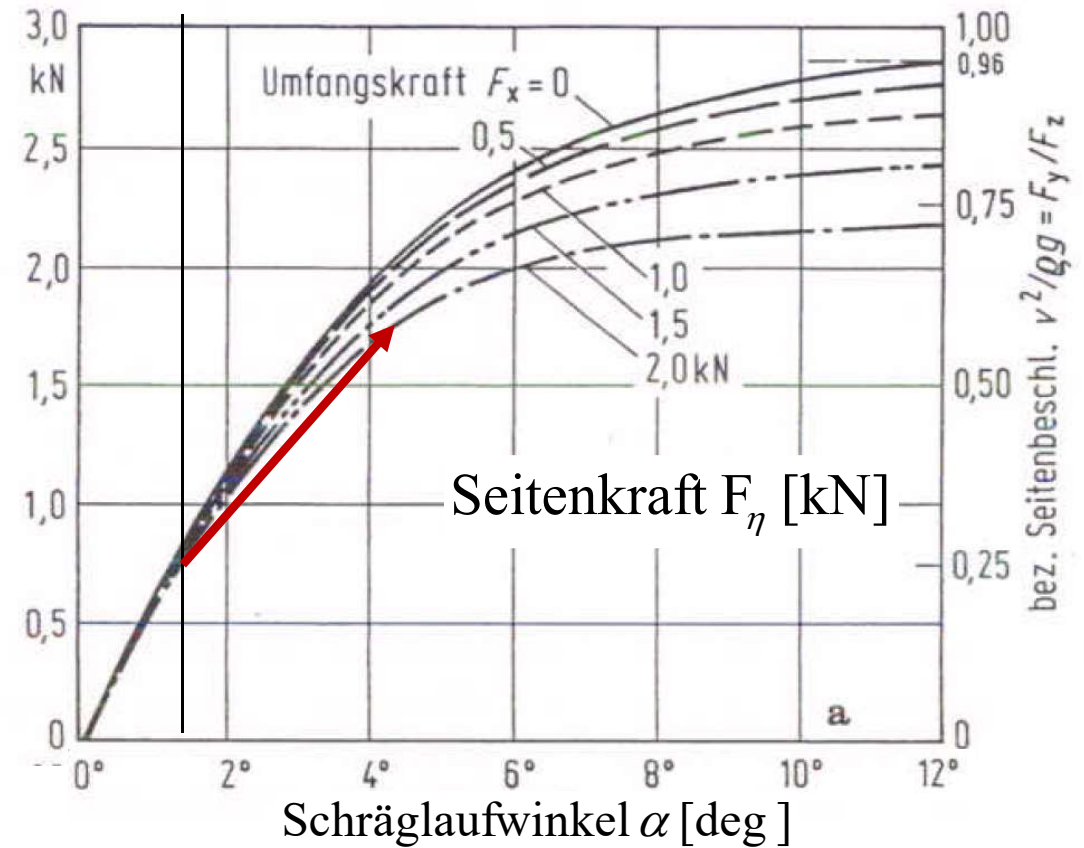
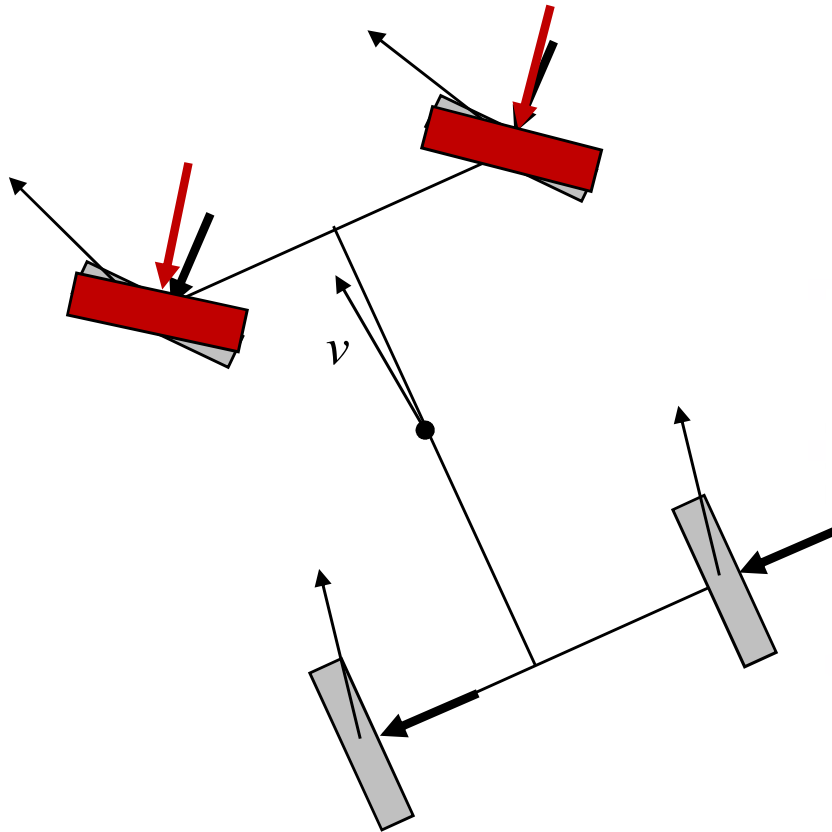
Ziele der Antriebskraftverteilung

Lastwechselreaktion Übersteuern



Verringerung der Übersteuertendenz durch Erhöhung des Antriebsanteils an der Vorderachse.

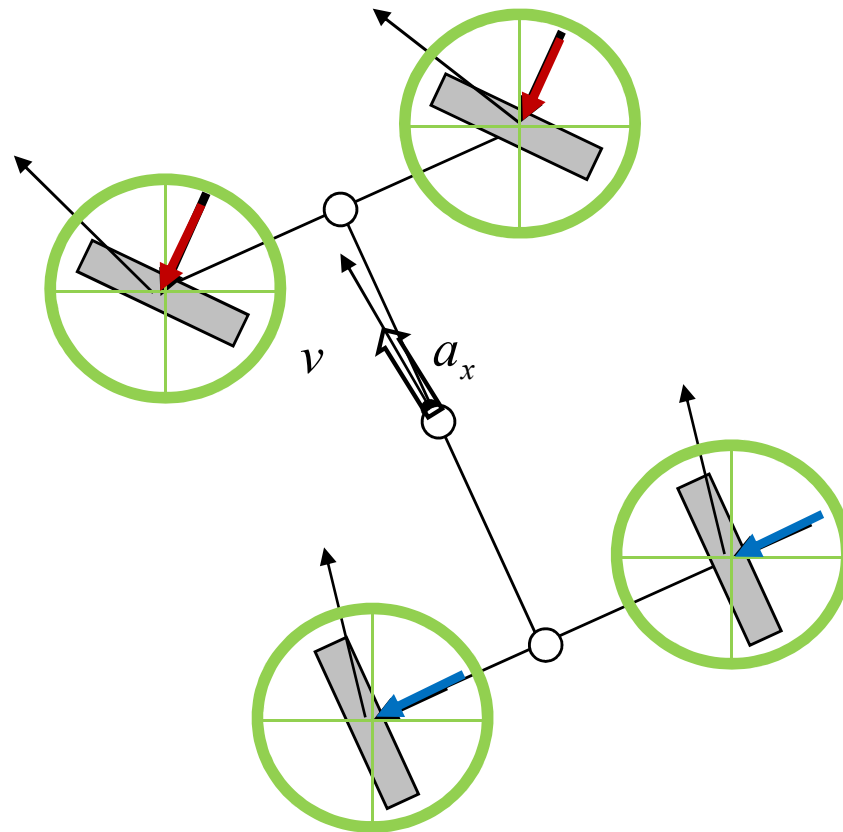
Ziele der Antriebskraftverteilung Anlenkverhalten



Verbesserung des **Gierrataufbaus** durch ein- oder ausdrehendes Giermoment.

Ziele der Antriebskraftverteilung

Maximale Querbeschleunigung



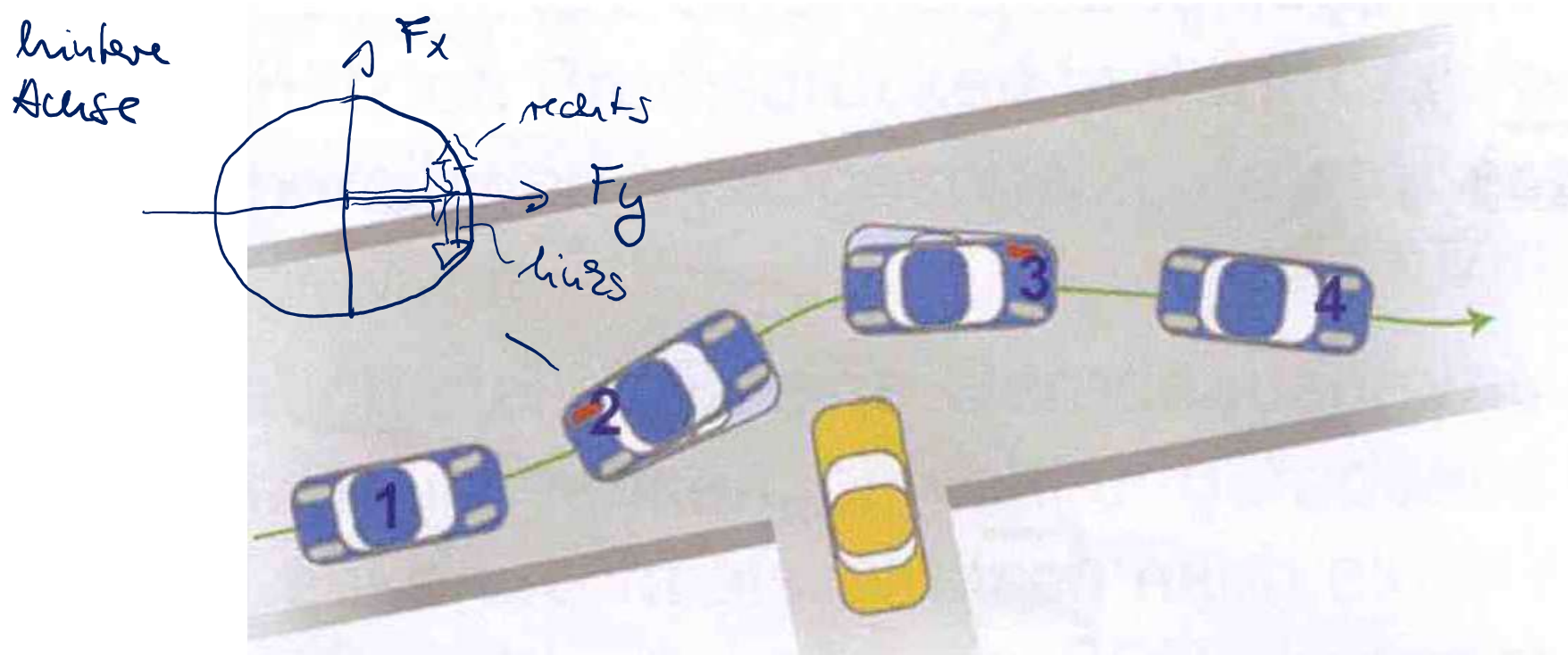
Untersteuernd ausgelegte Fahrzeuge erreichen zuerst an der Vorderachse die Kraftschlussgrenze

Erhöhung der maximalen Querbeschleunigung durch eindrehendes Giermoment -> gleiche Kraftschlussausnutzung an beiden Achsen.

Ziele der Antriebskraftverteilung

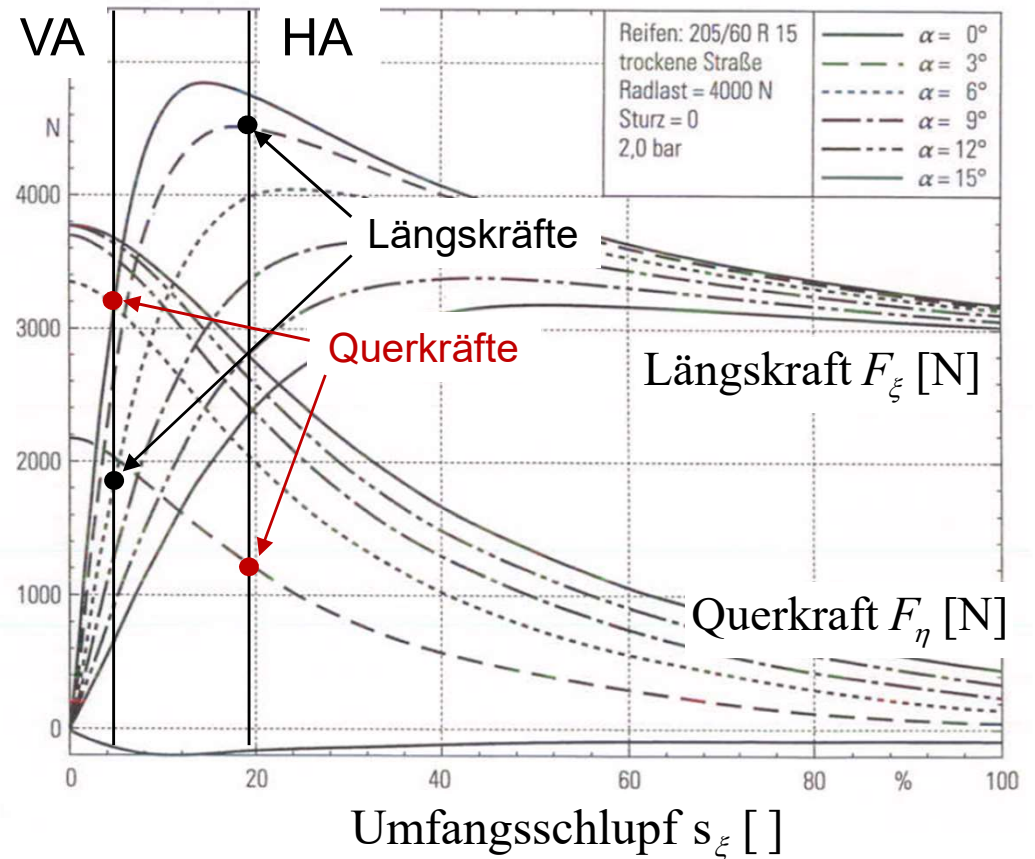
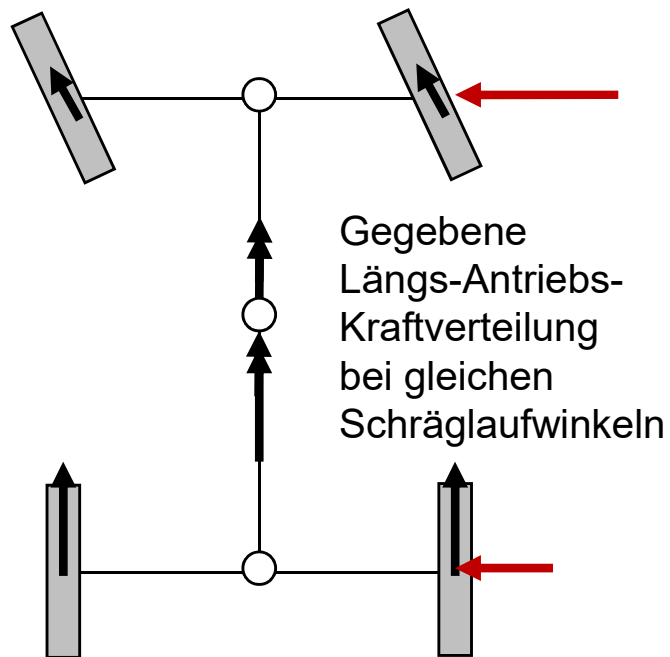
Gierratenregelung

Beispiel: Ausweichmanöver bzw. doppelter Spurwechsel



Zusätzliches Giermomentenpotenzial und späterer/geringerer Eingriff des **ESP**-Systems.

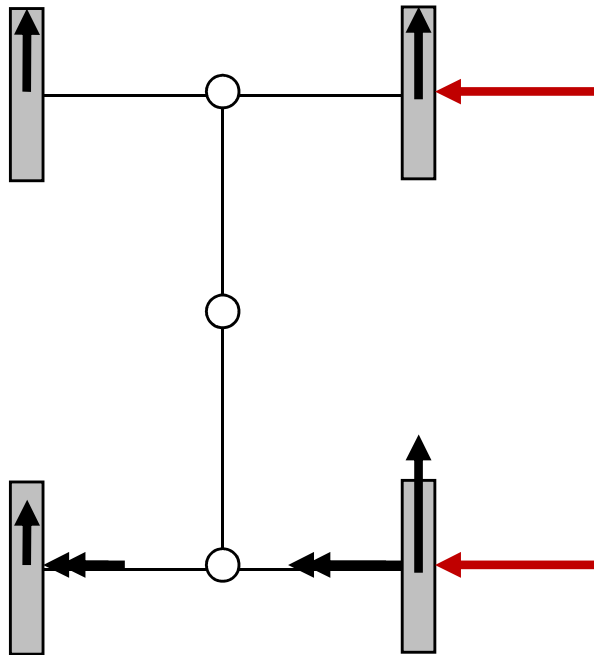
Vergleich von Längs- und Querverteilung Giermomentenpotenzial bei Längsverteilung



- „Indirektes“ Giermoment durch Änderung der Querkraft
- Kein Giermoment bei Geradeausfahrt

Vergleich von Längs- und Querverteilung

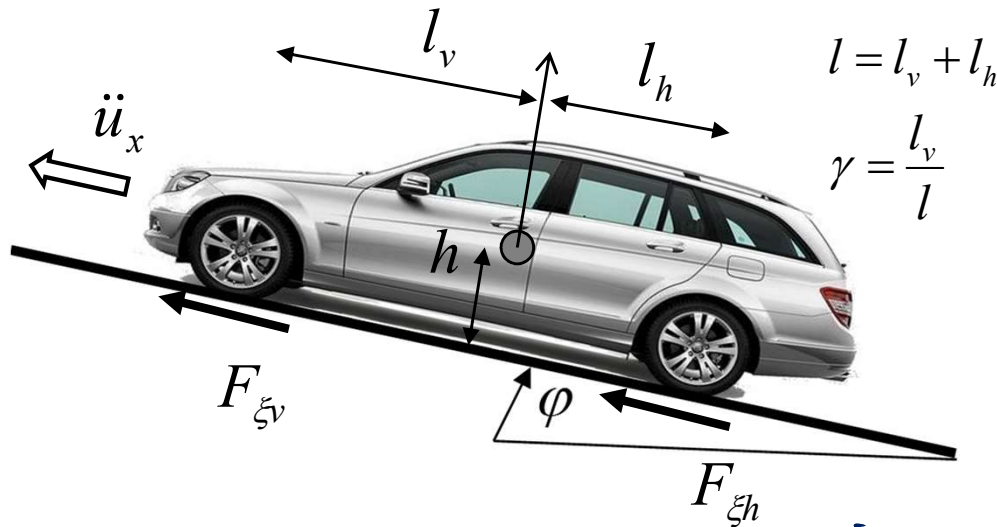
Giermomentenpotenzial bei Querverteilung



- „Direktes“ Giermoment durch asymmetrische Antriebskräfte, auch bei Geradeausfahrt

Einfluss Antriebskraftverteilung auf Fahrdynamik

Traktion an Steigungen



SPS in x-Richtung mit $\ddot{u}_x = \ddot{u}_{xv} = \ddot{u}_{xh}$
und F_L ergibt

$$m \ddot{u}_x = -mg \sin \varphi + F_{\xi v} + F_{\xi h} \quad (1)$$

$\approx \varphi$ für $\varphi < 30^\circ$

Drehmoment um y-Achse liefert bei konst. Längsbeschleunigung

$$\mathcal{D} = -N_{\xi v} l_v + N_{\xi h} l_h - (F_{\xi v} + F_{\xi h}) h \quad (2)$$

SPS in z-Richtung bei Vernachlässigung von Vertikalbewegungen

$$N_{\xi v} + N_{\xi h} = mg \cos \varphi \quad (3)$$

Für die Längskraften gilt

$$F_{\xi v} = \mu N_{\xi v} \quad F_{\xi h} = \mu N_{\xi h} \quad (4)$$

Einfluss Antriebskraftverteilung auf Fahrdynamik

Traktion an Steigungen

Mit (1) und (2) folgt zunächst

$$\ddot{u}_x = -\mu g \gamma + \frac{1}{l} (N_{ge} l_e - N_{gv} l_v)$$

Damit ergibt sich für N_{gv} mit (3)

$$N_{gv} = \frac{\mu g l_e - \ddot{u}_x l - \mu g l \gamma}{l} \quad (5)$$

Analog

$$N_{ge} = \frac{\mu g l_v + \ddot{u}_x l + \mu g l \gamma}{l} \quad (6)$$

(1) Abstand mit geschlossenem Differential zwischen vorne & hinten

$$\ddot{u}_{x \Delta u-g}^{\max} = g (\mu^{\max} - \gamma)$$

(2) Vorderradantrieb

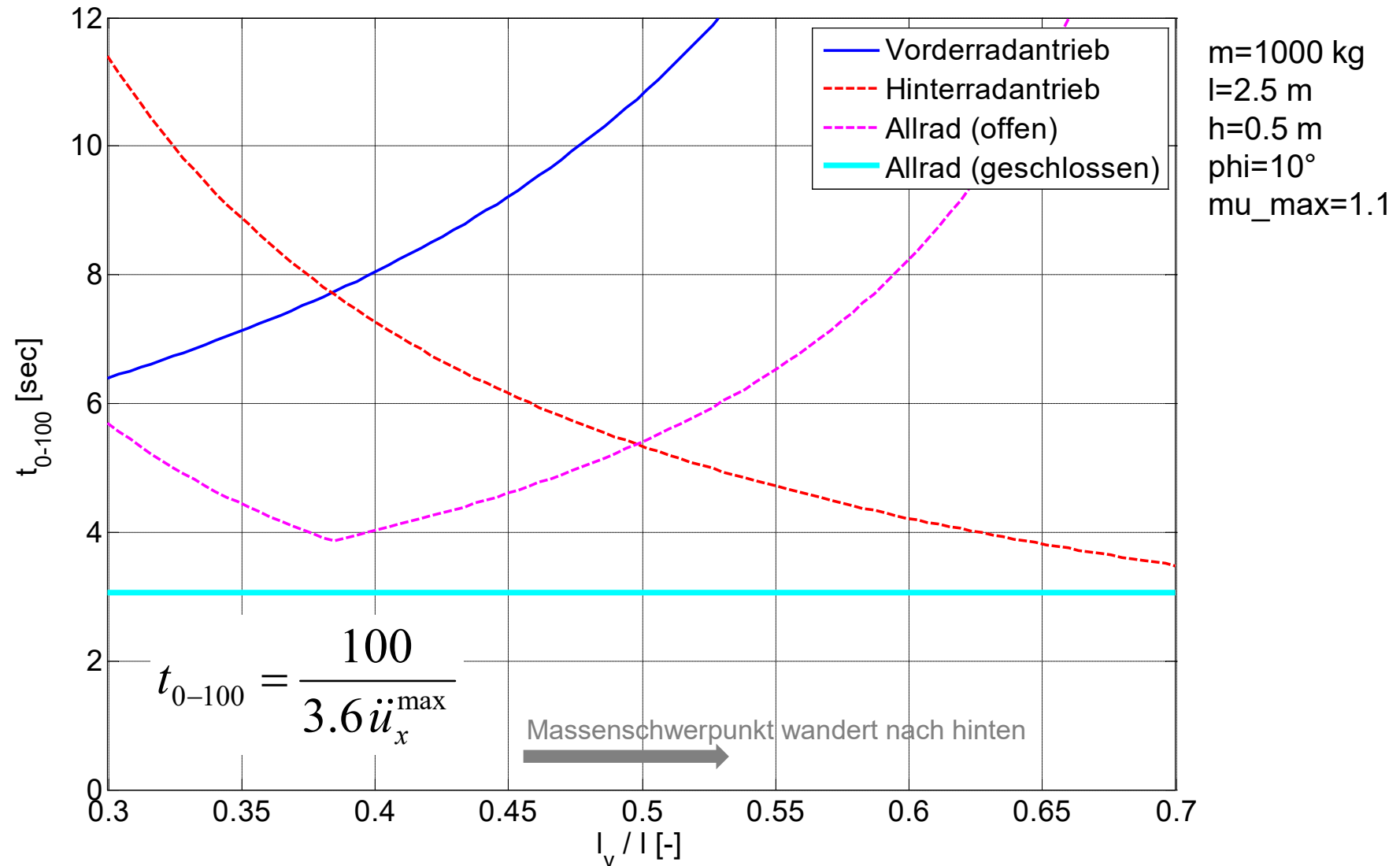
$$\ddot{u}_{x va}^{\max} = g \left(\frac{\mu^{\max} ((l(1-\gamma) - l_v \gamma) - l \gamma)}{l + \mu^{\max} l_v} \right)$$

(3) Hinterradantrieb

$$\ddot{u}_{x ha}^{\max} = g \left(\frac{\mu^{\max} (l \gamma + l_v \gamma) - l \gamma}{l - \mu^{\max} l_v} \right)$$

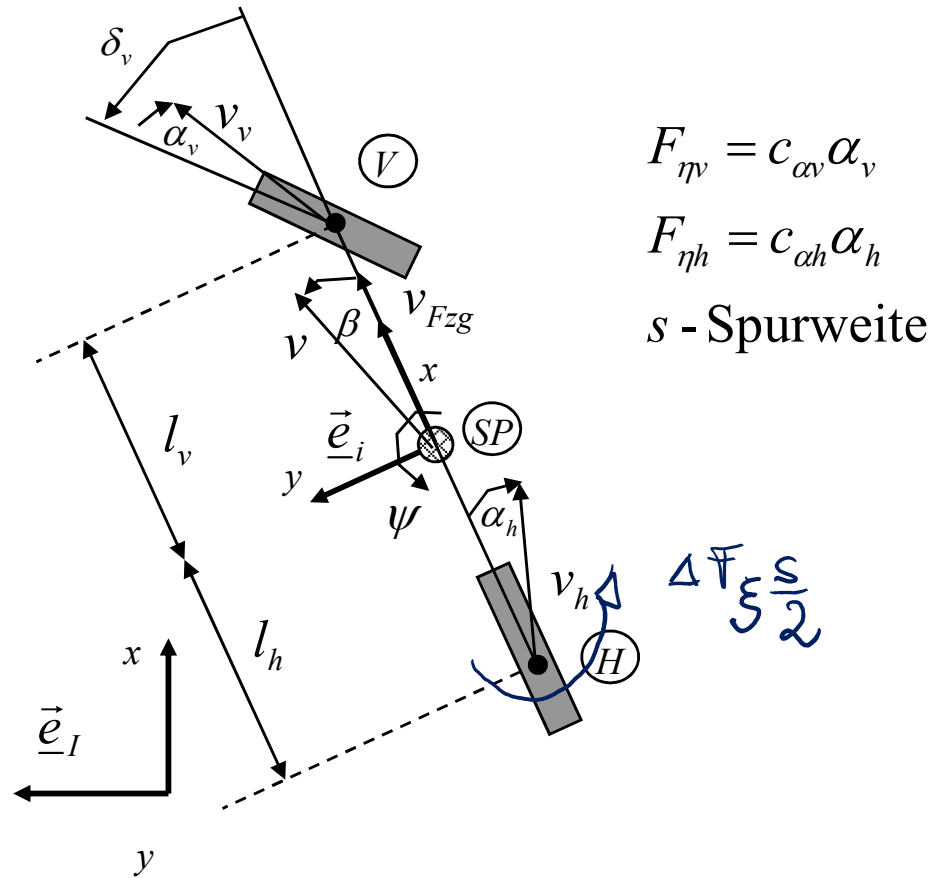
Einfluss Antriebskraftverteilung auf Fahrdynamik

Traktion an Steigungen – Gegenüberstellung



Einfluss Antriebskraftverteilung auf Fahrdynamik

Beeinflussung des Eigenlenkverhaltens



Für kleine Winkel gilt

$$\alpha_h = -\beta + l_h \frac{\dot{\psi}}{v}$$

$$\alpha_v = -\beta + \delta_v - l_v \frac{\dot{\psi}}{v}$$

Im das lin. EST mit
asymmetrischer Antriebskraft-
verteilung (linken) gilt bei
stationärer Overfahrt ($\dot{\beta}=0, \dot{\gamma}=\frac{v}{S}$)

$$\frac{mv^2}{g} = C_d v + C_{dr} d_r$$

$$0 = C_{dv} dv - C_{dr} dr + \Delta F_g \frac{S}{2}$$

mit

$$\Delta F_{\xi} = F_{\xi_{\text{air}}} - F_{\xi_{\text{rel}}}$$

Einfluss Antriebskraftverteilung auf Fahrdynamik

Beeinflussung des Eigenlenkverhaltens

Mit

$$C_{\alpha} = C_{\alpha r} = C_{\alpha v}$$

folgt für β und δ_v

$$\begin{bmatrix} -2 & 1 \\ l_r - l_v & l_v \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \beta \\ \delta_v \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{uv^2}{g C_{\alpha}} + \frac{(l_r - l_v)}{g} \\ \frac{l_v^2 + l_r^2}{g} - \frac{4F_{\xi s}}{2 C_{\alpha}} \end{Bmatrix}$$

Es ergibt sich

$$\beta = \frac{l_r}{g} - \frac{uv^2 l_v}{g l C_{\alpha}} - \frac{4F_{\xi s}}{2 l C_{\alpha}}$$

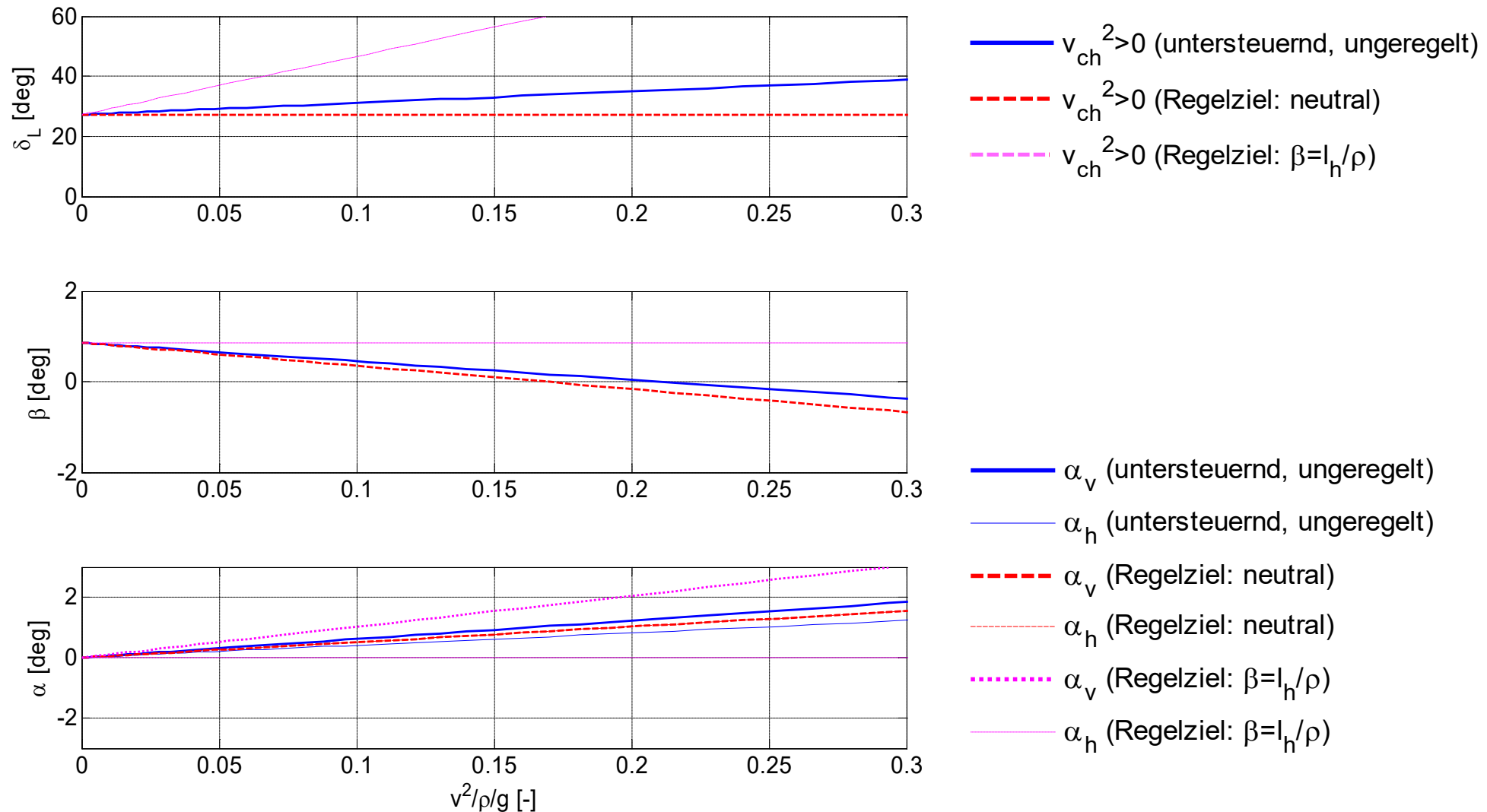
$$\delta_v = \frac{l}{g} + \frac{uv^2 (l_r - l_v)}{g l C_{\alpha}} - \frac{4F_{\xi s}}{l C_{\alpha}}$$

$$\delta_v = \frac{uv^2 l_r}{g l C_{\alpha}} - \frac{4F_{\xi s}}{2 l C_{\alpha}}$$

$$\delta_r = \frac{uv^2 l_v}{g l C_{\alpha}} + \frac{4F_{\xi s}}{2 l C_{\alpha}}$$

Einfluss Antriebskraftverteilung auf Fahrdynamik

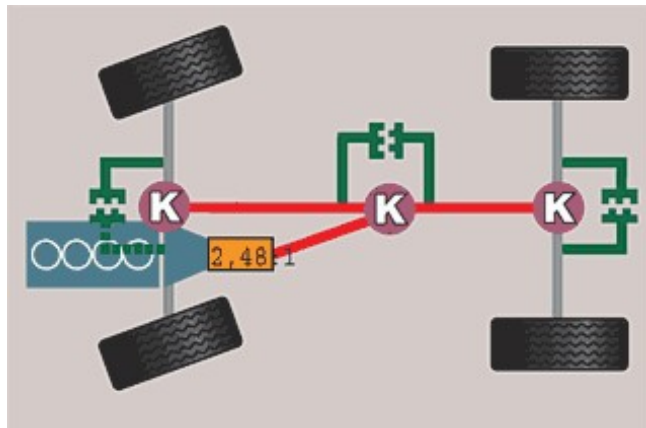
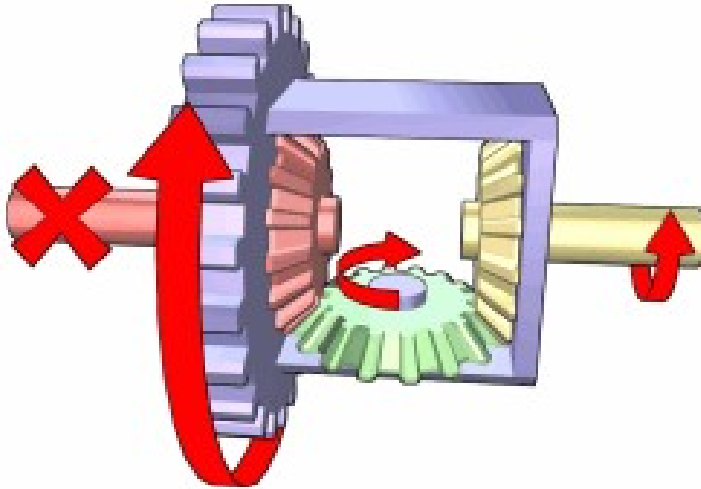
Beeinflussung des Eigenlenkverhaltens



Grundprinzipien der Antriebskraftverteilung

Differential und Differentialsperre

Kegelraddifferential

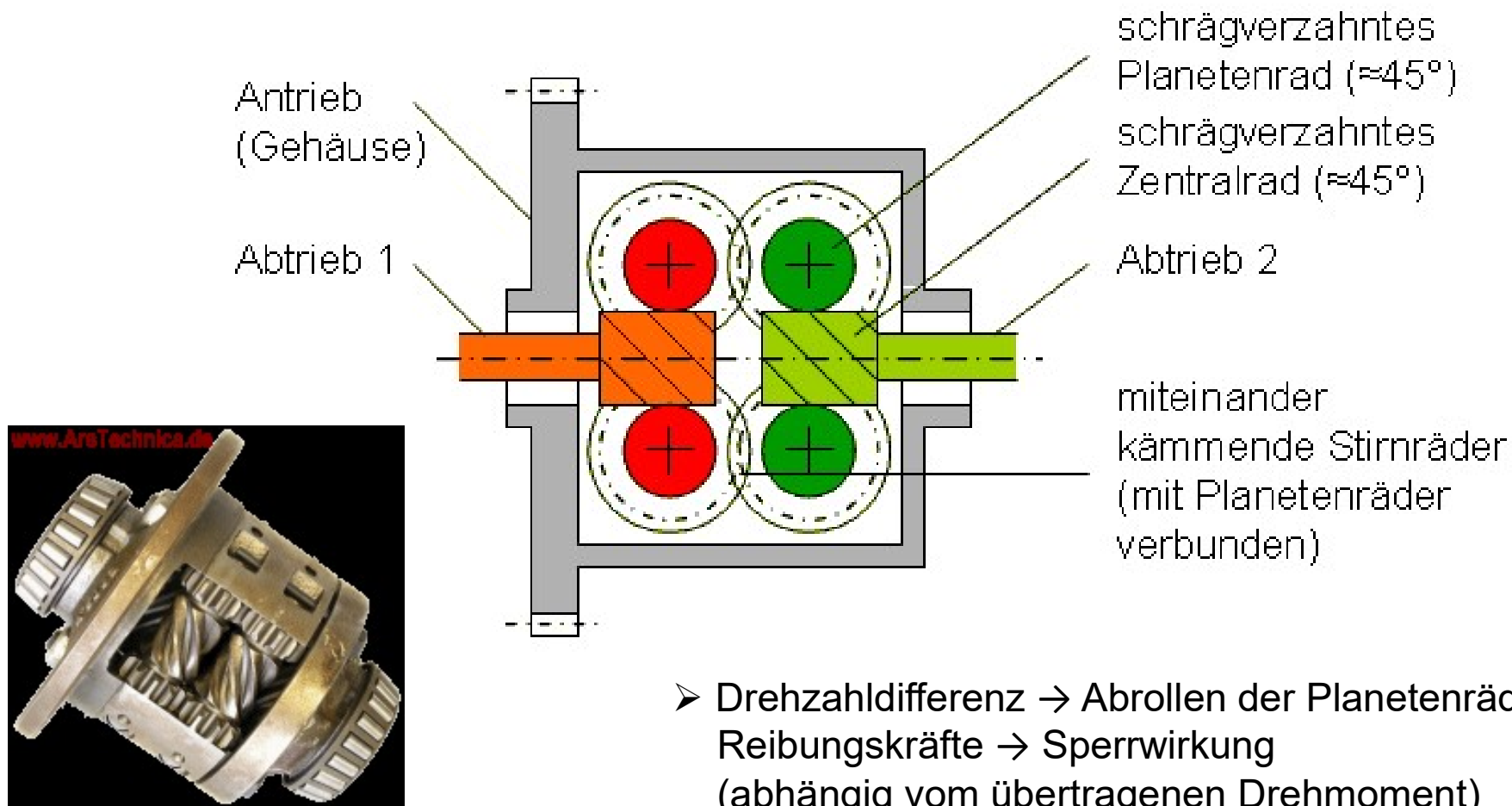


Differentialgetriebe Porsche Cayenne

Grundprinzipien der Antriebskraftverteilung

Differential - Sperrdifferential

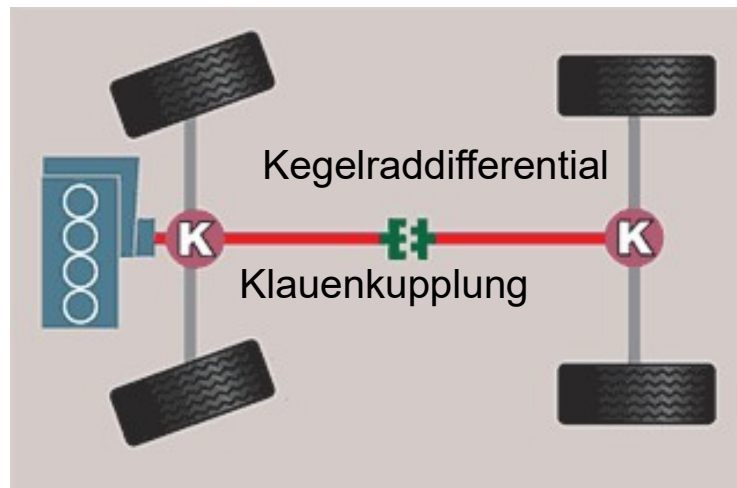
Torsen-Ausgleichsgetriebe (drehmomentfühnd, z. B. Audi Quattro)



Grundprinzipien der Antriebskraftverteilung

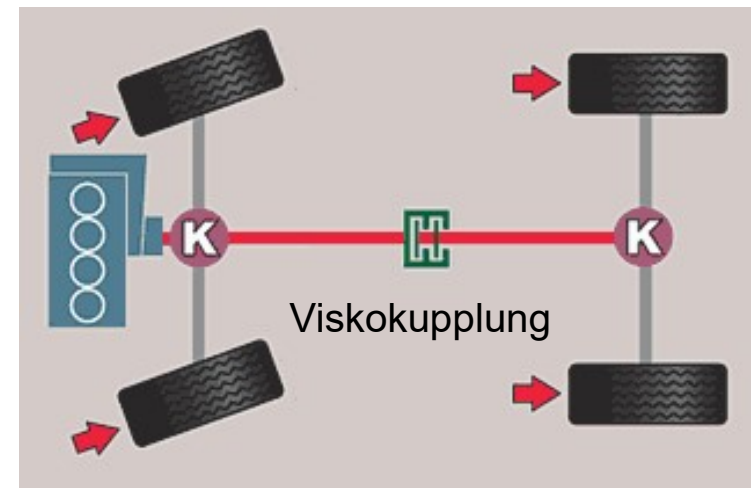
Kupplungen

Klaufenkupplung („Four-Wheel-Drive“)



- Manuell zuschaltbar
- Einfach, robust
- Momentenverteilung 50:50
(Differential, Kupplung offen)

Viskokupplung (drehzahlführend)

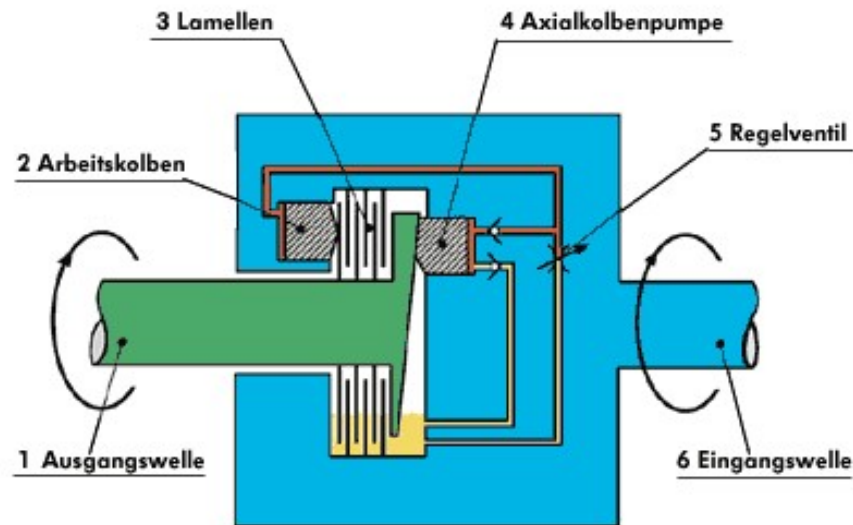


- Drehzahlbasierte Momentenaufteilung
- Erhöhung der Antriebskraft an Achse mit besserer Bodenhaftung
- Momentenverteilung zwischen 2:98 und 98:2

Grundprinzipien der Antriebskraftverteilung

Kupplungen

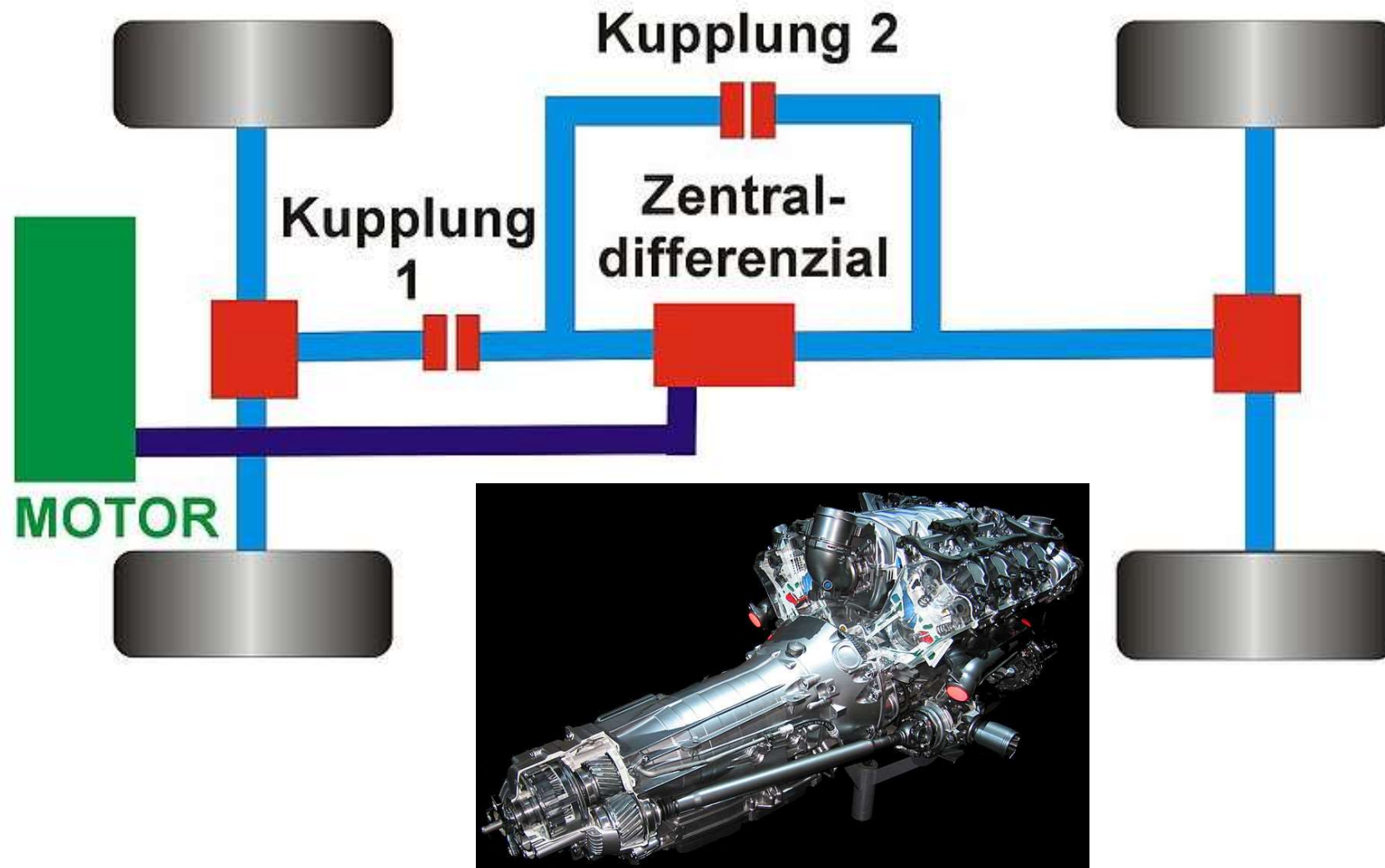
Hydraulisch betätigte Lamellenkupplung (z.B. Haldex)



- Elektronisch beeinflussbar
- Momentenverteilung
zwischen 0:100 und 100:0

Beispiele für Allradssysteme

Daimler 4Matic



Beispiele für Allradssysteme

BMW XDrive



Lamellenkupplung zur variablen
Antriebskraftverteilung zwischen
vorne und hinten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!