

6 Fahrsicherheitssysteme

- 6.1 Gliederung von Fahrsicherheitssystemen
- 6.2 Radschlupf-Regelsysteme
- 6.3 Fahrdynamik-Regelung

6.1 Gliederung von Fahrsicherheits-Systemen

- Aktive Sicherheitssysteme
 - Antiblockiersysteme
 - Antriebsschlupfregelungen
 - Fahrdynamikregelungen
 - Fahrerassistenzsysteme
 - ...
- Passive Sicherheitssysteme
 - Sicherheitsfahrgastzelle
 - Airbags
 - Sicherheitsgurte
 - Gurtstraffer
 - ...

6.2 Radschlupf-Regelsysteme

Aufgabe eines Radschlupf-Regelsystems

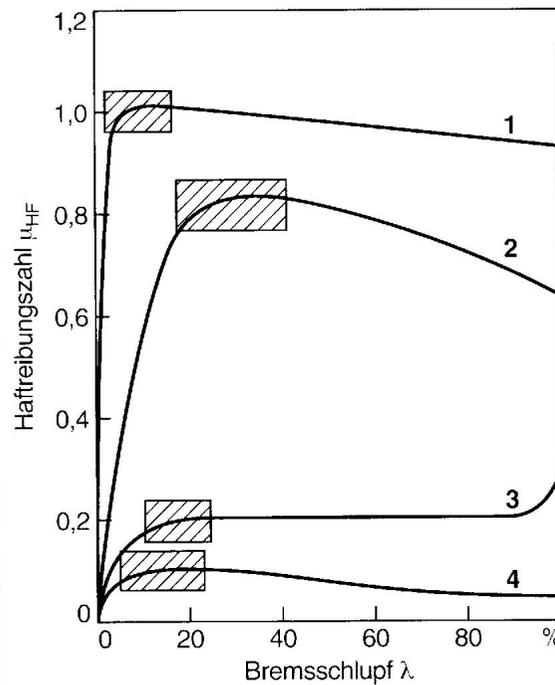
- Die Lenkbarkeit des Fahrzeugs soll bei allen Fahrbahnbeschaffenheiten sichergestellt sein.

- Die Haftreibungszahl zwischen den Rädern und der Fahrbahn soll maximal ausgenutzt werden, wobei Lenkbarkeit und Fahrstabilität Vorrang haben.

Längs- und Seitenkraftübertragung eines Reifens und ABS-Regelbereiche

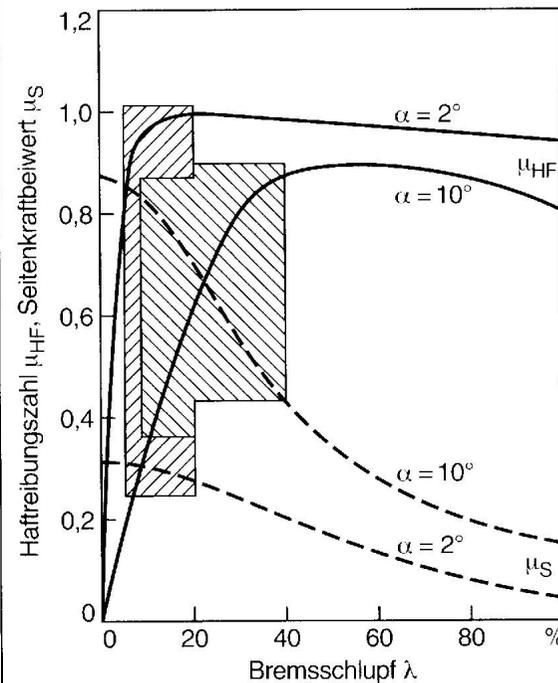
Haftreibungszahl μ_{HF} in Abhängigkeit vom Bremsschlupf λ .

- 1 Radialreifen auf trockenem Beton,
 - 2 Diagonal-Winterreifen auf nassem Asphalt,
 - 3 Radialreifen auf lockerem Schnee,
 - 4 Radialreifen auf nassem Glatteis.
- Schraffierte Flächen: ABS-Regelbereiche.



Haftreibungszahl und Seitenkraftbeiwert in Abhängigkeit von Bremsschlupf und Schräglaufwinkel.

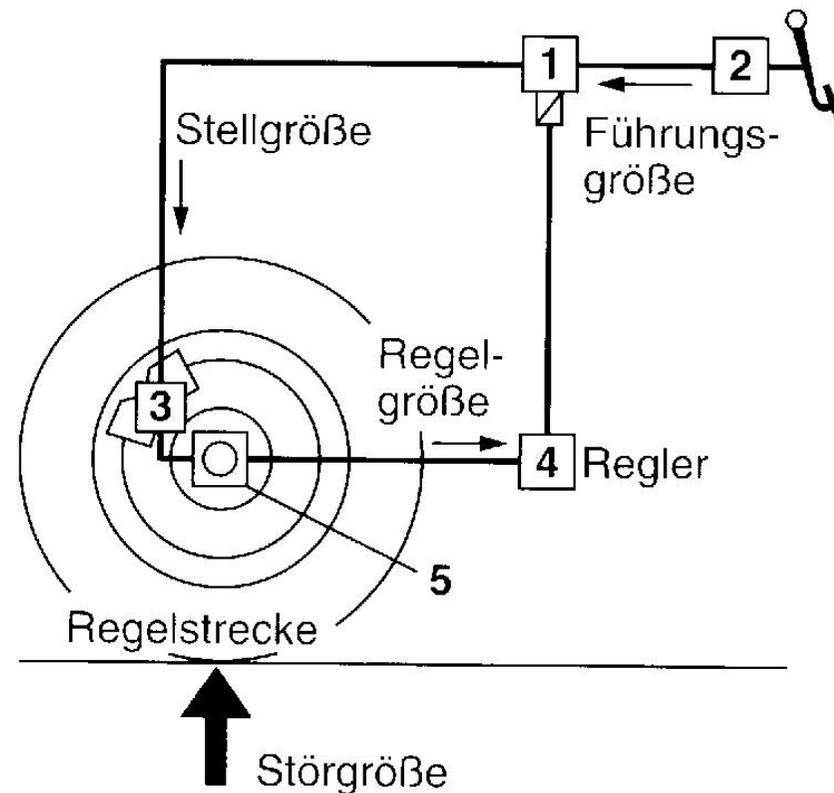
- μ_{HF} Haftreibungszahl,
 - μ_S Seitenkraftbeiwert,
 - α Schräglaufwinkel.
- Schraffierte Flächen: ABS-Regelbereiche.



Quelle: Bosch

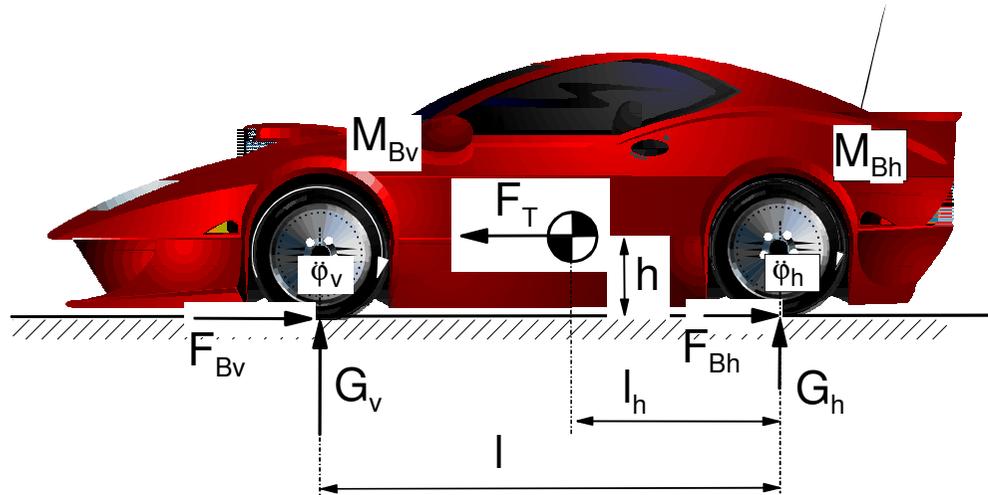
ABS-Regelkreis

- 1 Hydroaggregat mit Magnetventilen,
- 2 Hauptzylinder, 3 Radzylinder,
- 4 Steuergerät, 5 Drehzahlsensor.



Quelle: Bosch

Dynamik des gebremsten Rades



Bremskraft $F_B \leq \mu \cdot G$

μ = Reibwert Fahrbahn-Reifen

Fahrbahnreibmoment $M_R = F_B \cdot r_{\text{dyn}}$

r_{dyn} = dynamischer Rollradius

$M_B - M_R = J_r \cdot \ddot{\phi}$

M_B = Bremsmoment

J_r = Massenträgheitsmoment des Rades

$\ddot{\phi}$ = Winkelverzögerung des Rades

Radumfangsverzögerung $a = r_{\text{dyn}} \cdot \ddot{\phi}$

Übungsaufgabe

Die dynamischen Verhältnisse eines Rades während eines Bremsvorganges sollen untersucht werden. Vereinfacht soll von einem Fahrzeug mit gleicher Radlast an jedem Rad ausgegangen werden. Als weitere Vereinfachung soll die dynamische Radlaständerung beim Bremsen vernachlässigt werden.

- a) Bestimmen Sie die Radumfangsverzögerung bei sehr hohen Reibwerten zwischen Fahrbahn und Reifen unter der Annahme, dass kein Schlupf auftritt.
- b) Das Fahrzeug erreicht nun einen Fahrbahnabschnitt mit Glatteis und der Reibwert sinkt schlagartig auf $\mu = 0,1$. Welche Radumfangsbeschleunigung ergibt sich, wenn das Bremsmoment konstant gehalten wird?
- c) Zu Beginn des Fahrbahnabschnittes mit Glatteis beträgt die Radumfangsgeschwindigkeit 80 km/h. Wie lange dauert es, bis das Rad blockiert?

Fahrzeugdaten:

reduzierte Fahrzeugmasse einschließlich Zuladung

$m_{F,red} = 1450 \text{ kg}$

Bremsmoment an jedem Rad

$M_B = 1000 \text{ Nm}$

Dynamischer Rollradius

$r_{dyn} = 0,315 \text{ m}$

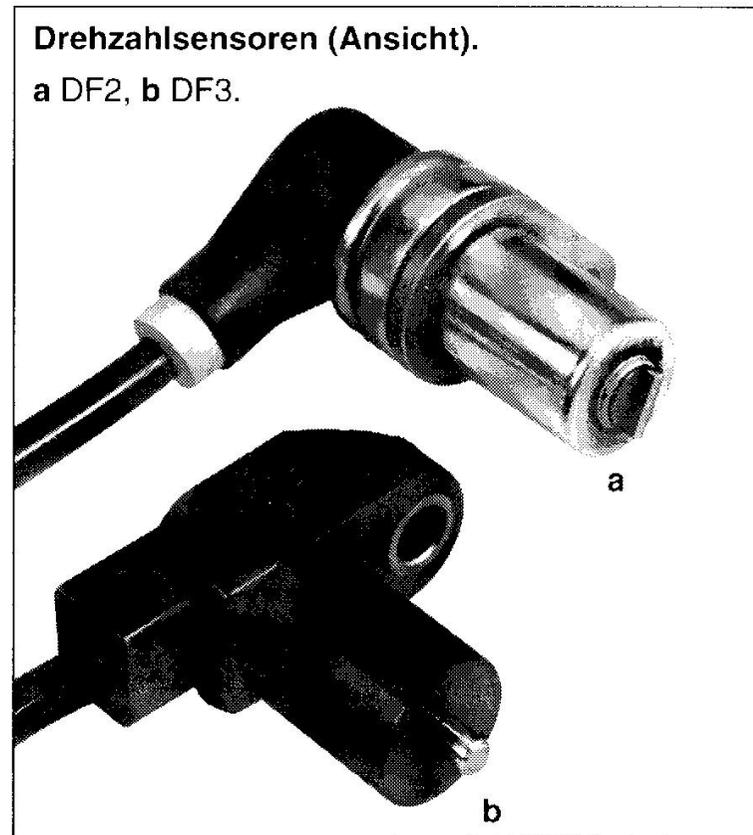
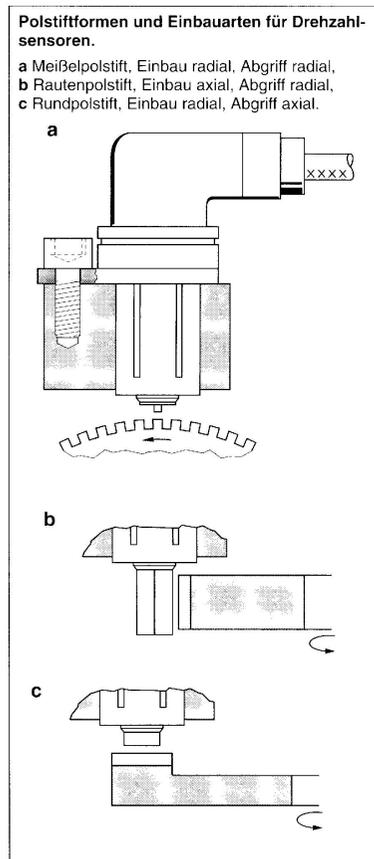
Massenträgheitsmoment eines Rades

$J_r = 1,0 \text{ kg m}^2$

Regelgrößen von Radschlupf-Regelsystemen

- Grundlage von Radschlupf-Regelsystemen sind die Signale der Raddrehzahlsensoren.
- Da der Schlupf nicht direkt gemessen werden kann, wird im Steuergerät eine ihm ähnliche Größe berechnet, und zusätzlich werden weitere Regelgrößen verwendet.
- Die Radumfangsbeschleunigung bzw. –verzögerung ist eine wichtige Regelgröße, aber aufgrund veränderlicher Massenträgheiten an den angetriebenen Rädern alleine nicht aussagekräftig genug.
- Da bei Schlupf an den Rädern die Fahrzeuggeschwindigkeit nicht gemessen werden kann, wird eine Referenzgeschwindigkeit berechnet.

Raddrehzahlsensoren



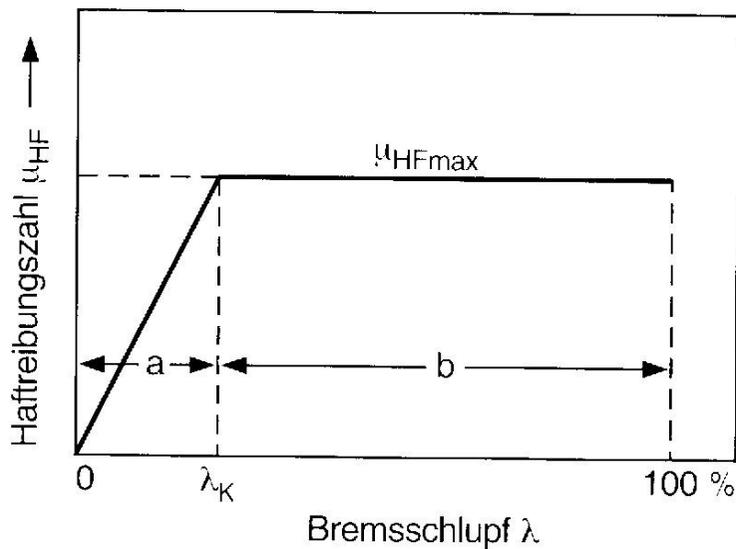
Quelle: Bosch

Vereinfachter Bremsvorgang

Idealisierte Haftreibungszahl-Schlupf-Kurve.

a Stabiler Bereich, **b** instabiler Bereich.

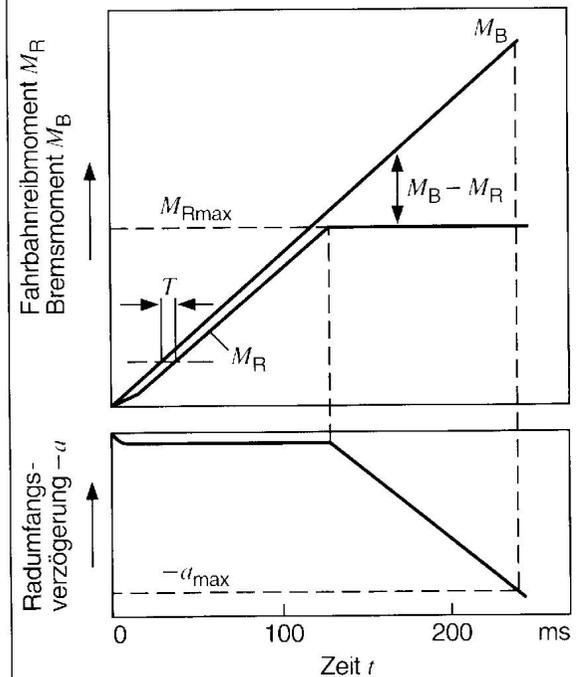
λ_K bestmöglicher Bremsschlupf,
 μ_{HFmax} maximale Haftreibungszahl.



Quelle: Bosch

Anbremsvorgang, vereinfacht.

($-a$) Radumfangverzögerung,
 ($-a_{max}$) maximale Radumfangverzögerung,
 M_B Bremsmoment,
 M_R Fahrbahnreibmoment,
 M_{Rmax} maximales Fahrbahnreibmoment,
 T Zeitverzug.



Bestimmung der Referenzgeschwindigkeit

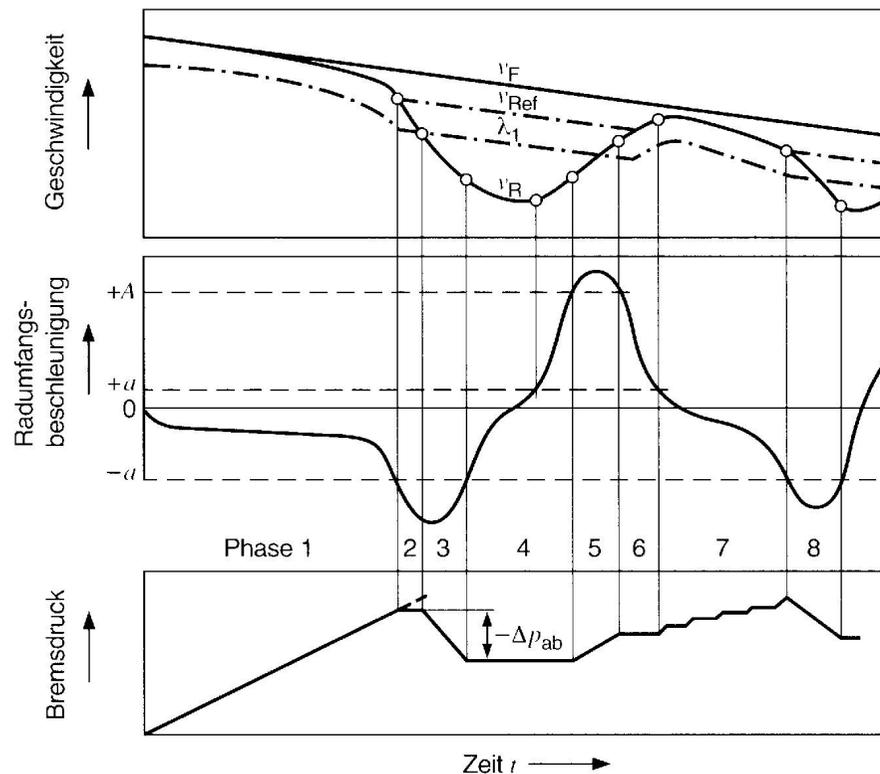
- Die Referenzgeschwindigkeit bei Teilbremsungen bestimmt das schneller laufende Rad einer „Diagonalen“ (z.B. rechtes Vorderrad und linkes Hinterrad).
- Während einer ABS-Regelung bestimmt das Steuergerät die Referenzgeschwindigkeit aus der Fahrzeuggeschwindigkeit bei Regelbeginn und lässt diese rampenförmig abnehmen.
- Die Steilheit der Rampe wird durch weitere logische Verknüpfungen im Steuergerät berechnet.

Beispiel für einen ABS-Regelzyklus

Bremsregelung bei großen Haftreibungszahlen.

v_F Fahrzeuggeschwindigkeit, v_{Ref} Referenzgeschwindigkeit, v_R Radumfangsgeschwindigkeit,
 λ_1 Schlupfschaltenschwelle,

Schaltersignale: $+A, +a$ Schwellen der Radumfangsbeschleunigung, $-a$ Schwelle der Radumfangs-
verzögerung, $-\Delta p_{ab}$ Bremsdruckabnahme.



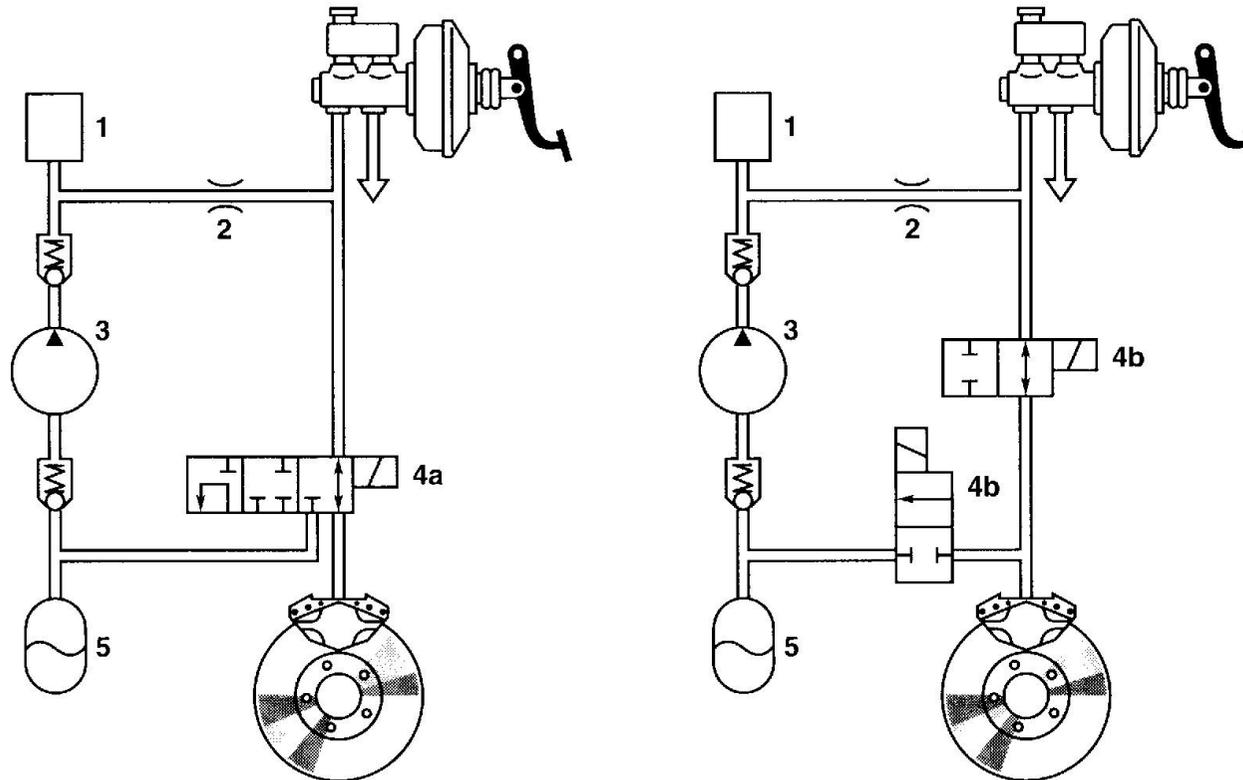
Quelle: Bosch

ABS-Hydraulik

ABS-Systeme im Vergleich.

a ABS2, b ABS5.

1 Dämpferkammer, 2 Drossel, 3 Rückförderpumpe, 4a 3/3-Ventil, 4b 2/2-Ventile, 5 Speicherkammer.



Quelle: Bosch

6.3 Fahrdynamikregelung

- Eine Fahrdynamikregelung soll kritische Fahrzustände (z.B. Schleudern) erkennen und das Fahrzeug dann wieder stabilisieren.
- Die Eingriffe einer Fahrdynamikregelung erfolgen durch Schlupfregelung an den einzelnen Rädern mit Hilfe von Bremsen- und Motoreingriffen.
- Im normalen Fahrbetrieb greift die Fahrdynamikregelung nicht ein.

Einspur-Fahrzeugmodell

$$m \cdot a_q = m \cdot \frac{v_s^2}{R} = m \cdot \frac{v_s}{R} \cdot \dot{\psi} \cdot R$$

$$m \cdot a_q = m \cdot v_s \cdot (\dot{\psi} - \dot{\beta}) \leq \mu \cdot m \cdot g$$

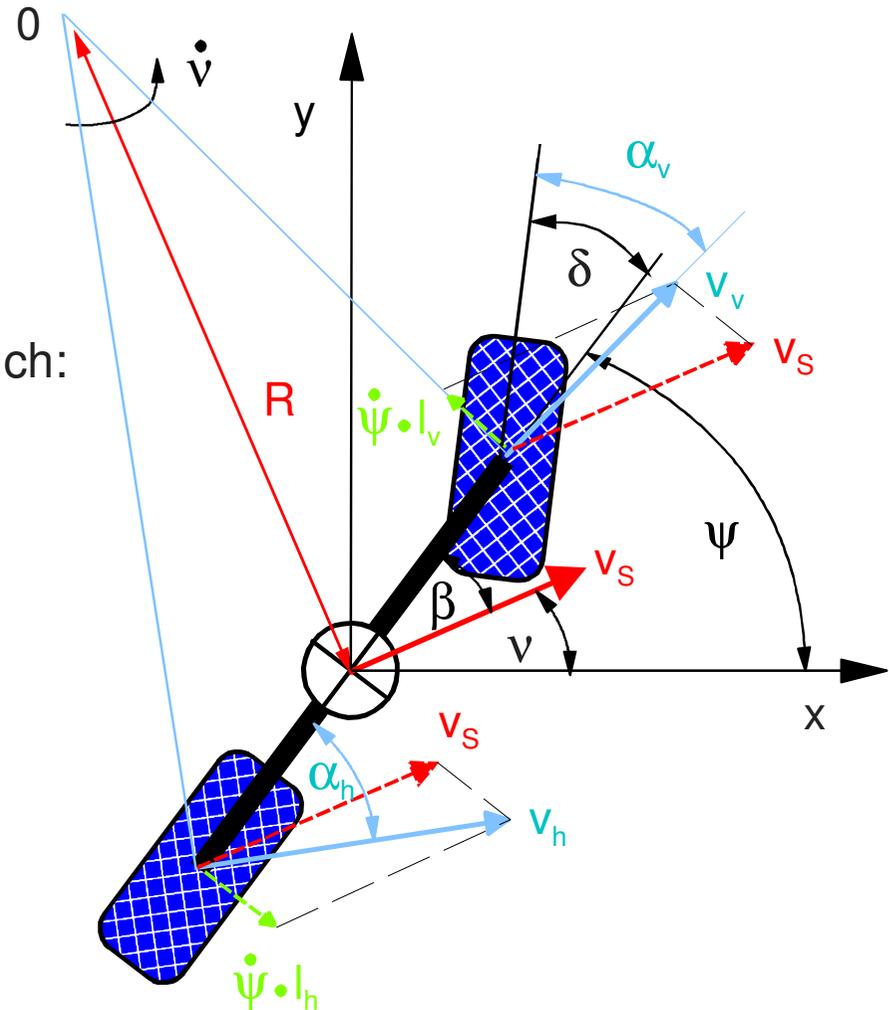
Für stationäre Kreisfahrt ($\dot{\beta} = 0$) ergibt sich:

$$\dot{\psi} = \frac{a_q}{v_s}$$

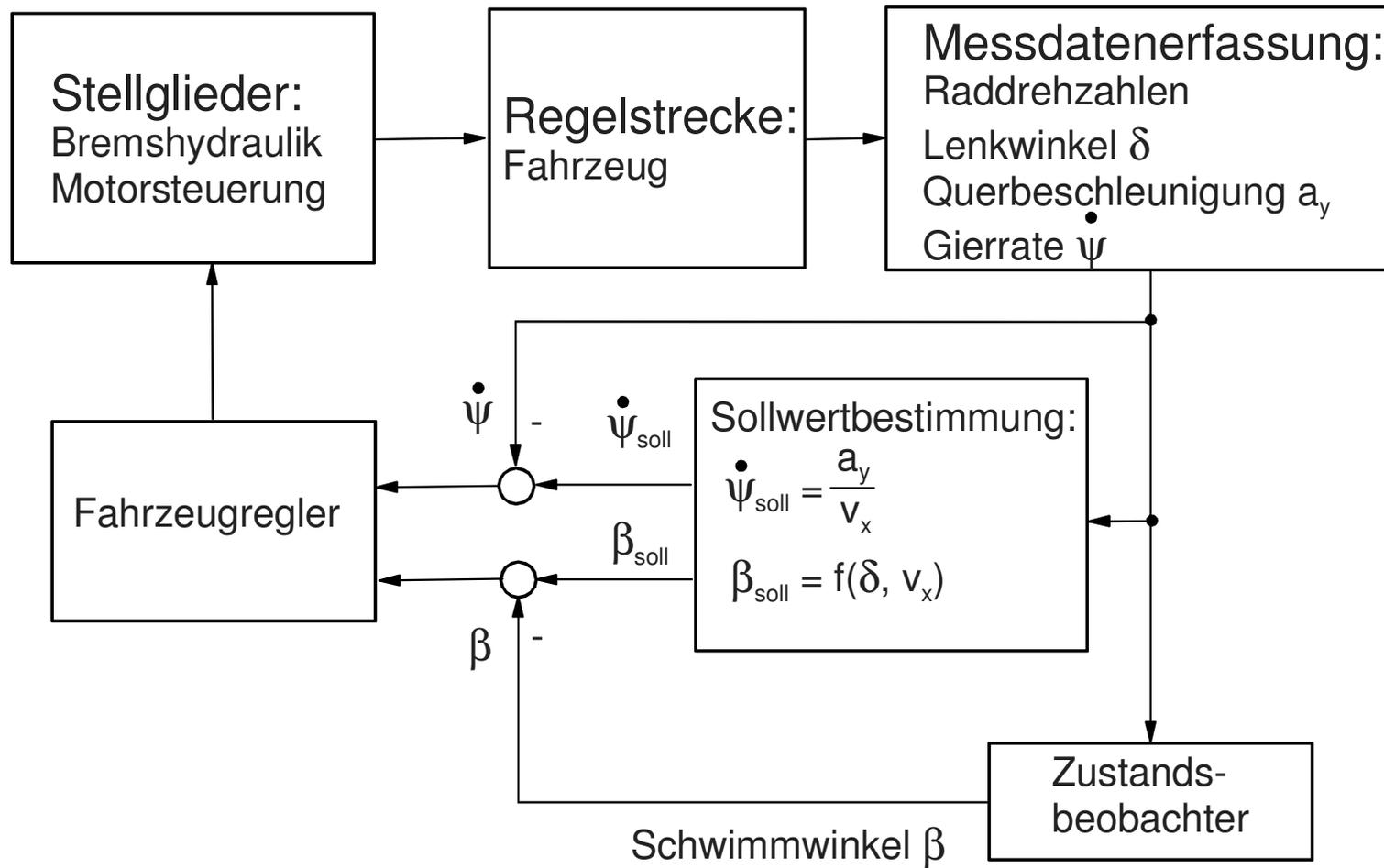
Für $l \ll R$ gilt:

$$\alpha_v = \delta + \beta - \frac{l_v \cdot \dot{\psi}}{v_s}$$

$$\alpha_h = \beta + \frac{l_h \cdot \dot{\psi}}{v_s}$$



Regelungskonzept



Übungsaufgabe

Gegeben ist eine Auswahl von Messwerten eines Fahrzeugs mit Fahrdynamikregelung. Stellen Sie anhand der gegebenen Werte fest, ob ein Eingriff der Fahrdynamikregelung erforderlich ist. Bestimmen Sie die Soll-Winkelgeschwindigkeit und den Soll-Schwimmwinkel.

Daten:

Fahrzeuggeschwindigkeit

Querbeschleunigung

Gierwinkelgeschwindigkeit

Fahrzeugmasse

Schwerpunktstand vorne

Schwerpunktstand hinten

Schräglaufsteifigkeit an der Vorderachse

Schräglaufsteifigkeit an der Hinterachse

$$v = 80 \text{ km/h}$$

$$a_q = 2 \text{ m/s}^2$$

$$\dot{\psi} = 0,15 \text{ rad/s}$$

$$m_F = 1340 \text{ kg}$$

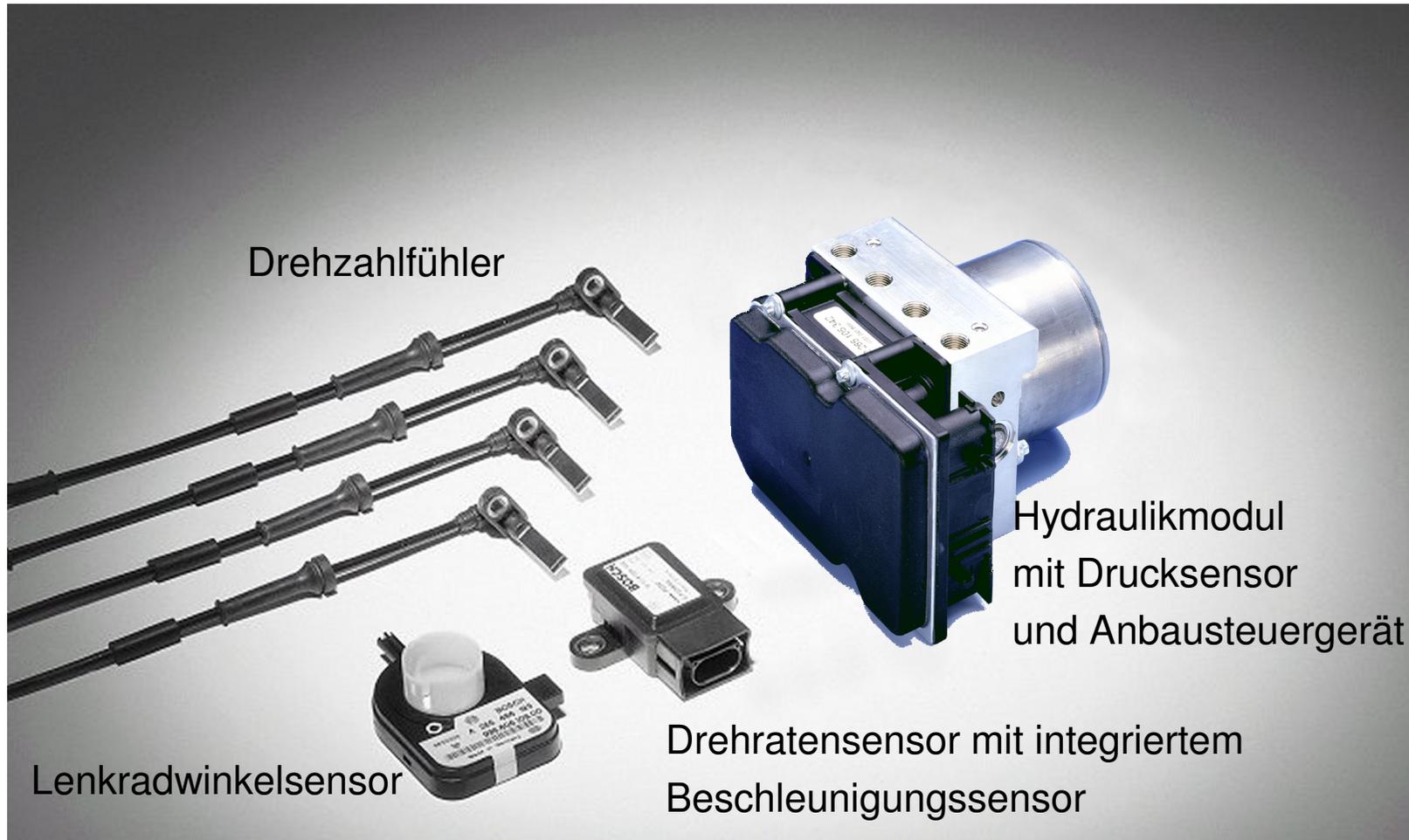
$$l_v = 1,25 \text{ m}$$

$$l_h = 1,35 \text{ m}$$

$$c_{\alpha v} = 50\,000 \text{ N/rad}$$

$$c_{\alpha h} = 50\,000 \text{ N/rad}$$

Komponenten einer Fahrdynamikregelung (Bosch ESP 8)



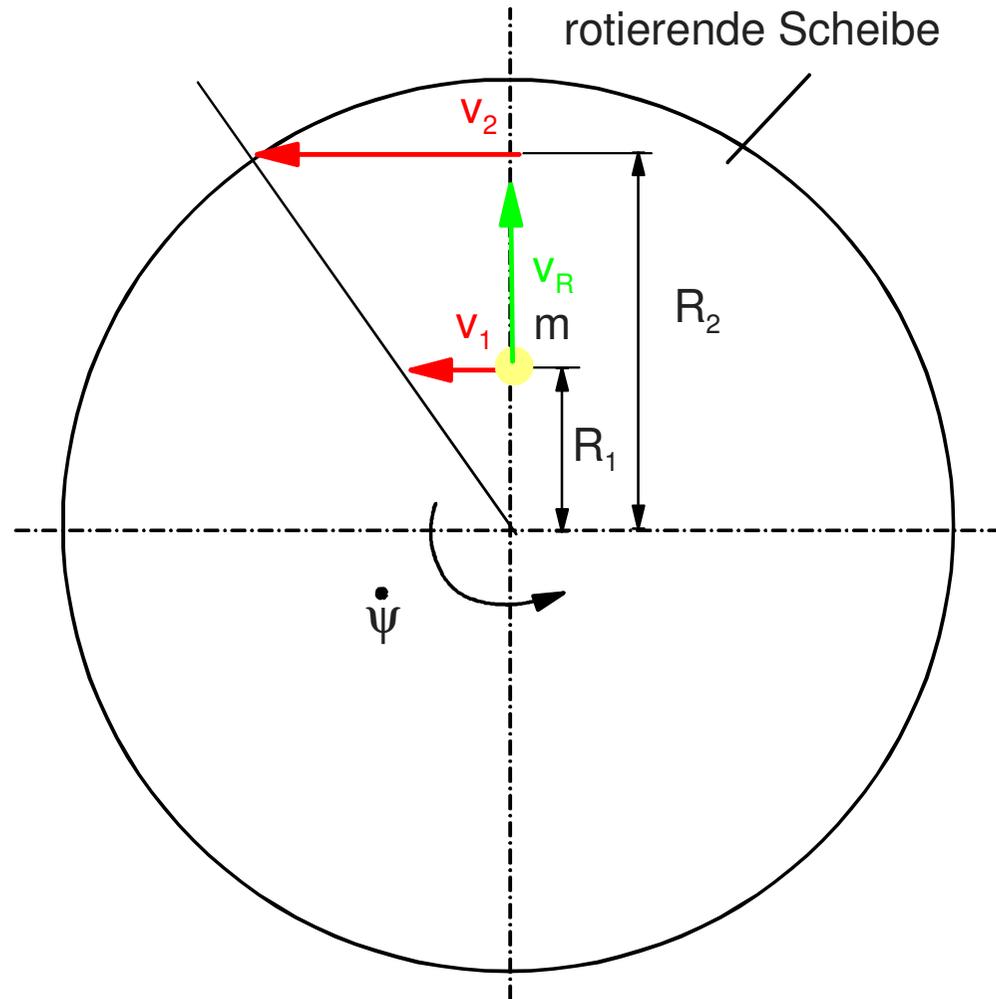
Funktionsprinzip Drehratensensor

$$v_1 = R_1 \cdot \dot{\psi}$$

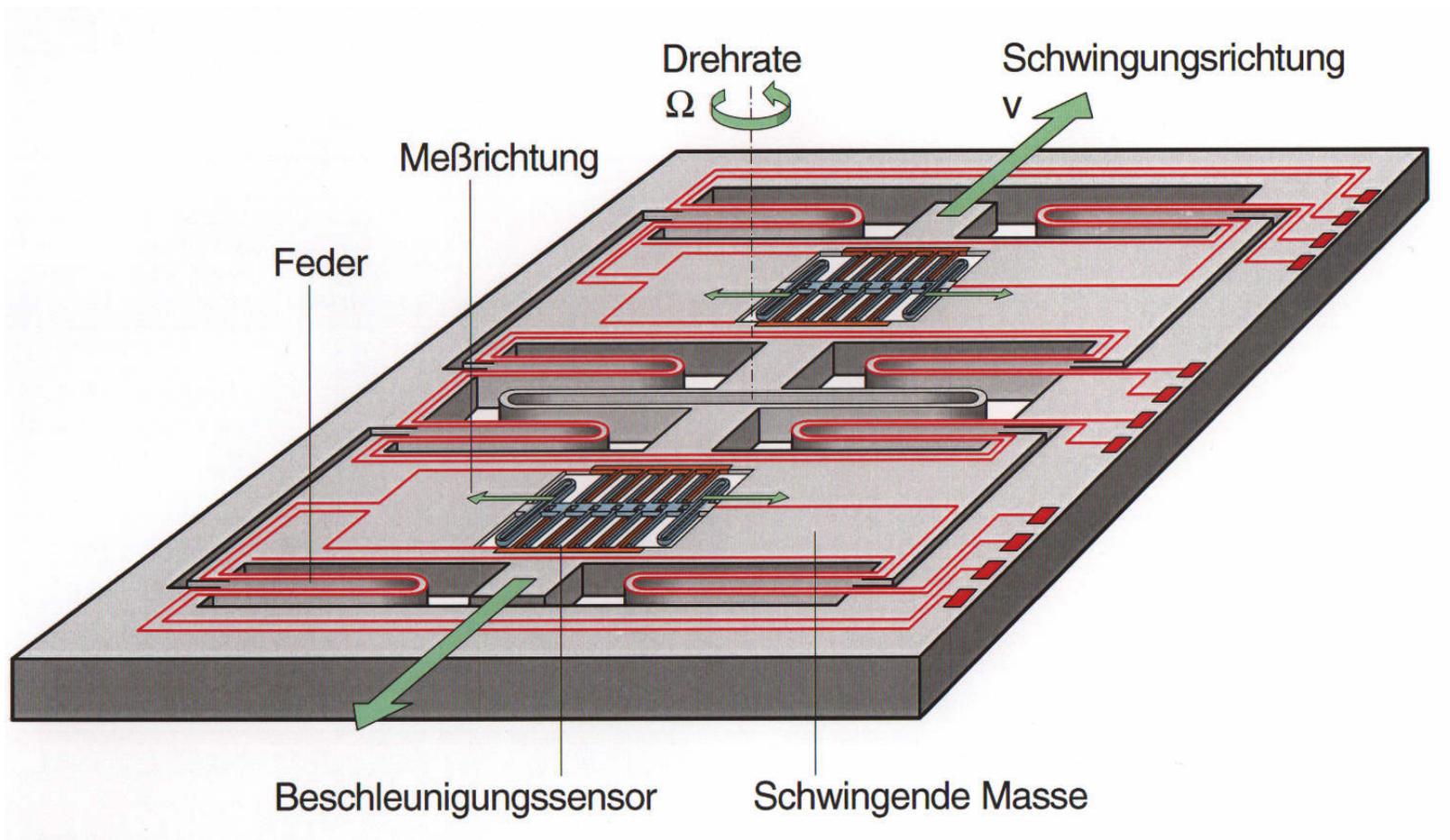
$$v_2 = R_2 \cdot \dot{\psi}$$

Coriolisbeschleunigung:

$$a_c = 2 \cdot \dot{\psi} \cdot v_R$$



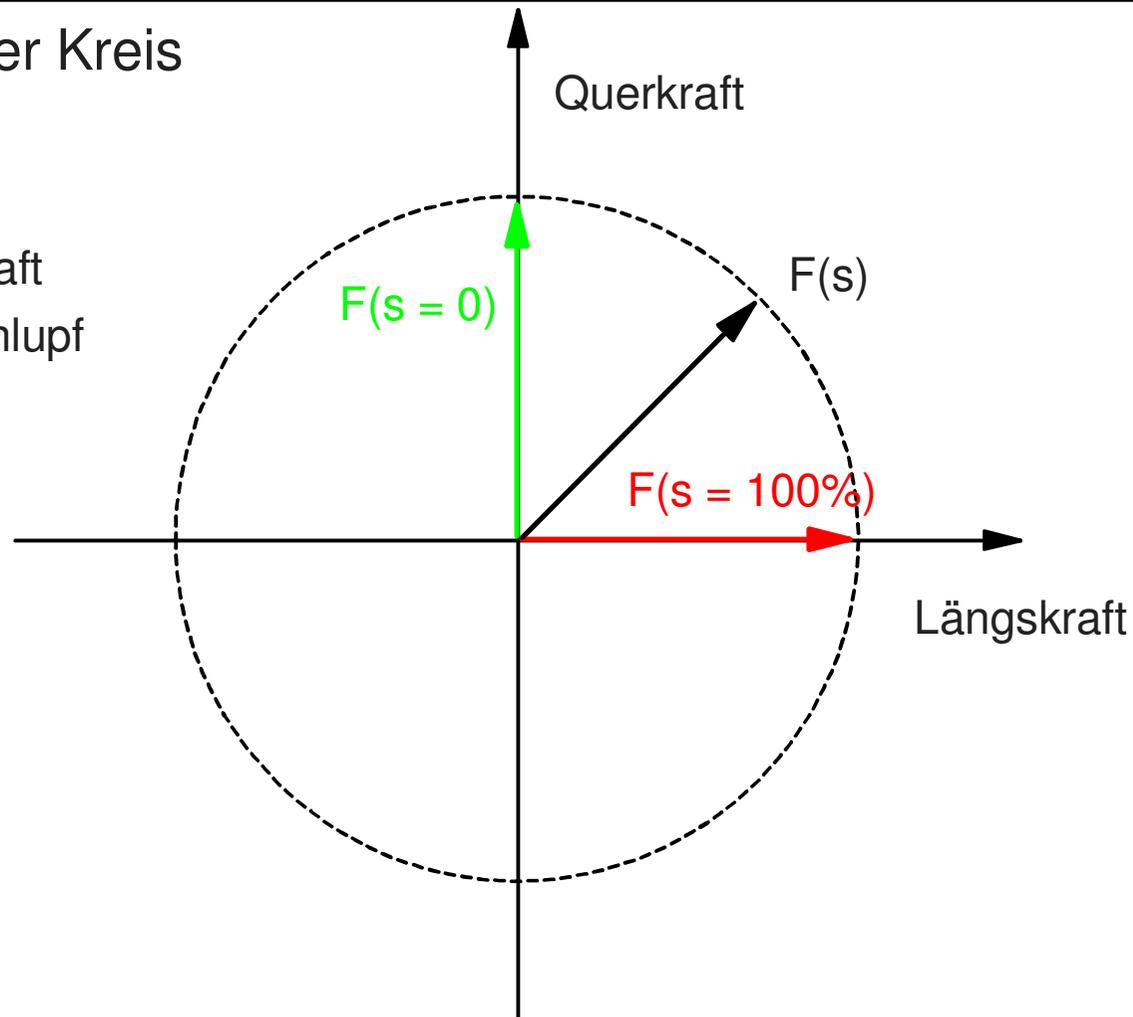
Drehratensensor (Bosch)



Längs- und Querkraftverhalten eines Reifens in Abhängigkeit vom Schlupf

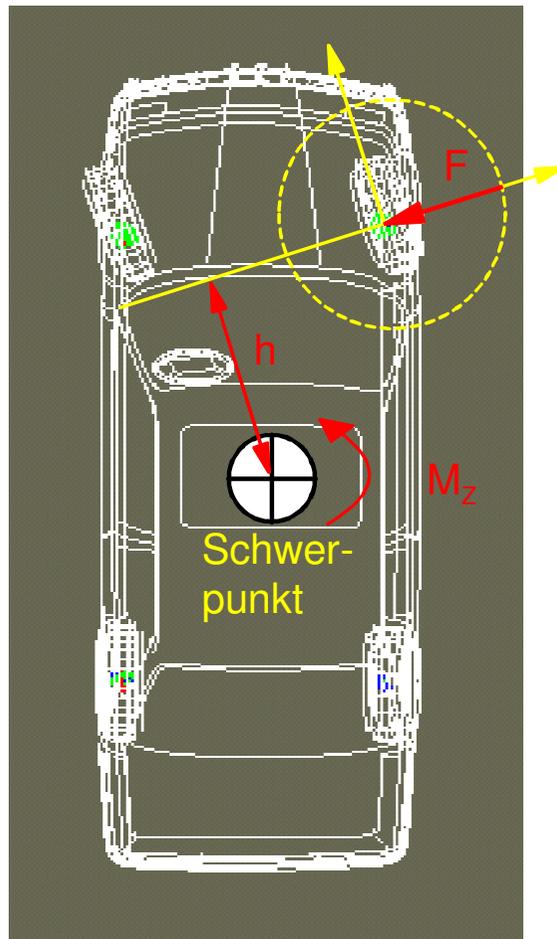
Kammscher Kreis

F = Reifenkraft
 s = Längsschlupf

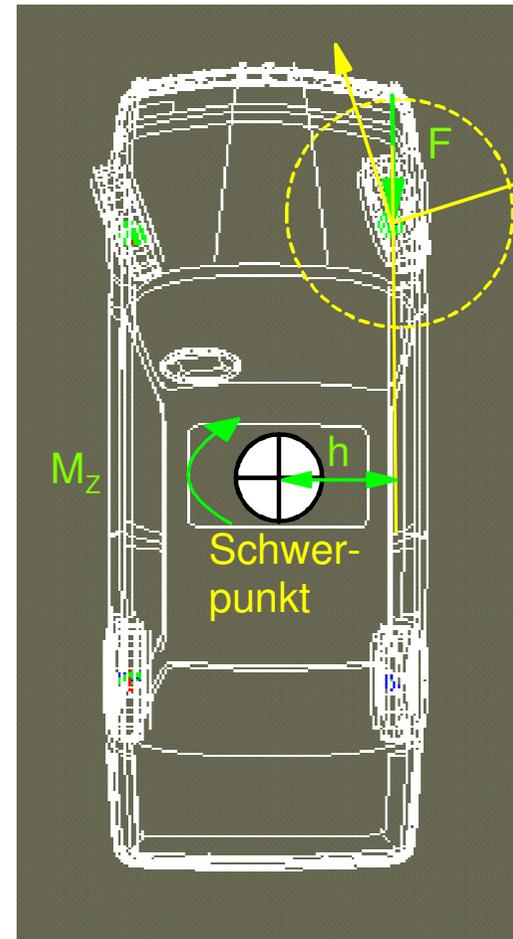


Giermomentänderung durch Längsschlupfänderung

Längsschlupf = 0



Längsschlupf > 0



Zusammenfassung

- Hauptaufgabe einer Fahrdynamikregelung ist die Begrenzung des Schwimmwinkels.
- Der Schwimmwinkel wird mit Hilfe eines Zustandsbeobachters (Einspurmodell) geschätzt.
- Die Querschleunigung wird durch den Reibwert begrenzt. Aus Querschleunigung und Fahrzeuggeschwindigkeit ergibt sich die Sollgierrate.
- Der Reglereingriff erfolgt durch Giermomentänderung. Diese wird durch Schlupfveränderung an den einzelnen Rädern erzeugt. Hierbei kann nicht die Größe der Reifenkräfte sondern nur deren Richtung beeinflusst werden.