

# Fahrzeugregelung

## Antrieb und Antriebsregelung



**Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller**

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

**Fachgebiet Kraftfahrzeuge • Technische Universität Berlin**

---

# Antrieb

## Umsetzung der Antriebsleistung

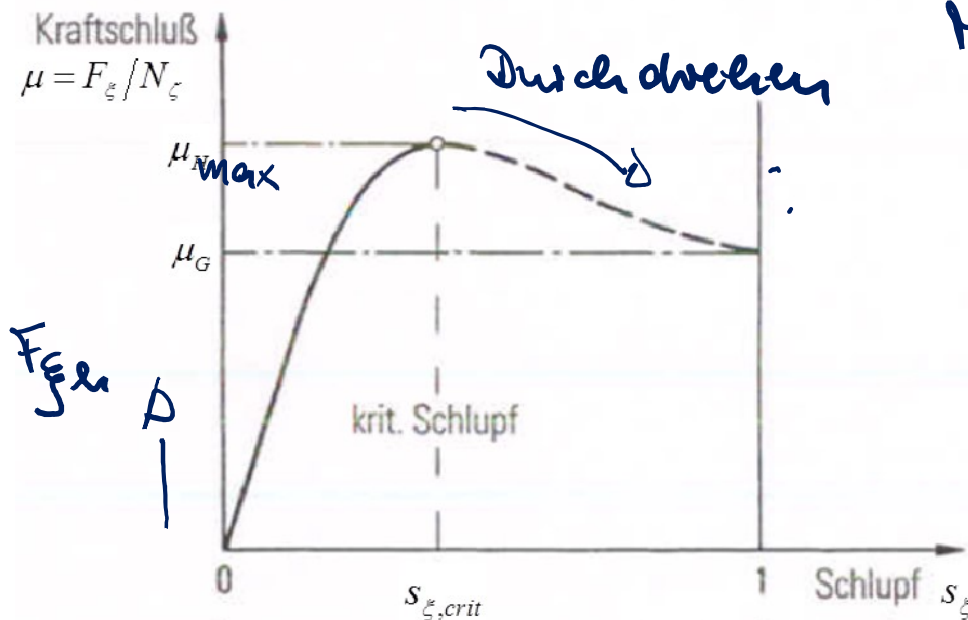
Für die Längskraft an der Hinterrachse gilt

$$F_{\xi r} = \frac{1}{r} (-y_{er}'' + m_r - N_{gr} e_r)$$

mit

$m_r = \dots$

$$F_{\xi r} = G_y g + \left( m_g + \frac{J_v^2}{r^2} \right) \ddot{u}_x + N_{gv} \frac{v}{r} + c_T A_g v_{res}^2$$



Maximal umsetzbare Längskraft

$$F_{\xi r}^{max} = \mu_{max} N_{gr} \text{ bei } s_{\xi,crit}$$

# Antriebsregelung - ASR

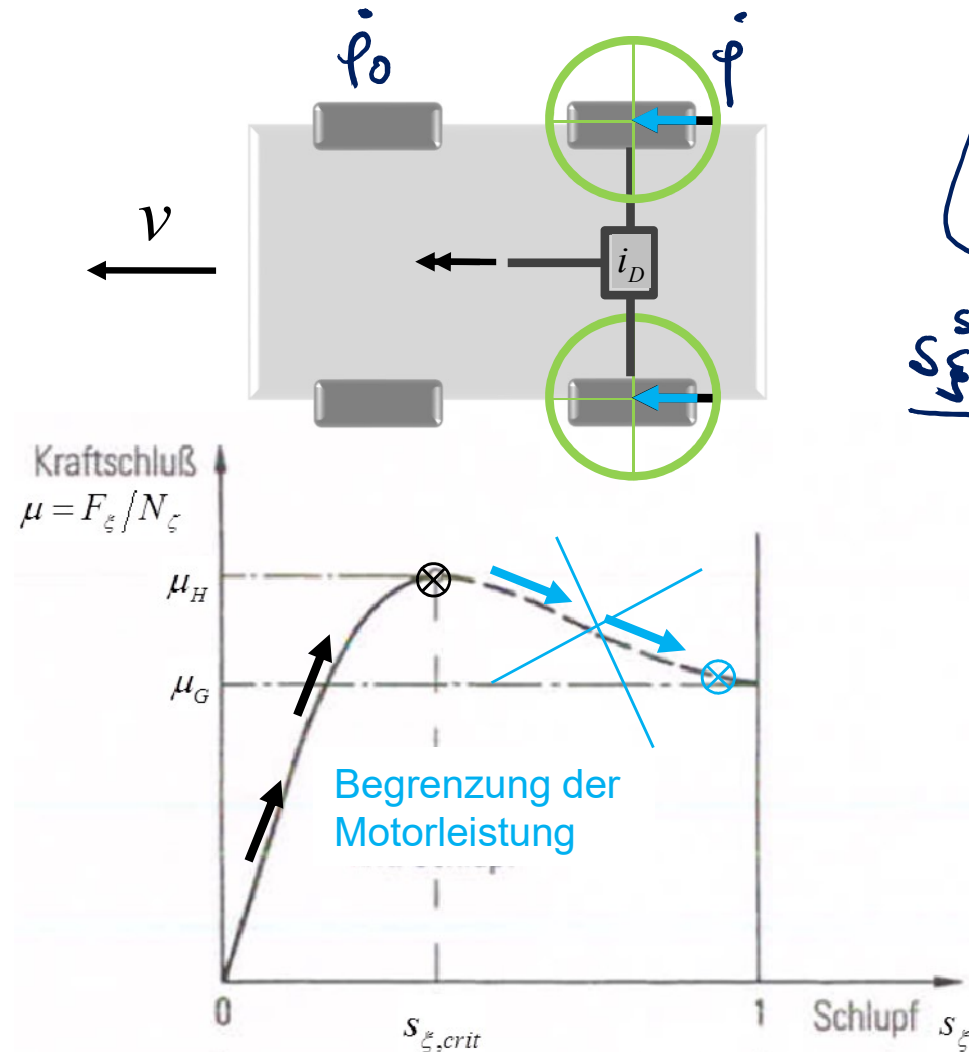
## Wichtige Regelungsziele

- Wenn die **Räder einer Achse durchdrehen**, kommt es zum **Eingraben** und hohem **Reifenverschleiß**. Der **nutzbare Reibwert reduziert sich** und der Fahrer kann keinen Einfluss mehr auf die Fahrzeugbewegung nehmen (Kamm-scher Kreis), er **verliert die Kontrolle** über das Fahrzeug.
- **Dreht bei  $\mu$ -Split ein angetriebenes Rad durch**, wird das Antriebspotenzial des anderen Rades nicht voll genutzt.
  1. Die Räder sollen **nicht durchdrehen**.
  2. Die **Reibwerte** an den angetriebenen Rädern sollen **voll ausgenutzt** werden.

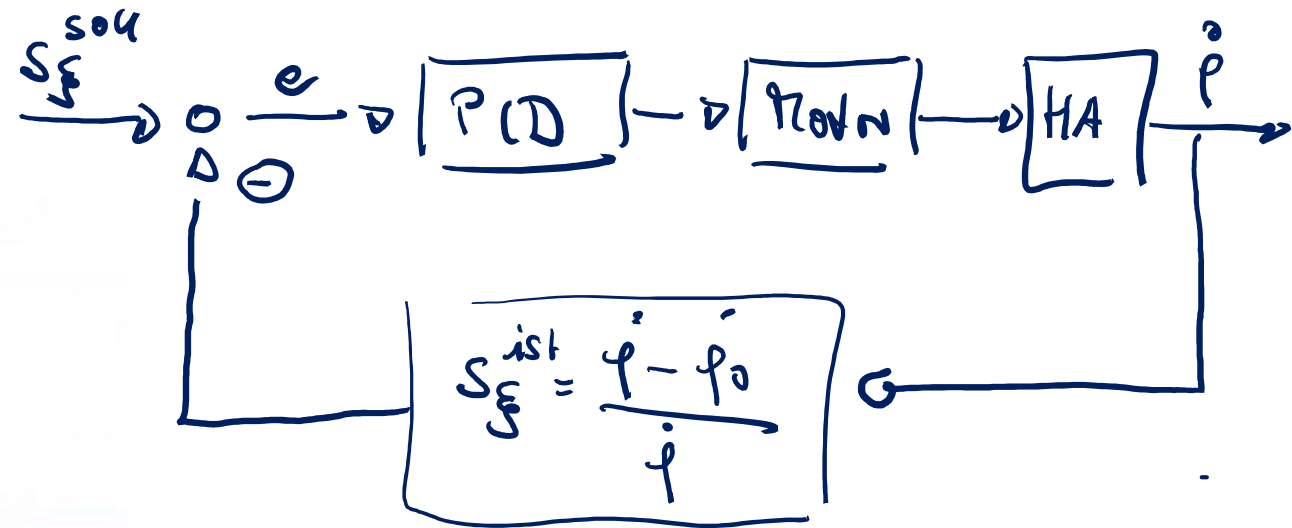
# Antriebsregelung - ASR

## Wichtige Regelungsziele

### 1. Vermeidung des Durchdrehens



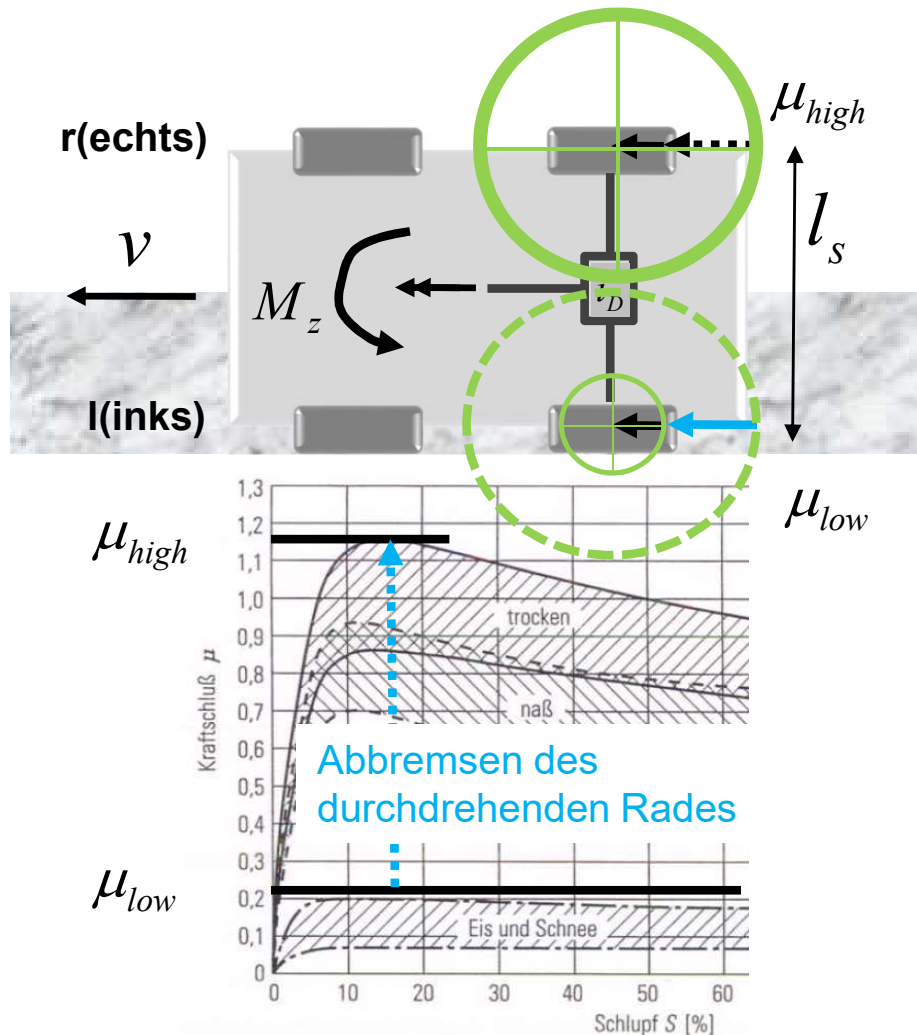
Beispielhafte Umsetzung einer Regelung



# Antriebsregelung - ASR

## Regelungsziele

### 2. Antriebskrafterhöhung bei $\mu$ -Split



Die max. mögliche Längskraft bei  $\mu$ -Split lautet bei HL-Antrieb ohne Regelung

$$F_{\text{Fz}}^{\text{max}} = \mu_{\text{low}} \frac{N_{\text{Fz}}}{2} + \mu_{\text{low}} \frac{N_{\text{Fz}}}{2} = \mu_{\text{low}} N_{\text{Fz}}$$

Mit Regelung lässt sich realisieren

$$F_{\text{Fz}}^{\text{ASR}} = (\mu_{\text{low}} + \mu_{\text{eng}}) \frac{N_{\text{Fz}}}{2}$$

Es ergibt sich jedoch ein Biegemoment mit

$$M_z = \frac{l_s}{2} (F_{\text{FzL}} - F_{\text{FzR}}) = \frac{l_s}{2} \frac{N_{\text{Fz}}}{2} (\mu_{\text{eng}} - \mu_{\text{low}})$$

# Antriebsregelung - ASR

## Historie

- 1908 Erstes Patent „Gleitschutzregler“ für Schienenfahrzeuge
- 1987 Erstes serienmäßiges ASR für PKW (Mercedes/Bosch)
- 1996 Erstes serienmäßiges ASR für Motorräder (Honda)



# Antriebsregelung - ASR

## Aktorik

### 1. Reduzierung der Motorleistung

Ottomotor: Drosselklappe

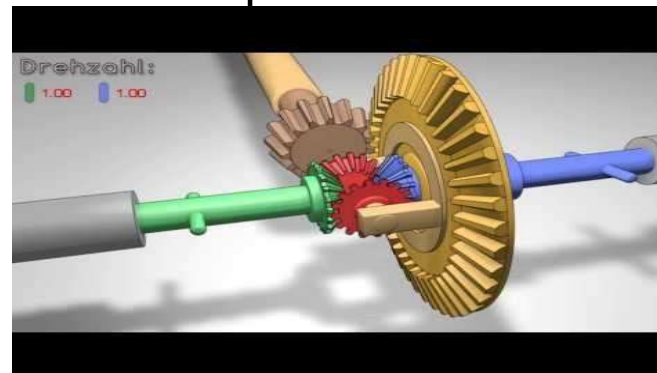
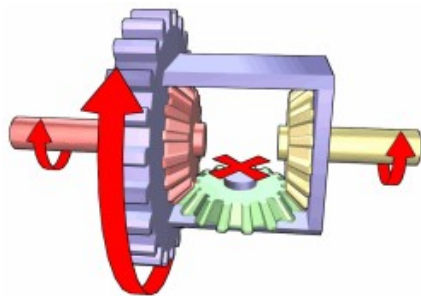


Dieselmotor: Einspritzpumpe



### 2. Bremsen des Rades

Elektronisch gesteuerte Sperrdifferentiale



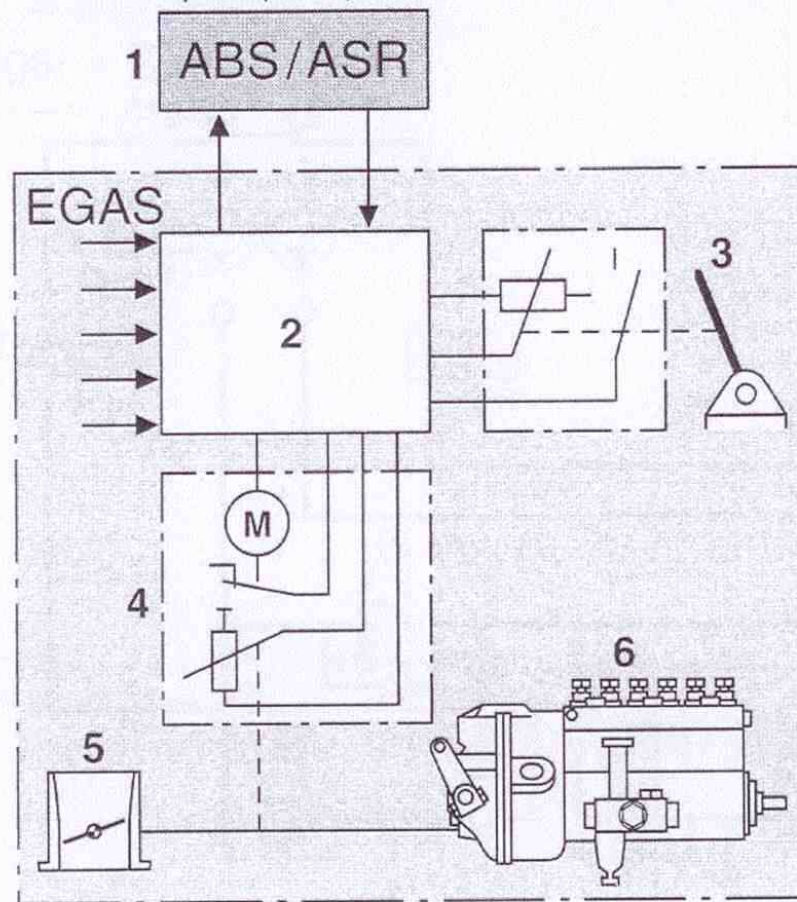
Geregelte Bremse



# Antriebsregelung - ASR

## Aktorik – Reduktion Motorleistung

1 ABS/ASR-Steuergerät, 2 EMS-Steuergerät,  
3 Fahrpedal, 4 Stellmotor, 5 Drosselklappe oder  
6 Dieseleinspritzpumpe.

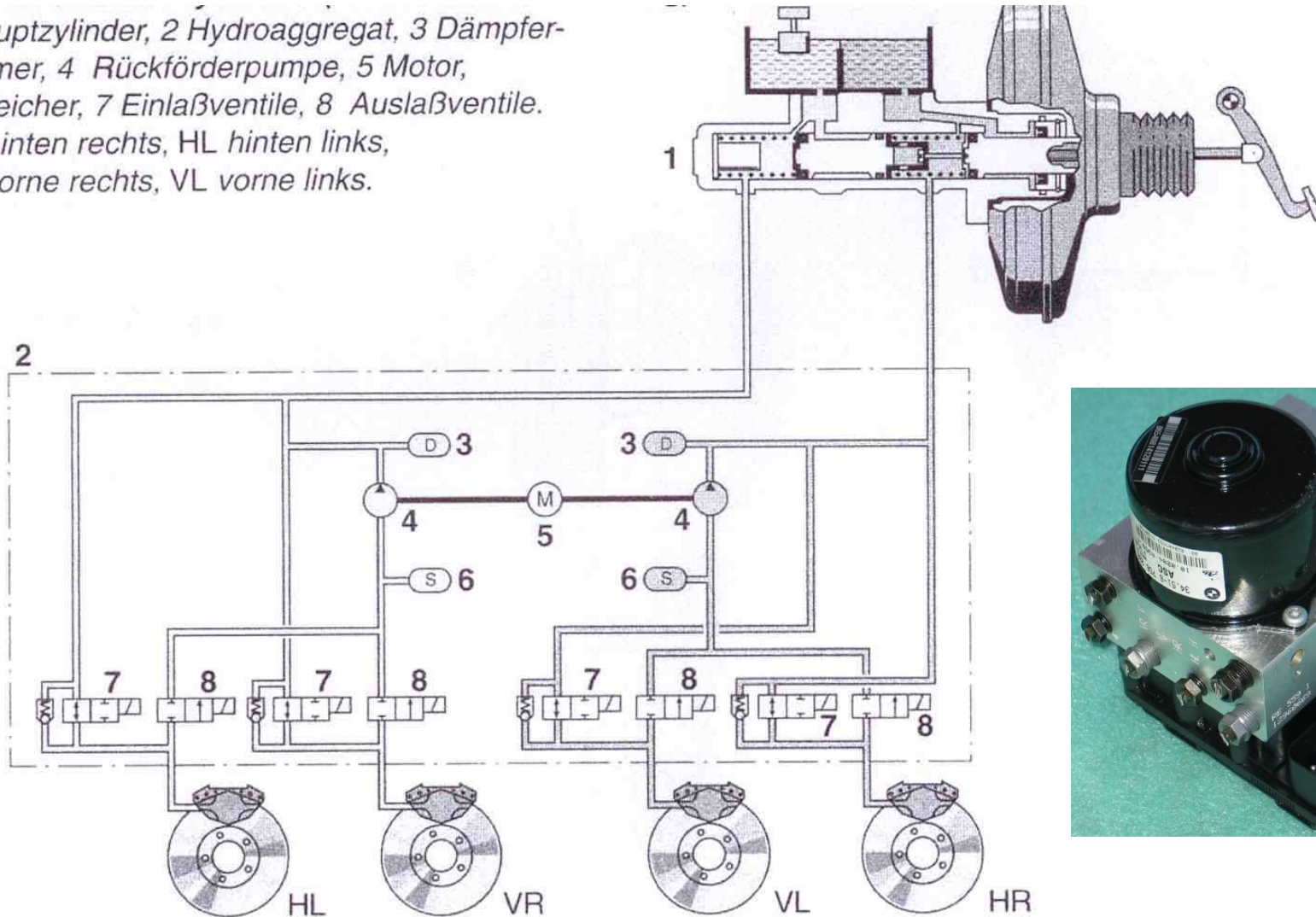




# Antriebsregelung - ASR

## Aktorik – Bremseneingriffe

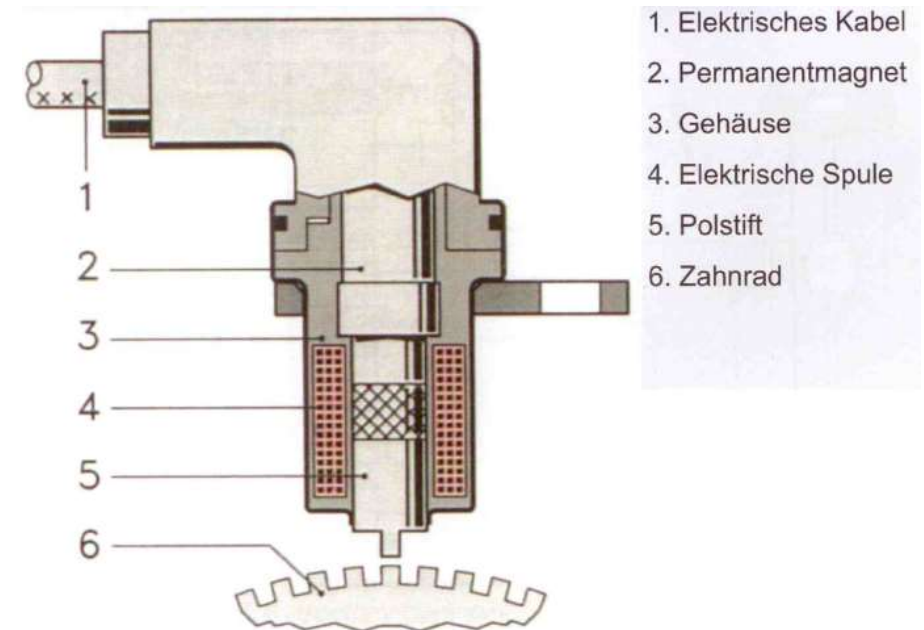
1 Hauptzylinder, 2 Hydroaggregat, 3 Dämpferkammer, 4 Rückförderpumpe, 5 Motor, 6 Speicher, 7 Einlaßventile, 8 Auslaßventile.  
HR hinten rechts, HL hinten links, VR vorne rechts, VL vorne links.



# Antriebsregelung - ASR

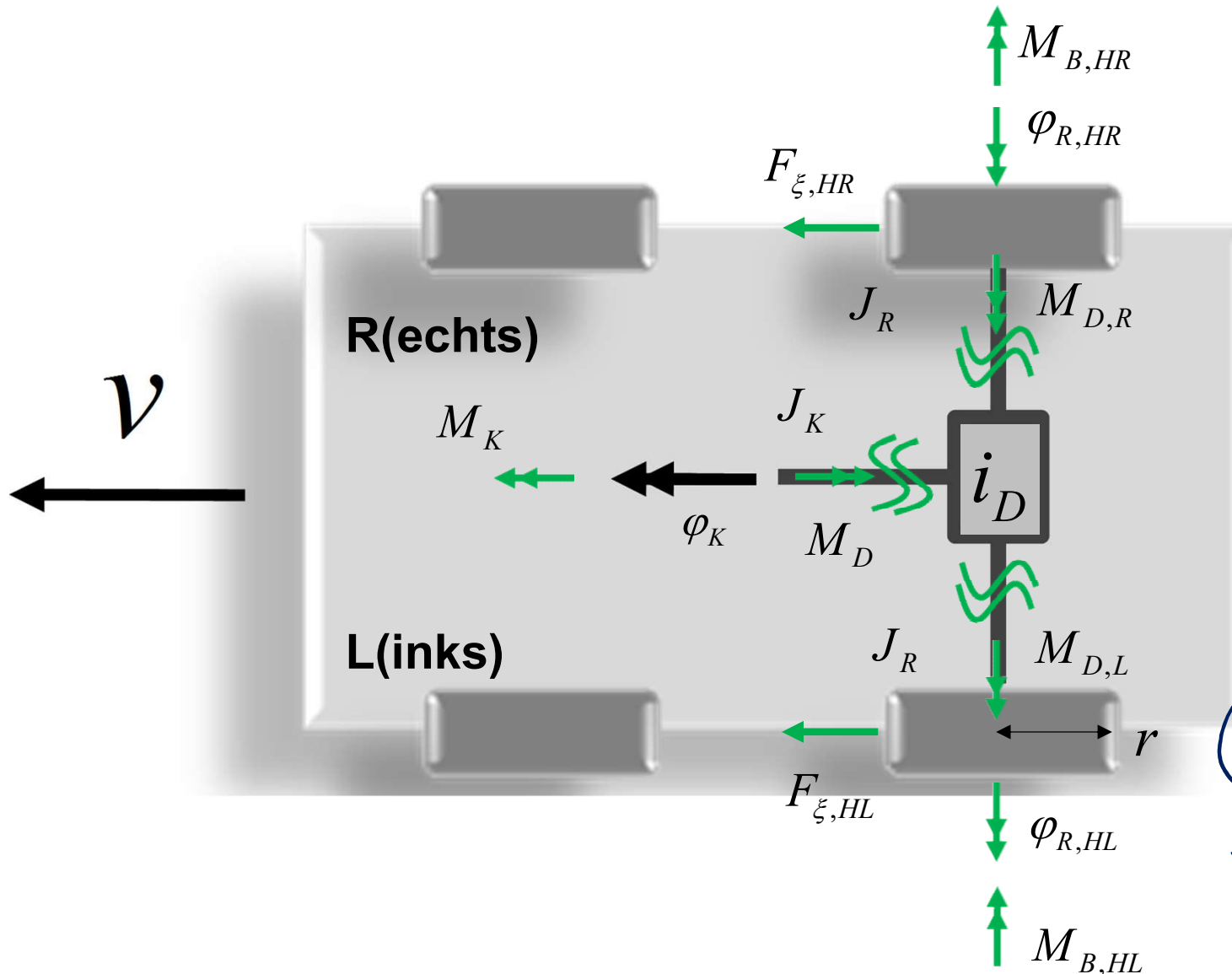
## Sensorik

### Induktionsgeber



# Antriebsregelung - ASR

## Entwurf eines Regelalgorithmus



Übersetzung Motor -  
Kardanwelle

$$i_G = \frac{\dot{\varphi}_n}{\dot{\varphi}_k} = \frac{M_k}{M_n} \quad (1)$$

Übersetzung Differential

$$\frac{\dot{\varphi}_k}{i_D} = \frac{\dot{\varphi}_{R,HL} + \dot{\varphi}_{R,HR}}{2} \quad (2)$$

Stationäres Momenten-  
GG am Differential

$$M_{DL} = M_{DR} = i_D \frac{M_D}{2} \quad (3)$$

# Antriebsregelung - ASR

## Entwurf eines Regelalgorithmus

DS Rad HL

$$J_R \ddot{\varphi}_{R,HL} = -M_{B,HL} - \underbrace{\vec{F}_{f,HL}^T}_{M_{R,HL}} + M_{DL} \quad (4)$$

DS Rad HR

$$J_R \ddot{\varphi}_{R,HR} = -M_{B,HR} - \underbrace{\vec{F}_{f,HR}^T}_{M_{R,HR}} + M_{DR} \quad (5)$$

DS Radantrieb

$$J_K \ddot{\varphi}_K = -M_D + i_G M_H \quad (6)$$

Aus (6) folgt für (3)

$$M_{DL} = M_{DR} = \frac{i_D}{2} (-J_K \ddot{\varphi}_K + i_G M_H) \quad (7)$$

Wegen (2) sind Gl. (4), (5) und (6) nicht entkoppelt. Die Zustände  $\varphi_{R,HL}$ ,  $\varphi_{R,HR}$  und  $\varphi_K$  können in der Form also nicht unabh. voneinander beeinflusst werden.

# Antriebsregelung - ASR

## Entwurf eines Regelalgorithmus

Aus der Differenz zwischen (4) und (5) folgt mit (3)

$$\underbrace{J_R \ddot{\Delta \varphi_R}}_{ATB} = - \underbrace{(M_{B,HL} - M_{B,HR})}_{ATB} - (M_{R,HL} - M_{R,HR}) \quad (8)$$

mit  $\Delta \varphi_R = \varphi_{R,HL} - \varphi_{R,HR}$  Rad Differenzdrehwinkel

Die Addition von (4) und (5) liefert mit Gl. (2) und (7)

$$\left( J_K + \frac{1}{i_D^2} 2 J_R \right) \ddot{\varphi_K} = - \frac{1}{i_D} \underbrace{(M_{B,HL} + M_{B,HR})}_{M_{BK}} - \frac{1}{i_D} (M_{R,HL} + M_{R,HR}) + i_G M_H$$

$\Delta \varphi_R$  und  $\varphi_K$  lassen sich also durch

$$\begin{Bmatrix} \Delta M_B \\ M_{BK} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M_{B,HL} \\ M_{B,HR} \end{Bmatrix}$$

sowie das Motormoment  $M_H$  unabh. voneinander beeinflussen.

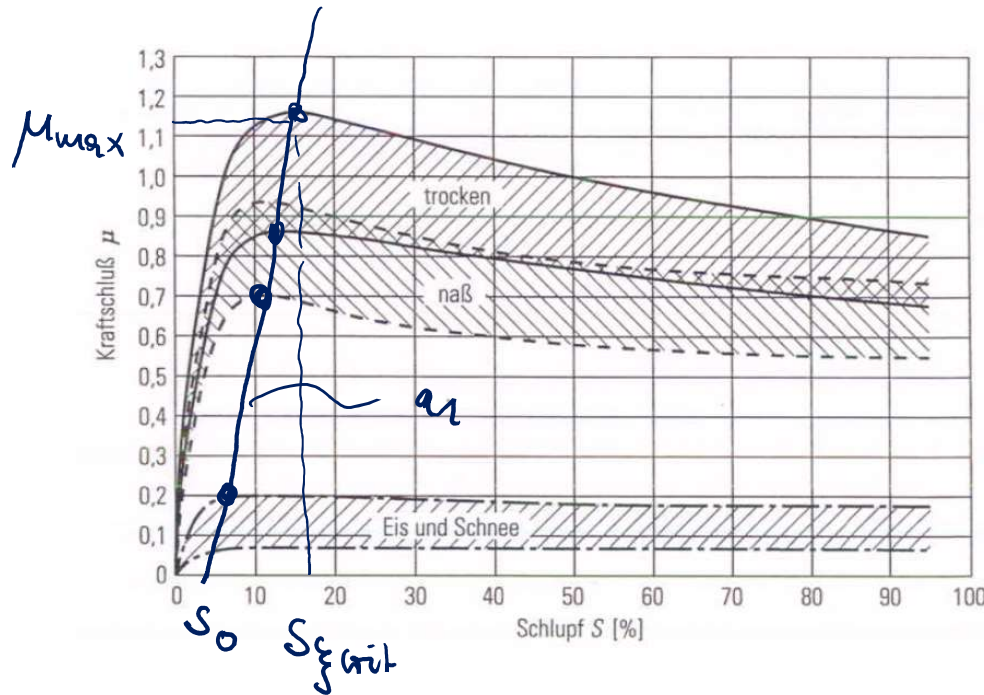
Dabei folgen die notwendigen Radbremsmomente dann aus

$$\begin{Bmatrix} M_{B,HL} \\ M_{B,HR} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta M_B \\ M_{BK} \end{Bmatrix}$$



# Antriebsregelung - ASR

## Entwurf eines Regelalgorithmus



Schätzung des kritischen Schlupfes  $S_{crit}$

$$S_{crit} = S_0 + a_1 \mu_{max} \quad a_1 = \frac{dS_{crit}}{d\mu}$$

mit  $\mu_{max}$  wird geschätzt.

Dann lautet der Antriebsschlupf-Sollwert

$$(10) \quad S_{\xi}^{soll} = S_0 + a_1 \max(\mu_{max,HL} / \mu_{max,KD})$$

Für den Differenzschlupf-Sollwert folgt

$$D_{\xi}^{soll} = D_{\xi T}$$

$D_{\xi}$  - Toleranzband um 0  
"Totzone"



# Antriebsregelung - ASR

## Entwurf eines Regelalgorithmus

Aus (16) folgt für die Soll-Raddrehzahlen mit z.B.

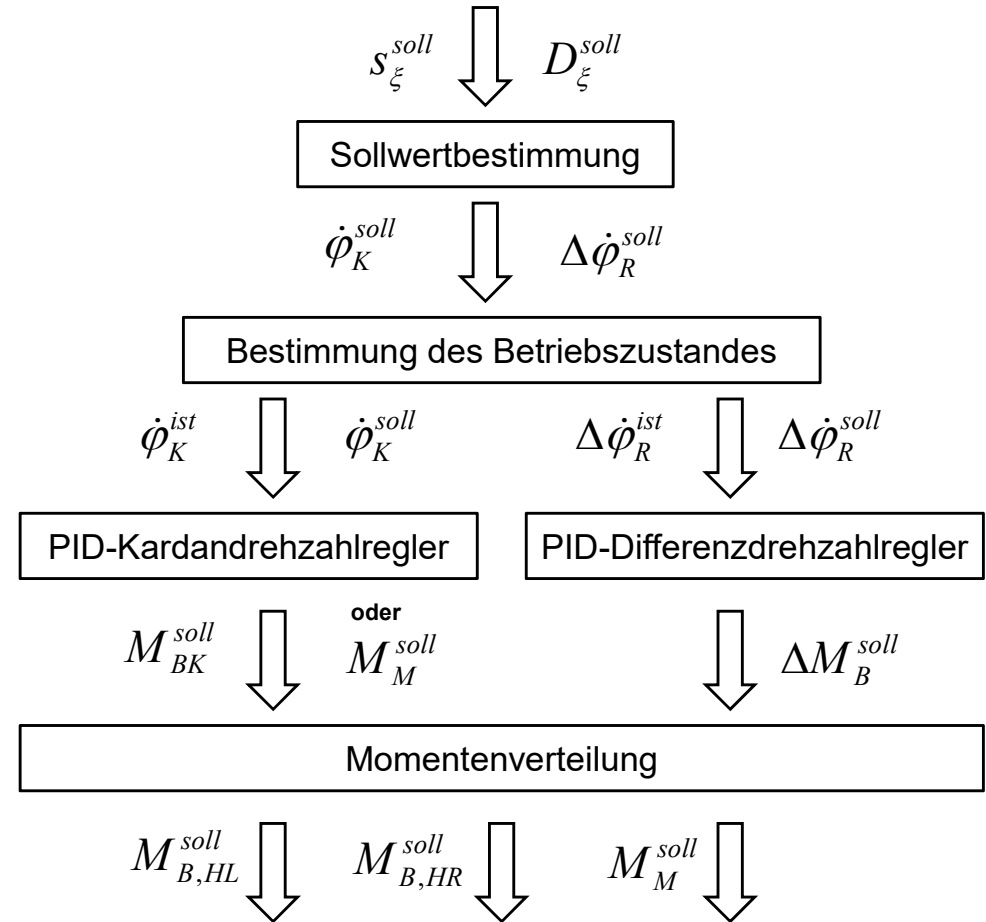
$$s_{\xi}^{soll} = \frac{\dot{r}_{r,HL}^{soll} - \dot{r}_{o,VL}}{\dot{r}_{r,HL}^{soll}}$$

$$\dot{r}_{r,HL}^{soll} = \dot{r}_{r,HR}^{soll} = \frac{1}{(1-s_{\xi}^{soll})} \dot{r}_{o,VL}$$

Damit

$$\dot{r}_K^{soll} = i_D \frac{\dot{r}_{r,HL}^{soll} + \dot{r}_{r,HR}^{soll}}{2}$$

$$\Delta \dot{r}^{soll} = \dot{r}_{r,HL}^{soll} - \dot{r}_{r,HR}^{soll}$$



# Antriebsregelung - ASR

## Objektive Bewertungskriterien

- Wie stark ist die Beschleunigung (homogen,  $\mu$ -Split)
- Welche Hügelsteigung kann angefahren werden?
- Welche Rundenzeiten sind möglich (Hockenheim, Nürburgring)?
- Wie hoch ist das Geräuschniveau?

# **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**