

BREMSBASIERTE ASSISTENZFUNKTIONEN

-

FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME



(ABS, ASR, **ESP**[®])

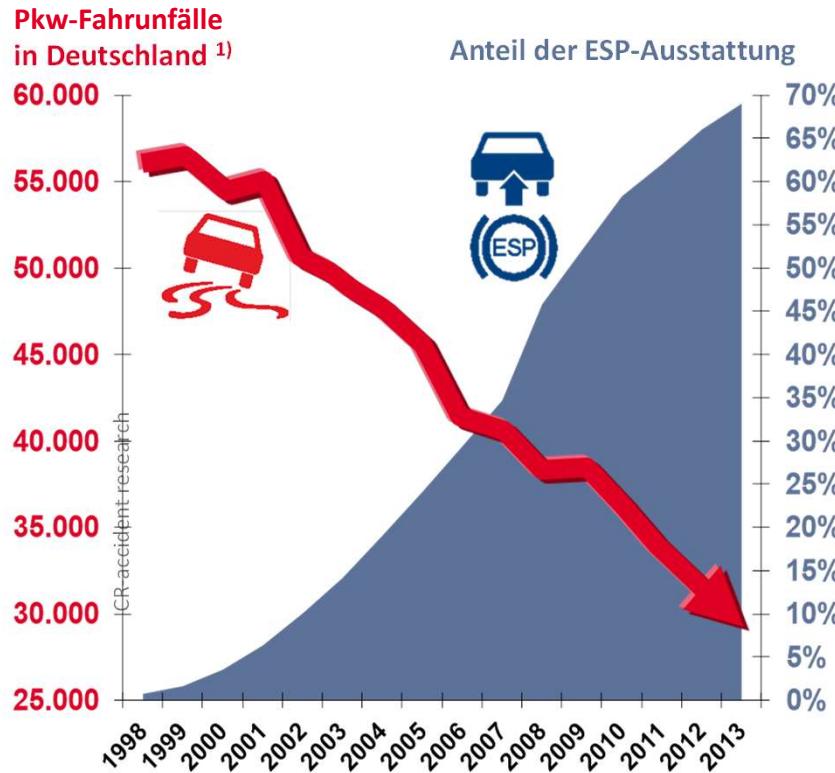
ROBERT BOSCH GMBH
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ



Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?

Entwicklung der Fahrunfälle in Deutschland



- Mehr als jedem **zweiten Fahrunfall** geht ein Schleudervorgang voraus
- **60% aller Unfälle** mit Todesfolge werden durch Seitenkollisionen (meist infolge Schleudern) verursacht

Quellen: ¹⁾ Statistisches Bundesamt Deutschland: Sonderstudie (Unfälle mit Personenschäden)

²⁾ Daten von CC/MKC, DAT-Bericht

- **Das Gros** der PKW-Kollisionen ereignet sich im Bereich zw. 60 u. 100km/h
- **30%** der Unfälle mit Personenschäden erfolgt ohne Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer
- **50%** davon erfolgen durch Seitencrashes
- **ESP® vermeidet 80%** der Schleuder-situationen im realen Unfallgeschehen²⁾
- **ESP® leistet einen großen Beitrag zur Reduzierung der PKW-Fahrunfälle!**

Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?

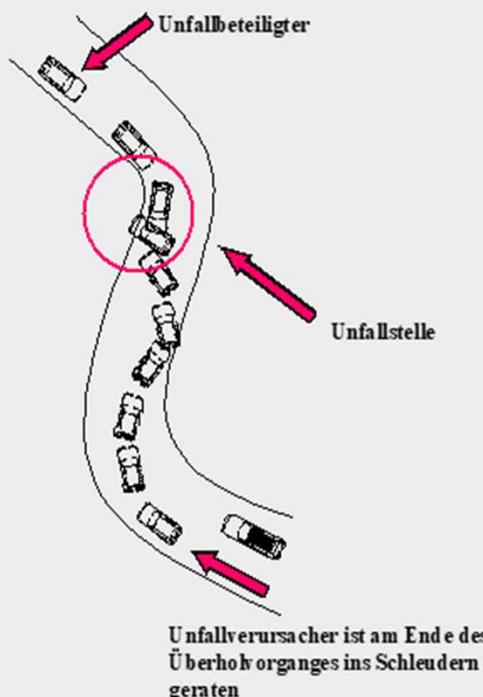
Typischer Unfallablauf: Seitenkollision



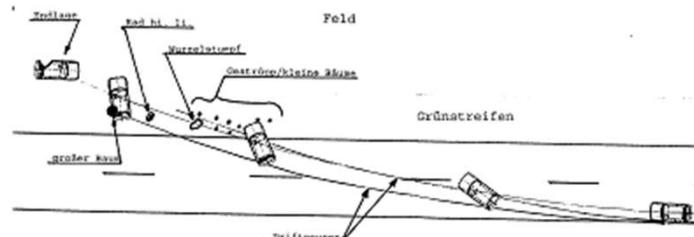
Unfallbeteiligter: geringe Verletzungen



Unfallverursacher: tödliche Verletzungen



Unfall mit Verlust der Fahrzeugkontrolle



Ursachen

- nicht angepaßte Geschwindigkeit
- Ablenkung
- falsche Reaktion (z.B. übersteuern)

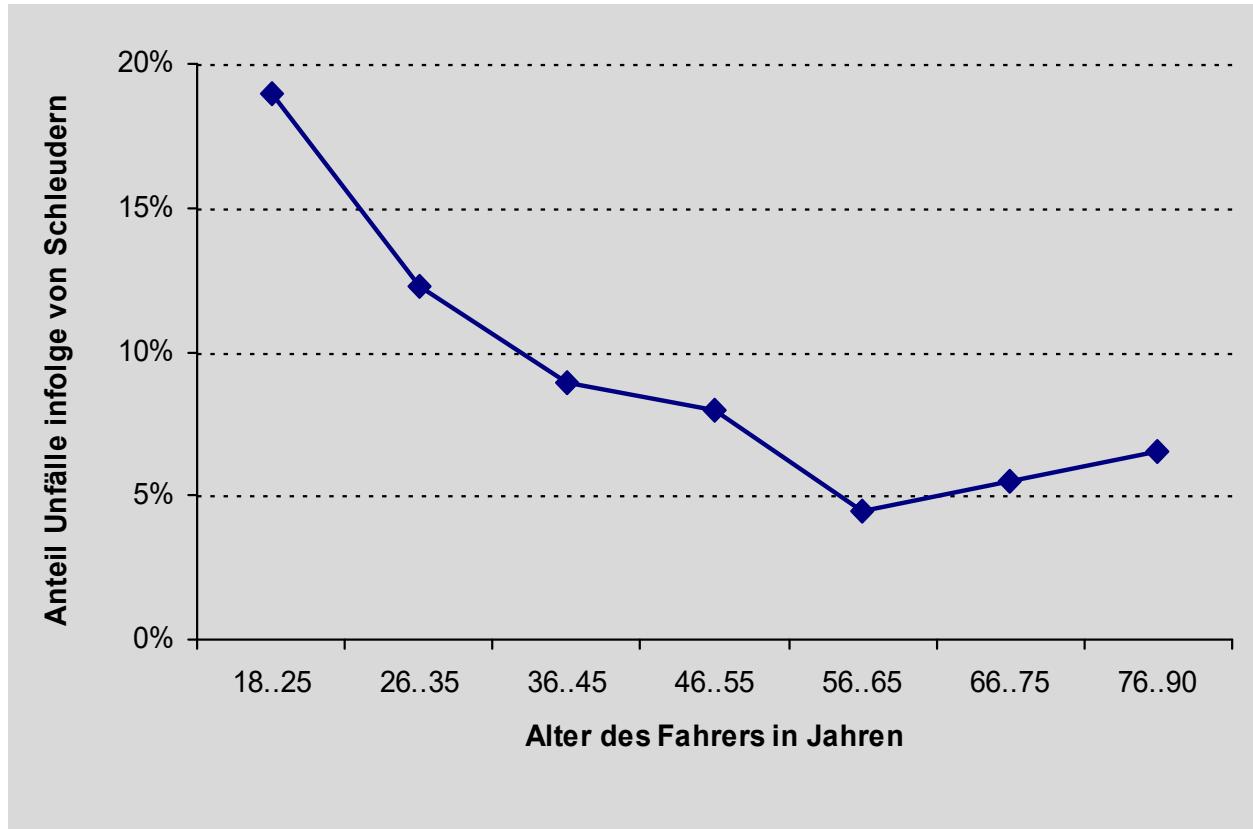
(Alleinunfall)

Pkw/Pkw Unfall
vehicle



Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?



Schleudern – Hauptursache für schwere und tödliche Unfälle

- Junge Fahrer (18-25 Jahre) mit höchsten Anteil Schleuderunfälle



Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?

Erfahrungshorizont von Normalfahrern

Normalfahrer ...

- ... bremsen mit Bremsdrücken die fast immer unterhalb von 40 bar liegen (ca. 0,4 g)
 - ... lenken so, dass die Querbeschleunigung kleiner als 0,2 g bleibt
 - ... fahren mit Schwimmwinkeln kleiner als 2°
 - ... haben keine Erfahrung im nichtlinearen Bereich der Schlupf- und Schräglaufkurven
 - ... haben weder eine Ahnung vom momentanen Reibwert der Fahrbahn noch von der momentanen Stabilitätsreserve
-
- Wenn das Fahrzeug sich außerhalb des Erfahrungsbereiches von Normalfahrern befindet, reagieren diese oft überrascht, geraten in Panik und handeln nicht angemessen (lenken zu viel etc.)

Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?

Kritische Fahrsituationen

➤ Untersteuern:

- Fzg dreht sich weniger als der Fahrer lenkt
- Das Fzg folgt nicht der Fahrervorgabe
- Schwimmwinkel und Drehrate sind zu klein
- Fzg verläßt die Fahrbahn über die Vorderachse
- Regelungstechnisch: Mangel an Lenkfähigkeit



➤ Übersteuern:

- Schleudern: Fzg dreht sich mehr als der Fahrer lenkt
- Heck bricht aus: Schwimmwinkel und Drehrate sind zu groß
- Regelungstechnisch: Mangel an Stabilität



Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?

Fahrzeug hat in der Ebene 3 Freiheitsgrade

- Längsfreiheitsgrad: durch Fahrer vorgegeben, Brems/Beschleunigungswunsch im Rahmen der Fahrdynamik umgesetzt
 - ABS und ASR halten die Räder am Rollen und sichern damit ein Standardniveau an Lenkfähigkeit und Stabilität des Fahrzeugs
- Querfreiheitsgrade: durch Fahrer vorgegeben, Lenkwunsch im Rahmen der Fahrdynamik umgesetzt
 - In kritischen Querdynamischen Fahrzuständen reichen die erzielbaren Seitenkräfte der Reifen nicht aus, das Fahrzeug lenkfähig und stabil zu halten
 - Optionen:
 - Giergeschwindigkeit: Durch Giermoment an den einzelnen Rädern steuerbar, wichtigste Regelgröße;
 $\psi = f(F_B, F_S, \delta)$
 - Quergeschwindigkeit/Schwimmwinkel: Indirekt beeinflussbar durch Änderung der Seitenkraft
- Untersuchung zur Stabilisierung des Fahrzeugs in instabilen Bereichen aufbauend auf den ABS- und ASR-Komponenten führten zur Entwicklung des Elektronischen Stabilitäts Programms (ESP®)

Bremsbasierte Assistenzfunktionen

ESP® – Die Anfänge



Entwicklungsumgebung / Versuchsträger

- W123 T-Modell mit 220V-Stromaggregat (4,5kW !)
- Rapid Prototyping mit Prozessrechner HP1000 A900, Digitales Datenerfassungssystem von Kayser-Threde
- Programmiersprache FORTRAN
- **Rotierendes RadDynamometer**
- Korrelationsoptik von FIB
- Peissler-Rad
- Kreiselplattform



Bremsbasierte Assistenzfunktionen

ESP®-Meilenssteine

- | | |
|--|--------------------|
| ➤ Grundsatzentwicklung ABS | 1984 – 1987 |
| ABS in Serie seit 1978 -> Auftrag: Kostengünstigeres ABS | |
| ➤ Erste Ansätze für Fahrzeugregelung | 1985 |
| (1- und 2-Kanal-ABS, Schlupfregler) | |
| ➤ Entwicklungsumgebung / Versuchsträger | 1985 |
| ➤ Grundsatzuntersuchungen PKW-ABS/ASR | ab 1988 |
| Potentialuntersuchung zur Fahrdynamikregelung: | |
| – Schwimmwinkelregelung mit gemessenem Schwimmwinkel (Korrevit) | |
| • Weitere Untersuchung von Sensorkonzepten für Fahrzeugregelung | |
| • Festlegung Basis-Konzept | |
| ❖ 4-Kanal-ABS mit überlagertem Fahrzeugregler | |
| ❖ Sensierung Querdynamik mittels DRS, AY, LWS | |
| • Größte Herausforderung: Entwicklung robuster DRS für Großserieneinsatz | |

Bremsbasierte Assistenzfunktionen

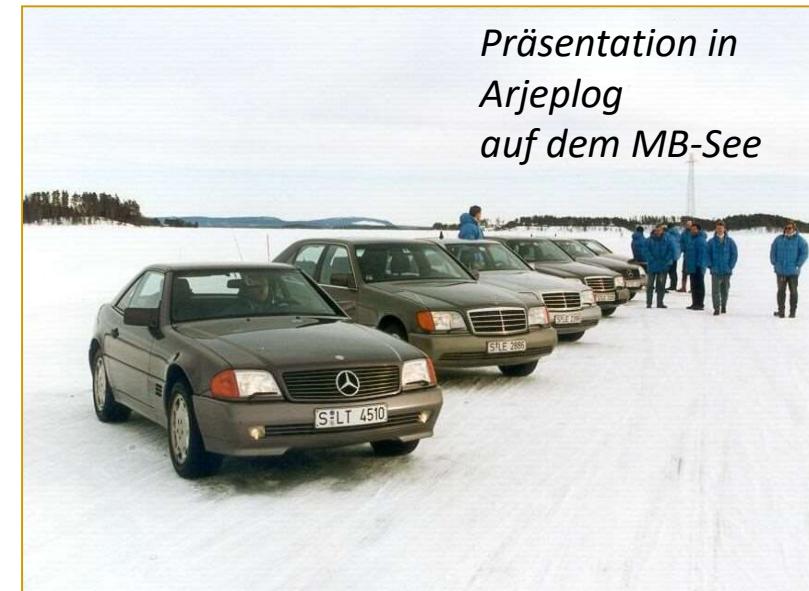
ESP®-Meilensteine

- **Erster Prototyp des FDR** **1989**
 - Zunächst nur im (Voll-)Bremsbereich
- **Weiterentwicklung FDR für alle Betriebszustände** **1989 – 1992**
 - Robustheit & Einfluss Sensorik
 - FDR bei Teilbremsung & ASR-Fkt.
- **1. Konzeptgespräch MB/RB u. Aufbau Konzept-Fzg mit RB-FDR** **09/1991**
- **FDR/FSI-Konzeptvergleich im Fahrzeug u. Entscheid für RB-FDR** **23.3.–9.4.1992**
- **Aufsetzen der Projektteams bei MB / RB** **06/1992**
 - Kernteam in Projekthaus in Si13 bzw. Arjeplog
- **SW Umsetzungen Fortran->C-Float->C-Integer** **1992&1993**
- **Serienabsicherung** **1994**
- **Serieneinführung S-Klasse (W140) & SL (R129)** **1995**

Serieneinführung des ESP®

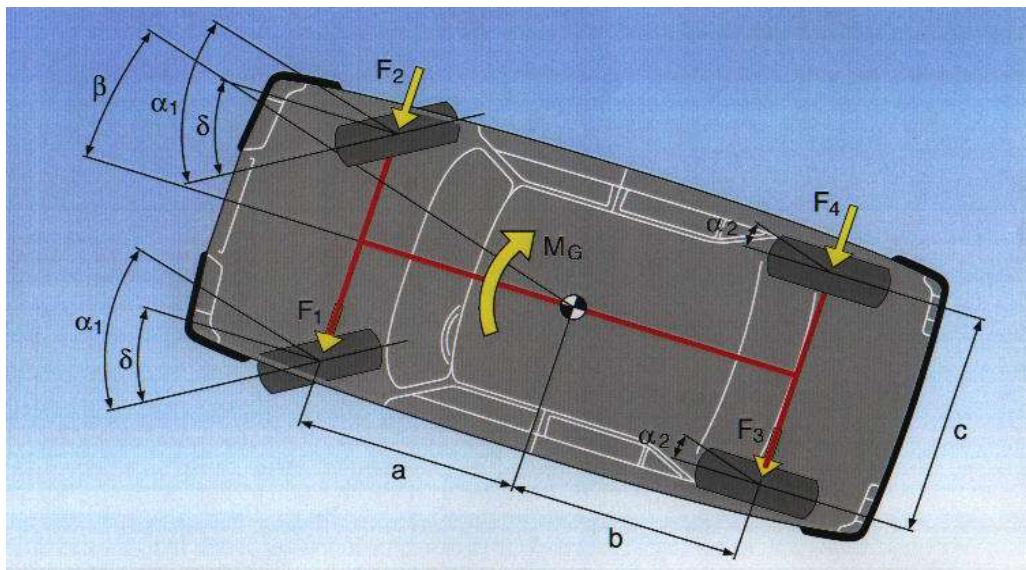
1995

im MB W140 und R129



Fahrdynamikregelsysteme

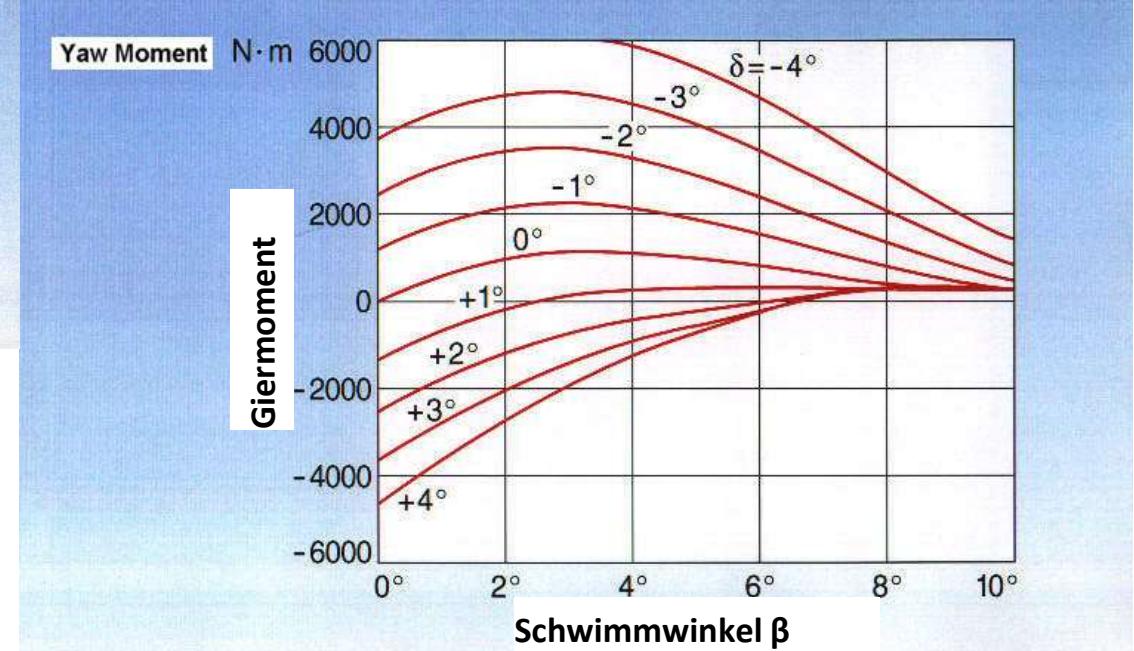
Fahrdynamik: Die Beta Methode (Honda)



Untersuchung der Lenkfähigkeit als Funktion des Schwimmwinkels

Lenkfähigkeitskennfeld:

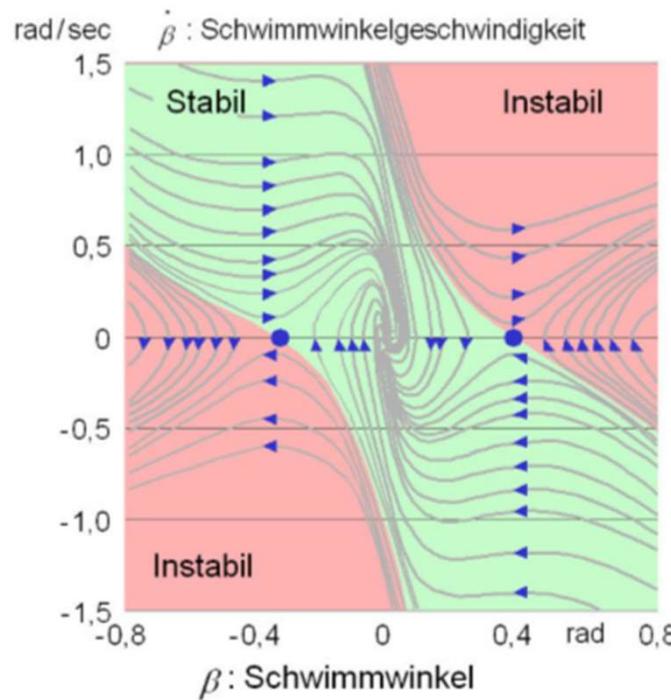
Bei großen Schwimmwinkel ist der Einfluss des Lenkwinkels auf das Giermoment gering



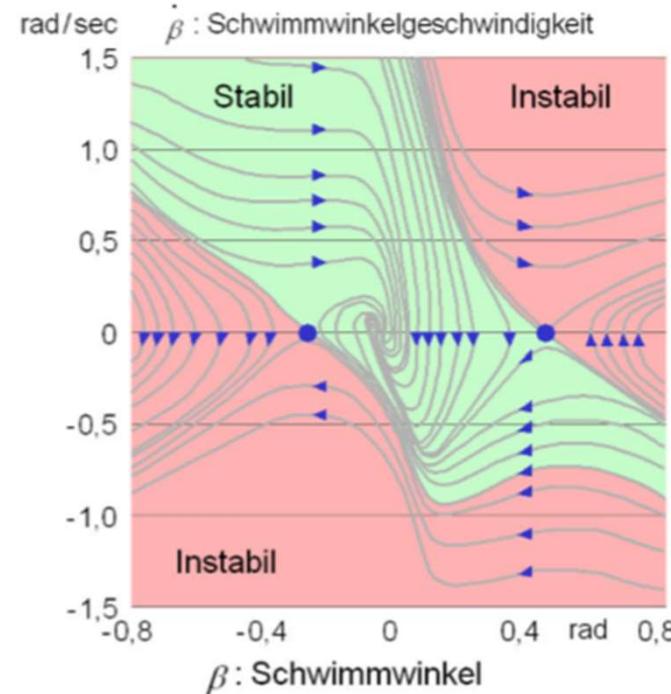
Fahrdynamikregelsysteme

Fahrdynamik: Fahrzeugstabilität im Phasenbereich (Toyota)

Lenkwinkel = 0 rad



Lenkwinkel = 0,08 rad



Der Stabilitätsbereich wird mit zunehmendem Lenkwinkel kleiner
V=100km/h; $\mu = 1,0$

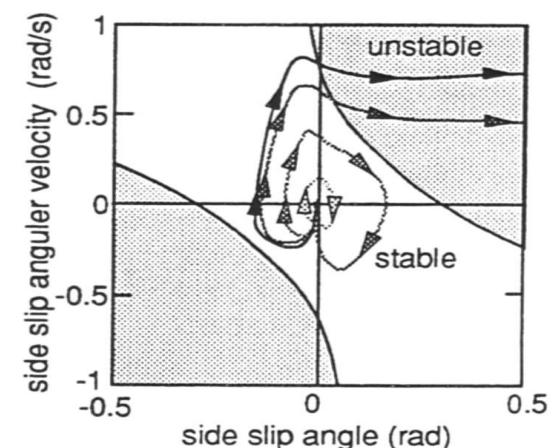


Fig.2 Response in Sine Steering Input

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Anforderungen

- ESP® muss den Fahrer in allen Fahrsituationen unterstützen (Bremsen, Beschleunigen, Konstantfahrt, ...)
- ESP® muss den Lenkaufwand des Fahrers reduzieren
- Der Fahrer muss sich bzgl. des Fahrzeugverhaltens immer sicher fühlen
- Die Fahrervorgaben dürfen nicht zur Instabilität des ESP®-Systems führen
- In überhöhten Kurven öffentlicher Straßen (<20°) dürfen keine Eingriffe erfolgen
- ESP® darf die Fahrsituation unter keinen Umständen verschlechtern (defekte Stoßdämpfer, Anhänger, Reifenverschleiß, -platzer, ...)
- Das Fahrzeug muss prompt auf Fahrerlenkvorgaben reagieren
- Rückkehr in eine stabile Fahrsituation muss sofort erkannt werden

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Anforderungen

- Prioritäten für den Antrieb (ASR) bei hohen Fahrgeschwindigkeiten
 - Fahrstabilität
 - der Schwimmwinkel darf 6° nicht überschreiten
 - Komfort (Geräusch, Fzg-Schaukeln)
 - Traktion
- Der Elch-Test (VDA-Test) muss erfolgreich abgeschlossen werden
- Die Anforderungen an Fahrdynamikregelsysteme, ECE-Nr. 13-H, Anhang 9 (Sine-with-Dwell), müssen erfüllt sein

Fahrdynamikregelsysteme

Definition und Begriffe

➤ Anfänge:

- FDR: Fahrdynamikregelung (BOSCH)
- VDC: Vehicle Dynamics Control (BOSCH)
- ESP®: Electronic Stability Program (DAIMLER)

➤ Generisch:

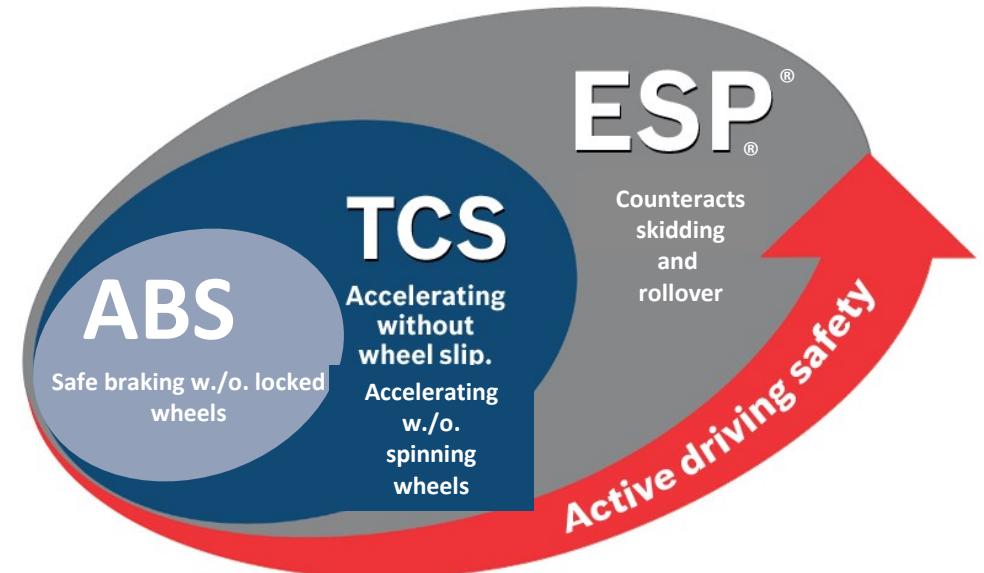
- ESC: Electronic Stability Control

➤ OEM-spezifisch:

BMW:	DSC
Porsche:	PSM
Volvo:	DSTC
Toyota:	VSC
Honda:	VSA

➤ ESP®-System

- ABS & TCS(ASR) & VDC-Vehicle Dynamics Controller (FZR-Fahrzeugregler)

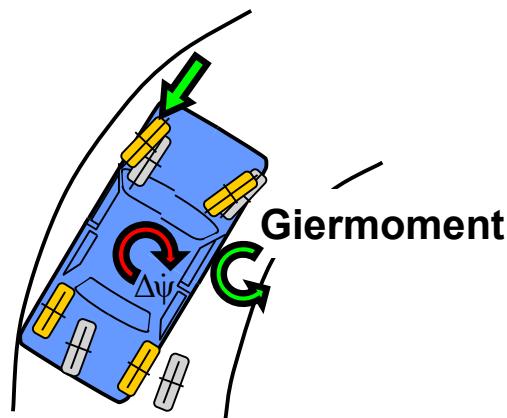


Fahrdynamikregelsysteme

Grundlagen Fahrdynamik: ESP®-Funktion

➤ Übersteuern:

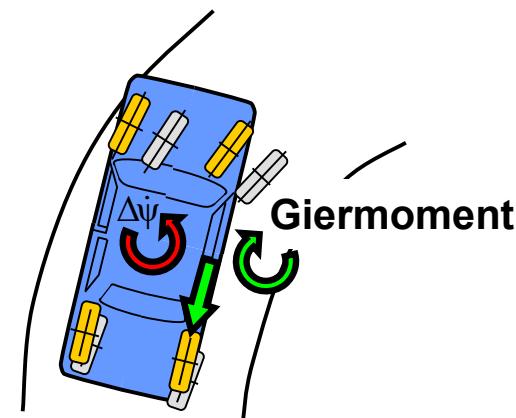
- Das Fahrzeug bricht aus, d.h. die Hinterachse des Fahrzeugs „rutscht“ nach kurvenaußen
- Die Giergeschwindigkeit ist zu groß



Stabilisierung durch Bremseneingriff
am kurvenäußerem Vorderrad

➤ Untersteuern:

- Das Fahrzeug „schiebt“ über die Vorderachse nach kurvenaußen
- Die Giergeschwindigkeit ist zu klein

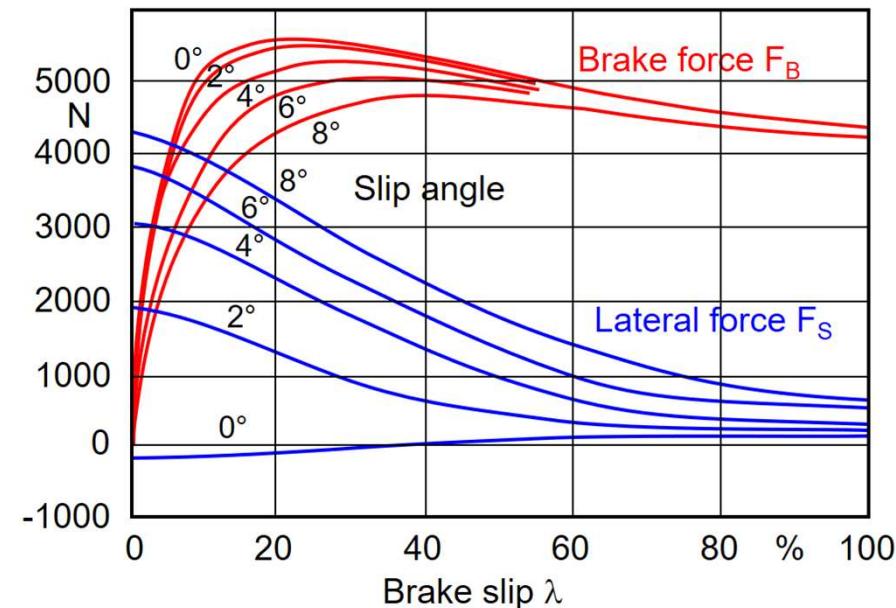


Stabilisierung durch Bremseneingriff
am kurveninneren Hinterrad

Fahrdynamikregelsysteme

Grundlagen Fahrdynamik: ESP®-Funktion

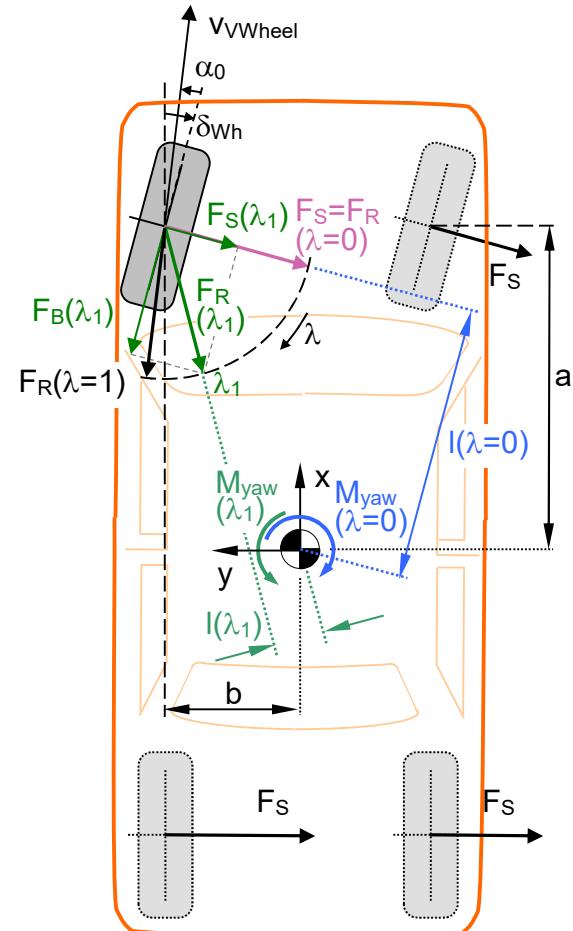
- ESP® wurde auf der Basis von ABS und ASR entwickelt, mit denen die Radbremsdrücke und das Motormoment individuell moduliert werden können.
- Das Konzept des ESP® baut auf die Eigenschaft des Reifens, den Seitenreibwert über den Schlupf λ verändern zu können
- Damit ist die Querdynamik des Fahrzeugs über die Reifenschlupfwerte beeinflussbar.



Fahrdynamikregelsysteme

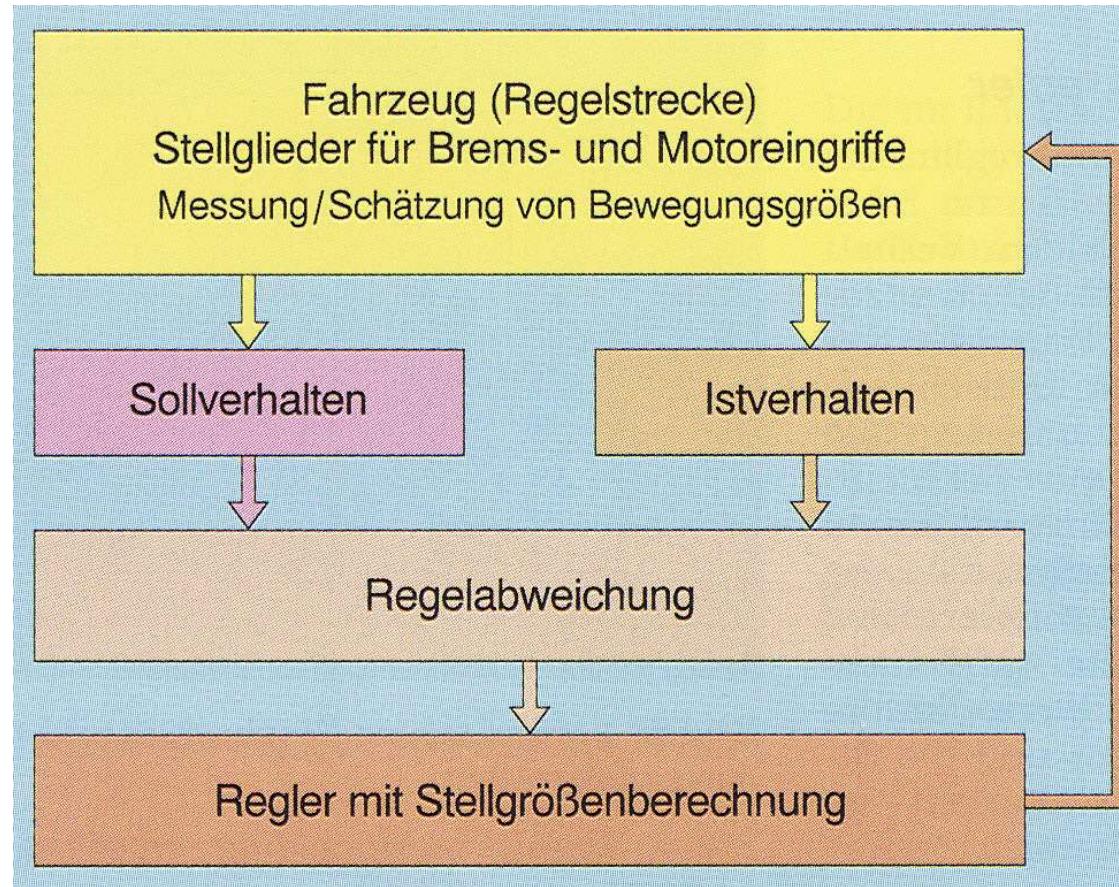
ESP®-Regelkonzept: radindividuelle Schlupfeingriffe

- ESP® stellt ein Giermoment ein durch die Änderung der Richtung der resultierenden Reifenkraft
- Die Richtung der resultierenden Reifenkraft wird eingestellt durch die Vorgabe des Brems- / Antriebsschlupfes
- Der vorgegebene Radschlupf wird durch die unterlagerten ABS- bzw. ASR-Regler eingeregelt
- Der Ist-Radschlupf wird bestimmt aus Fahrzeuglängsgeschwindigkeit, Raddrehzahl und Giergeschwindigkeit



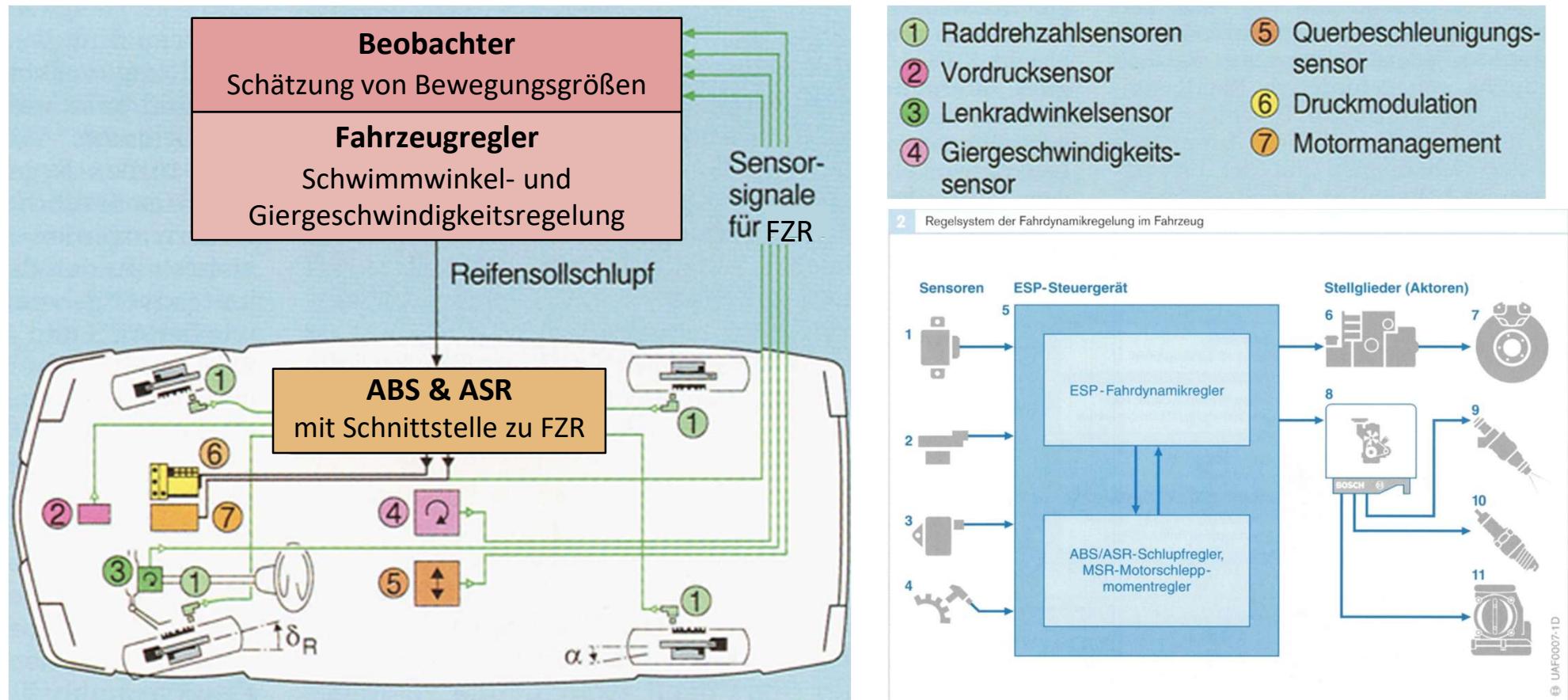
Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Prinzipielles Blockschaltbild



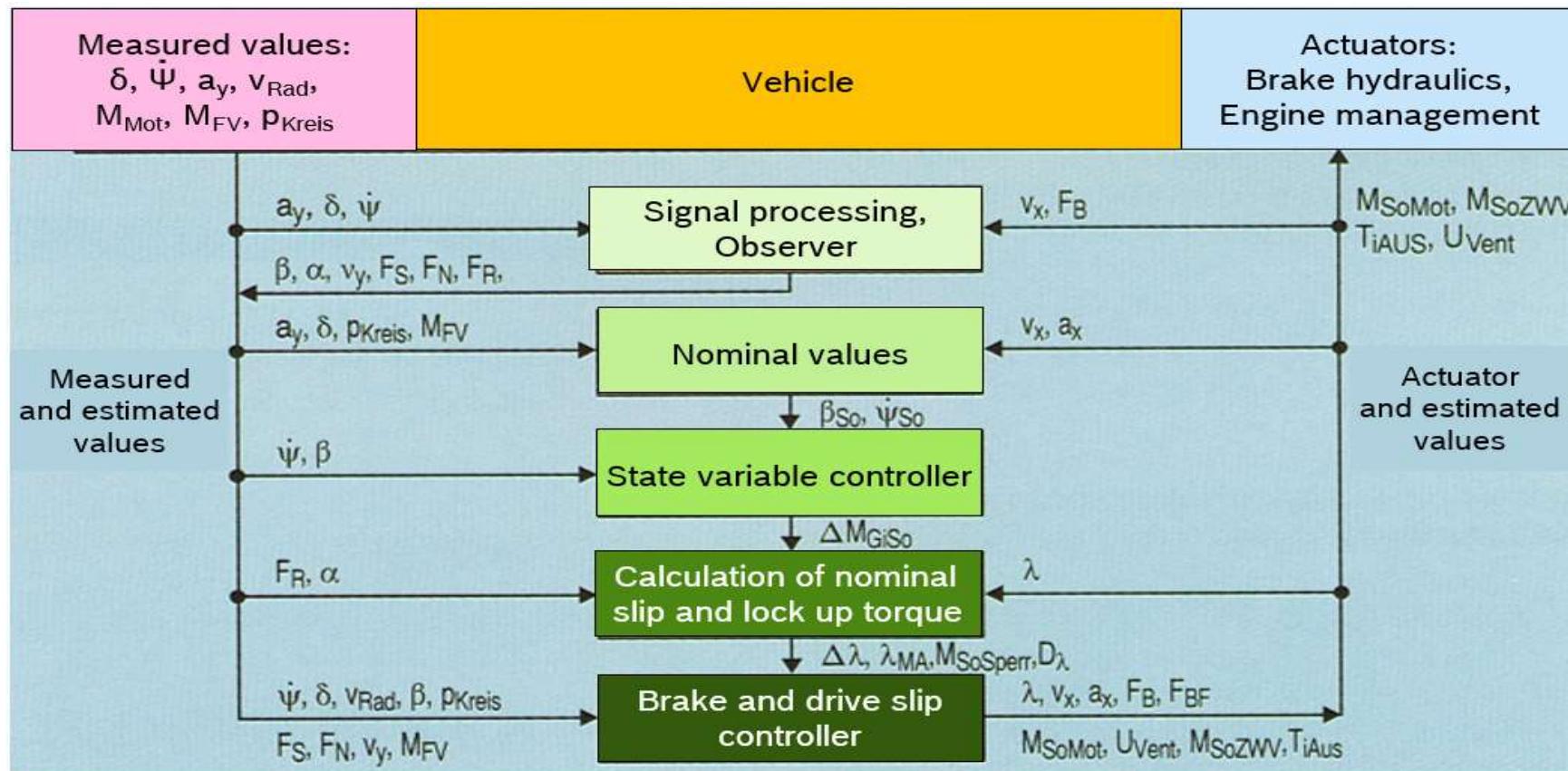
Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Hierarchischer Aufbau

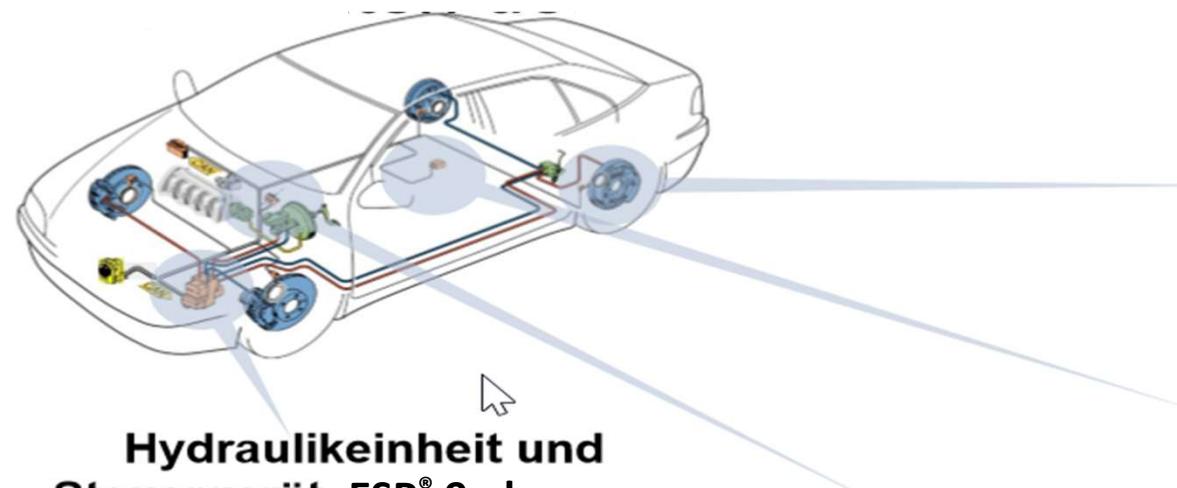


Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Blockschaltbild ESP-Regler



Fahrdynamikregelsysteme ESP®-Komponenten Gen 9



**Hydraulikeinheit und
Steuergerät ESP® 9 plus**



Drehzahlsensor (DF11)



Sensor Cluster DRS MM5.8

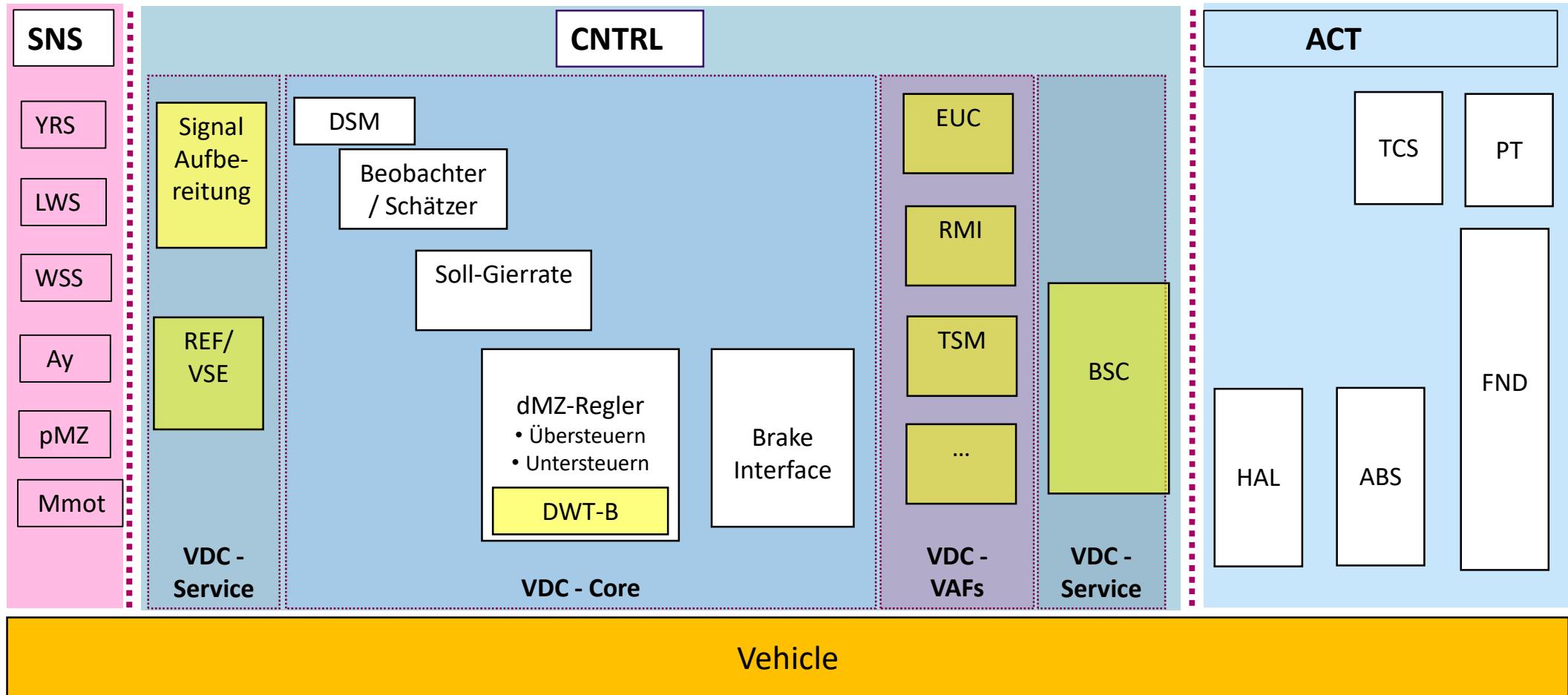
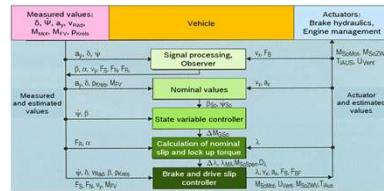


Lenkwinkelsensor



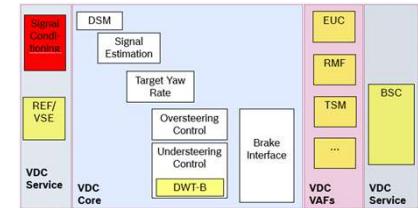
Fahrdynamikregelsysteme

ESP® Reglerstruktur



Fahrdynamikregelsysteme

Signalaufbereitung

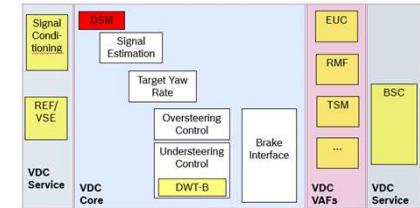


Signalaufbereitung

- Filterung
 - Offset Korrektur
 - Transformation
(Sensor-Einbauort -> CoG-Position)
 - Ableitungen
 - Zähler
- für die Signale
- Lenkradwinkel
 - Giergeschwindigkeit
 - Vordruck
 - Querbeschleunigung
 - Bremslichtschalter

Fahrdynamikregelsysteme

Freischaltung



DSM – Dynamic State Management

- Freigabe des Reglers
 - Keine Fehlermeldungen liegen vor
 - Unterlagerte Regler sind initialisiert
- Freigabe von Eingriffen
 - Bspw. Erkennung Vorwärtsfahrt
 - Keine Freigabe bei Sensorunplausibilitäten
 - Keine Freigabe bei Sondermanöver
 - ...
- Auswahl des VDC-Modes
 - Notabschalter gedrückt
 - Anpassung des Modus (Standard, Sport, Drift, ...)
- Kontinuierliches Monitoring
 - Keine andauernden Reglereingriffe
 - ...

Fahrdynamikregelsysteme

Fahrzustands-Beobachter: Schwimmwinkel

Beobachter

➤ **Modellgestützte Schätzung von**

- Schräglauwinkel der Räder,
- Schwimmwinkel,
- Fahrzeugquergeschwindigkeit

➤ sowie von

- Seiten-, Normal- und
- resultierende Kräfte am Rad
- Reibwert

➤ unter Verwendung des Zweispurmodells

➤ **auf Basis der Messgrößen:**

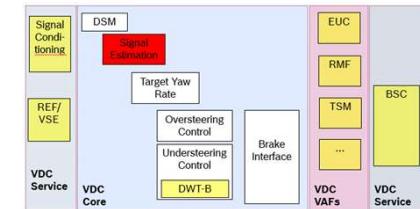
- Giergeschwindigkeit
- Lenkradwinkel,
- Querbeschleunigung

➤ **und den Schätzgrößen:**

- Fahrgeschwindigkeit,
- Brems- u. Antriebskräfte

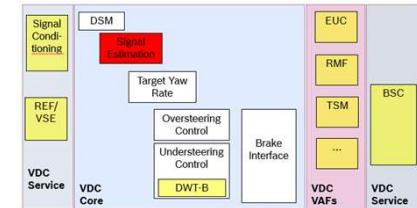
➤ **Sondersituationen:**

- geneigte Fahrbahn,
- μ -Split



Fahrdynamikregelsysteme

Fahrzustands-Beobachter: Schwimmwinkel



➤ Für kleine Verzögerungswert auf horizontaler, homogener Fahrbahn

- DGL für den Schwimmwinkel

$$\dot{\beta} = -\dot{\psi} + \frac{1}{v_F} (a_y \cdot \cos \beta - a_x \cdot \sin \beta)$$

- Für kleine Querbeschleunigungen u. Schwimmwinkel gilt:

$$\dot{\beta} = \frac{a_Y}{v} - \dot{\psi}$$

$$\beta(t) = \beta_0 + \int_{t=0}^t \left(\frac{a_Y}{v} - \dot{\psi} \right) dt$$

- Schräglauwinkel an den Rädern:

$$\alpha_v = \beta + \frac{l_v}{v_F} v G_i - L_w \quad \alpha_h = \beta + \frac{l_h}{v_F} v G_i$$

➤ Integration fehlerbehafteter Messgrößen kann zu großen Fehlern führen

Fahrdynamikregelsysteme

Fahrzustands-Beobachter: Schwimmwinkel

- **Für große Verzögerungswerte auf horizontaler, homogener Fahrbahn**

- **Kalman-Filter mit**

- 2 DGLs für Quer- u. Giergeschwindigkeit
 - Messgröße: Giergeschwindigkeit

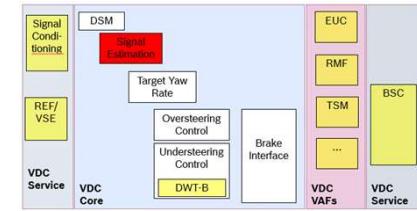
$$m_F \cdot (\dot{v}_y + v_x \cdot \dot{\psi}) = - (F_{S1} + F_{S2}) \cdot \cos \delta_R - (F_{B1} + F_{B2}) \cdot \sin \delta_R - F_{S3} - F_{S4}$$

$$\begin{aligned} \cdot \Theta_F \cdot \ddot{\psi} = & - [(F_{S1} + F_{S2}) \cdot a \cdot \cos \delta_R + (F_{S1} - F_{S2}) \cdot b \cdot \sin \delta_R] + (F_{S3} + F_{S4}) \cdot c - (F_{B1} + F_{B2}) \cdot a \\ & \cdot \sin \delta_R + (F_{B1} - F_{B2}) \cdot b \cdot \cos \delta_R + (F_{B3} - F_{B4}) \cdot b \end{aligned}$$

- Da Kalman-Filter robust gegen Störungen u. Sensorfehler ergibt sich ein größeres Vertrauen in den gewonnenen Schwimmwinkel

- **Fazit: Eine reine Schwimmwinkelregelung ist nicht möglich, aber**

- eine Regelung der Schwimmwinkelgeschwindigkeit auf $\dot{\beta}=0$
 - und eine Begrenzung des Schwimmwinkels i.d.R. auf kleine Werte



Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

➤ Sollgiergeschwindigkeit

- Ackermann-Beziehung

➤ Filterung der Sollgiergeschwindigkeit

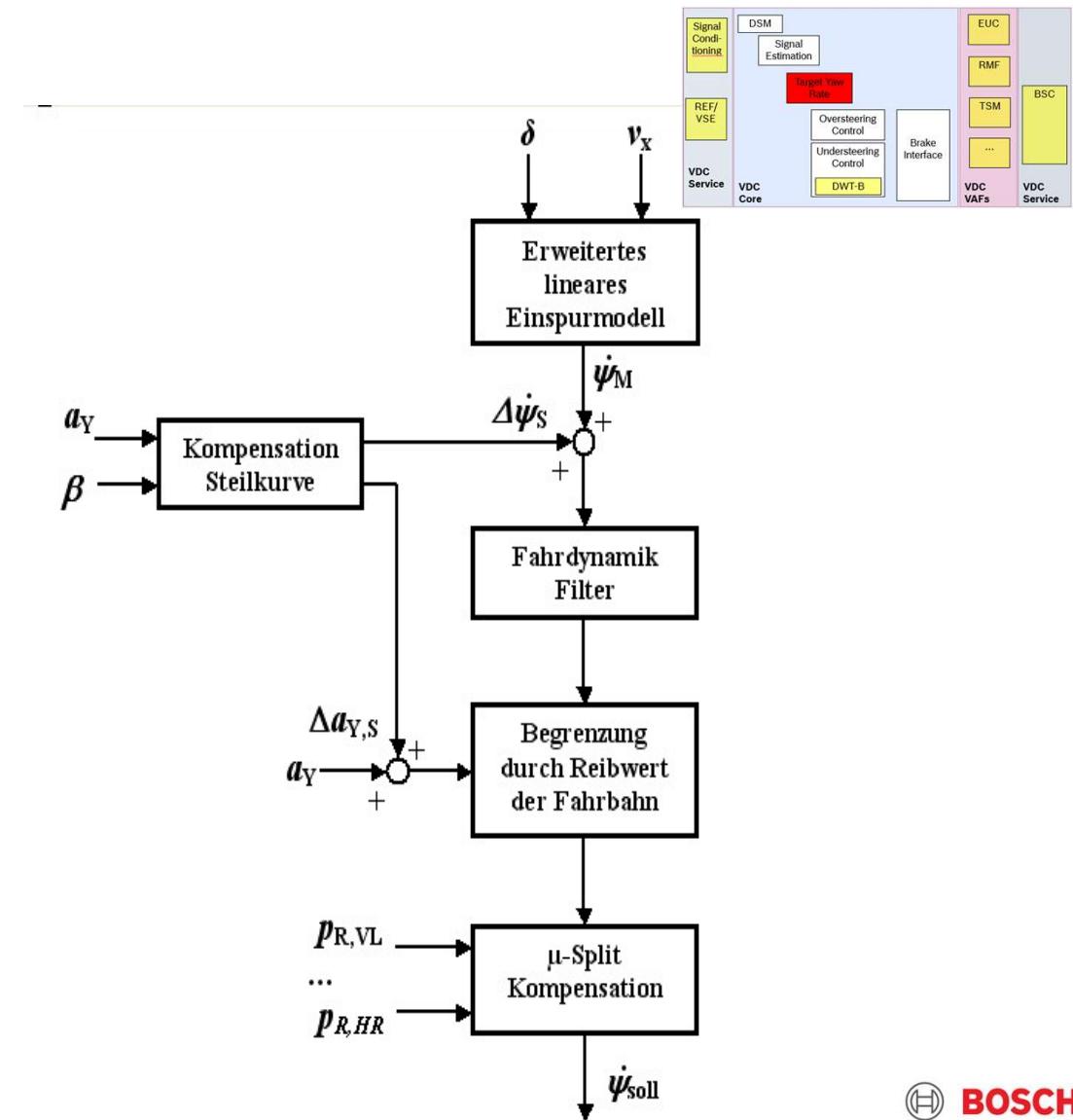
- Phasenverschiebung zwischen Lenkradwinkel u.
Giergeschwindigkeit

➤ Begrenzung der Sollgiergeschwindigkeit

- Reibwert basiert
- u. damit auch Schwimm-/Schräglaufwinkel limitiert

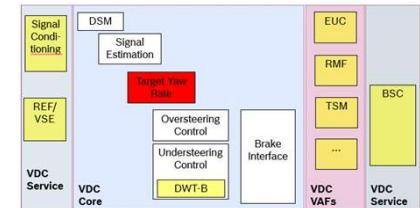
➤ Kompensationen

- Steilwandkurve (v_{Gi} , a_y)
- μ -Split-Bremsungen (v_{GiSo_lim})



Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit



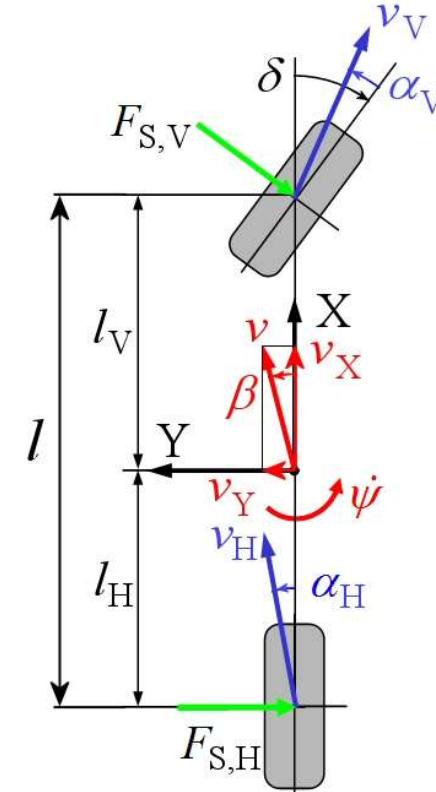
➤ **Sollwert der Giergeschwindigkeit bestimmt auf Basis**

- Linearem, erweitertem Einspurmodell
- Reifenkräften proportional zum Schräglaufwinkel

$$\dot{\psi}_{\text{soll}} = \frac{v_X \cdot \delta}{(l_V + l_H) \cdot \left(1 + \frac{v_{\text{ch}}^2}{v_X^2} \right)}$$

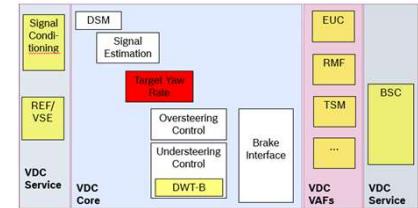
- Mit der charakteristischen Geschwindigkeit

$$v_{\text{ch}} = l \cdot \sqrt{\frac{1}{m} \cdot \left(\frac{c'_{\alpha V} \cdot c'_{\alpha H}}{l_H \cdot c'_{\alpha H} - l_V \cdot c'_{\alpha V}} \right)}$$



Fahrdynamikregelsysteme

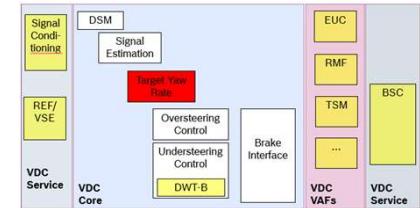
Sollwert: Giergeschwindigkeit



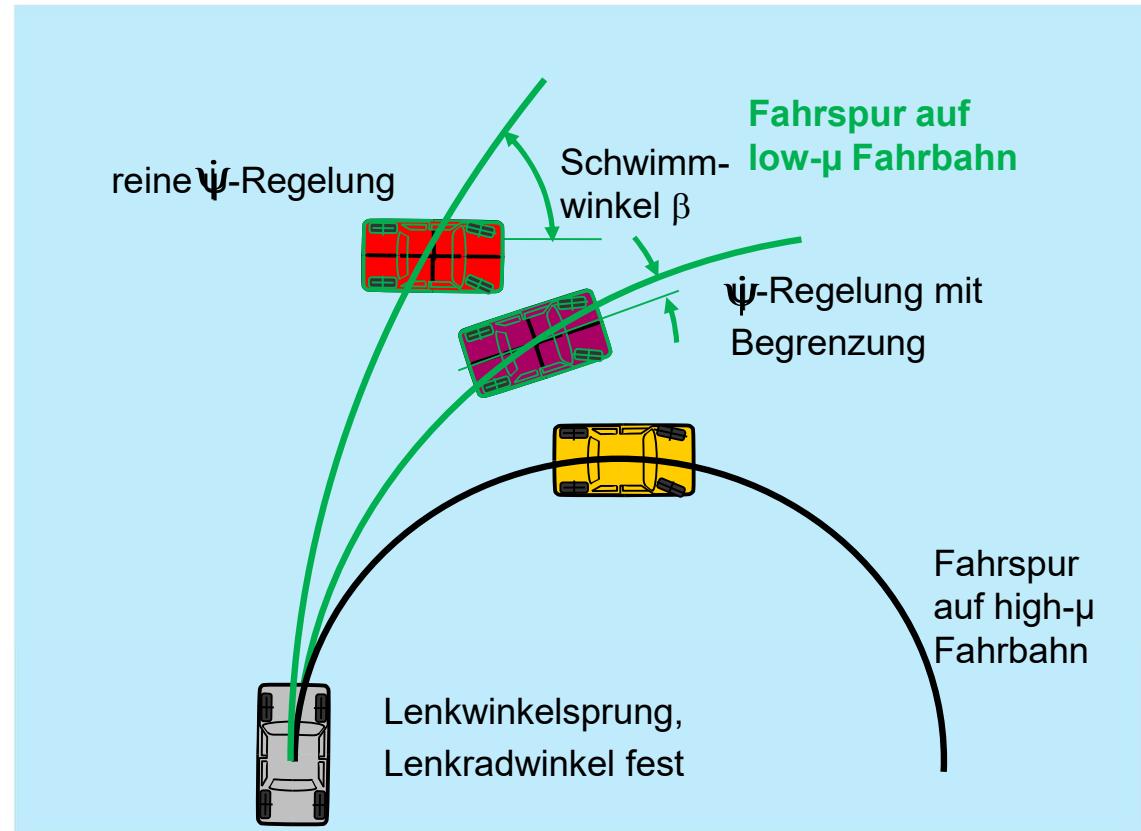
- Veränderungen im Fahrzeug von Beladung, Reifen, ...
 - erfordern zur Vermeidung unplausibler Regeleingriffe eine Berücksichtigung in der charakteristischen Geschwindigkeit V_{Ch}
- Untere charakteristische Geschwindigkeit - V_{Chu}
 - Gemäß OEM-Daten
 - Untersteuerungsregelung
- Obere charakteristische Geschwindigkeit - V_{Cho}
 - V_{chu} mit zu applizierendem Zuschlag
 - Übersteuerungsregelung

Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

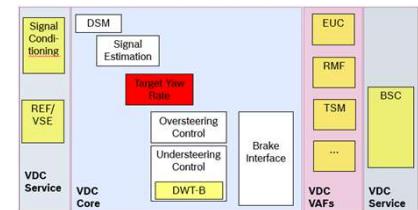


- Ackermann nur gültig im linearen Bereich
- Fahrbahnreibwert wird nicht berücksichtigt; d.h. auch keine großen Schwimmwinkel
- vGiSo kann größer sein als für ein physikalisch mögliches stabiles Fahren -> große Schwimmwinkel
- Der Sollgierrate ist auf Werte zu begrenzen für die der Schwimmwinkel nicht zunimmt.



Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit



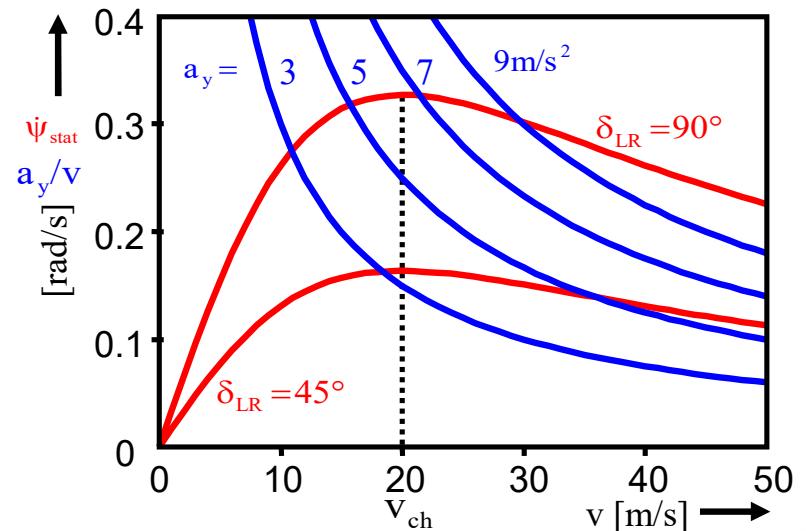
- Neben der Ackermann-basierten Sollgiergeschwindigkeit ist eine kraftbegrenzte Sollgierrate zur Berücksichtigung der Fahrbahnreibverhältnisse erforderlich um den Schwimmwinkelanstieg zu begrenzen
- Für die Schwimmwinkelgeschwindigkeit für große Giergeschwindigkeiten gilt:

$$\dot{\beta} = \frac{ayToF}{vFzRef} - vGi$$

- mit der Begrenzung der Giergeschwindigkeit auf

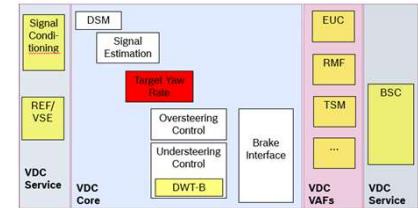
$$\dot{\beta} = 0 \quad \Rightarrow \quad vGi = \frac{ayToF}{vFzRef} = vGiSoBegay$$

erfolgt kein weiterer Anstieg des Schwimmwinkels



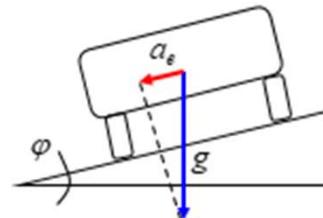
Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit



➤ Kompensationen der Sollgiergeschwindigkeit sind erforderlich für

- Überhöhte Kurven -> hier ist die gemessene Querbeschleunigung nicht proportional zum Reibwert



$$a_e = g \cdot \sin(\varphi)$$
$$a_e|_{(8^\circ)} \approx 0.14 g$$

- Bei mue-Split-Bremsungen
 - Gegenlenken des Fahrers zur Fzg-Stabilisierung führt nicht zur gewünschten Sollgierrate
- Sondersituationen
 - Bspw. Lenkverhalten des Fahrers

Fahrdynamikregelsysteme

Giergeschwindigkeitsregelung

Ziel der Regelung:

➤ Anforderung

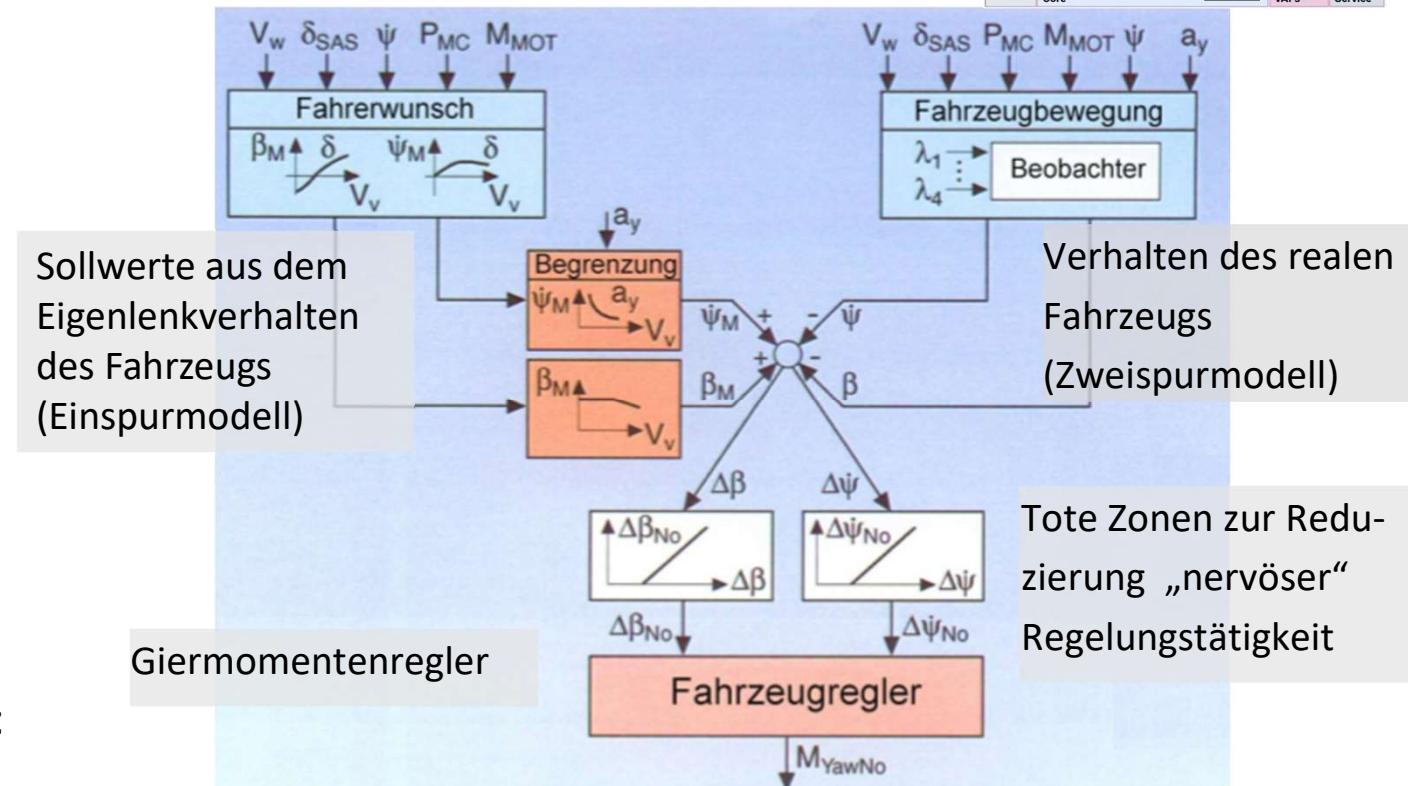
- Fzg soll dem Fahrerwunsch folgen – ausgehend vom Lenkradwinkel
- Fzg soll nicht übersteuern, d.h. der Schwimmwinkel muss begrenzt sein

➤ Messbare Größen

- Giergeschwindigkeit
- Querbeschleunigung
- Fzg-Geschwindigkeit
- Schwimmwinkel nicht – geschätzt!

➤ D.h. Giergeschwindigkeitsreglung mit Schwimmwinkelbegrenzung

Es gelten die folgenden engl. Bezeichnungen: Index No = Sollwert, W bzw. Whi = Rad, Index i = Radnummer, SAS = Lenkradwinkel, MC = Hauptbremszylinder, Yaw = Gierwinkel, M = Modell, Index V = Fahrzeug



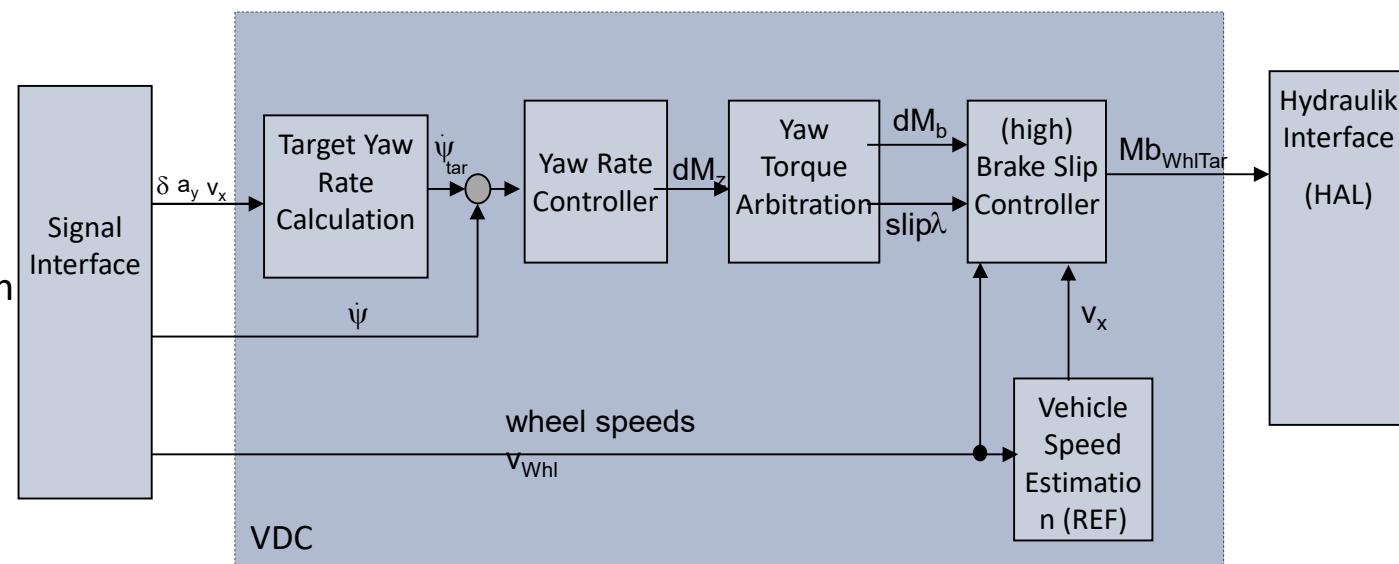
Fahrdynamikregelsysteme

dMZ-Regler

Regelstrategie

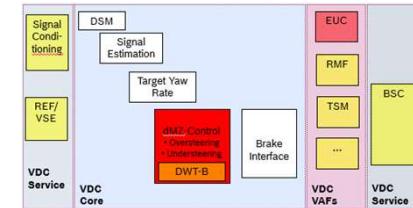
➤ Die Drehratenregelung erfüllt das Ziel eines stabileren als auch lenkfähigeren Fahrzeugs

- Dies erfordert
 - die Kenntnis sowohl der aktuellen Drehrate
 - als auch der Solldrehrate
- Das Giermoment **dMZ** als Reglerausgang wird wirksam in Form von:
 - Radbremsmomenten (via Radbremsschlupf) an einzelnen Rädern
 - Antriebsschlupfreduktion (via TCS)



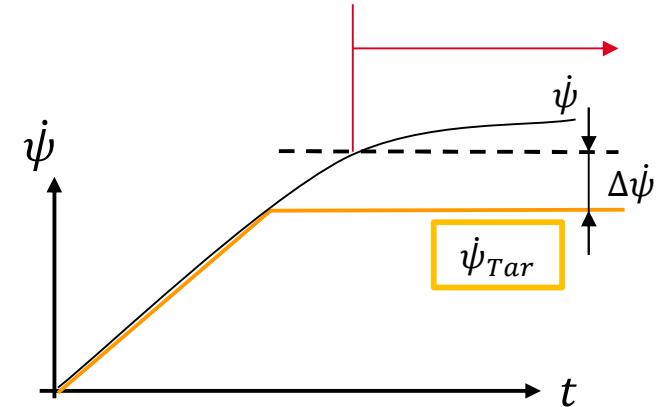
Fahrdynamikregelsysteme

dMZ-Regler



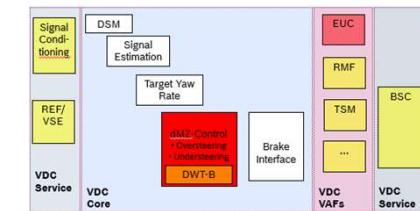
➤ Reglerfreigabe

- Eingriffe werden erforderlich, wenn die Giergeschwindigkeit den Sollwert überschreitet
- Eine tote Zone (Aktivierungs-Threshold) verhindert unnötige Eingriffe
- Wenn die der Threshold-Wert überschritten wird, erfolgt die Reglerfreigabe



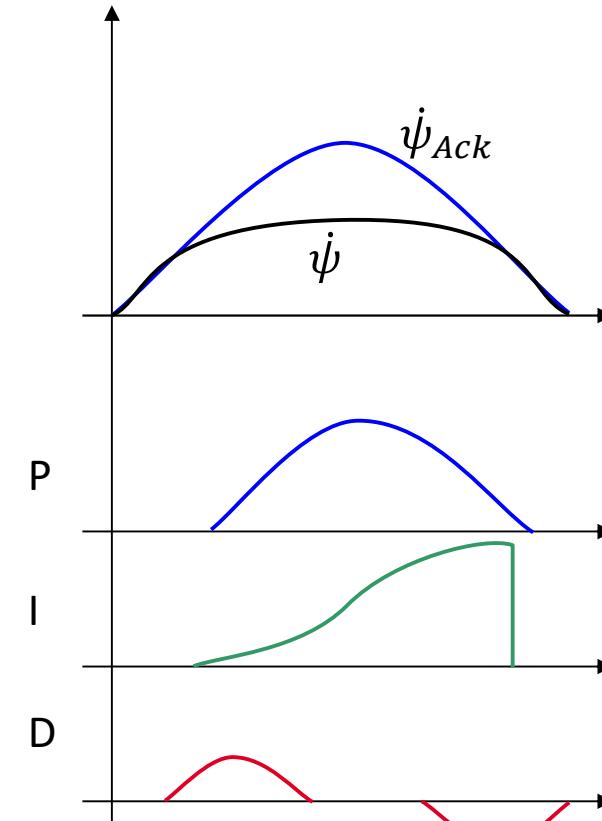
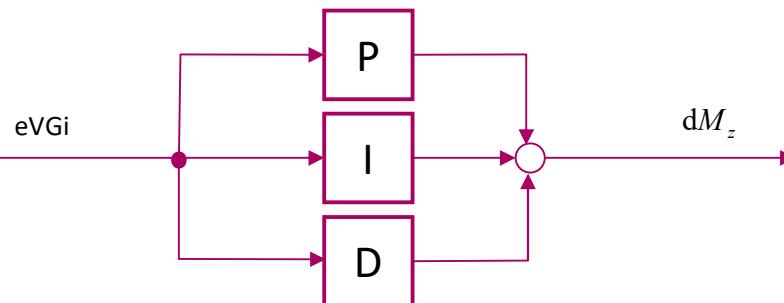
Fahrdynamikregelsysteme

dMZ-Regler



➤ PID-Regelung

- P-Glied:
 - Sanfte Eingriffe
- I-Glied:
 - Einfluß nimmt mit der Zeit zu, robust gegen Schätzfehler (bspw. Drücke)
- D-Glied:
 - Hilfreich als initialer Impuls auf das Fahrzeug

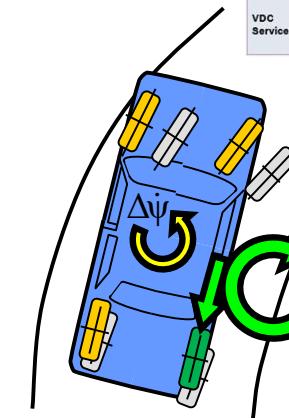
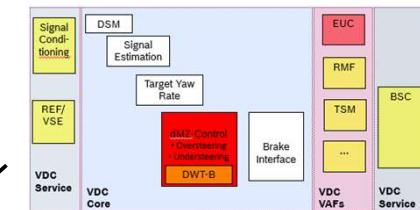


Fahrdynamikregelsysteme

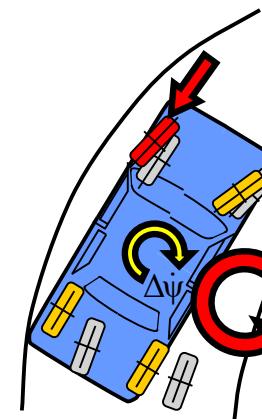
dMZ-Regler

➤ dMZ-Eingriffe

- Der Regler strebt an, die Fzg-Gierbewegung –als wichtigste Regelgröße - entweder zu
 - verstärken (**Untersteuern**)
 - Anstellend = in die Kurve eindrehend = Giergeschwindigkeit erhöhend
 - abzuschwächen (**Übersteuern**)
 - Stabilisierend = aus der Kurve herausdrehend = Giergeschwindigkeit absenkend
- was eine Giermomentenänderung (dMZ) erfordert.
- Von daher ist der Reglerausgang die Änderung des **Giermoments dMz**
- In der aktuellen Systemauslegung sind Bremsmoment / -schlupf die Maßnahmen zur Einspeisung des gewünschten Giermoments (andere Steller sind auch möglich; z.B. eine Aktivlenkung).



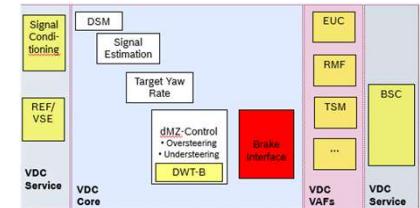
**Giermoment dMZ
Untersteuern**



**Giermoment dMZ
Übersteuern**

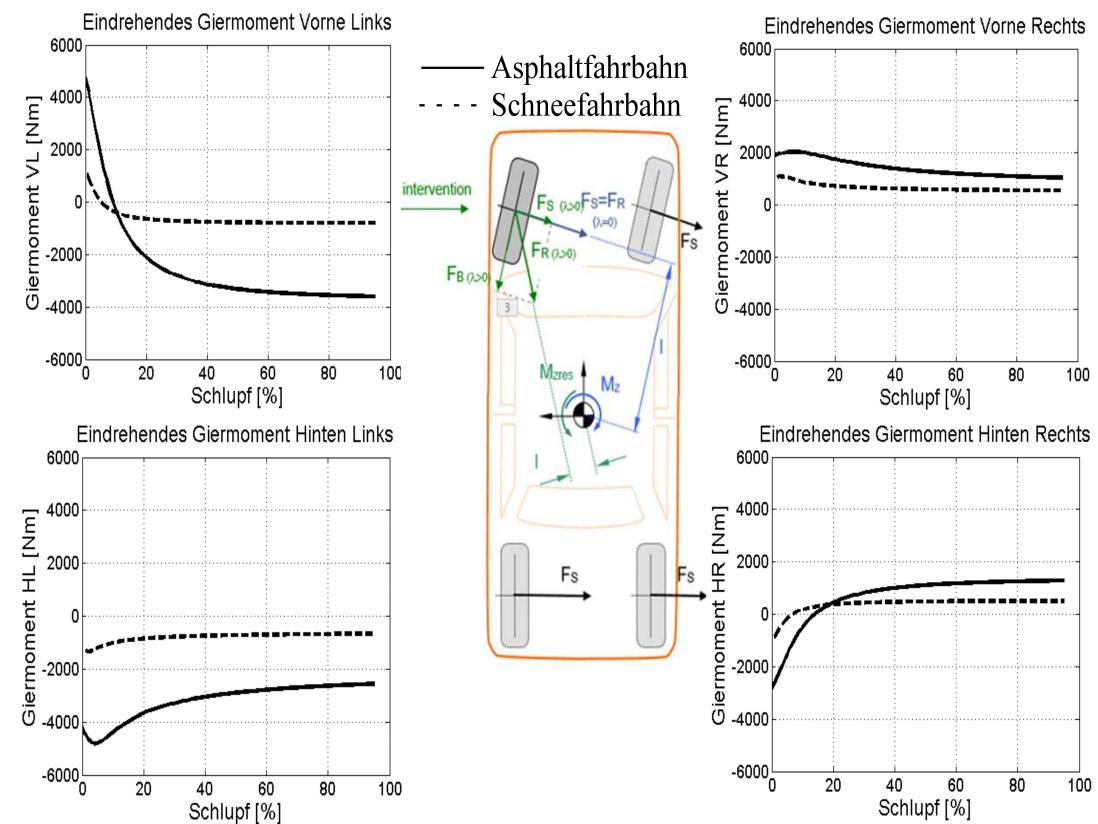
Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface



➤ MZ Arbitrierung

- Eingriffstrategie:
 - welches Rad soll genommen werden?
 - Wie hoch muss der Eingriff sein?
- Auswahl auf Basis $M_{zGes} = f(\lambda)$ -Diagrammen
- Übersetzt Eingriffe von der Fzg-Ebene auf die Radebene
 - Innen/außen – vorne/hinten
 - dMZ nach dMZ i, o, FA, RA
- Auswahl des Rades für den Eingriff erfolgt
 - fahrzustandsabhängig
 - wissensbasiert
 - theoretischen Analysen (MZ-Verläufen)

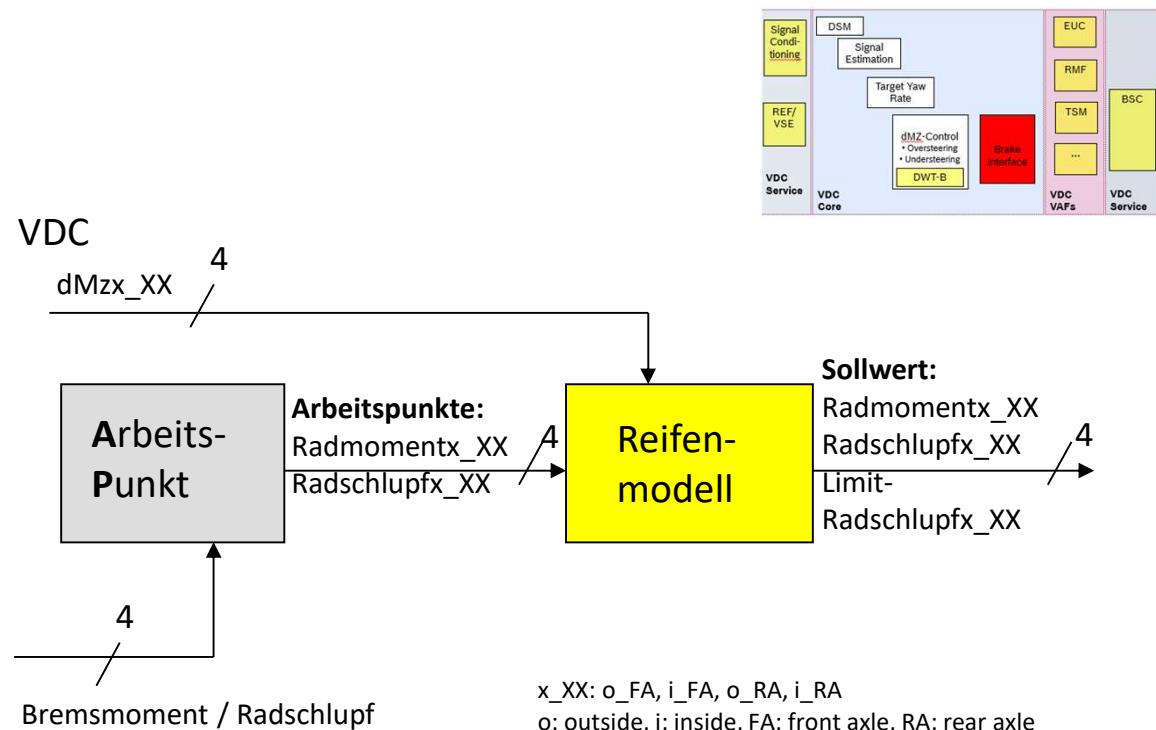


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Wheel Mapping - Reifenmodell

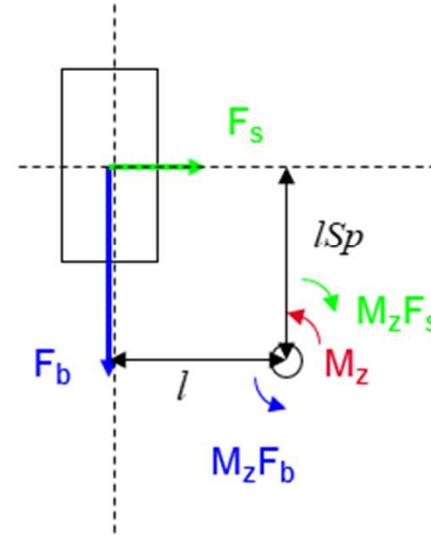
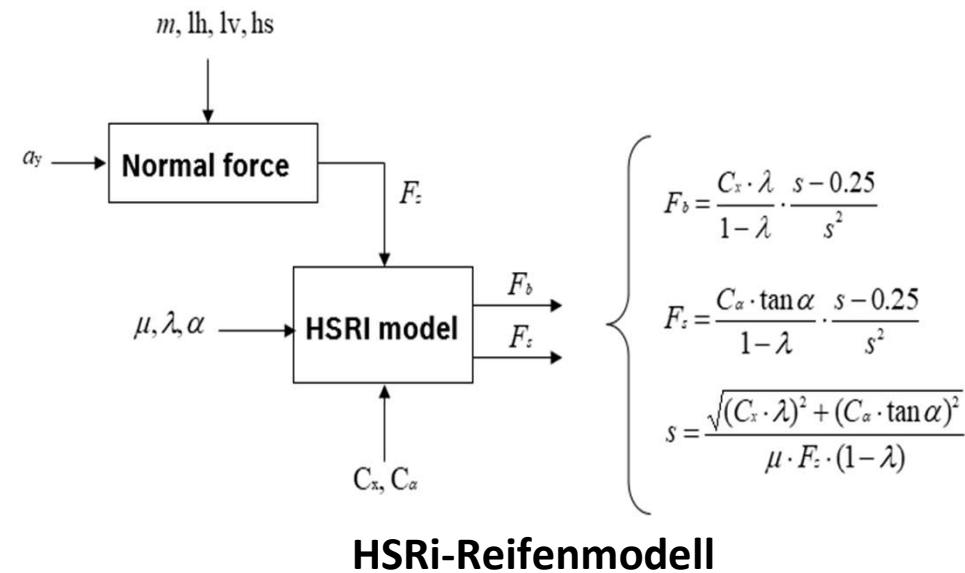
- Berechnet den Arbeitspunkt radindividuell
- Übersetzt für jedes Rad dMZ i, o, FA, RA in
 - Momentenanforderung
 - Schlupflimit
 - Schlupfanforderung
- Legt die Eingriffsstrategie fahrzustandsbedingt fest
 - Schlupf- / Momentenerhöhung
 - Momentenreduktion im ABS-Fall



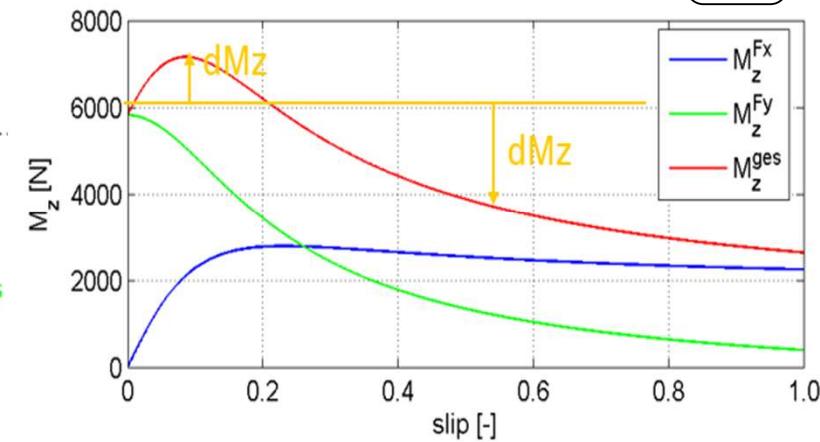
Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Reifenmodell



$$dM_z = M_z F_b + M_z F_s$$



dMZ am kurveninneren Vorderrad

Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

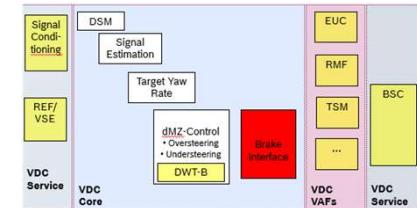
➤ Mz Arbitrierung - Übersicht

situation	wheel	US intervention	OS intervention
unbraked	FAi	x	
	FAo		x
	RAo		x
	RAi	x	
partially braked	FAi	x	
	FAo		x
	RAo	x	
	RAi		x
ABS	FAi		
	FAo		x
	RAo		
	RAi	x	

FA	front axle	o	outside
RA	rear axle	i	inside
US	understeering		
OS	oversteering		

- vorne außen / hinten innen
 - das kurvenäußere Vorderrad ist am effektivsten für Stabilisierungseingriffe -> aus der Kurve herausdrehend, Giergeschw. absenkend
 - im Gegenzug ist das kurveninnere Hinterrad am effektivsten für Anstelleingriffe -> in die Kurve eindrehend, Giergeschw. erhöhend
 - für o.g. Räder bedeutet eine Erhöhung des Bremsschlups eine Änderung des Giermomentes in die ohnehin schon anstehende Richtung, unabhängig vom Arbeitspunkt

- hinten außen / vorne innen
 - für kleinen Bremsschlupf (bswp. im Freirollfall) kann das äußere Hinterrad und das innere Vorderrad für Stabilisierungs- als auch Untersteuereingriffe genutzt
 - hingegen kann zuviel Bremsschlupf zu einem kontroproduktiven Einfluß auf das Giermoment führen.

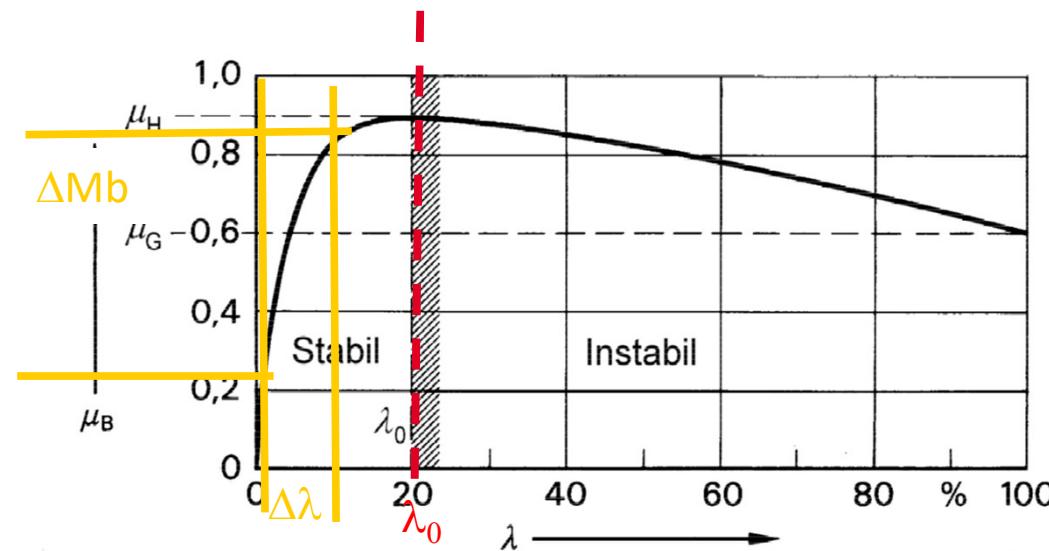


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Arbitrierung von:

- Bremsmoment
- Bremsschlupf

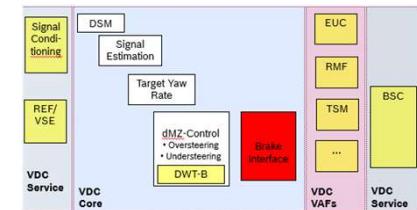


Bremsmomentenanforderung:

- Im stabilen Bereich der μ -Schlupf
- Im Über- u. Untersteuerfall
- An jedem Rad

Schlupfanforderung:

- Im instabilen Bereich der μ -Schlupf-Kurve
- Im Übersteuerfall
- Nur an kurvenäußersten Vorderrädern
- Umgesetzt durch BrakeSlipControl BSC

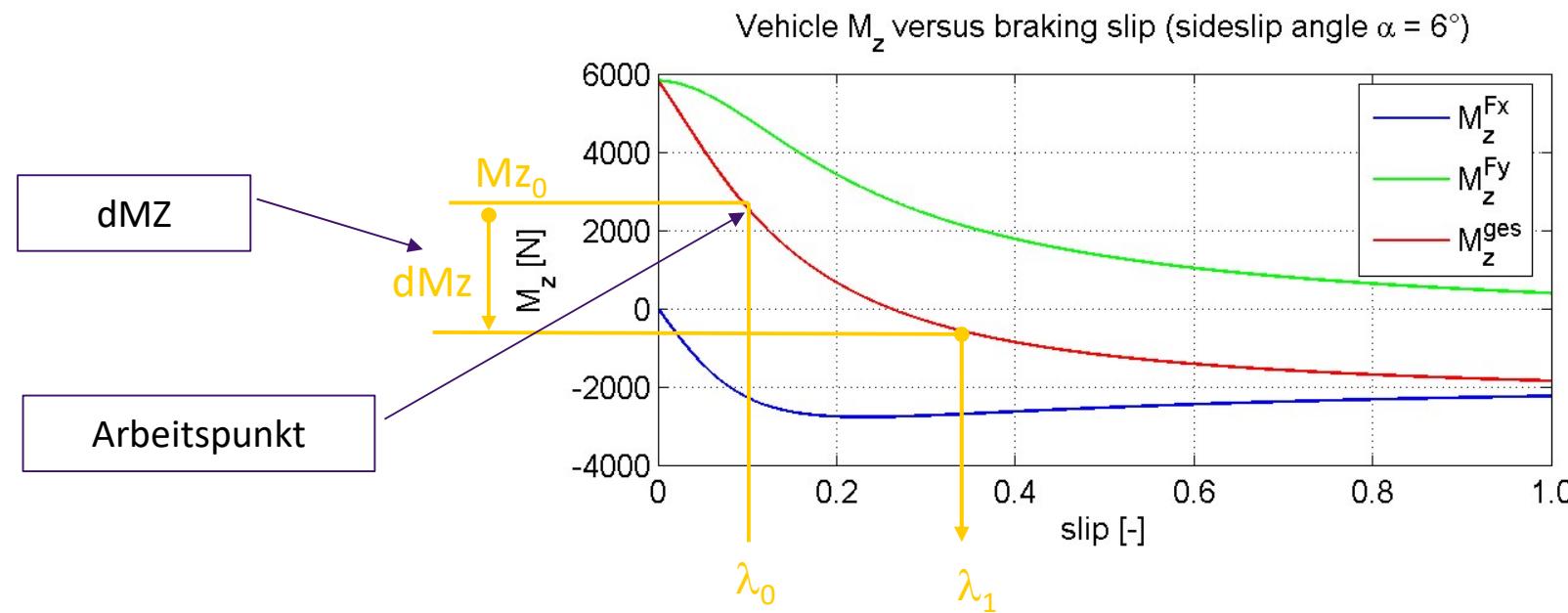


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Bestimmung des Bremsschlups

- Übersetzung von dM_z auf zugehörigen Bremsschlupf λ_1 - gebremst

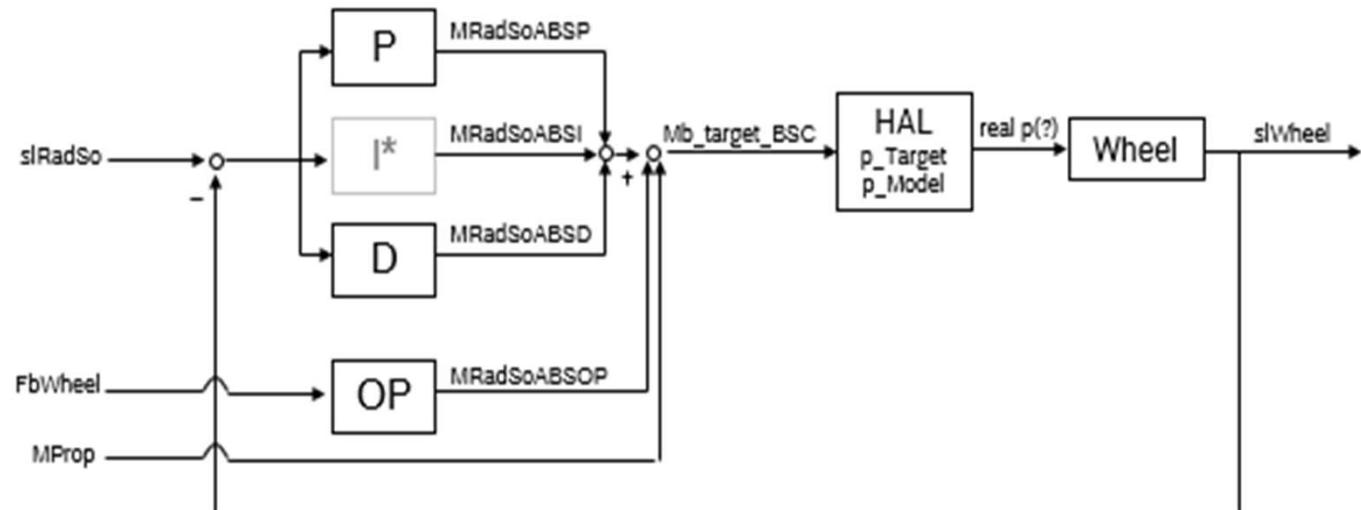
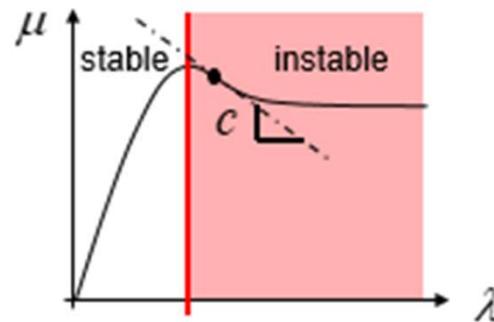


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Brake Slip Controller – BSC

- Regelung des Radschlupfes sowohl
 - im stabilen
 - als auch instabilen
 - Bereich der μ -Schlupf-Kurve

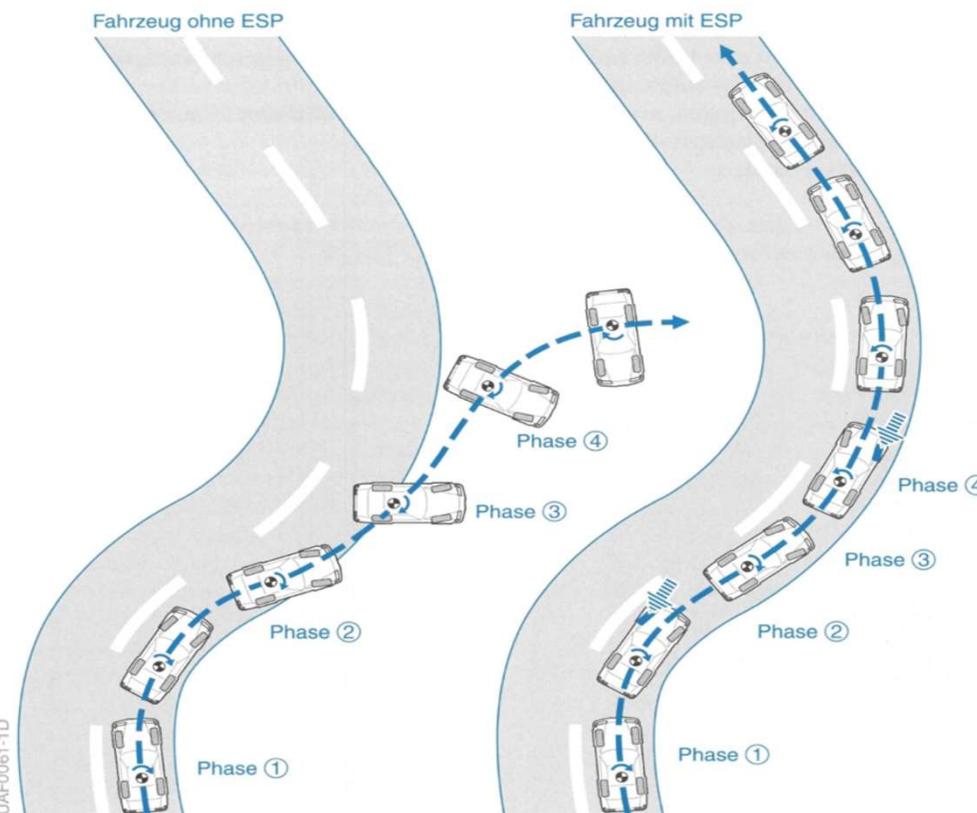
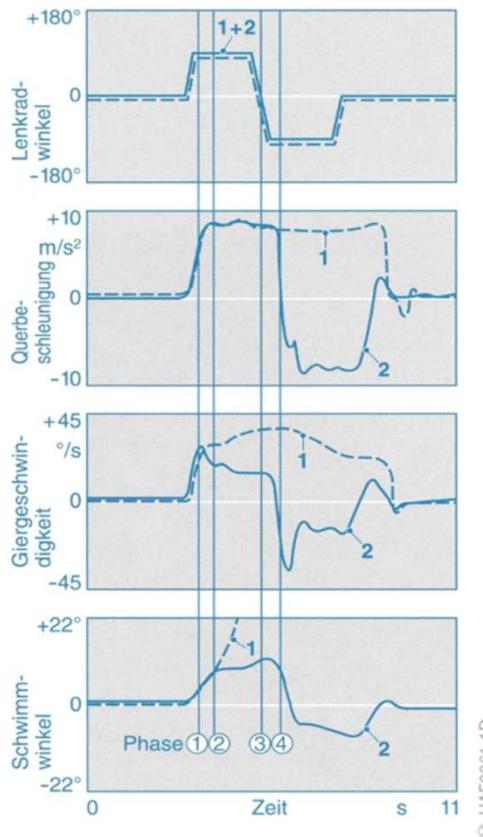


Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Eingriffstrategie



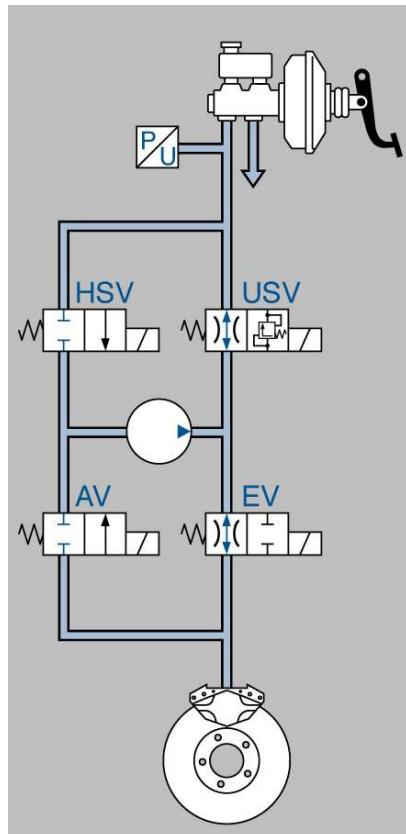
Zeitverläufe fahrdynamischer Größen beim Durchfahren einer Rechts-Links-Kurve



- (1) Fahrer lenkt, Seitenkraftaufbau, stark eindrehendes Giermoment
- (2) Drohende Instabilität: links: Fzg. wird instabil, reagiert auf Gegenlenken nicht rechts: ESP®-Eingriff links vorne
- (3) Gegenlenken links: Fzg gerät außer Kontrolle rechts: Fzg bleibt unter Kontrolle
- (4) Links: Fzg nicht beherrschbar rechts: ESP®-Eingriff vorne rechts, vollständige Stabilisierung

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Hydroaggregat - Prinzip



HSV – hochdruckfestes Ansaugventil

USV – Umschaltventil

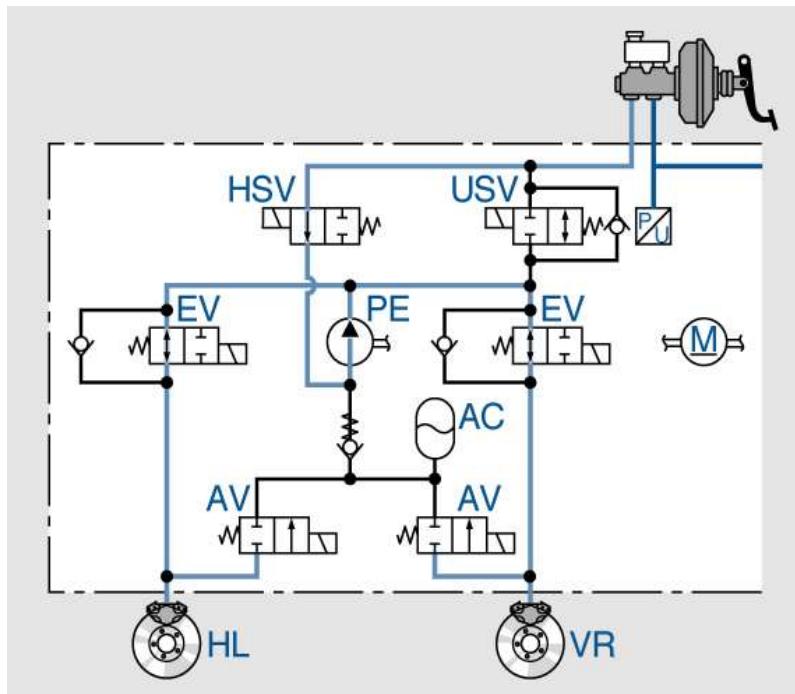
EV – Einlassventil

AV – Auslassventil

P/U - Drucksensor

Fahrdynamikregelsysteme

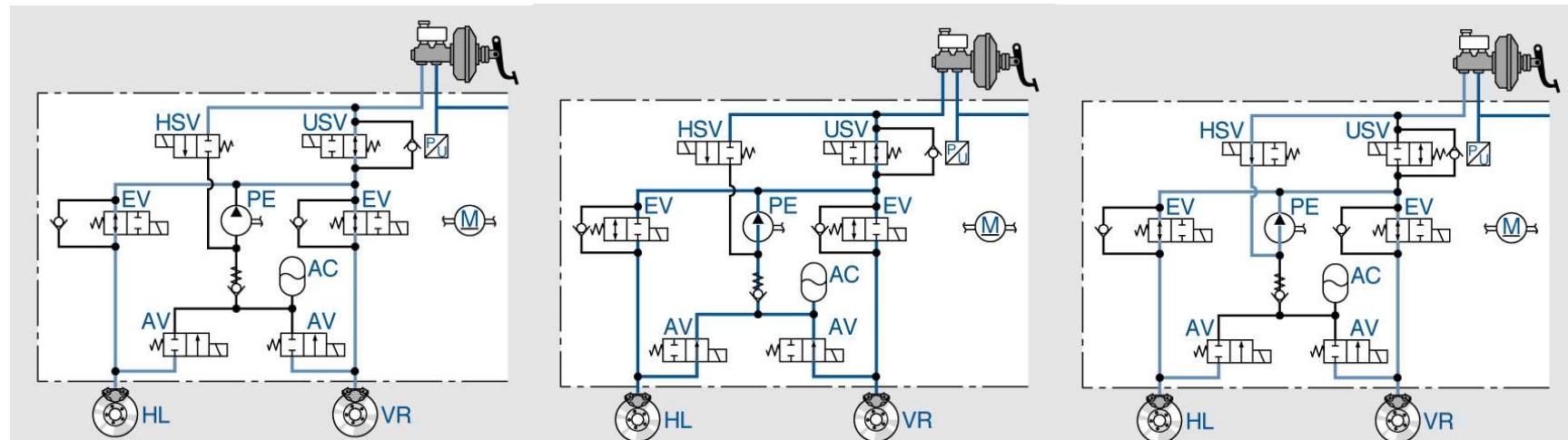
ESP®-Hydroaggregat -Druckregelung



Druck abflauen bei ABS/ASR/ESP-Regelung

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Hydroagggregat -Druckregelung



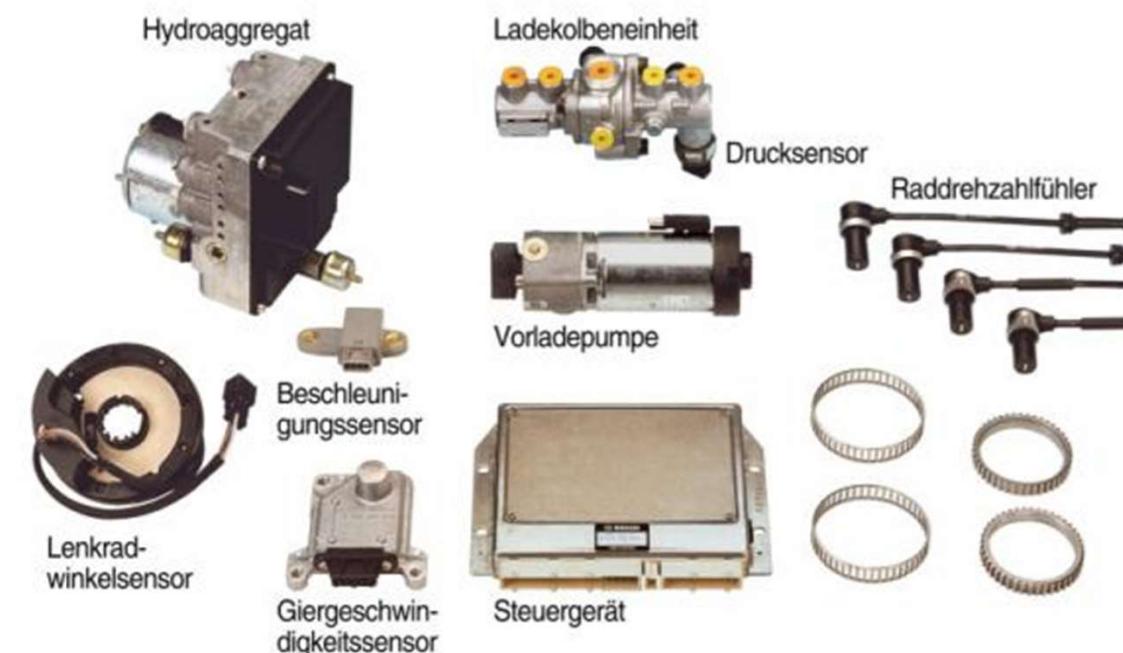
Druck aufbauen
bei normaler Bremsung

Druck abbauen
ABS/ASR/ESP®-Regelung

Druck aufbauen
bei ASR/ESP®-Regelung

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten



ESP5.0
(BOSCH 1995)

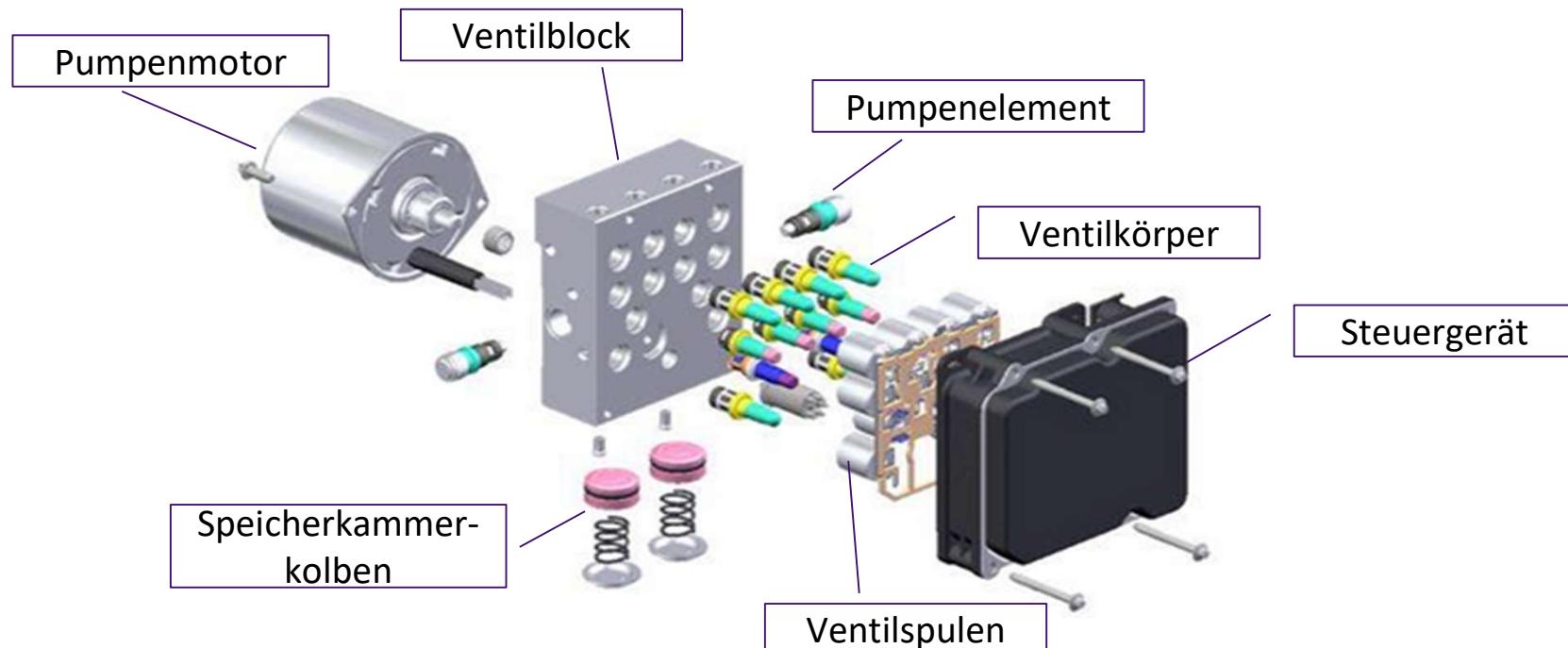


ESP9.0
(BOSCH 2010)

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten - Hydroaggregat

ESP/ESC (Bosch 8)

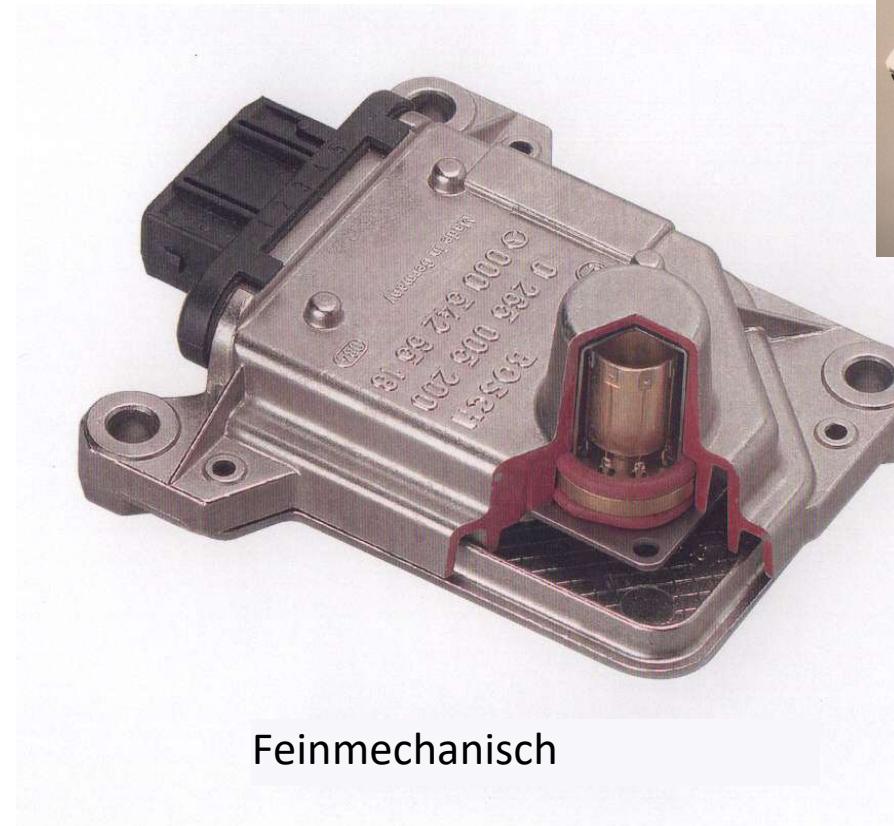


Fahrdynamikregelsysteme

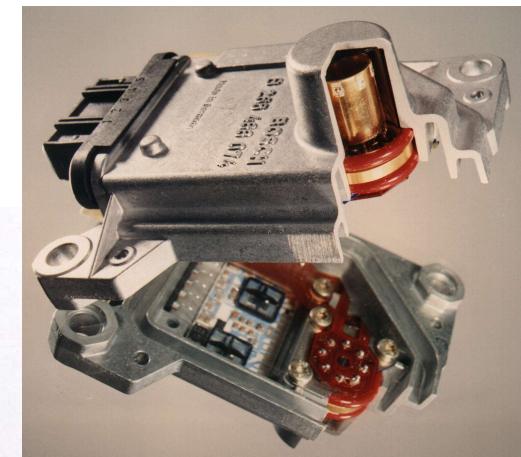
ESP®-Komponenten: Drehratensor



Urvater des DRS von GEC



Feinmechanisch

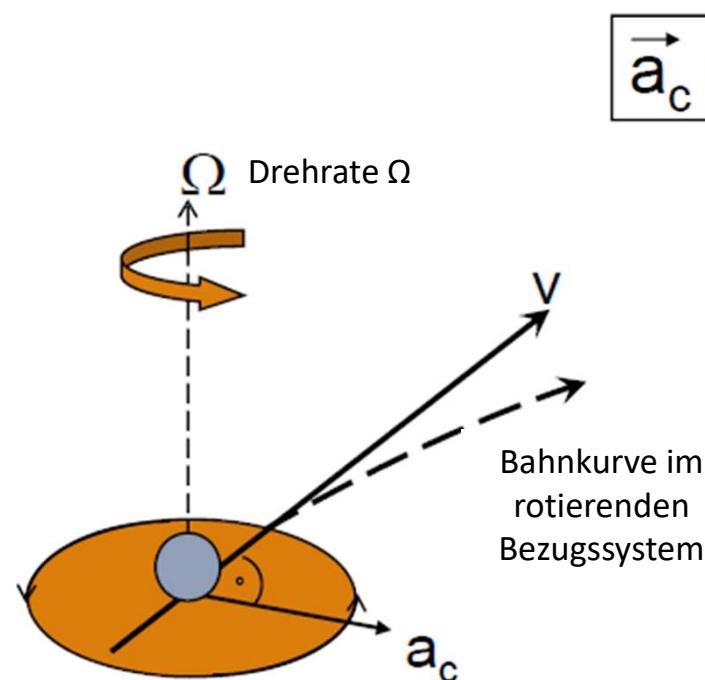


Mikromechanisch

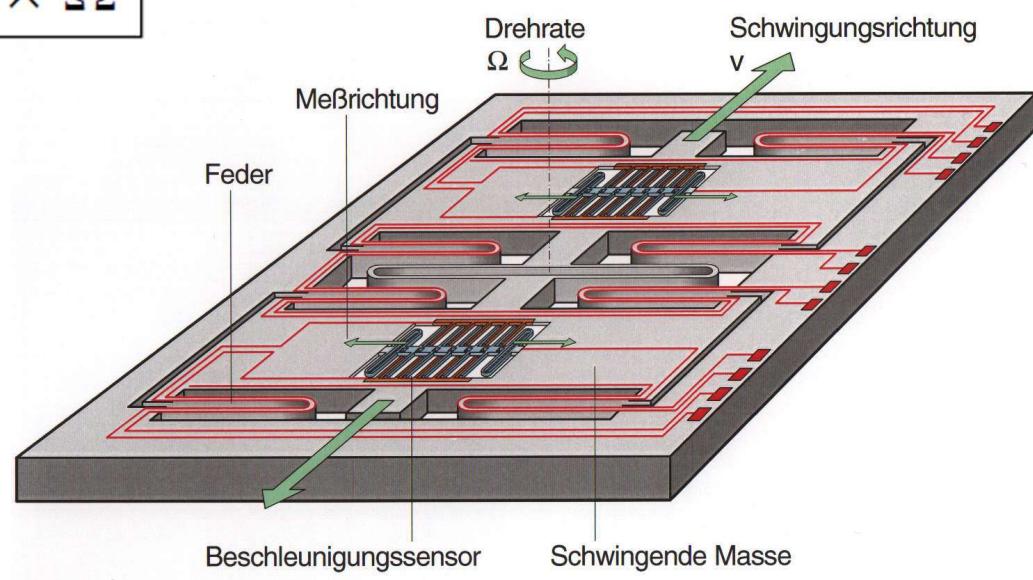
Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten: Drehratensor

Die Coriolisbeschleunigung ist proportional zur Drehrate und zur Geschwindigkeit v der schwingenden Masse:



$$\vec{a}_c = -2 \vec{v} \times \vec{\Omega}$$



Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten: Lenkradwinkelsensor

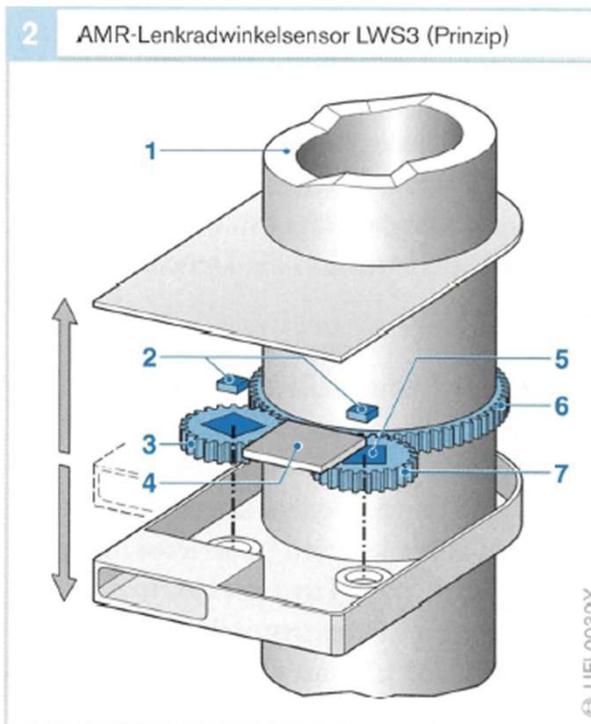


Bild 2

- 1 Lenkwelle
- 2 AMR-Messzellen
- 3 Zahnrad mit m Zähnen
- 4 Auswertelektronik
- 5 Magnete
- 6 Zahnrad mit $n > m$ Zähnen
- 7 Zahnrad mit $m + 1$ Zähnen

- Lenkwelle (1) mit Zahnkranz mit n Zähne mit Magneten (5)
- Verdrehungswinkel der Mess-Zahnräder (3, 7) werden mit Hilfe vom AMR Elemente (2) gemessen.
- Beide Messwinkel werden im Sensor von einem Mikrocontroller (4) ausgewertet. Ausgabe ist der Lenkradwinkel j .
- Der Lenkradwinkelbereich ist 1872° . Verwendet werden 1440° ; entspricht ± 2 Umdrehungen.
- Der Lenkradwinkel steht nach Zündung-ein sofort zur Verfügung (True Power On).

AMR - Anisotroper magnetoresistiver Effekt:
Besondere Legierungen, bei denen der elektrische Wider-stand der Schicht abhängig vom äußerem Magnetfeld ist.

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten: Raddrehzahlsensor

5 Explosionssskizze mit Multipol-Impulsgeber

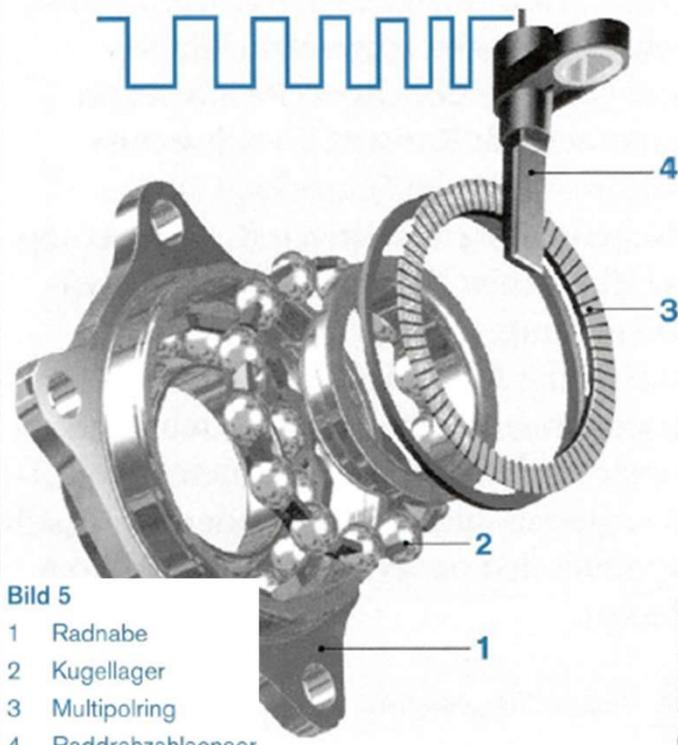


Bild 5

- 1 Radnabe
- 2 Kugellager
- 3 Multipolring
- 4 Raddrehzahlsensor

6 Schnittbild durch den aktiven Drehzahlsensor

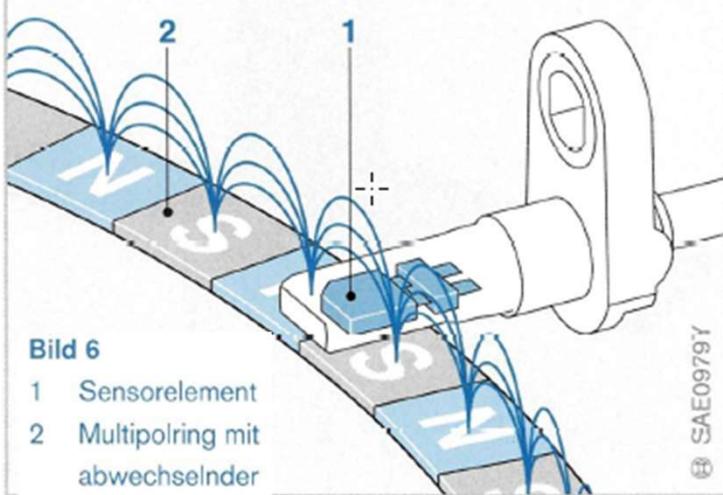
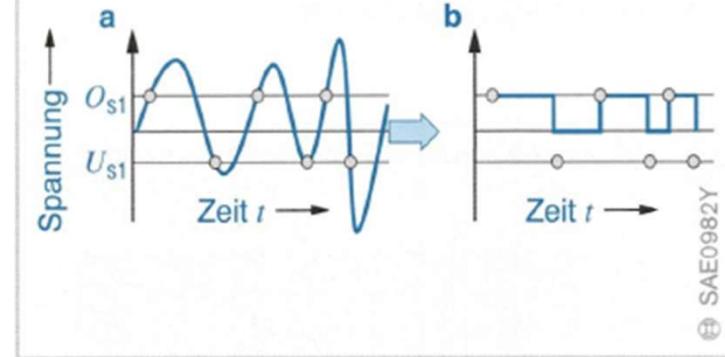


Bild 6

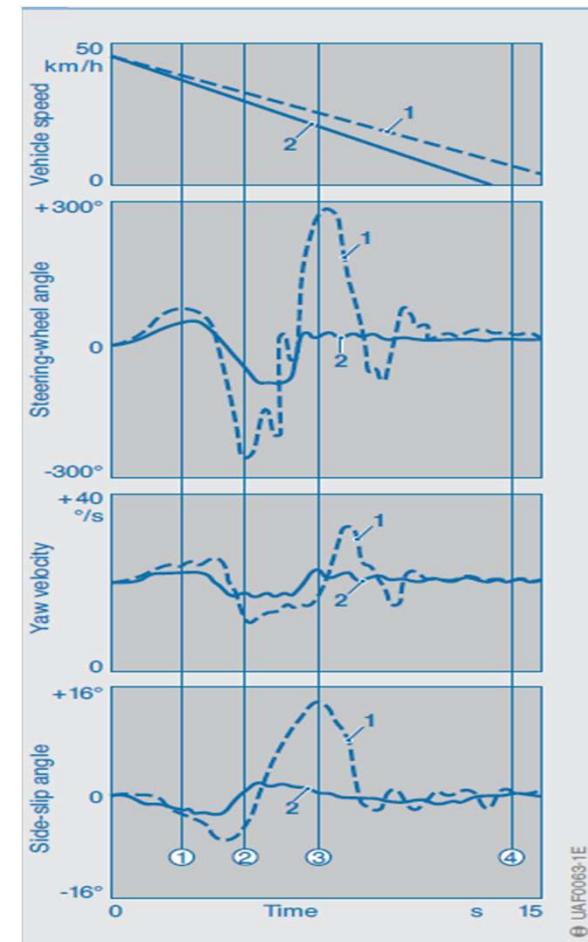
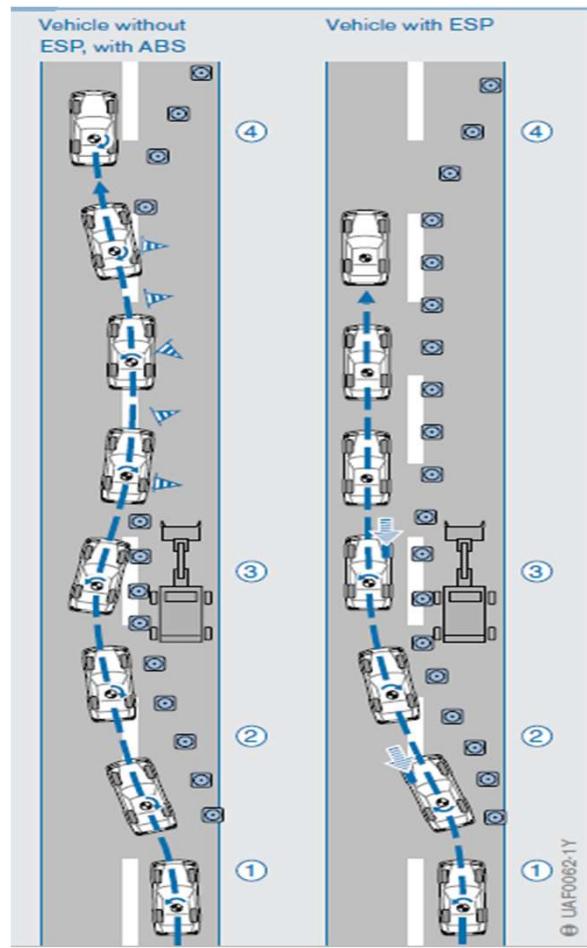
- 1 Sensorelement
- 2 Multipolring mit abwechselnder Nord- und Süd-magnetisierung

9 Signalamwandlung im Hall-IC



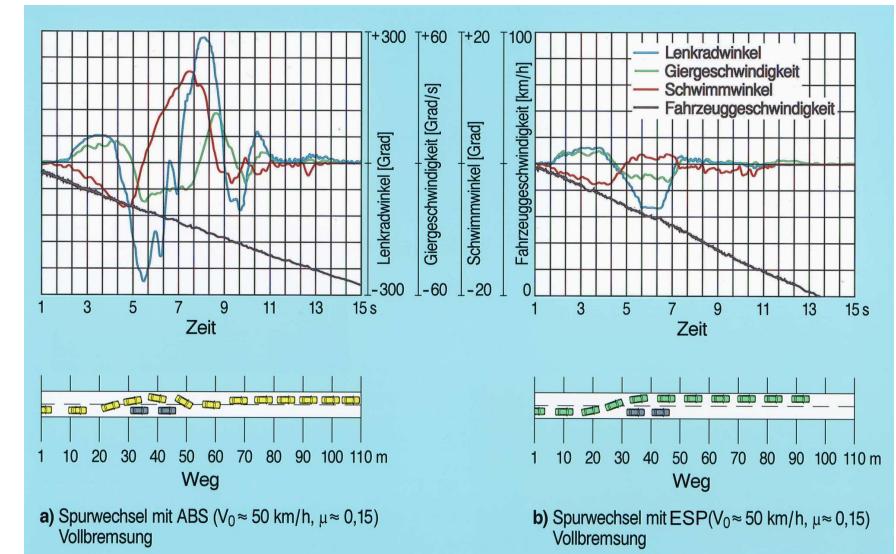
Fahrdynamikregelsysteme

Beispiele: Spurwechsel auf Glatteis



Spurwechsel mit Notbremsung

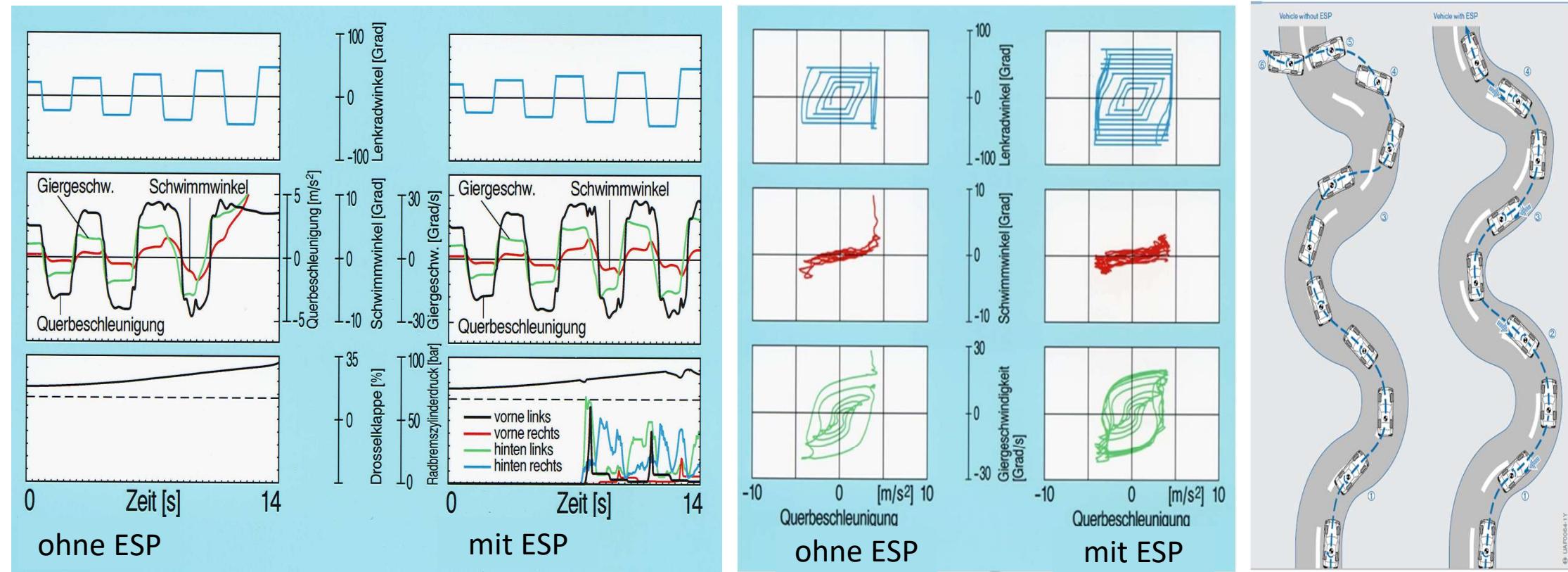
$V_0=50\text{km/h}$, Nieder-Mue



Fahrdynamikregelsysteme

Beispiele: Lenkstufen

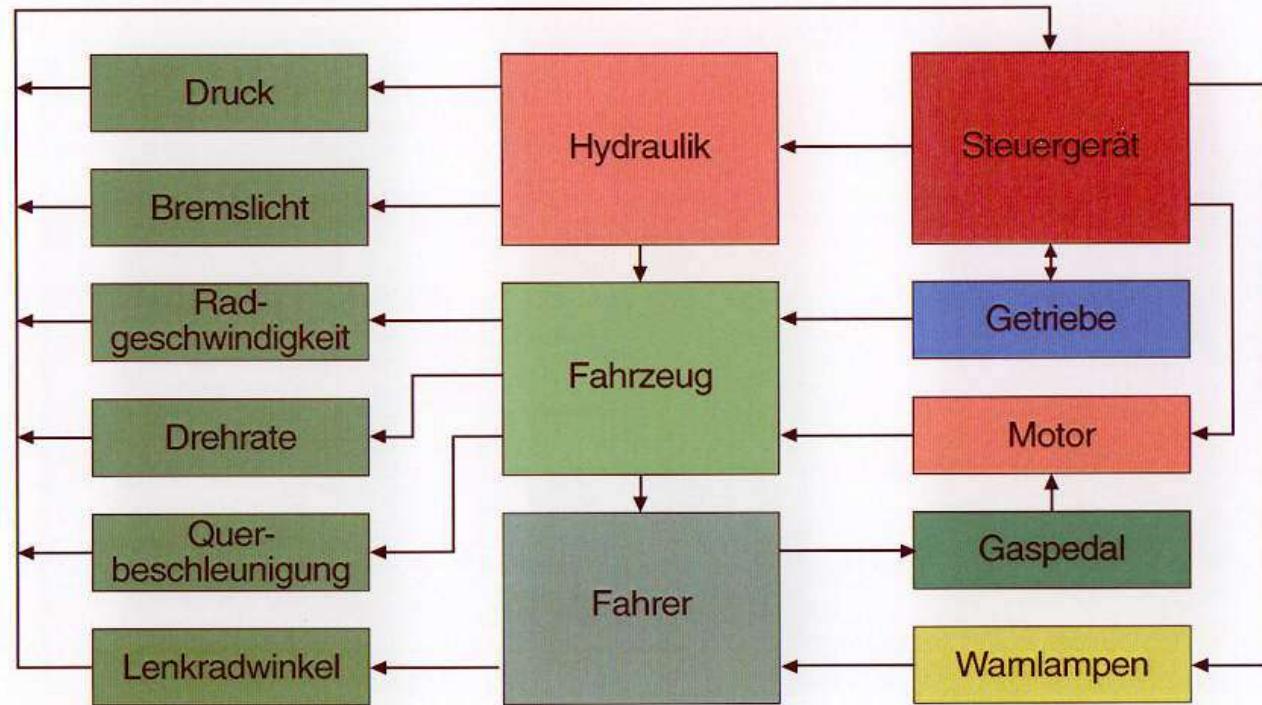
Vergleich Slalom Manöver mit zunehmender Lenkamplitude ohne/mit ESP[®] ($\mu = 0,5$)



Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept

Zu betrachtende „Komponenten“ beim ESP- Sicherheitskonzept



Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept

➤ Fehlervermeidung

➤ Systemüberwachung/Fehlerentdeckung

- ➔ Basisüberwachungen
- ➔ Selbsttests, Eigenüberwachung und aktive Tests
- ➔ Modellgestützte Sensorüberwachung
- ➔ Maßnahmen im Fall eines Fehlerverdachts

➤ Maßnahmen

- ➔ Rückfallebenen
- ➔ Abschaltkonzept
- ➔ Fahrerinformation über den Systemstatus

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept - Fehlervermeidung

- Verwendung bekannter und bewährter Prinzipien, Methoden und Lösungen des ABS- und ASR-Sicherheitskonzepts.
- Verwendung bewährter ABS- und ASR-Komponenten in einem unveränderten Design (so weit wie möglich).
- Verwendung von Sensoren mit einem robusten Messprinzip und einer robusten Schnittstelle zum Steuergerät.
- Verwendung, in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden, der
 - FMEA-Methode (Failure Mode and Effect Analysis)
 - FTA-Methode (Fault Tree Analysis)

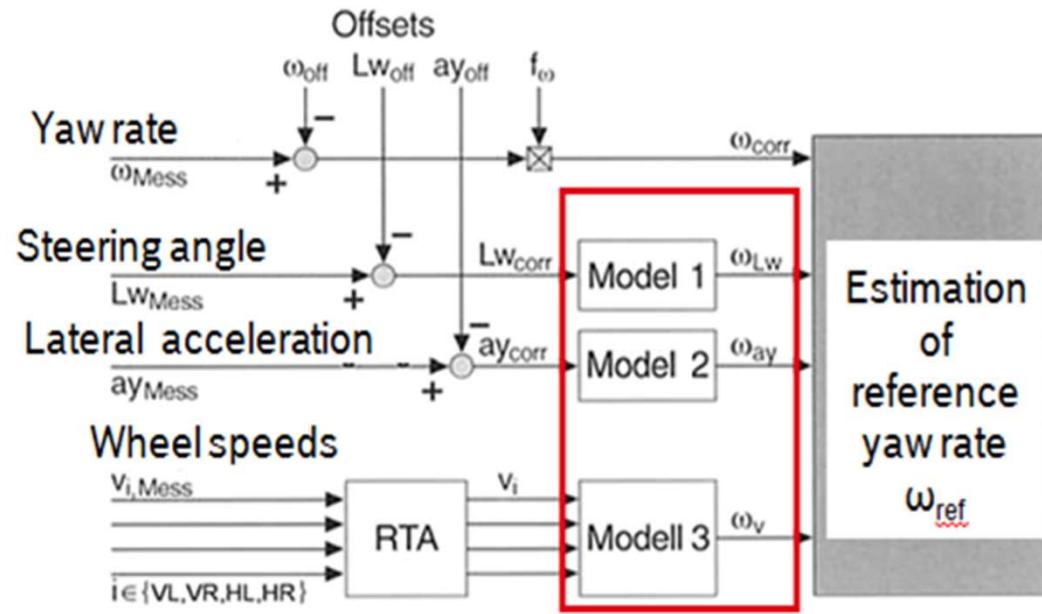
Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept - Überwachungsfunktionen

- Aufgebaut auf das Sicherheitskonzept von ABS und ASR
- Selbstüberwachung und Selbsttest der zentralen Sensoren
- Überprüfung der Signalplausibilität
- Überprüfung mittels analytischer Redundanz
- Sanftes oder hartes Abschalten in Abhängigkeit der Fehlerart
- Notlauffunktion in Abhängigkeit der Fehlerart
- Kalibrierung der Sensorsignale während der Fahrt
- Schnelle und sichere Fehlerentdeckung
- Schnelle und sichere Ortung der Fehler
- Speicherung der Kalibrierung in EEPROM für Lenkradwinkel- und Querbeschleunigungssignal

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept - Modellgestützte Sensorüberwachung

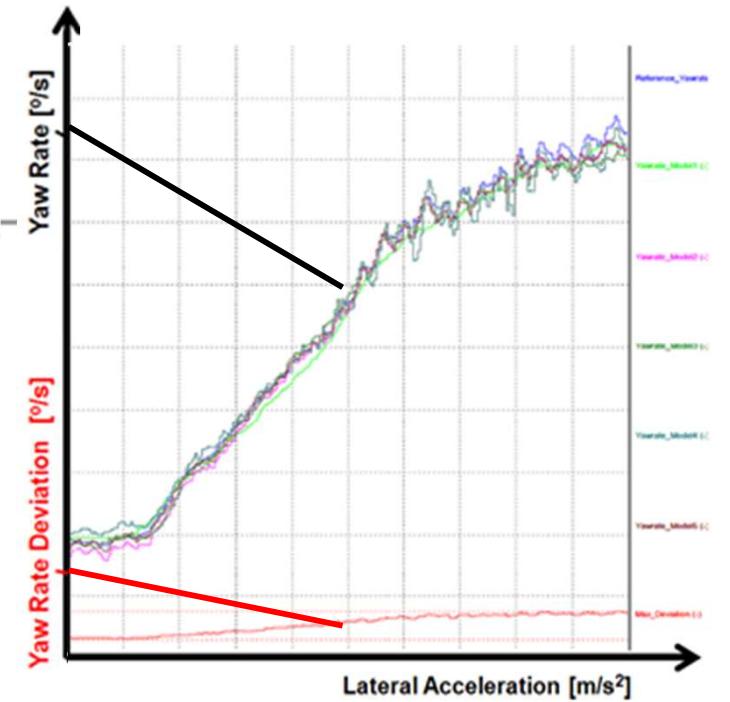


Applizierbare
Drehratenmodelle

Drehratenmodelle auf Basis:

- Lenkwinkel
- Querbeschleunigung
- Radgeschwindigkeiten

$$\omega_{Lw} = \frac{\delta \cdot v_{ref}}{\left(1 + \frac{v_{ref}^2}{v_{ch}^2}\right) \cdot b_V \cdot i_s}$$



Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept – Maßnahmen im Fehlerfall

- ▶ Fehler des Steuergeräts oder elektrischer Fehler der hydraulischen Komponenten:
 - ▶ sofortiges Abschalten des Systems.
- ▶ Fehler des Drehzahlfühlers-, Druck-Sensors oder des Bremslichtschalters:
 - ▶ a) entdeckt während der Regelung:
Abschalten des Systems erfolgt nach Beendigung der Regelung
 - ▶ b) entdeckt außerhalb der Regelung:
Abschalten des Systems erfolgt sofort.
- ▶ Fehler des Gierraten-, Querbeschleunigungs-, Lenkradwinkelsensors oder des Motor-Steuergeräts:
 - ▶ Wechsel zu Backup-ABS/ASR.
- ▶ Nach dem Abschalten des Systems oder des Backup-ABS:
 - ▶ EBV (Elektronische Bremskraft Verteilung) verfügbar.
- ▶ Der Fahrer wird über den Systemstatus mittels Lampenanzeige informiert.

Fahrdynamikregelsysteme

VDC – Value Added Functions (VAFs)

Funktion	Akronym	Release
► Enhanced Understeering Control	EUC	06/2004
► Roll Movement Intervention	RMI	12/2004
► Rollover Mitigation	ROM	02/2005
► Trailer Sway Mitigation	TSM	02/2005
► Continuous Center Coupling Control	CCC	05/2005
► Load Adaptive Control	LAC	06/2005
► Dynamic Wheel Torque Distribution	DWT-B	06/2006
► Continuous Damper Control	CDC	06/2006
► Dynamic Steering Angle Control	DSA	09/2006
► Rollover Mitigation w./ Load Adaptive Control	ROM-LAC	11/2006
► Dynamic Steering Torque Control	DST-C	11/2007
►
► Side Wind Assist	SWA	03/2013

Fahrdynamikregelsysteme

VDC – Value Added Functions (VAFs)

Bremsassistenz		
BDW	Brake Disc Wiping	Bremsscheibenwischen ($v > 50 \text{ km/h}$)
EBP	Electronic Brake Pre-Fill	Elektronische Bremsenvorbefüllung ($v > 30 \text{ km/h}$, Verzögerung ca. $0,8 \text{ m/s}^2$ innerhalb 0,1 s)
HBA	Hydraulic Brake Assist	Hydraulischer Bremsassistent (< 0,3 s bis Blockiergrenze)
HBB	Hydraulic Brake Boost	Hydraulischer Bremskraftverstärker
HBC	Hydraulic Boost Failure Compensation	Kompensation bei Bremskraftverstärkerausfall
HFC	Hydraulic Fading Compensation	Hydraulische Fading-Kompensation (< 0,3 s bis Blockiergrenze)
HRB	Hydraulic Rear Wheel Boost	Hydraulische Hinterachsen-Bremsdruck-Verstärkung (< 0,3 s bis Blockiergrenze)
SST	Soft Stop	Anhaltedruckbegrenzung
TJA	Traffic Jam Assist	Staufahrassistent (< 50 km/h, $a_x : 0 - 2 \text{ m/s}^2$, AVH, ABL)
PMA	Pedal Misuse Avoidance	Vermeidung von Pedal-Fehlbedienung

Fahrdynamikregelsysteme

VDC – Value Added Functions (VAFs)

Unterstützung der Fahrstabilität		
AOL	Anti Oscillation Logic	Radvibrationsdämpfung
CSC	Corner Stability Control	Kurvenstabilitätsassistent
EUC	Extended Understeer Control	Erweiterter Untersteuerungsassistent (geregelte Fahrzeugverzögerung z.B. mit CDD)
LAC	Load-Adaptive Control Mode for LCV/Vans	Beladungsabhängige Stabilisierung für leichte Nutzfahrzeuge
RMI	Roll Movement Intervention	Überschlagsvorbeugung
ROM	Roll Over Mitigation	Überschlagseingriff
SLS	Straight Line Stability Control	Fahrtrichtungsstabilisierung
TSM	Trailer Sway Mitigation	Anhängerspurstabilisierung (symmetrische bzw. asymmetrische Bremsung)
SWA	Side Wind Assist	Spurhalten bei Seitenwind mittels Bremseingriffen

Fahrdynamikregelsysteme

VDC – Value Added Functions (VAFs)

Stillstands- und Geschwindigkeitsregelung		
AVH	Automatic Vehicle Hold	Automatisches Fahrzeughalten
AVR	Automatic Vehicle Release	Anfahrassistent
CDP	Controlled Deceleration for Parking Brake	Notbremsregelung für Parkbremse
ECC	Extended Cruise Control	Erweiterte Geschwindigkeitsregelung
HDC	Hill Descent Control	Bergabfahrassistent ($v < 50 \text{ km/h}$, $a_x = 2,0 - 3,5 \text{ m/s}^2$, Änderung von $a_x : 1 \text{ m/s}^2$ in $0,1 \text{ s}$, Auflösung $0,1 \text{ m/s}^2$, Eingriff innerhalb $0,2 \text{ s}$)
ABL	Active Brake Light Control	Ansteuerung der Bremsleuchten
HHC	Hill Hold Control	Berganfahrassistent

Fahrdynamikregelsysteme

VDC – Value Added Functions (VAFs)

Spezielle Antriebsregelung		
AMR	Drive Torque Control	Antriebsmomentenregelung
CCC	Center Coupling Control	Zentraldifferentialregelung
DTC	Drag Torque Control	Motorschleppmomentenregelung
OCD	Open Center Differential	Mittendifferentialunterstützung
ORD	Off-Road Detection and Measures	Off-Road-Assistent (Rad-Beschleunigung >2 g, Frequenz>20 Hz, >10% Schlupfamplitude)
TDS	Torsen Drive Support	Torsen-Differentialunterstützung
VCS	Visco Clutch Support	Visco-Kupplungsunterstützung

Fahrdynamikregelsysteme

VDC – Value Added Functions (VAFs)

Umfeldsensierung		
ABA	Adaptive Brake Assist	Adaptiver Bremsassistent
ABP	Automatic Brake Prefill	Automatische Bremsvorbefüllung
AEB	Automatic Emergency Brake	Automatische Notbremse
AWB	Automatic Warning Brake	Automatische Warnbremsung
CDD	Controlled Deceleration for DAS	Folgefahrtassistent
Überwachung und Information		
BTM	Brake Temperature Models	Bremsentemperaturmodelle
HAZ	Hazard Warning	Gefahrenwarnung mit Warnblinkanlage
HAB	Hazard Buzzer	Gefahrenwarnung mit Summer
MSL	Mini Spare Logic	Notraderkennung
TIMS	Tire Inflation Monitoring System	Reifendrucküberwachung
VSO	Vehicle Speed Output	Bereitstellung Fahrzeuggeschwindigkeit

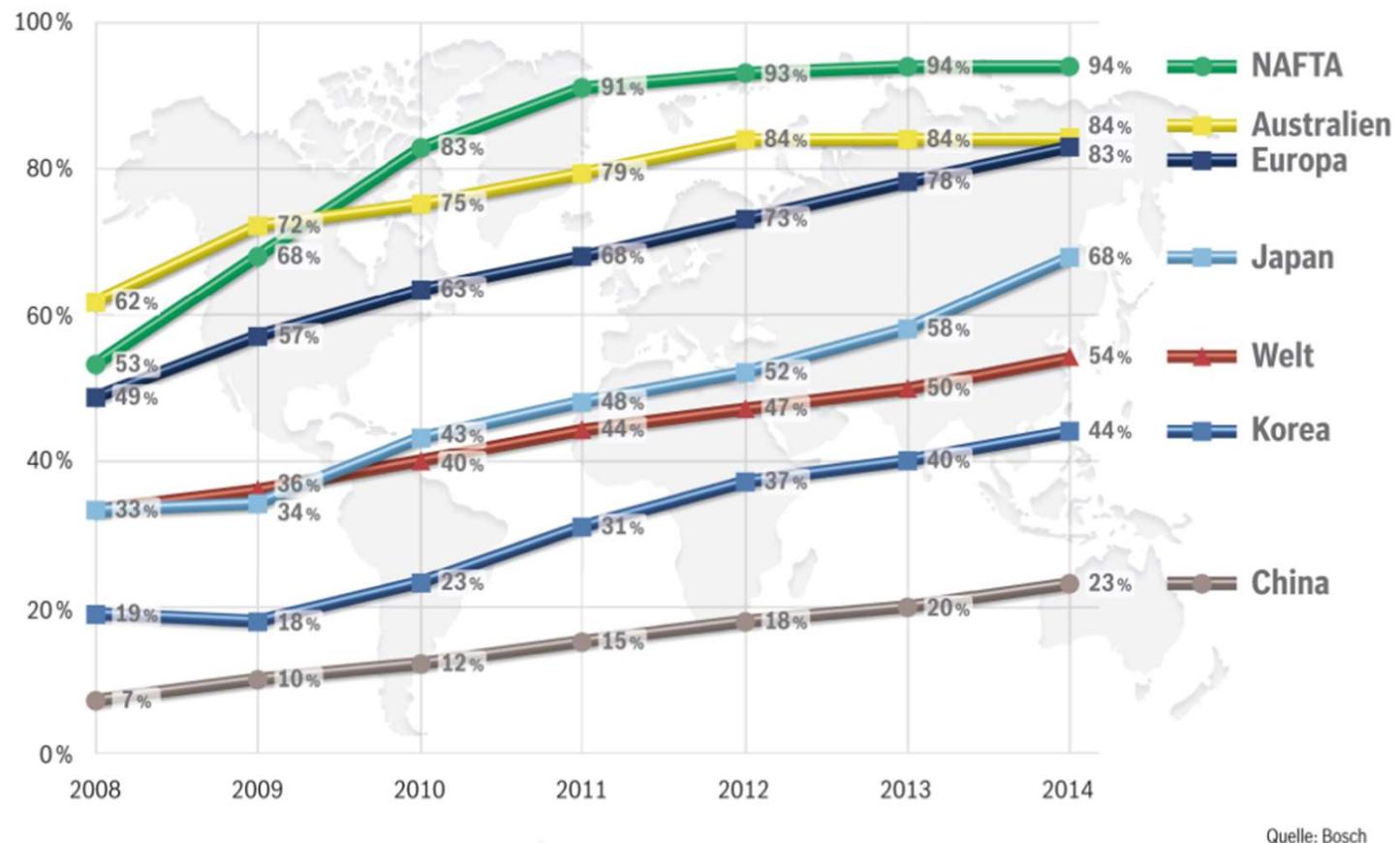
Fahrdynamikregelsysteme

Zusammenfassung: ESP

- ESP® verwendet das Einspurmodell für eine Modellfolgeregelung der Giergeschwindigkeit
- ESP® schätzt mit dem Zweispurmodell den Schwimmwinkel und setzt ein wenn er zu groß wird
- Entsprechend dem Fahrbahnreibwert wird die Giergeschwindigkeit begrenzt
- Zur Giermomenteneinstellung werden die Reifenkraftvektoren gedreht
- Die Drehung der Reifenkraftvektoren erfolgt durch Reifenschlupfeinstellung
- Sensorsignale werden konsequent verwendet
- ESP® hat eine einheitliche, hierarchische Reglerstruktur für Front-, Heck- und Allradantrieb
- Eine Vielzahl an Zusatzfunktionen (VAFs) verbessern Brems-, Lenk-, Stabilitätsverhalten, bieten dem Fahrer zusätzlich Komfort und Zusatzinformation

Fahrdynamikregelsysteme

Zusammenfassung: weltweite Ausstattungsrate



Quelle: Bosch

*) Basierend auf der Fahrzeugproduktion von PKW und leichten Nutzfahrzeugen <6t

Fahrdynamikregelsysteme ABS, ESP® and AEB Gesetzgebung – Stand 2020



Canada

ESP® 2011

ESP® All vehicles <4.5t to 09/2011
ESP® for trucks & buses 2019-2020
ABS-M* on political agenda



USA

ABS 2014
ABS-M* 2016-2019
ESP® 2020-2022



Brazil



Argentina

ABS 2014
ESP® 2018



Ecuador

ESP® 2018



New Zealand

ESP® 2015



Uruguay

ABS 2014



European Union

ESP® 2011-2014
ABS-M* 2016-2017
AEB for trucks 2015



Turkey

ESP® 2012-2016
AEB for trucks & buses 2013-2016



Iran

ABS



Israel

ESP® 2010-2012



India

ABS 2018-2019
ABS for trucks & buses 2015
ABS-M* 2018-2019



Australia

ESP® Nov 2011-2013
ABS-M on political agenda



Russia

ESP® 2014-2016



Japan

ESP® 2012-2018
ABS-M 2018-2021



South Korea

ESP® 2012-2015
AEB for trucks & buses (in prep.)



China

ABS for minibus – 2015
ABS 2018
AEB for buses 2019 – 2021
ESP® 2018 (self commitment of OEMs)



Mexico

ABS 2019-2020



Malaysia

ESP® 2018

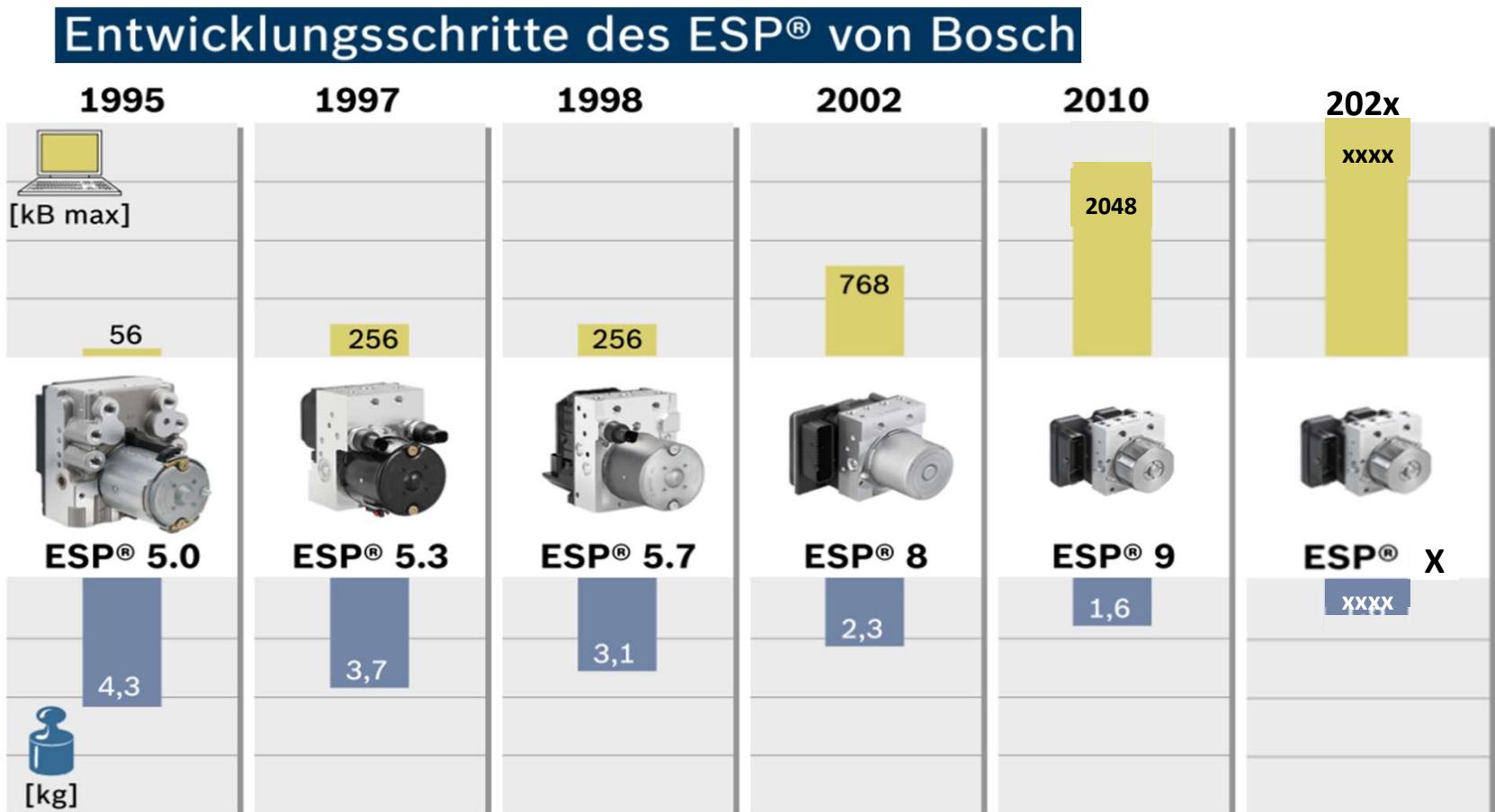


Colombia

*ABS-M = ABS for Motorcycle

Active safety and driver assistance

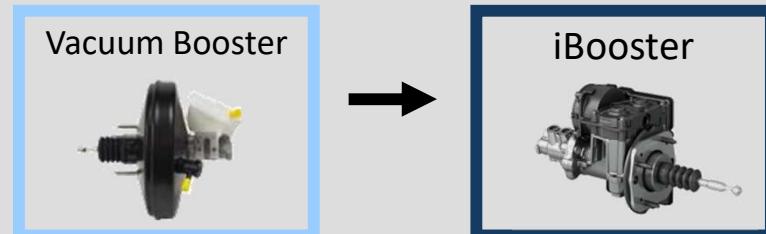
Wie geht es weiter?



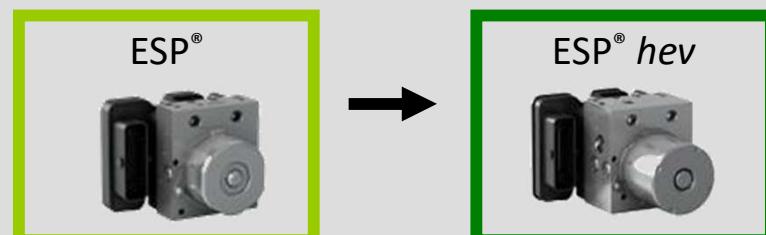
Active safety and driver assistance

Wie geht es weiter? CC-Portfolio für ADAS

Brake boost → Vacuum-free & dynamics

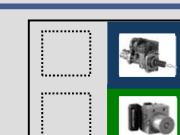
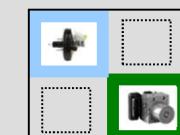


Modulation → Regeneration



Driving Configuration

- Conventional
- Assisted
- Conventional
- Assisted
- Conventional
- Assisted
- Automated
- Conventional
- Assisted
- Automated



Brake boost & Modulation



→ Modularer und integrierter Ansatz um alle Konfigurationen, von konventionellem bis hin zu automatisiertem Fahren, abzudecken

Fahrdynamikregelsysteme

Zusammenfassung: „Werte, Ziele, Teamgeist“



Gute Unternehmen haben mehr als einen Wert, sie haben Werte. Und diese Werte, ob Verantwortung oder auch Vertrauen, haben sich nicht nur in der Vergangenheit bewährt, sie können auch den Weg in die technologische Zukunft weisen.

von Dr. Volkmar Denner

„Je sinnstiftender das Ziel, desto größer das Engagement der Mitarbeiter.“

15 000 gerettete Menschenleben

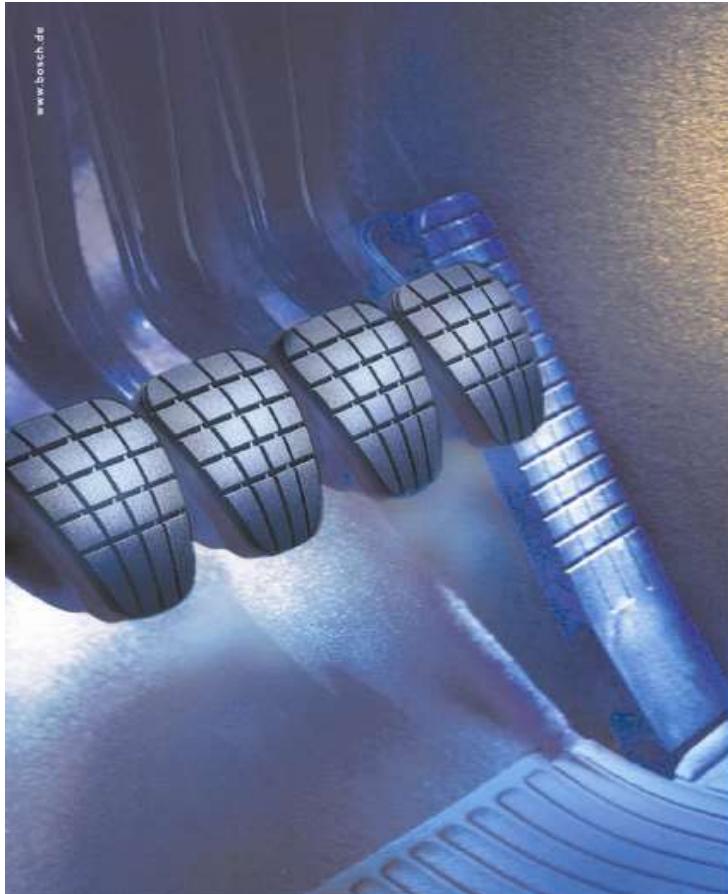
durch ESP® nach 25 Jahren (allein in Europa).

Das ESP® – wenn Technik zum Schutzengel wird



25 Jahre ESP® – das sind nahezu 15 000 gerettete Menschenleben, das sind gut 450 000 verhinderte Verkehrsunfälle allein in Europa. Das ist eine der ganz großen Innovationsgeschichten von Bosch. „Technik fürs Leben“ vom allerbesten. Bosch selbst hat weltweit bereits rund 250 Millionen Schleuderschutz-Systeme ausgeliefert. Bald war nicht mehr vom Elektronischen Stabilitäts-Programm die Rede, vielmehr vom elektronischen Schutzengel. Und früh gab es dazu spannende Geschichten – Geschichten vom Elchtest und anderen Fahrmanövern, Geschichten, die das Wiedererzählen lohnen.

Fahrdynamikregelsysteme ... und wie bewerten Sie ESP®?



Können Sie vorne rechts stark bremsen,
hinten links schwach bremsen,
gleichzeitig hinten rechts Gas geben
und damit bereits im Ansatz verhindern,
daß das Heck Ihres Wagens ausbricht?

Ja

ESP von Bosch hält Ihren Wagen
sicherer in der Spur.



Bosch hat die Lösung



BOSCH

BOSCH