

BREMSBASIERTE ASSISTENZFUNKTIONEN - FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME



(ABS, ASR, ESP[®])

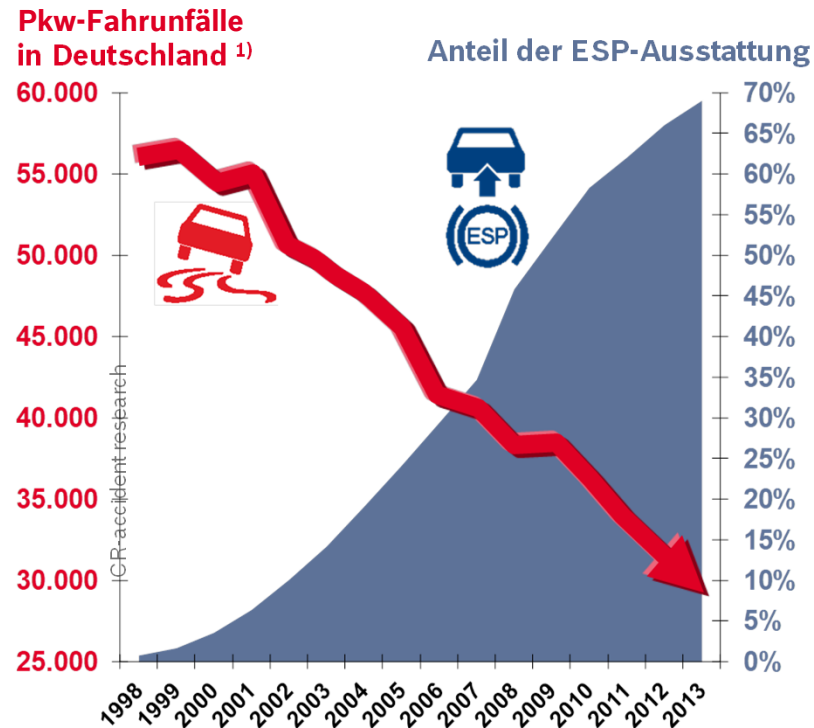
ROBERT BOSCH GMBH
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ

Bremsbasierte Assistenzfunktionen Fahrndynamik: Warum ESP®?

Entwicklung der Fahrnfälle in Deutschland



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



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

Quellen: ¹⁾ Statistisches Bundesamt Deutschland: Sonderstudie (Unfälle mit Personenschaden)
²⁾ Daten von CC/MKC, DAT-Bericht

Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?

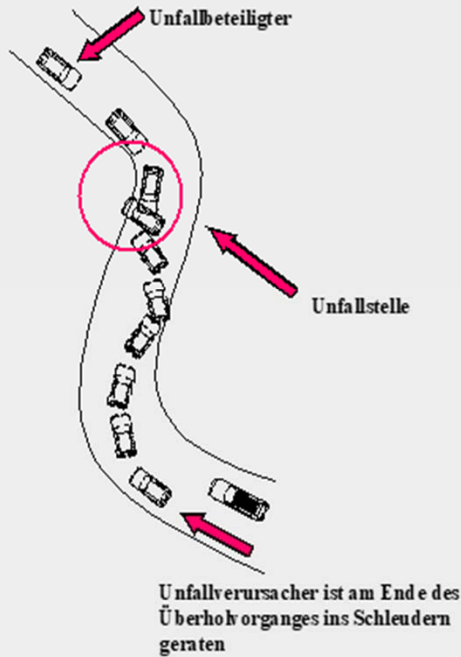
Typischer Unfallablauf: Seitenkollision



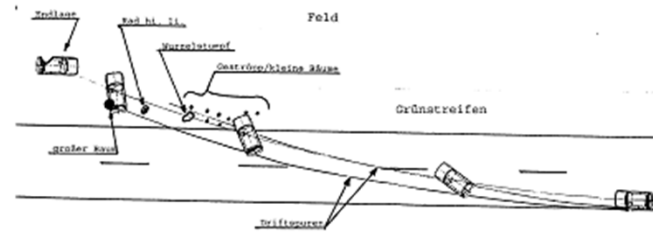
Unfallbeteiligter: geringe Verletzungen



Unfallverursacher: tödliche Verletzungen



Unfall mit Verlust der Fahrzeugkontrolle



Ursachen

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

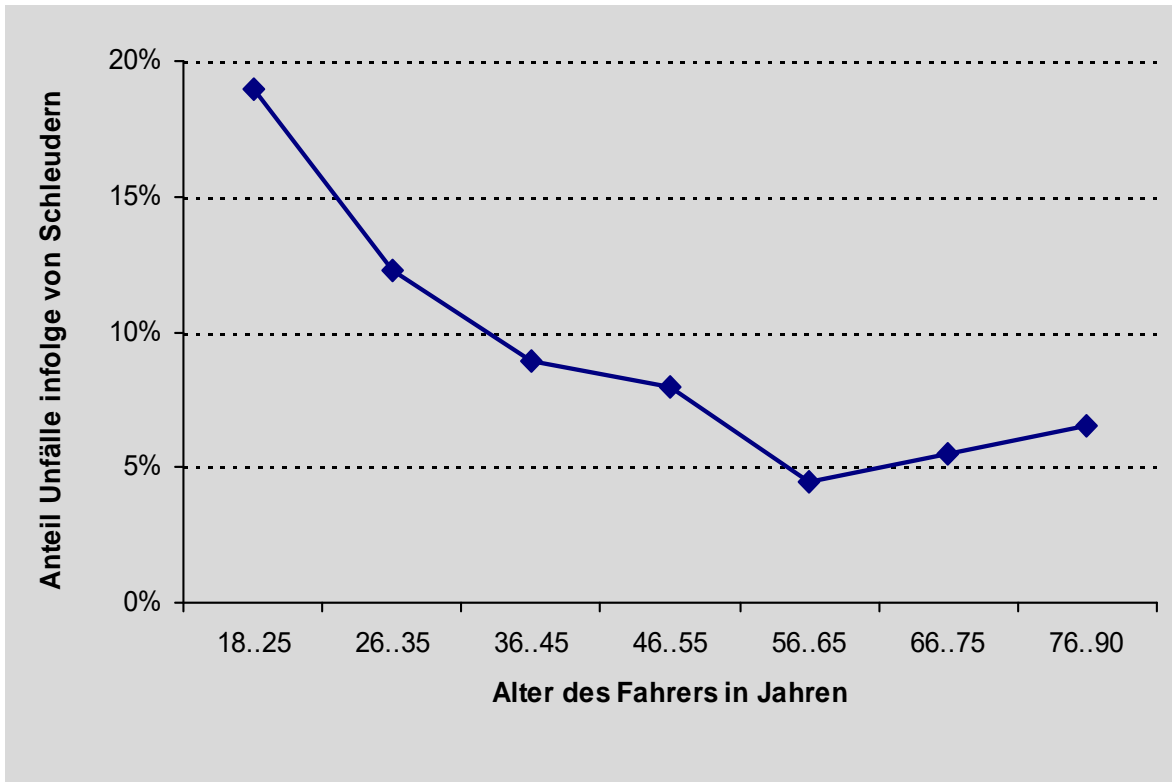
(Alleinunfall)

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 Querschleunigung kleiner als 0,2 g bleibt
 - ... fahren mit Schwimmwinkeln kleiner als 2°
 - ... haben keine Erfahrung im nichtlinearen Bereich der Schlupf- und Schräglauflkurven
 - ... 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.)

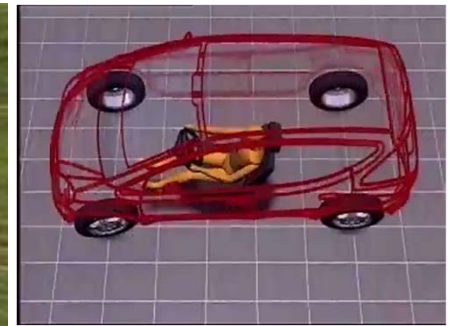
Bremsbasierte Assistenzfunktionen

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®)

7

Chassis Systems Control | CC-AS/EYB - Albert Lutz | 17.12.2020

HS-Kempten / WS20/21 / ADAS-Master

© Robert Bosch GmbH 2020. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



Bremsbasierte Assistenzfunktionen

ESP® – Die Anfänge

Entwicklungsumgebung / Versuchsträger 1985

- 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®-Meilensteine

- **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 (Korrektiv)
 - 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

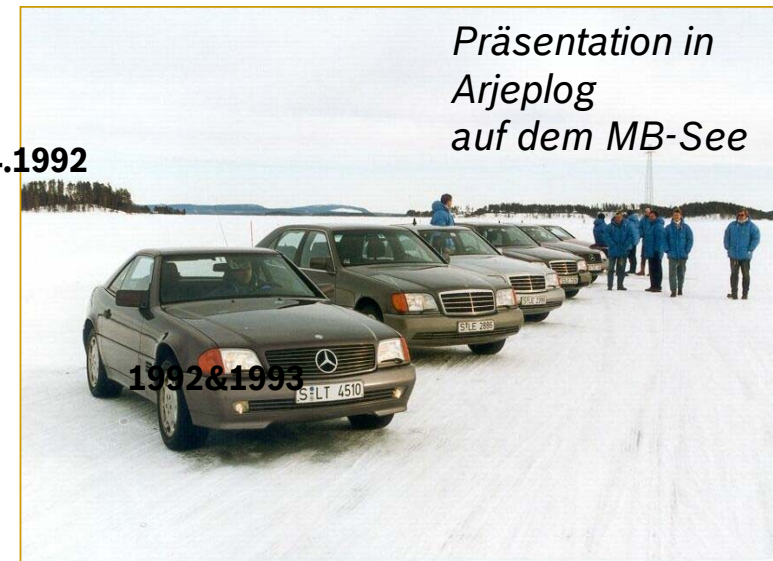
ESP®-Meilensteine

- **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**
- **Serienabsicherung** **1994**
- **Serieneinführung S-Klasse (W140) & SL (R129)** **1995**

Serieneinführung des ESP®

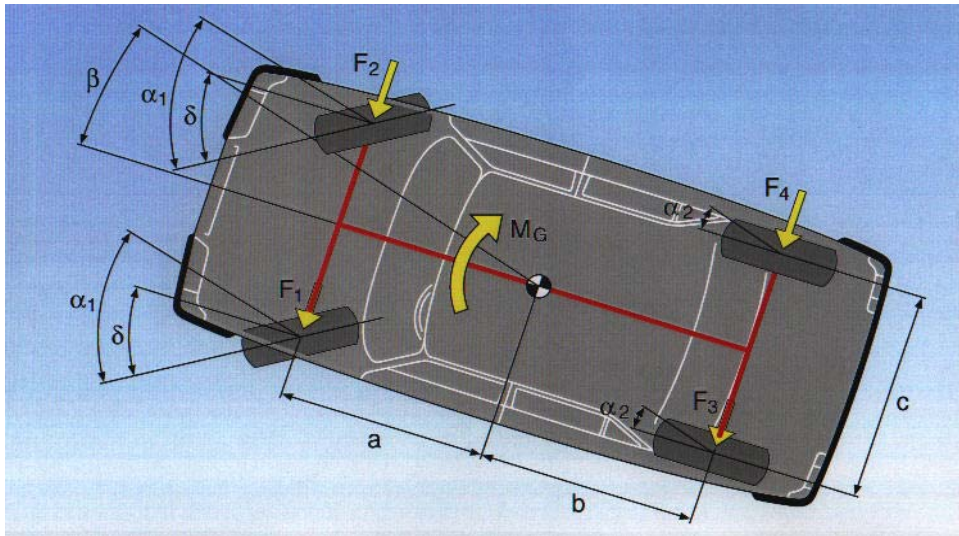
1995

im MB W140 und R129



Fahrdynamikregelsysteme

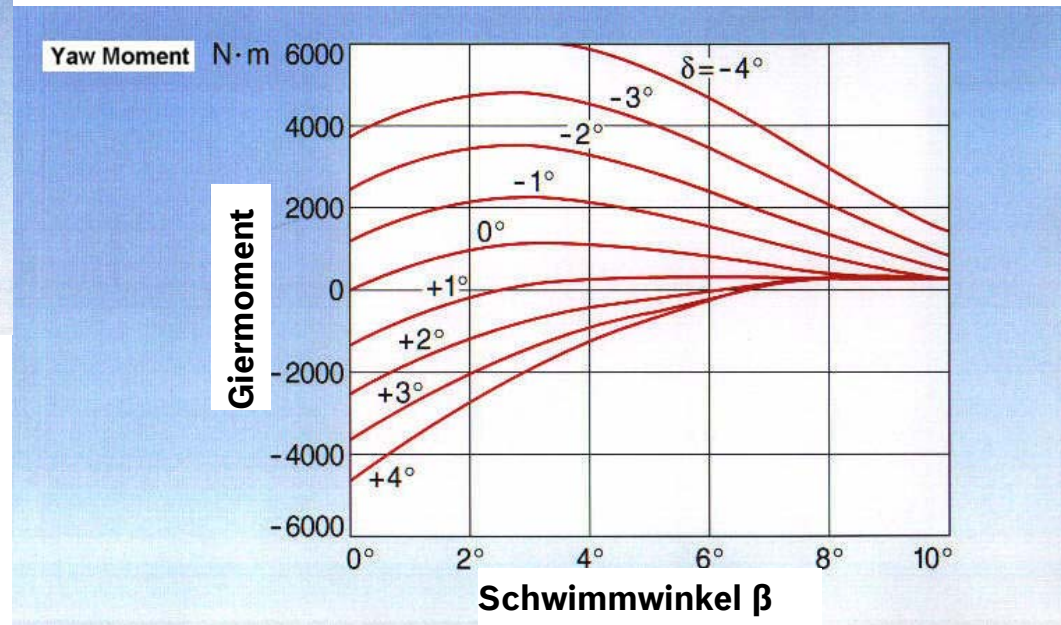
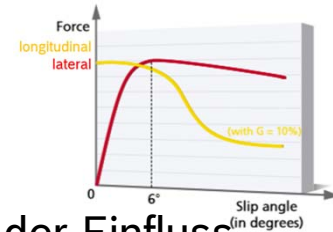
Fahrdynamik: Die Beta Methode (Honda)



Untersuchung der Lenkfähigkeit als Funktion des Schwimmwinkels

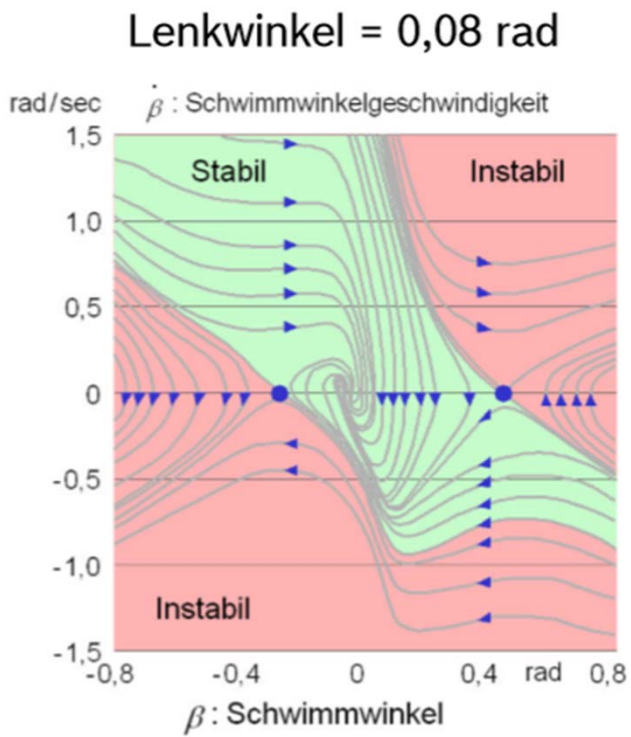
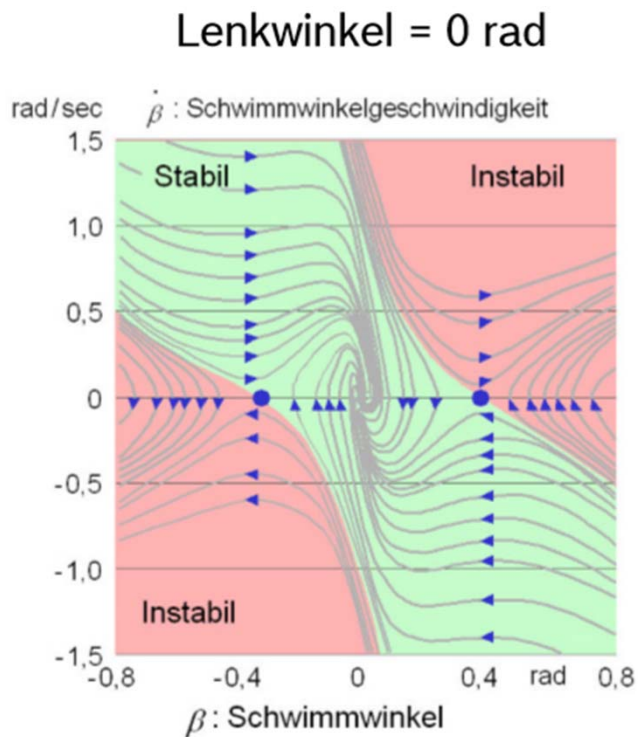
Lenkfähigkeitskennfeld:

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



Fahrdynamikregelsysteme

Fahrdynamik: Fahrzeugstabilität im Phasenbereich (Toyota)



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

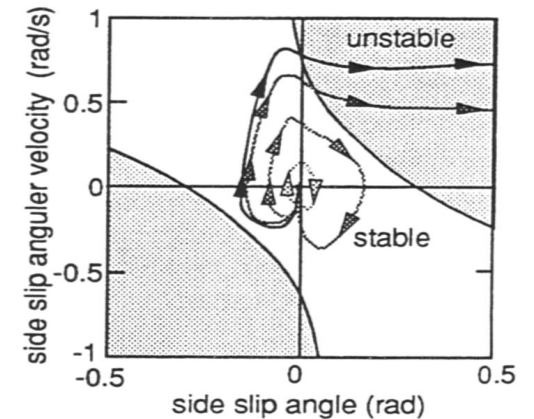


Fig.2 Response in Sine Steering Input

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:

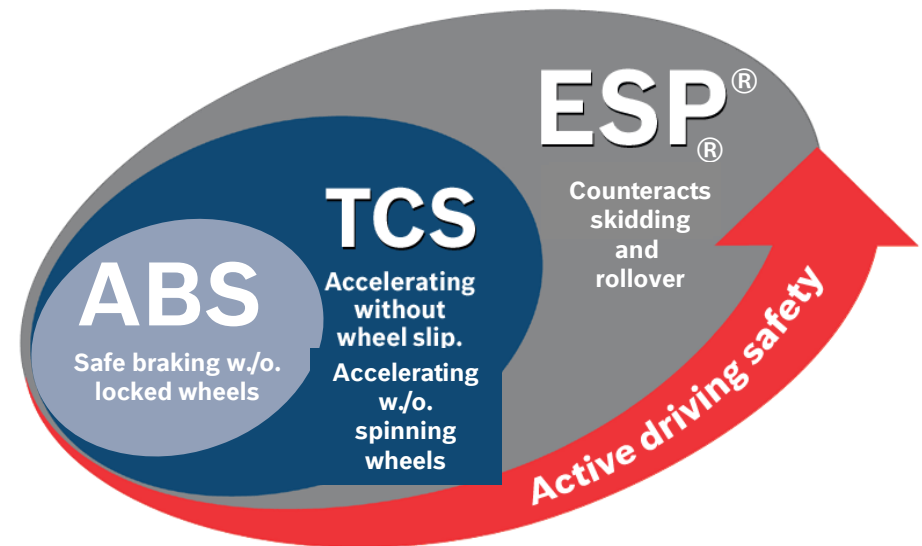
- ESC: Electronic Stability Control

➤ OEM-spezifisch:

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

➤ ESP®-System

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

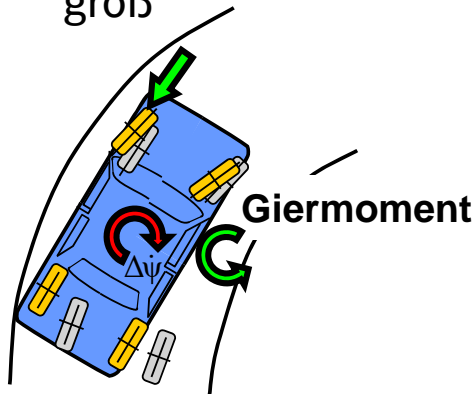


Fahrdynamikregelsysteme

Grundlagen Fahrdynamik: ESP®-Funktion

➤ Übersteuern:

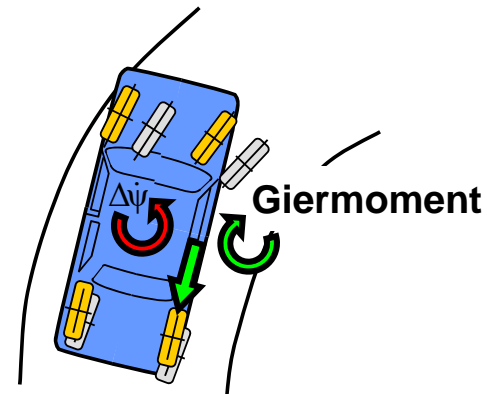
- Das Fahrzeug bricht aus, d.h. die Hinterachse des Fahrzeugs „rutscht“ nach kurvenaußen
- Die Giergeschwindigkeit ist zu groß



Stabilisierung durch Bremseneingriff am kurvenäußeren Vorderrad

➤ Untersteuern:

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

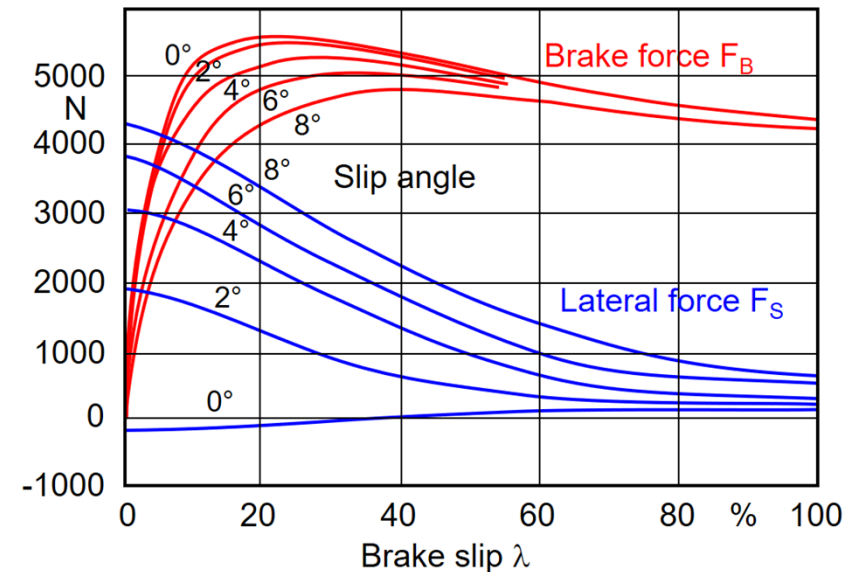


Stabilisierung durch Bremseneingriff am kurveninneren Hinterrad

Fahrdynamikregelsysteme

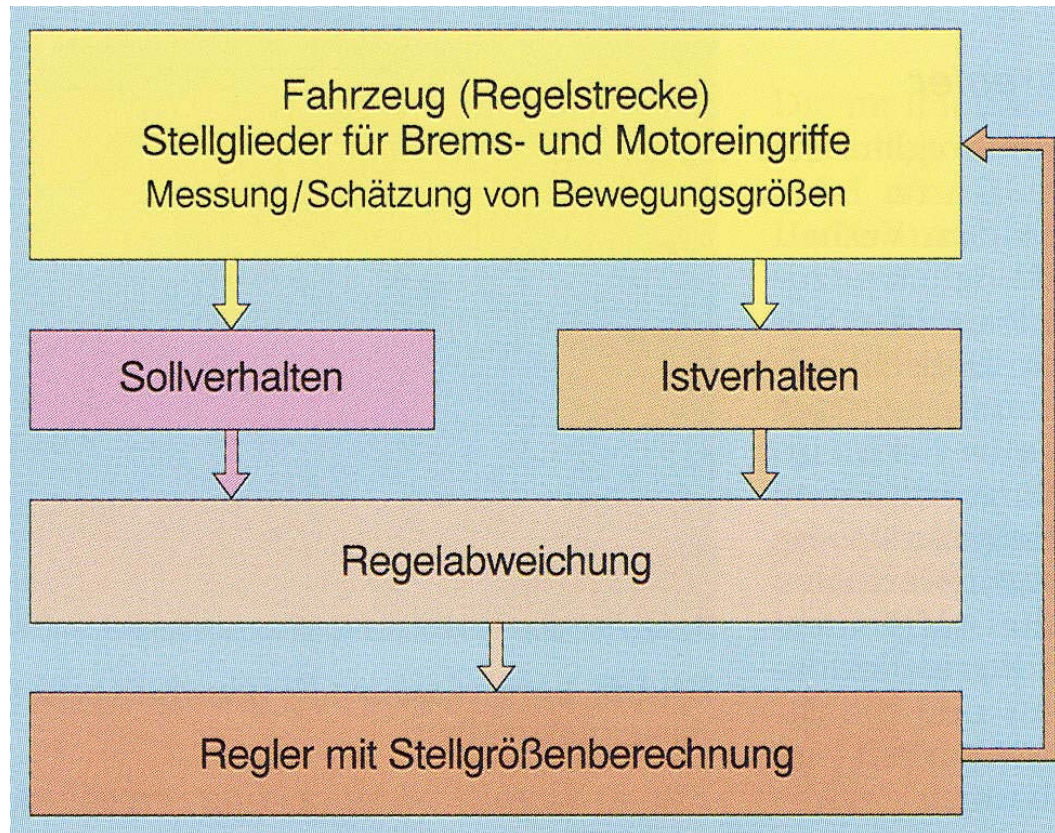
Grundlagen Fahrdynamik: ESP[®]-Funktion

- 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.



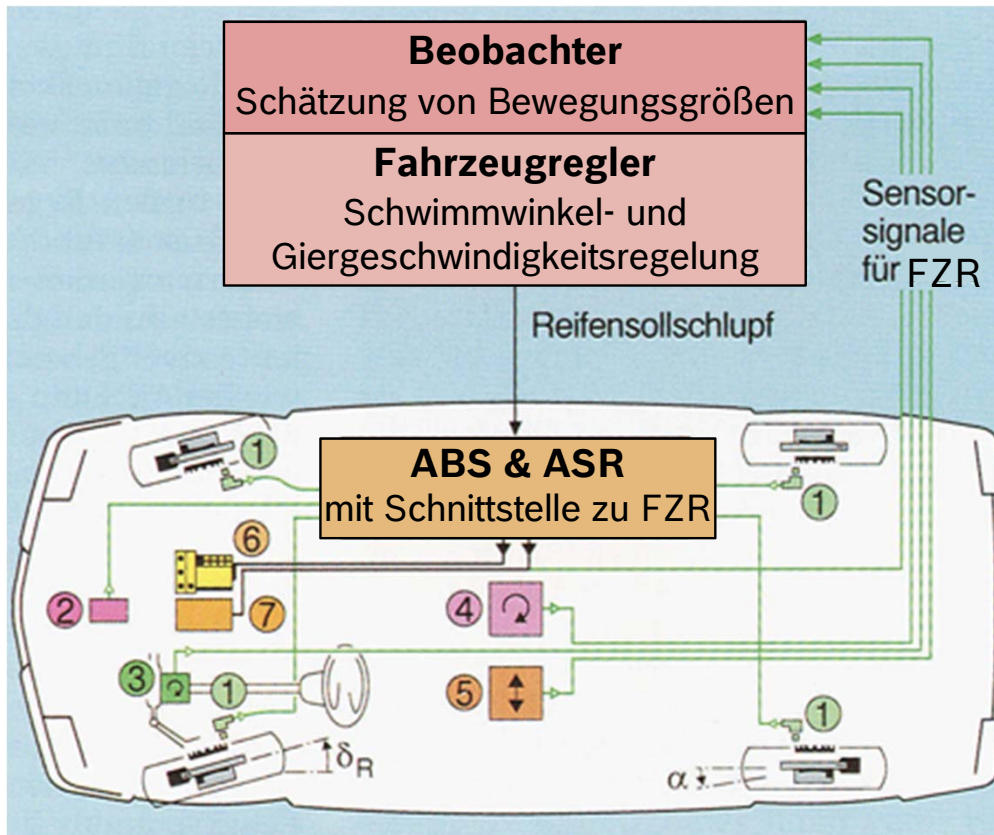
Fahrdynamikregelsysteme

ESP[®]-Regelkonzept: Prinzipielles Blockschaltbild

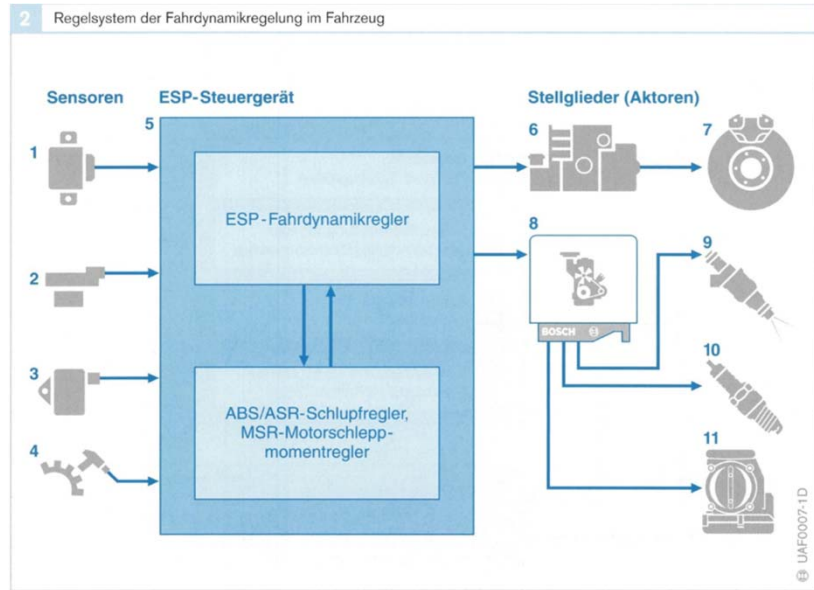


Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Hierarchischer Aufbau

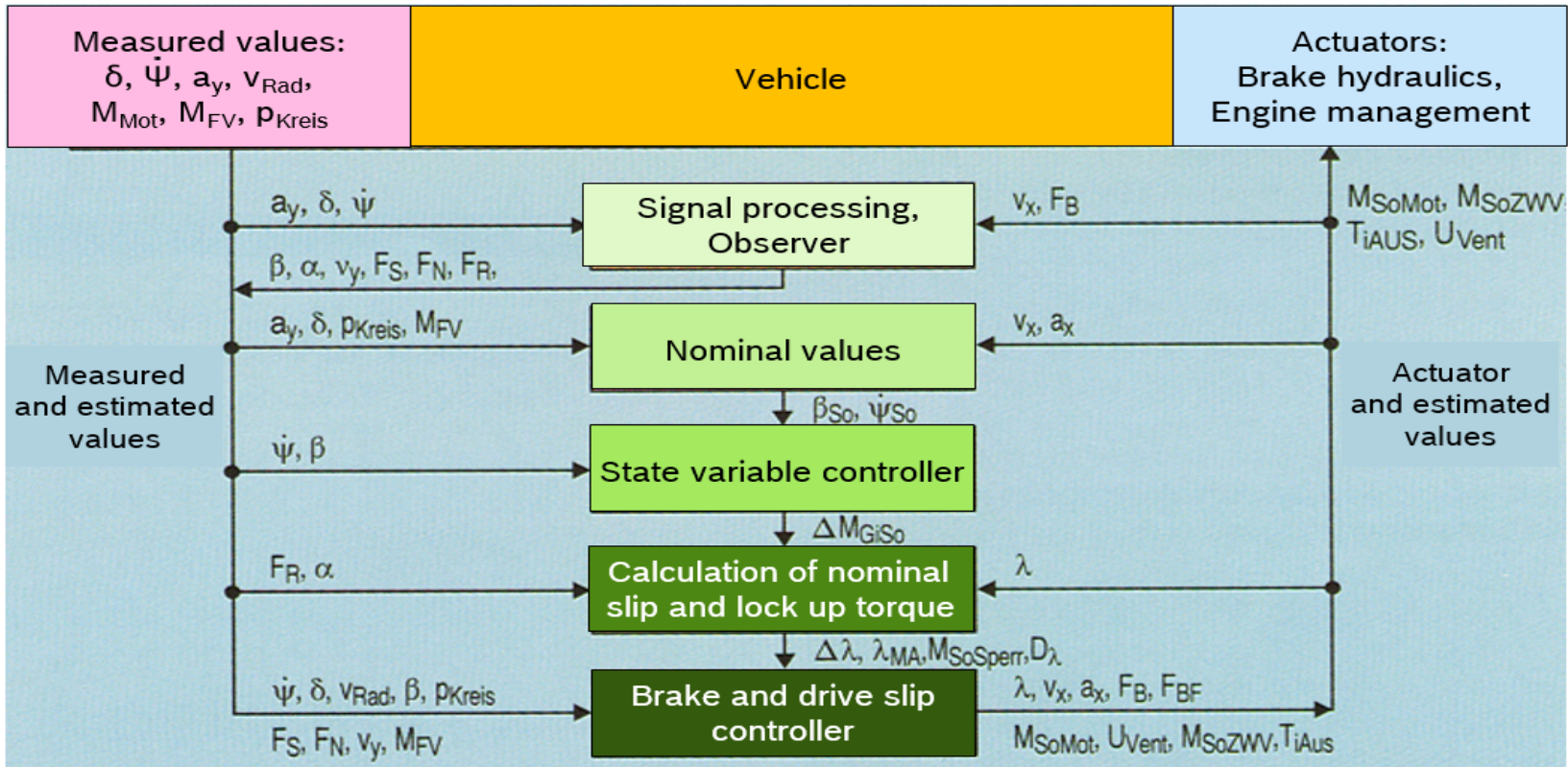


- ① Raddrehzahlsensoren
- ② Vordrucksensor
- ③ Lenkradwinkelsensor
- ④ Giergeschwindigkeits-sensor
- ⑤ Querbearschleunigungs-sensor
- ⑥ Druckmodulation
- ⑦ Motormanagement

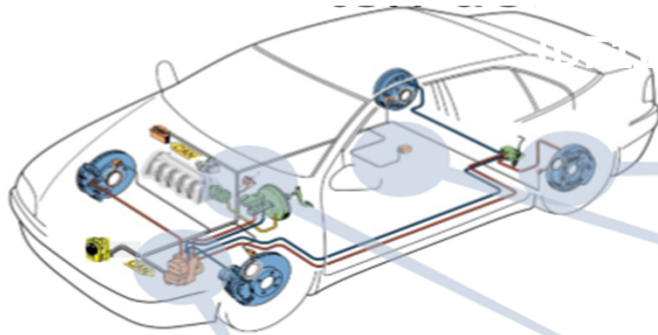


Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Blockschaltbild ESP-Regler



Fahrdynamikregelsysteme ESP®-Komponenten Gen 9



**Hydraulikeinheit und
Steuergerät ESP® 9 plus**



Drehzahlsensor (DF11)



Sensor Cluster DRS MM5.8

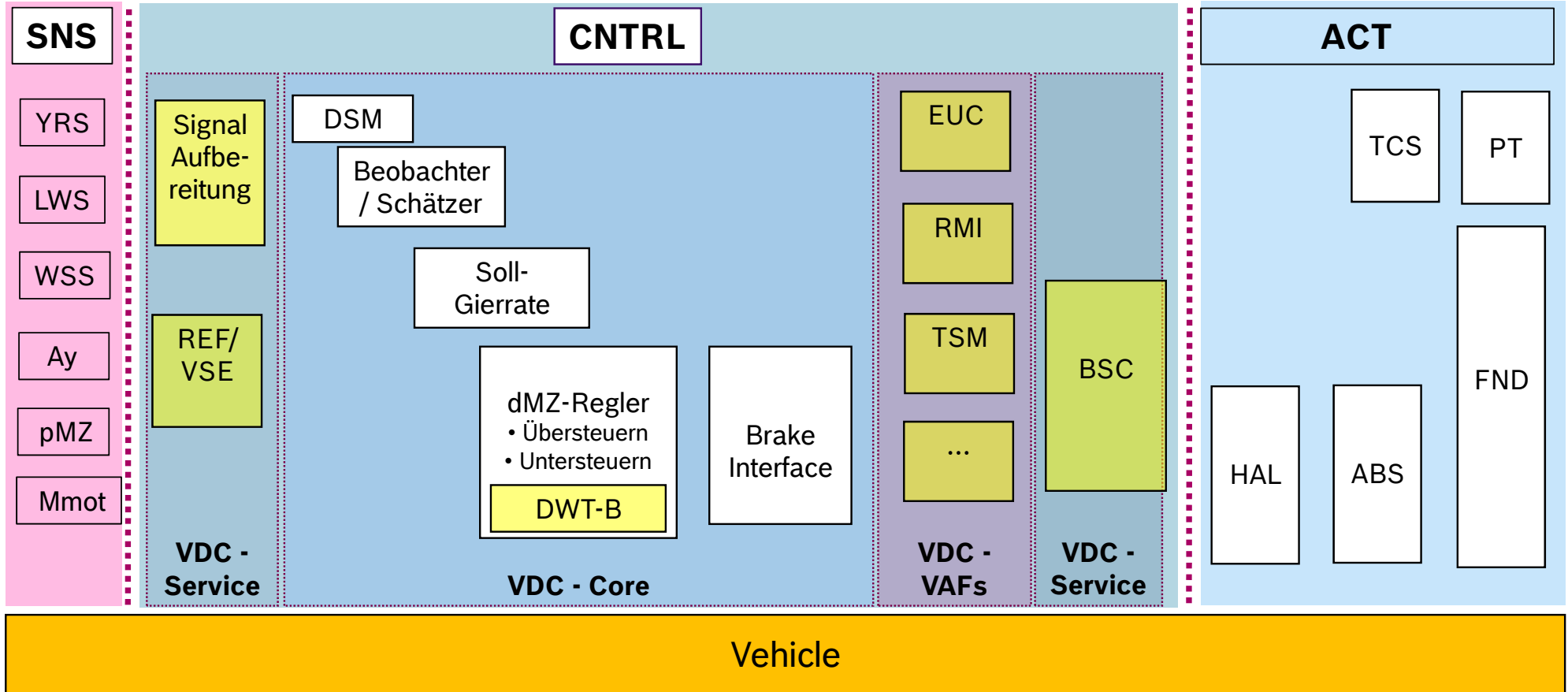


Lenkwinkelsensor



Fahrdynamikregelsysteme

ESP® Reglerstruktur



Fahrdynamikregelsysteme

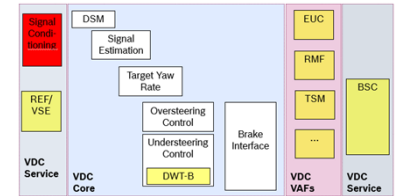
Signalaufbereitung

Signalaufbereitung

- Filterung
- Offset Korrektur
- Transformation
(Sensor-Einbauort -> CoG-Position)
- Ableitungen
- Zähler

für die Signale

- Lenkradwinkel
- Giergeschwindigkeit
- Vordruck
- Querbearschleunigung
- Bremslichtschalter

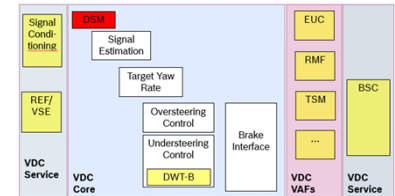


Fahrdynamikregelsysteme

Freischaltung

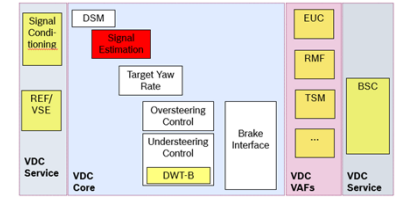
DSM – Dynamic State Management

- 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

- Schräglaufwinkel der Räder,
- Schwimmwinkel,
- Fahrzeugquergeschwindigkeit

➤ sowie von

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

➤ unter Verwendung des Zweispurmodells

➤ auf Basis der Messgrößen:

- Giergeschwindigkeit
- Lenkradwinkel,
- Querbearschleunigung

➤ 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:

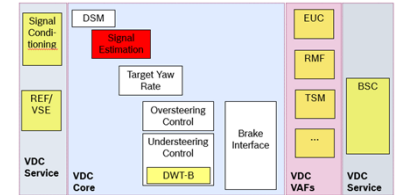
$$\dot{\beta} = \frac{a_Y}{v} - \dot{\psi}$$

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

– Schräglaufwinkel an den Rädern:

$$\alpha_v = \beta + \frac{l_v}{v_F} v_G i - Lw \quad \alpha_H = \beta + \frac{l_H}{v_F} v_G i$$

➤ 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

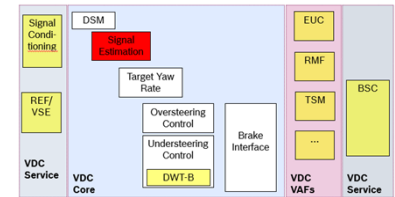
$$m_F \cdot (\dot{v}_y + v_x \cdot \dot{\psi}) = -(F_{S1} + F_{S2}) \cdot \cos \delta_R - (F_{B1} + F_{B2}) \cdot \sin \delta_R - F_{S3} - F_{S4}$$

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

- 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

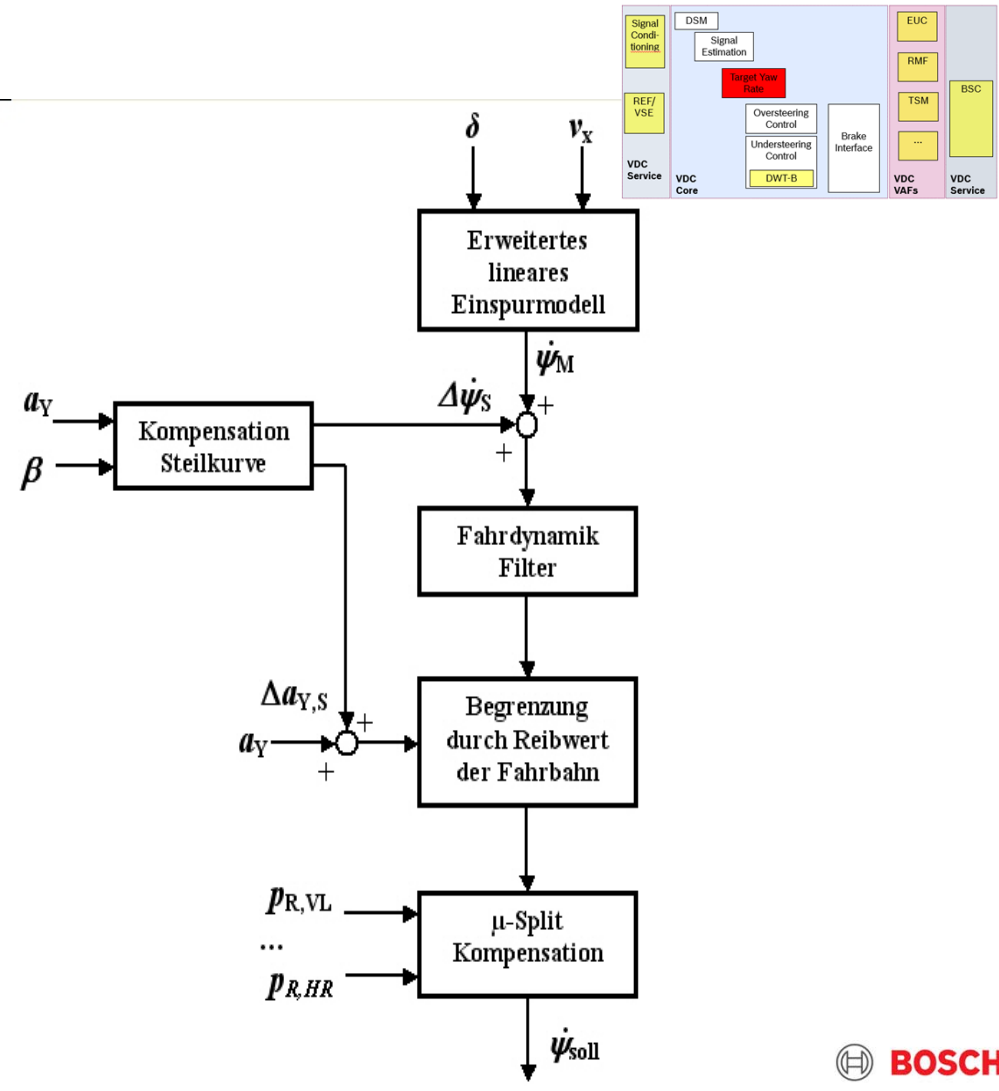
- Phasenverschiebung zwischen Lenkradwinkel u. Giergeschwindigkeit

➤ Begrenzung der Sollgiergeschwindigkeit

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

➤ Kompensationen

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



Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

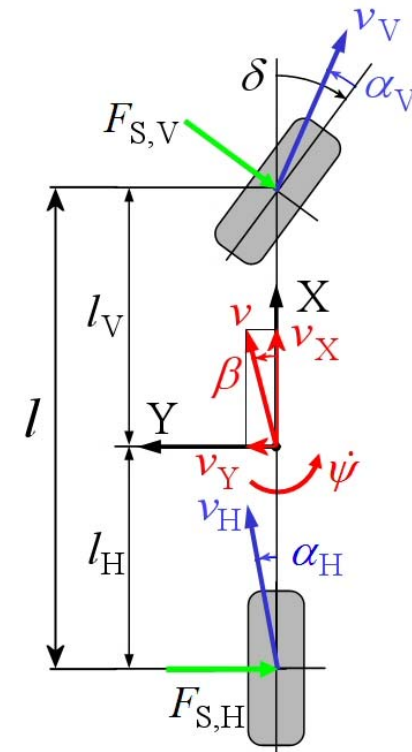
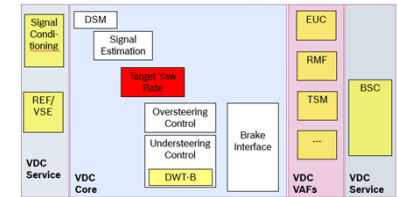
➤ Sollwert der Giergeschwindigkeit bestimmt auf Basis

- Linearem, erweitertem Einspurmodell
- Reifenkräften proportional zum Schräglaufwinkel

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

- Mit der charakteristischen Geschwindigkeit

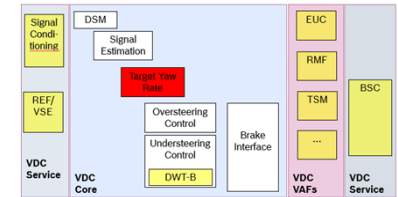
$$v_{\text{ch}} = l \cdot \sqrt{\frac{1}{m} \cdot \left(\frac{c'_{\alpha V} \cdot c'_{\alpha H}}{l_H \cdot c'_{\alpha H} - l_V \cdot c'_{\alpha V}} \right)}$$



Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

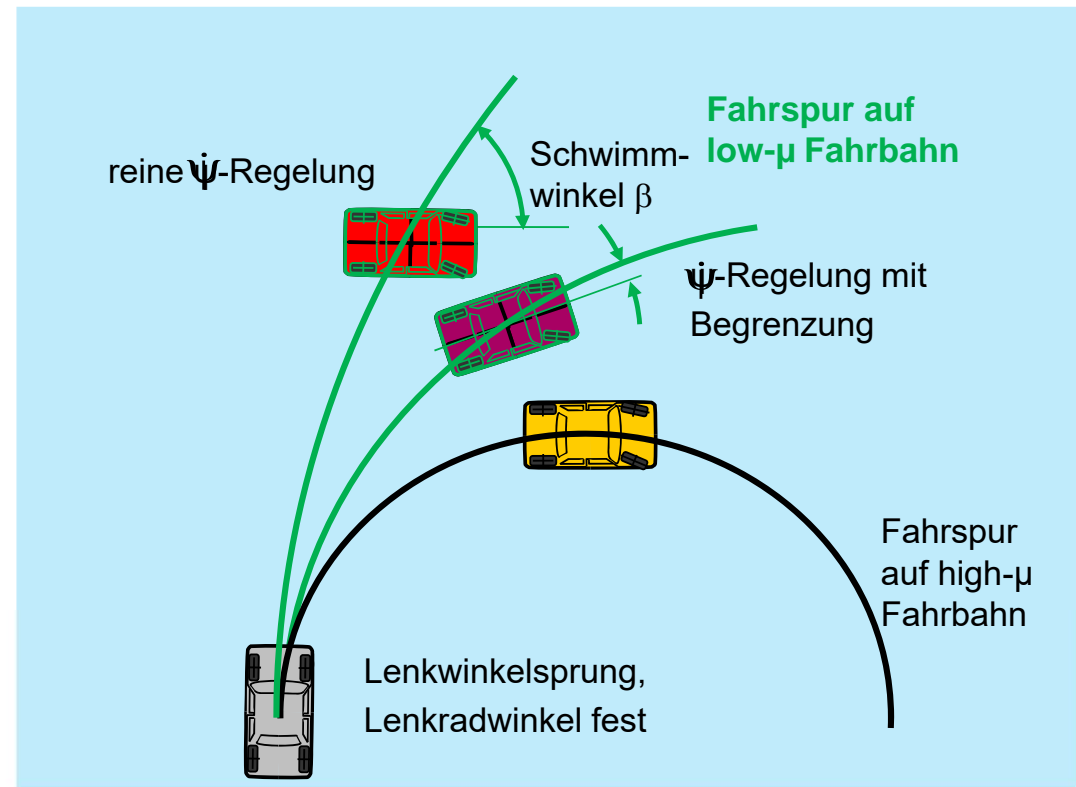
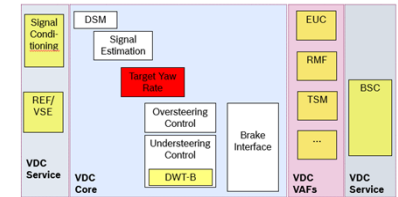
- Veränderungen im Fahrzeug von Beladung, Reifen, ...
erfordern zur Vermeidung unplausibler Regeleingriffe eine Berücksichtigung in der charakteristischen Geschwindigkeit V_{Ch}
- Untere charakteristische Geschwindigkeit - V_{Chu}
 - Gemäß OEM-Daten
 - Untersteuerungsregelung
- Obere charakteristische Geschwindigkeit - V_{Ch0}
 - V_{Chu} mit zu applizierendem Zuschlag
 - Übersteuerungsregelung



Fahrdynamikregelsysteme

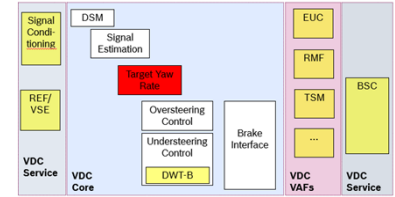
Sollwert: Giergeschwindigkeit

- 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

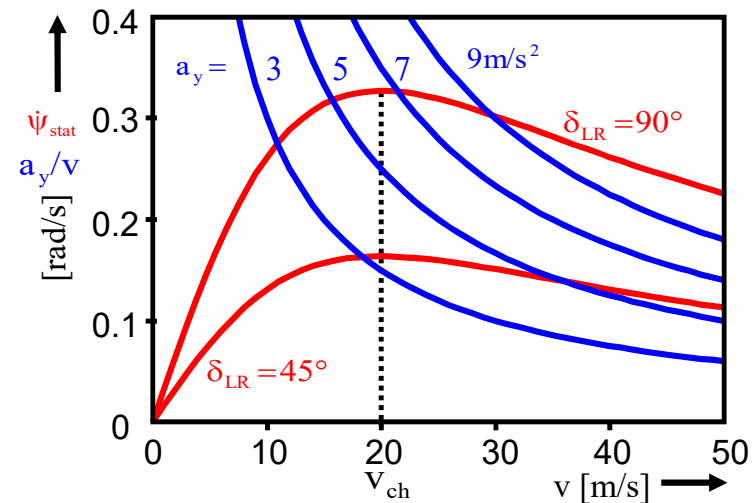
- Für die Schwimmwinkelgeschwindigkeit für große Giergeschwindigkeiten gilt:

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

- mit der Begrenzung der Giergeschwindigkeit auf

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

erfolgt kein weiterer Anstieg des Schwimmwinkels

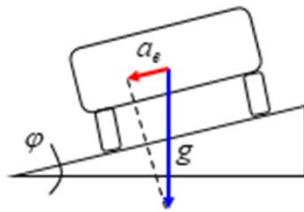


Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

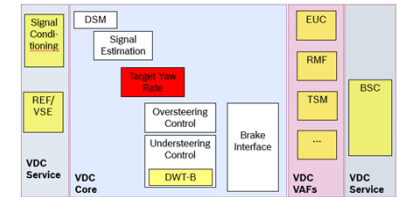
➤ Kompensationen der Sollgiergeschwindigkeit sind erforderlich für

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



$$a_e = g \cdot \sin(\varphi)$$
$$a_e |_{(3^\circ)} \approx 0.14 g$$

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



Fahrdynamikregelsysteme

Giergeschwindigkeitsregelung

Ziel der Regelung:

➤ Anforderung

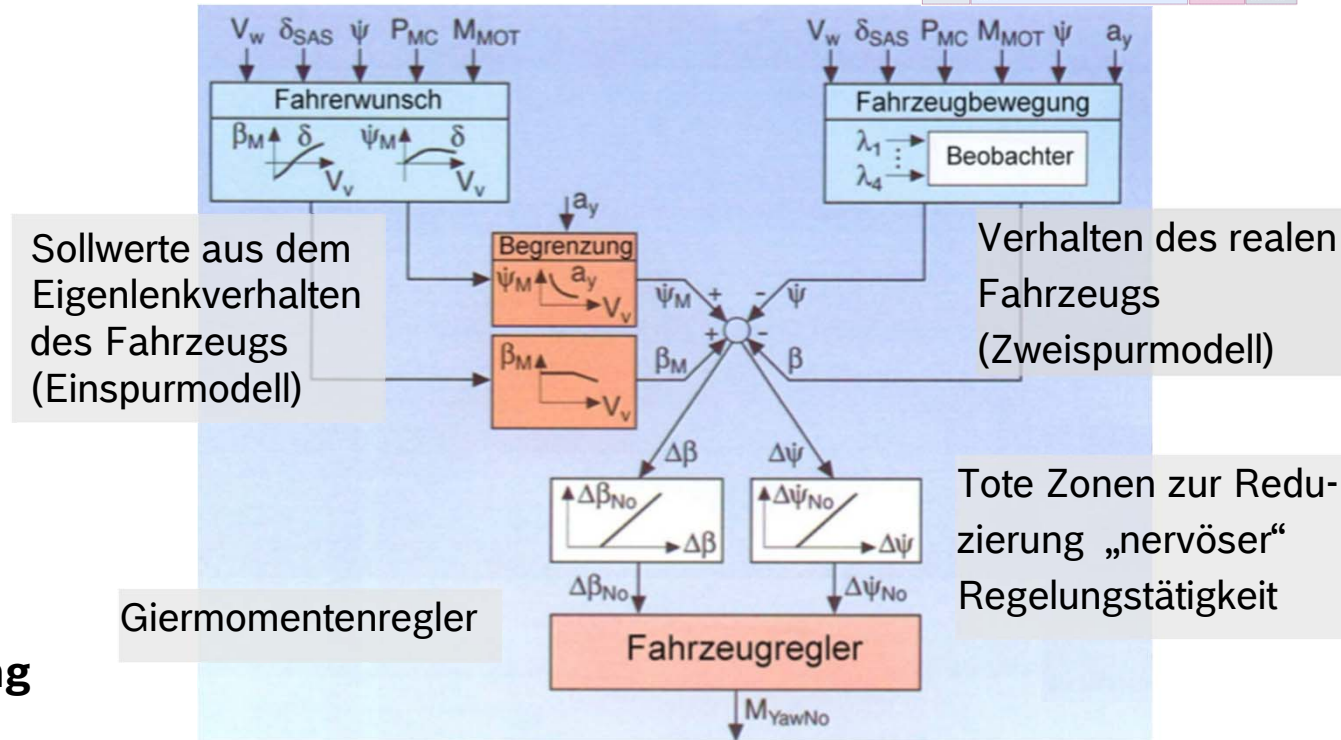
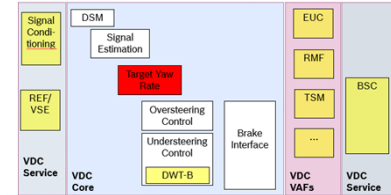
- Fzg soll dem Fahrerwunsch folgen – ausgehend vom Lenkradwinkel
- Fzg soll nicht übersteuern, d.h. der Schwimmwinkel muss begrenzt sein

➤ Messbare Größen

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

➤ D.h. Giergeschwindigkeitsregelung mit Schwimmwinkelbegrenzung

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



Fahrdynamikregelsysteme

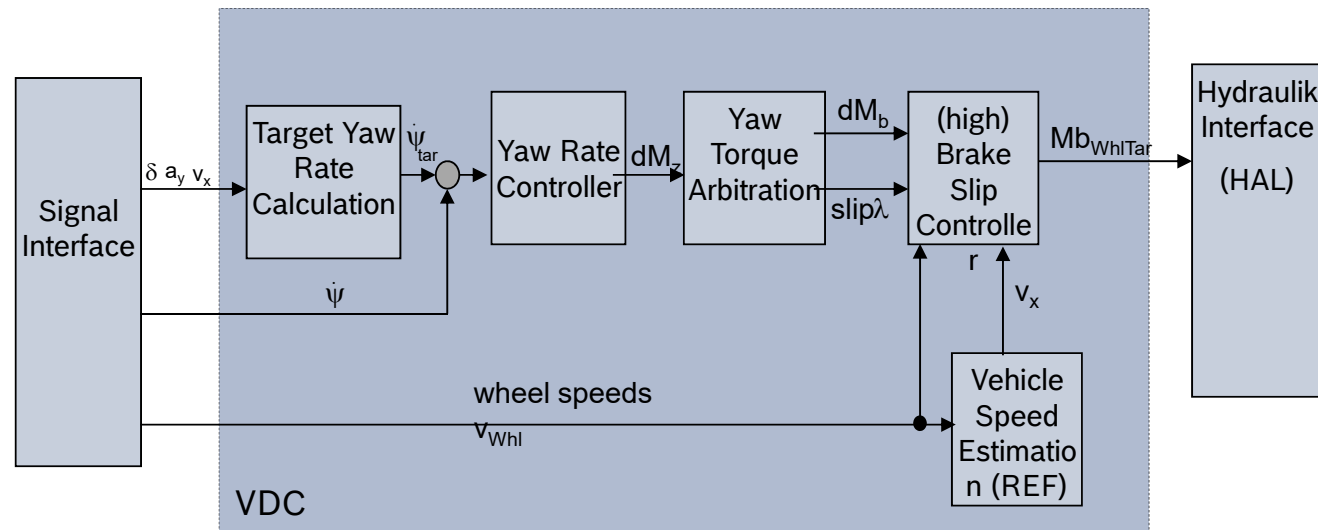
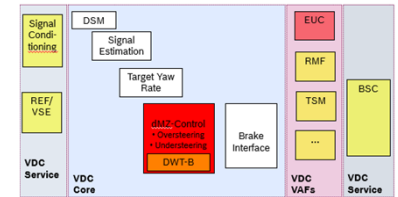
dMZ-Regler

Regelstrategie

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

- Dies erfordert
 - die Kenntnis sowohl der aktuellen Drehrate
 - als auch der Soll-drehrate

- Das Giermoment **dMZ** als Reglerausgang wird wirksam in Form von:
 - Radbremsmomenten (via Radbremsschlupf) an einzelnen Rädern
 - Antriebsschlupf-reduktion (via TCS)

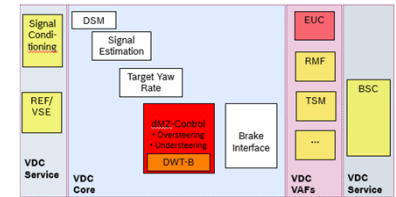
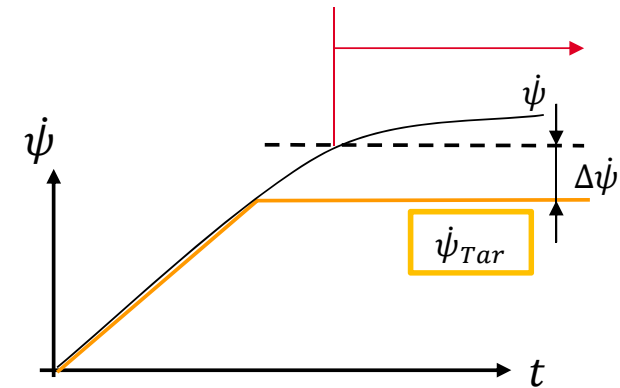


Fahrdynamikregelsysteme

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

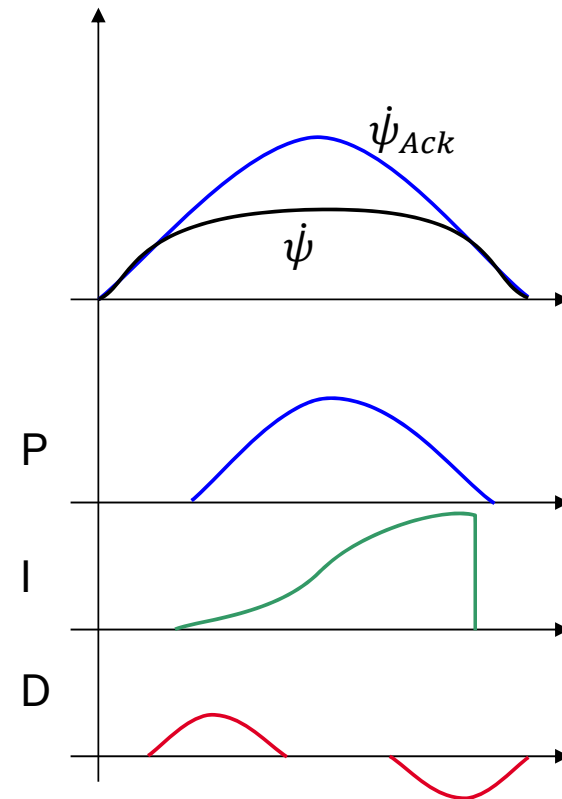
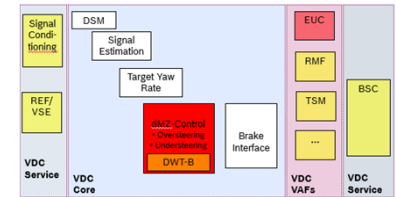
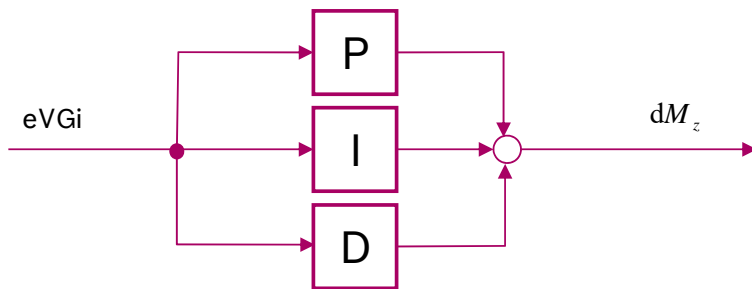


Fahrdynamikregelsysteme

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

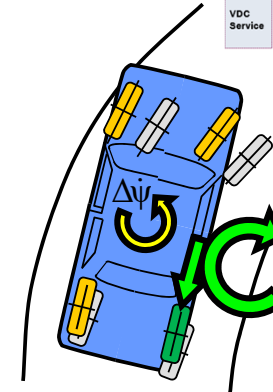
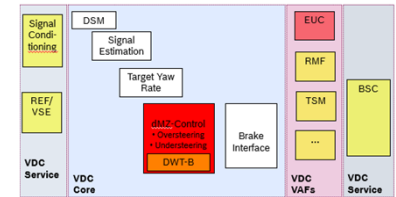


Fahrdynamikregelsysteme

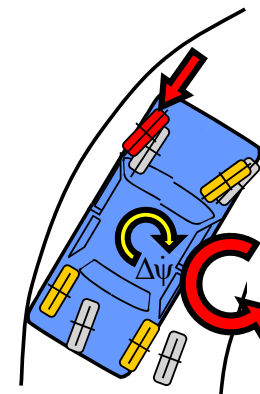
dMZ-Regler

➤ dMZ-Eingriffe

- Der Regler strebt an, die Fzg-Gierbewegung –als wichtigste Regelgröße - entweder zu
 - verstärken (**Untersteuern**)
 - Anstellend = in die Kurve eindrehend = Giergeschwindigkeit erhöhend
 - abschwächen (**Übersteuern**)
 - Stabilisierend = aus der Kurve herausdrehend = Giergeschwindigkeit absenkendwas 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 des gewünschten Giermoments (andere Steller sind auch möglich; z.B. eine Aktivlenkung).



Giermoment dMZ
Untersteuern



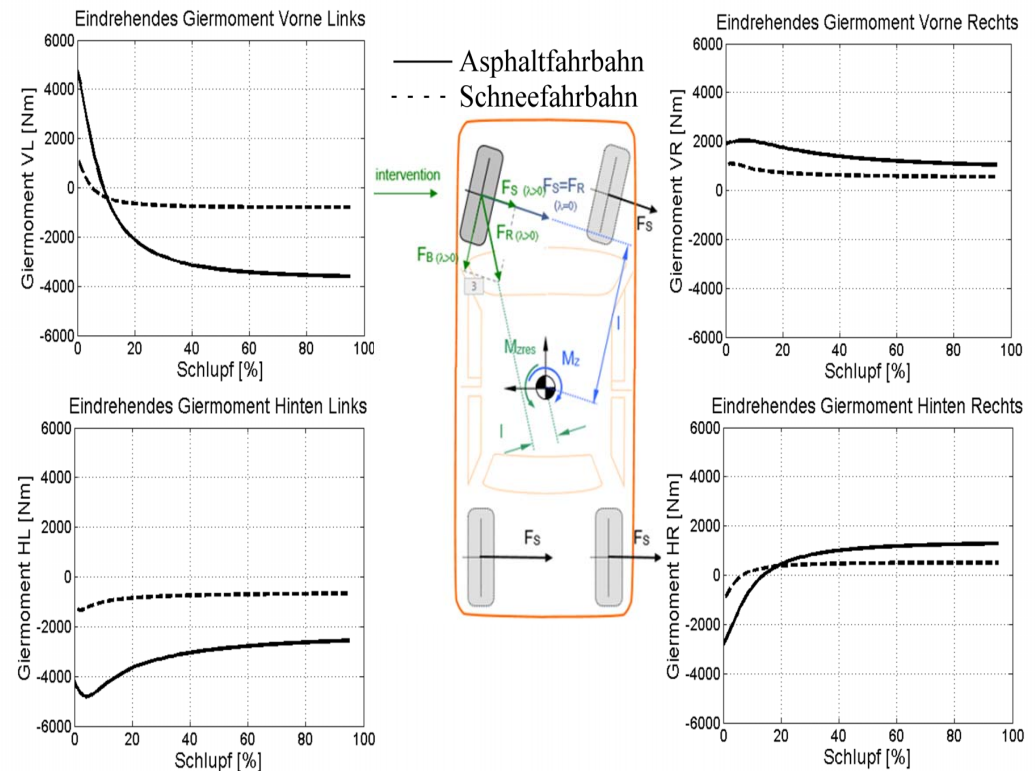
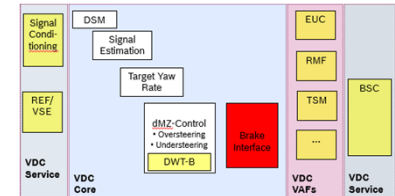
Giermoment dMZ
Übersteuern

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)

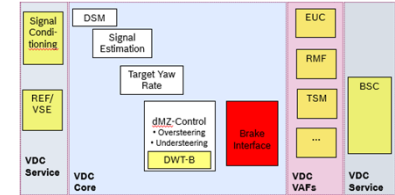
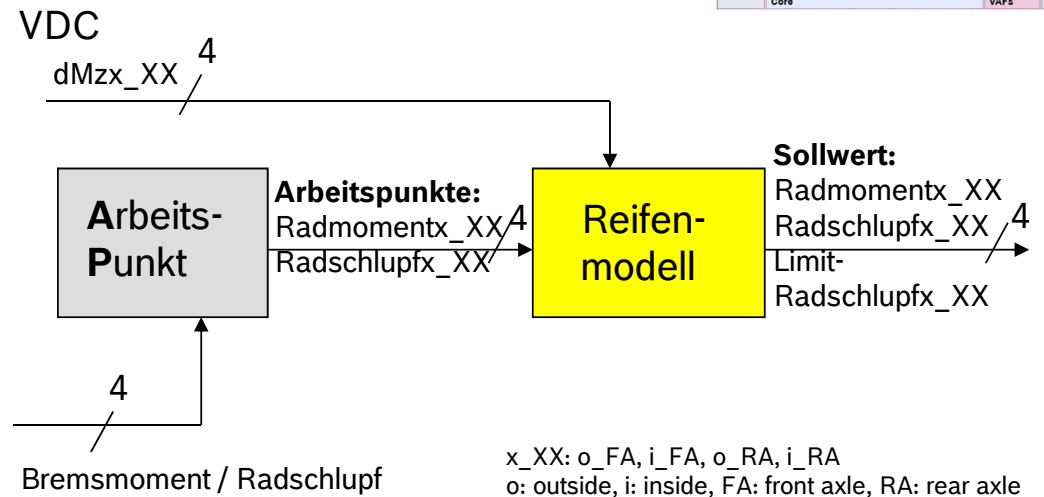


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Wheel Mapping - Reifenmodell

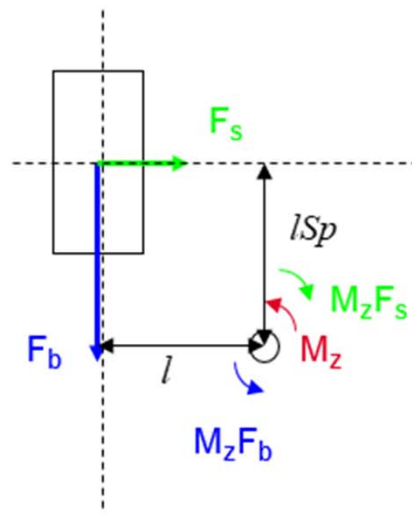
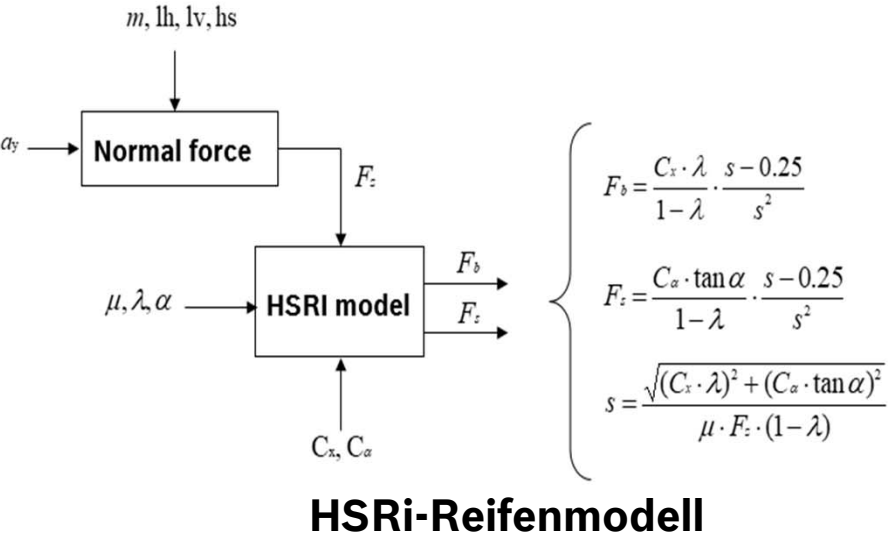
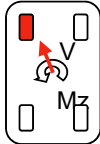
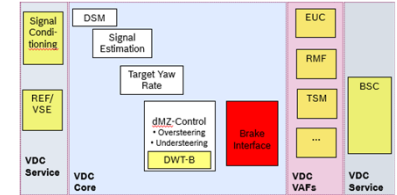
- Berechnet den Arbeitspunkt radindividuell
- Übersetzt für jedes Rad dMZ i, o, FA, RA in
 - Momentenanforderung
 - Schlupflimit
 - Schlupfanforderung
- Legt die Eingriffsstrategie fahrzustandsbedingt fest
 - Schlupf- / Momentenerhöhung
 - Momentenreduktion im ABS-Fall



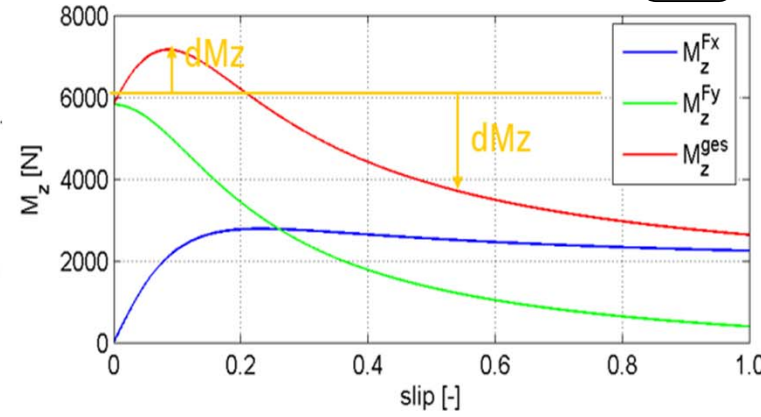
Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Reifenmodell



$$dMz = MzFb + MzFs$$



dMz am kurveninneren Vorderrad



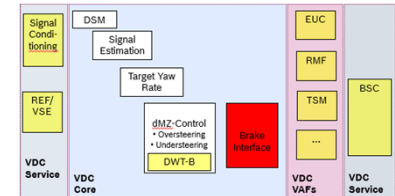
Fahrdynamikregelsysteme

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	x
	RAo		x
	RAi	x	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 Bremsschlupfs eine Änderung des Giermomentes in die ohnehin schon anstehende Richtung, unabhängig vom Arbeitspunkt

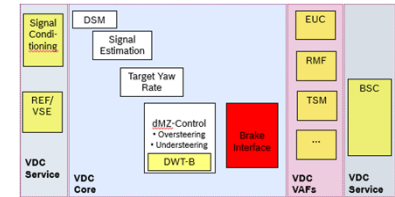
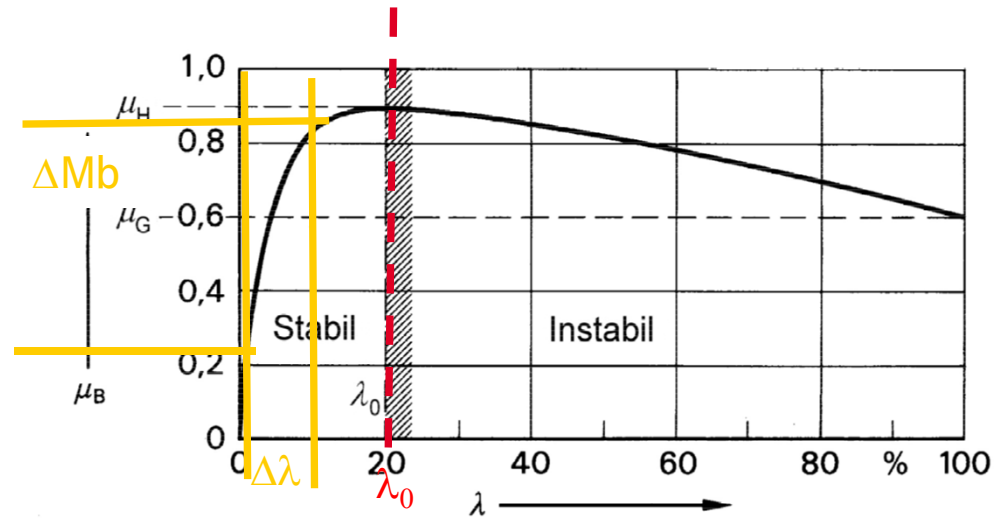
- hinten außen / vorne innen
 - für kleinen Bremsschlupf (bswp. im Freirollfall) kann das äußere Hinter- und das innere Vorderrad für Stabilisierungs- als auch Untersteuereingriffe genutzt
 - hingegen kann zuviel Bremsschlupf zu einem kontroproduktiven Einfluß auf das Giermoment führen.

Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Arbitrierung von:

- Bremsmoment
- Bremsschlupf



Bremsmomentenanforderung:

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

Schlupfanforderung:

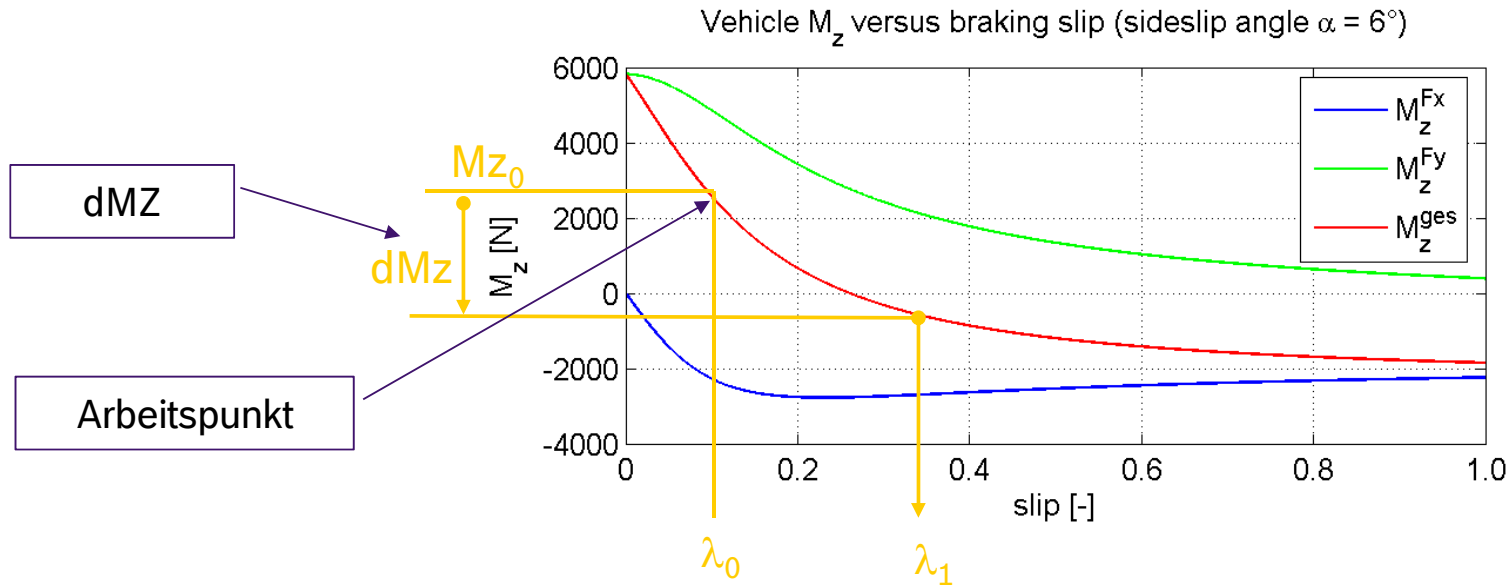
- Im instabilen Bereich der μ -Schlupf-Kurve
- Im Übersteuerfall
- Nur an kurvenäußeren Vorderrädern
- Umgesetzt durch BrakeSlipControl BSC

Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Bestimmung des Bremsschlupfs

- Übersetzung von dM_z auf zugehörigen Bremsschlupf λ_1 - gebremst

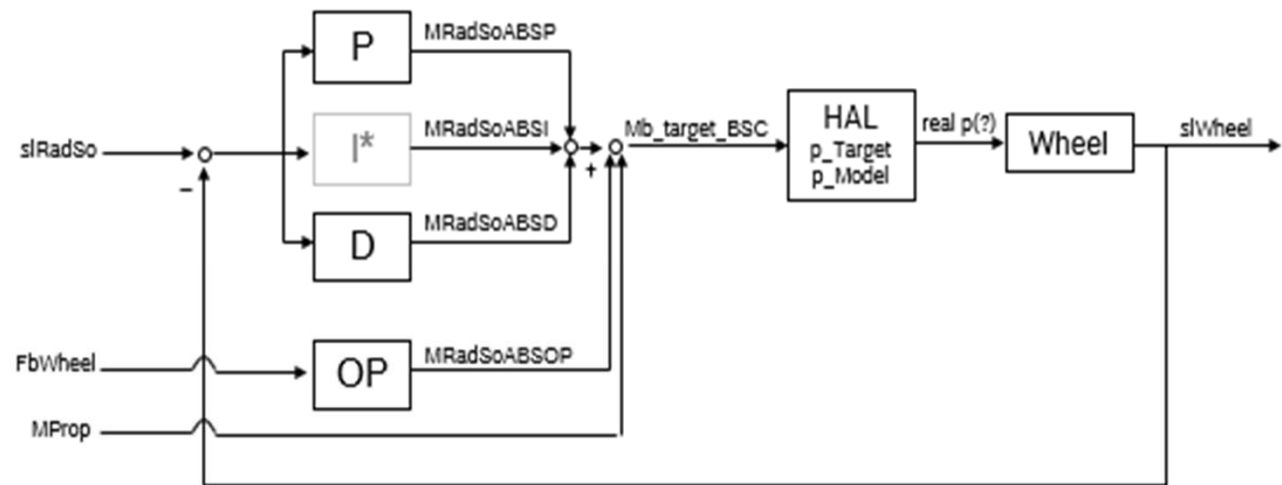
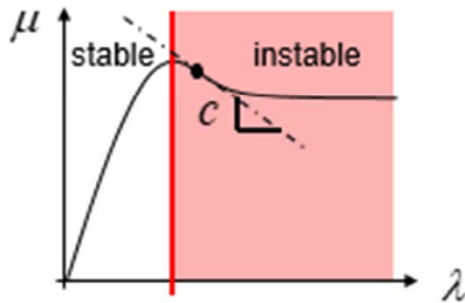


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

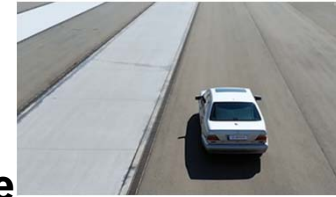
➤ Brake Slip Controller – BSC

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

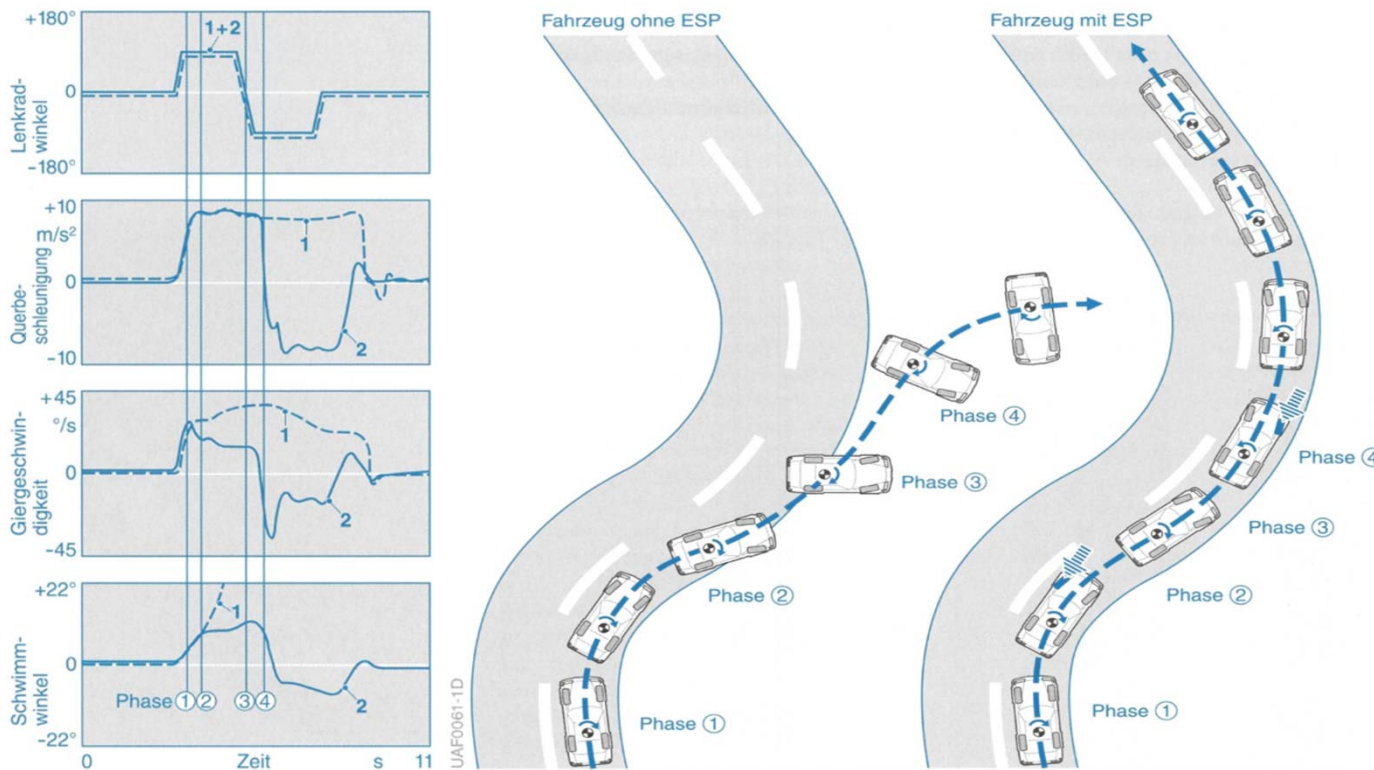


Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Eingriffstrategie



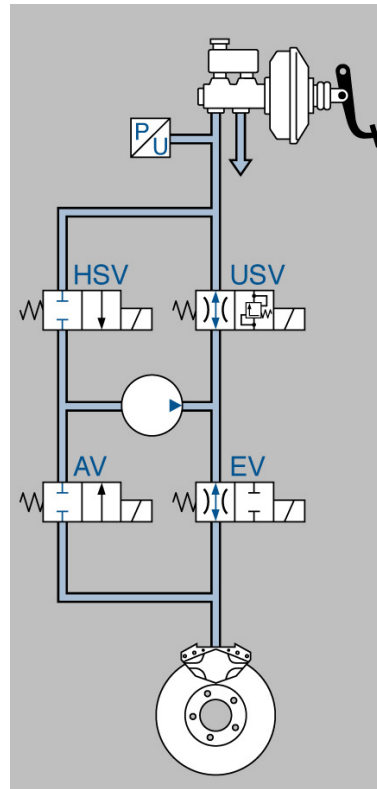
Zeitverläufe fahrdynamischer Größen beim Durchfahren einer Rechts-Links-Kurve



- (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

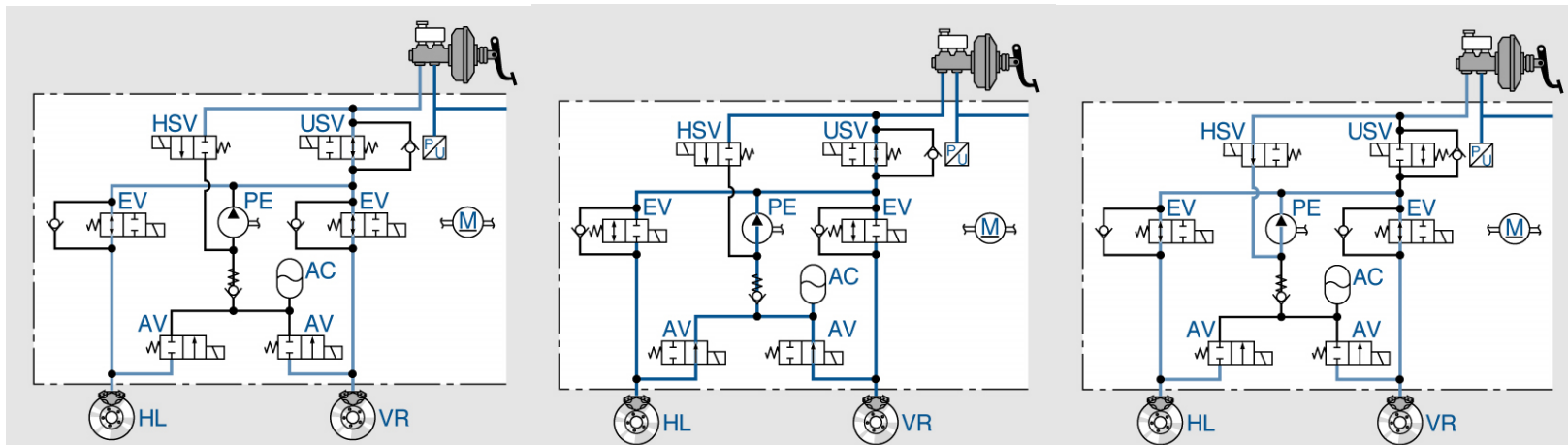
EV – Einlassventil

AV – Auslassventil

P/U - Drucksensor

Fahrdynamikregelsysteme

ESP[®]-Hydroaggregat - Druckregelung



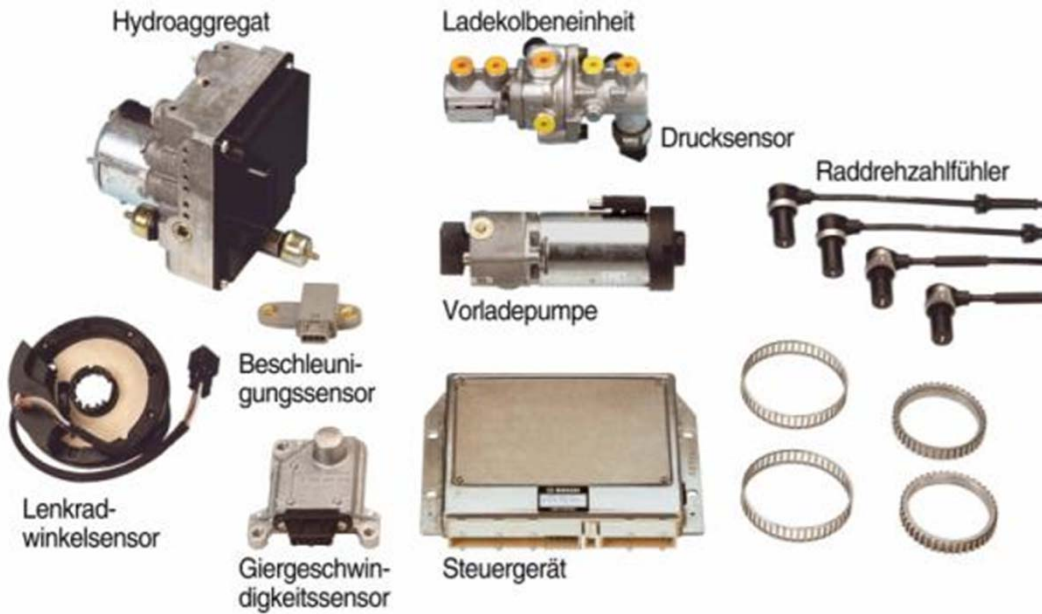
Druck aufbauen
bei normaler Bremsung

Druck abbauen
ABS/ASR/ESP[®]-Regelung bei ASR/ESP[®]-Regelung

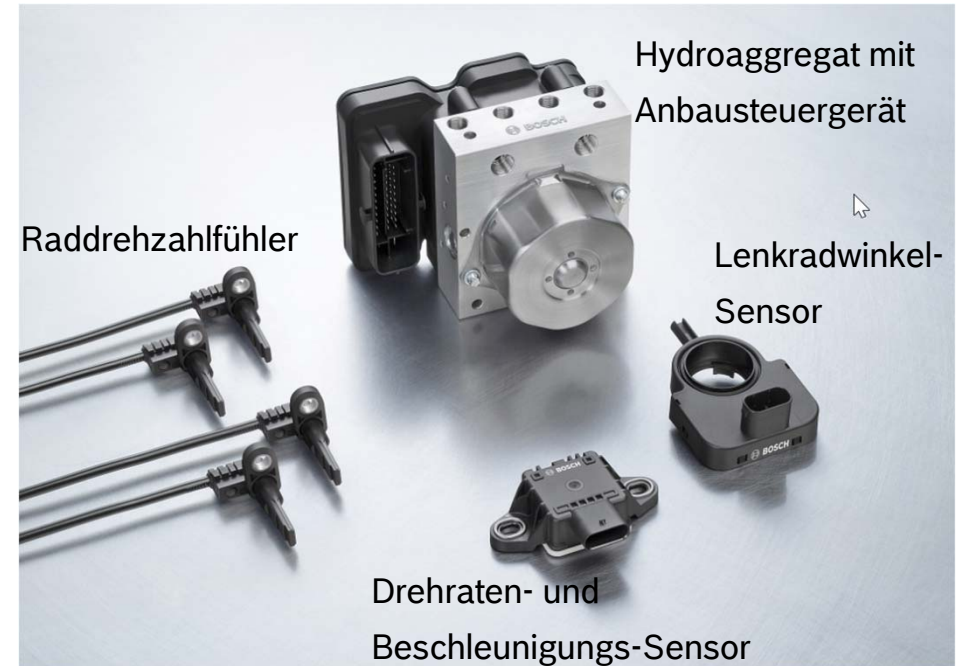
Druck aufbauen
bei ASR/ESP[®]-Regelung

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten



ESP5.0
(BOSCH 1995)

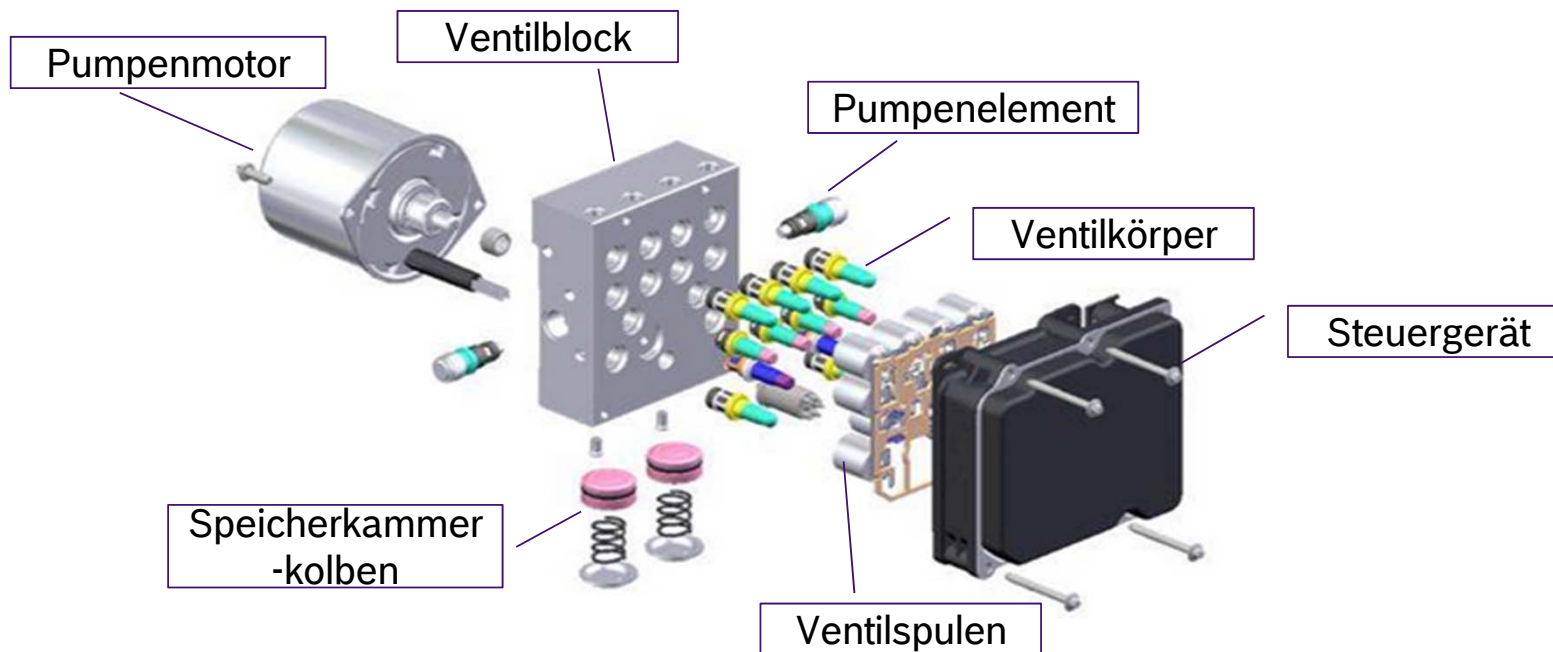


ESP9.0
(BOSCH 2010)

Fahrdynamikregelsysteme

ESP[®]-Komponenten - Hydroaggregat

ESP/ESC (Bosch 8)

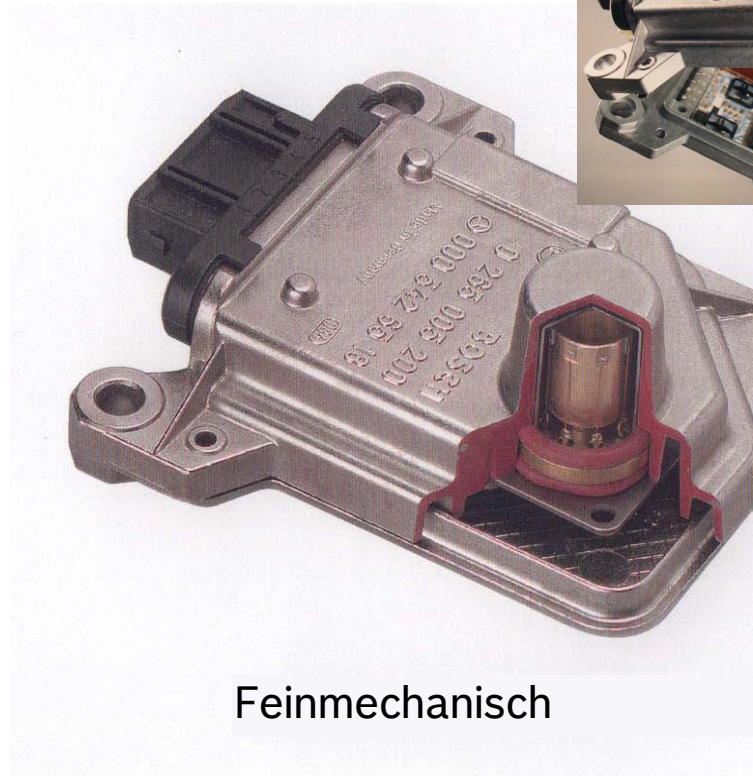


Fahrdynamikregelsysteme

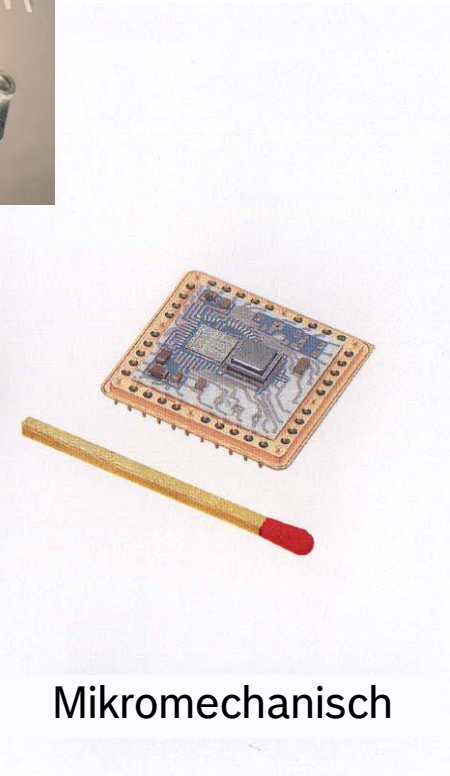
ESP®-Komponenten: Drehratensensor



Urvater des DRS von GEC



Feinmechanisch



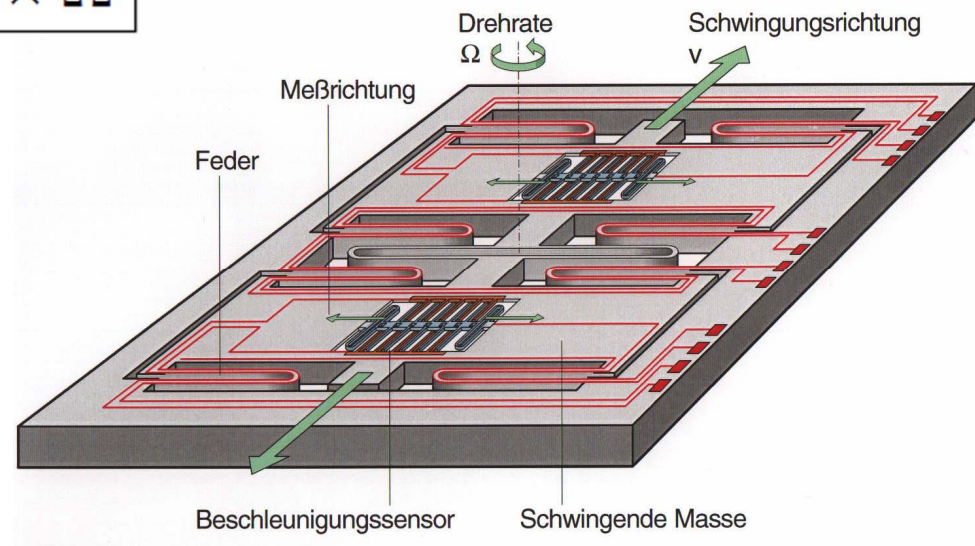
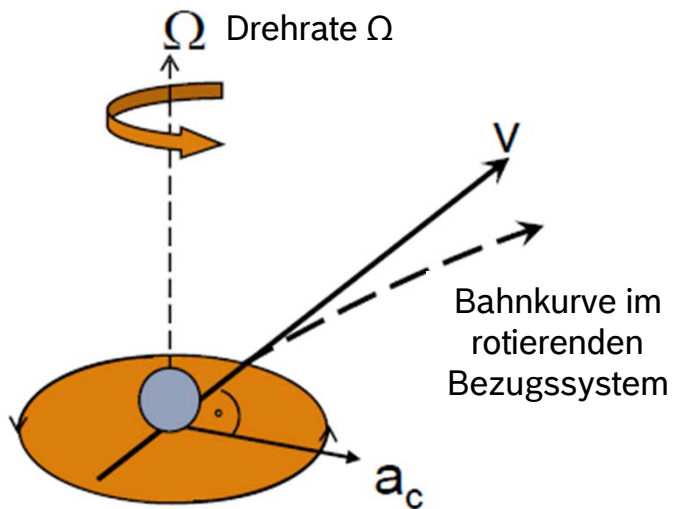
Mikromechanisch

Fahrdynamikregelsysteme

ESP[®]-Komponenten: Drehratensensor MM1

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

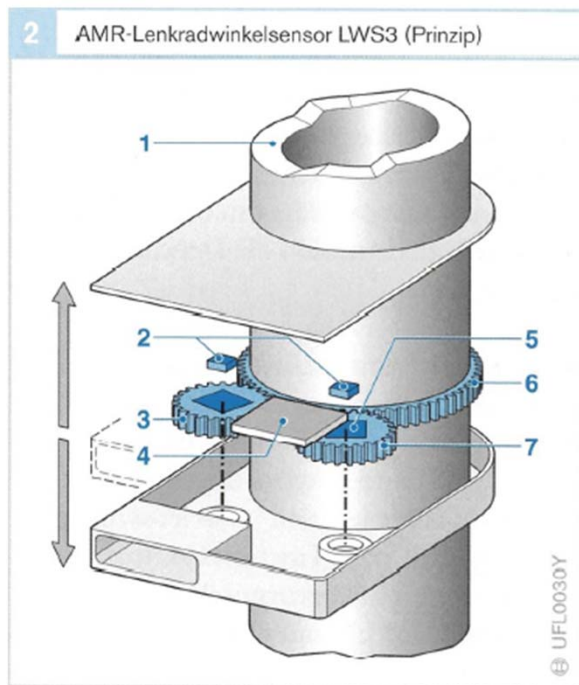


Bild 2

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

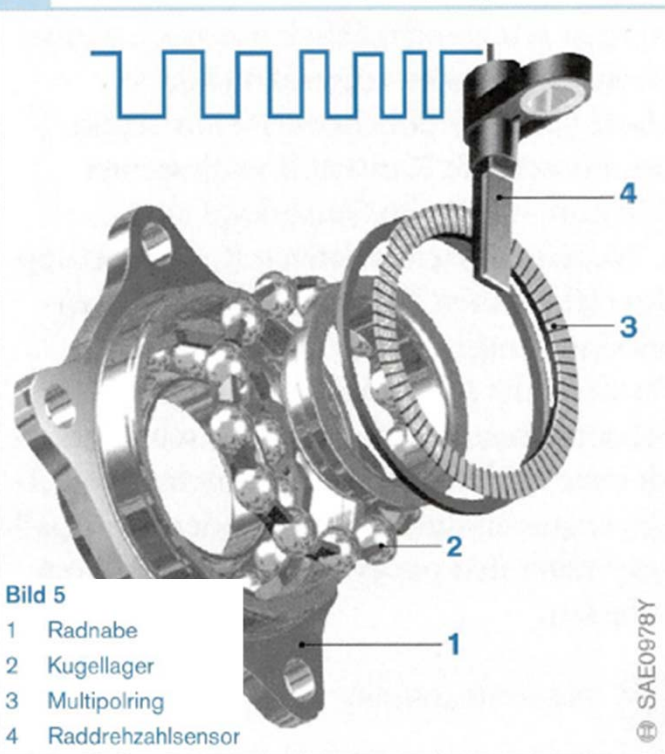
- ▶ Lenkwelle (1) mit Zahnkranz (6 mit n Zähne)
- ▶ Mess-Zahnräder (3, 7 mit $m < n$ u. $m + 1$ Zähne), Magnete (5) und AMR Elemente (2) zur Lenkwinkelmessung
- ▶ Beide Messwinkel werden im Sensor von einem Mikrocontroller (4) ausgewertet. Ausgabe ist der Lenkradwinkel j .
- ▶ Der Lenkradwinkelbereich 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 Widerstand der Schicht abhängig vom äußeren Magnetfeld ist.

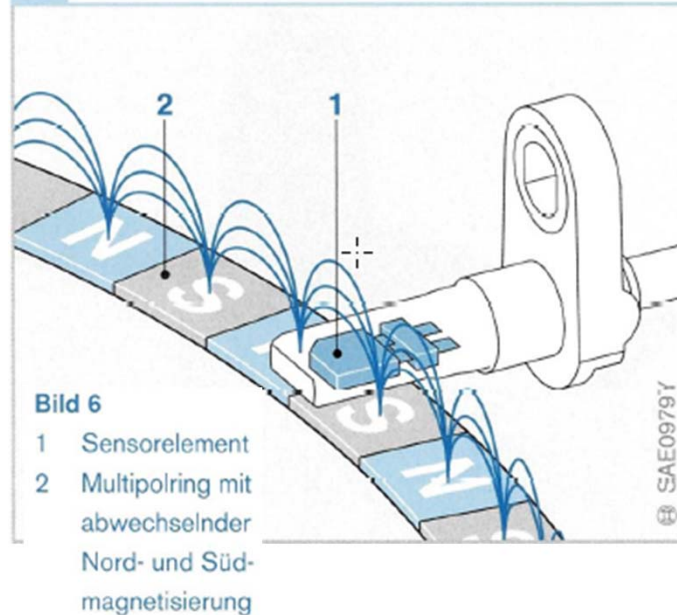
Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten: Raddrehzahlsensor

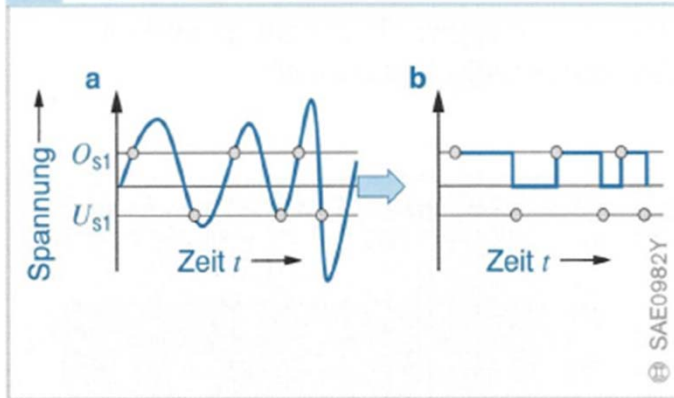
5 Explosions-skizze mit Multipol-Impulsgeber



6 Schnittbild durch den aktiven Drehzahlsensor



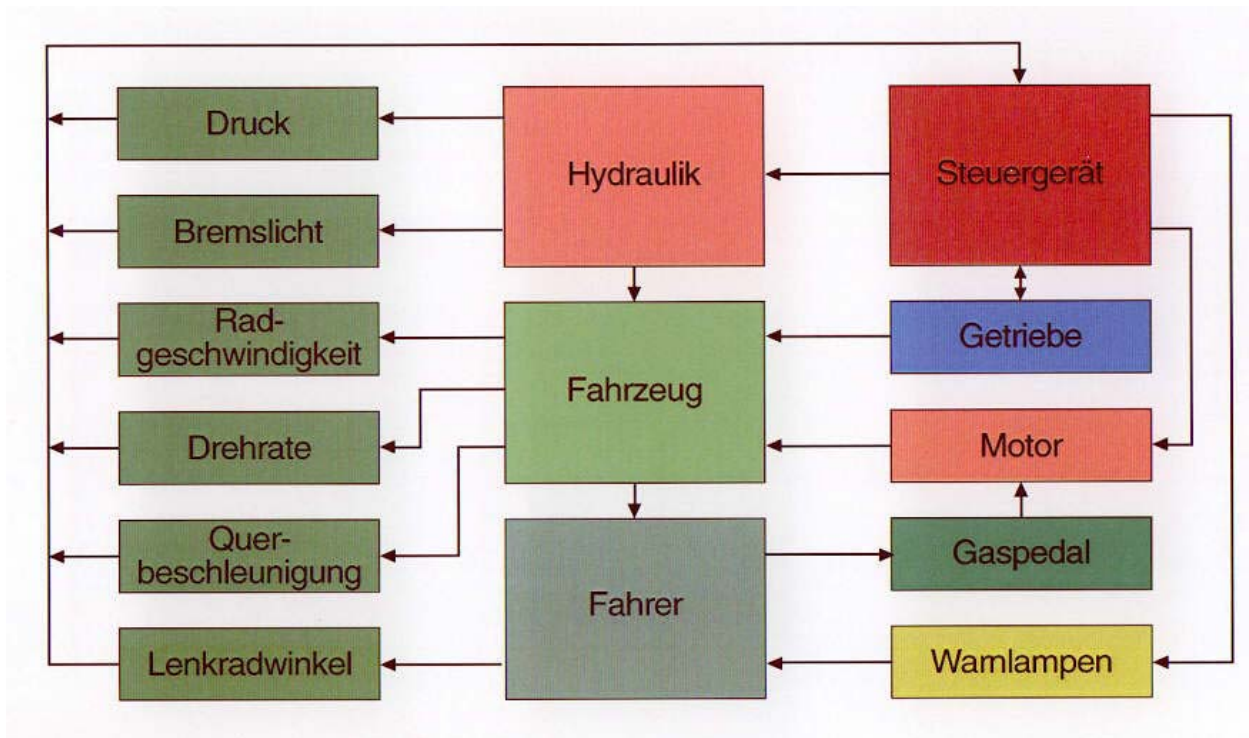
9 Signalumwandlung im Hall-IC



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

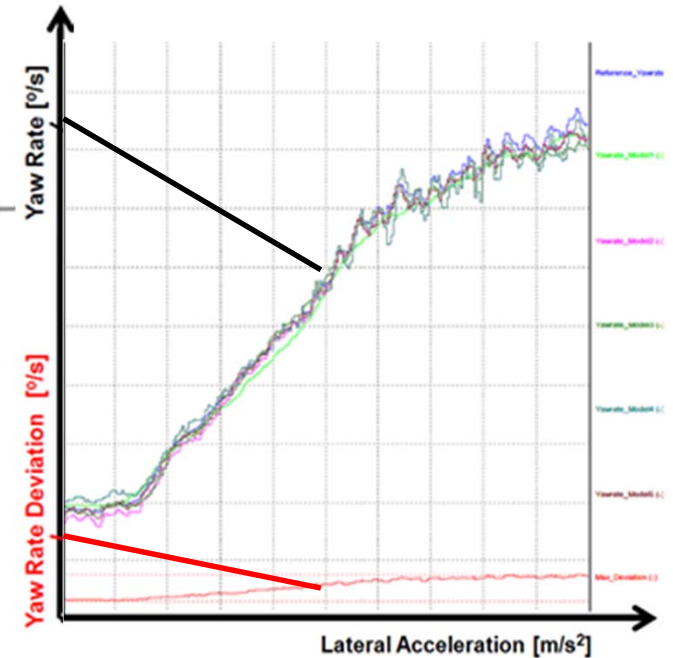
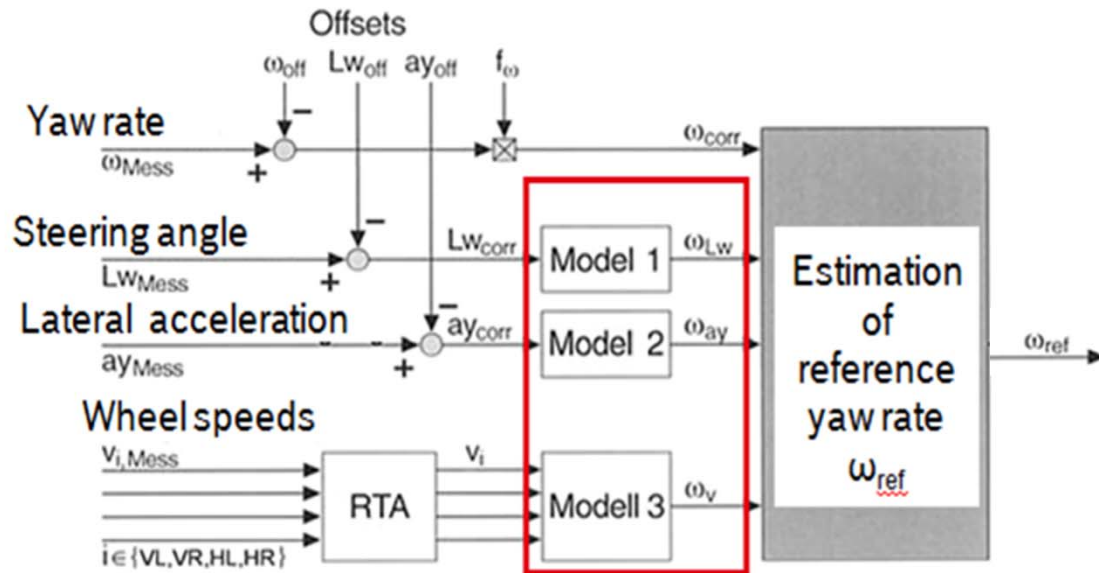
Fahrdynamikregelsysteme

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 und Ortung der Fehler
- ▶ Speicherung der Kalibrierung in EEPROM für Lenkradwinkel- und Querbeschleunigungssignal

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept - Modellgestützte Sensorüberwachung



Drehratenmodelle auf Basis:

- ▶ Lenkwinkel
- ▶ Querbeschleunigung
- ▶ Radgeschwindigkeiten

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

Applizierbare Drehratenmodelle

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-, Querbefleunigungs-, 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

ESP® – Value Added Functions (VAFs)



Brake & Boost Assist

BDW - Brake Disc Wiping

HFC – Hydraulic Fading Compensation

HBA – Hydraulic Brake Assist

...



Special Stability Support

EUC – Extended Understeer Control

ROM – Roll Over Mitigation

TSM – Trailor Sway Mitigation

SWA – Side Wind Assist ...



Standstill & Speed Control

HHC – Hill Hold Control

APB – Automated Parking Brake

HDC – Hill Descent Control

...



Surround Sensing Support

ABA – Adaptive Brake Assist

ABP – Automatic Brake Prefill

AEB – Automatic Emergency Brake

...



Special Torque Control

DCT – Dynamic Center Coupling
Torque Control

DWT-B – Dynamic Wheel Torque
Control by Brake, ...



Monitoring & Information

TPM – Tire Pressure Monitoring

BTM – Brake Disk Temperatur Model

DDD – Driver Drowsiness Detection

...

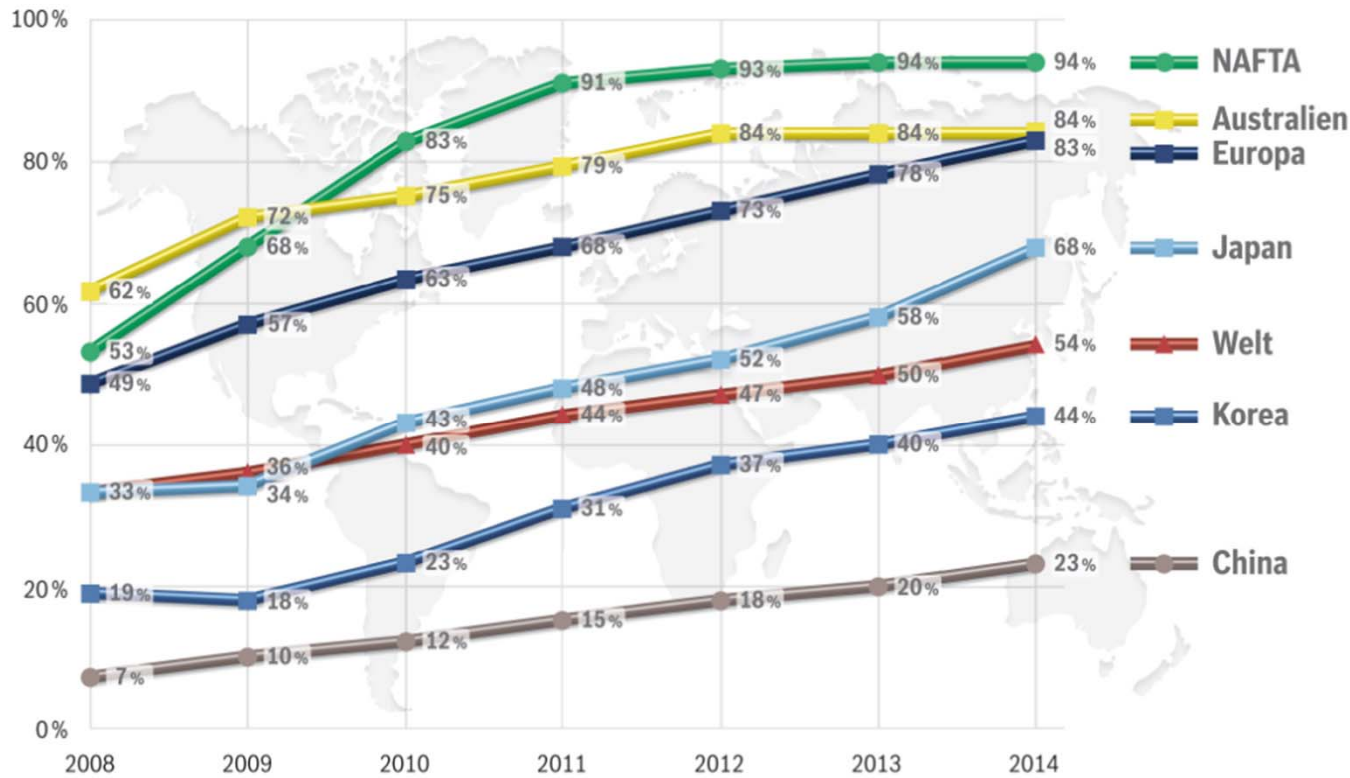
Fahrdynamikregelsysteme

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 Fahrbahnreibungswert 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

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



USA

ESP® All vehicles <4.54t to **09/2011**
ESP® for trucks & buses **2019-2020**
ABS-M* on political agenda



Brazil

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



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

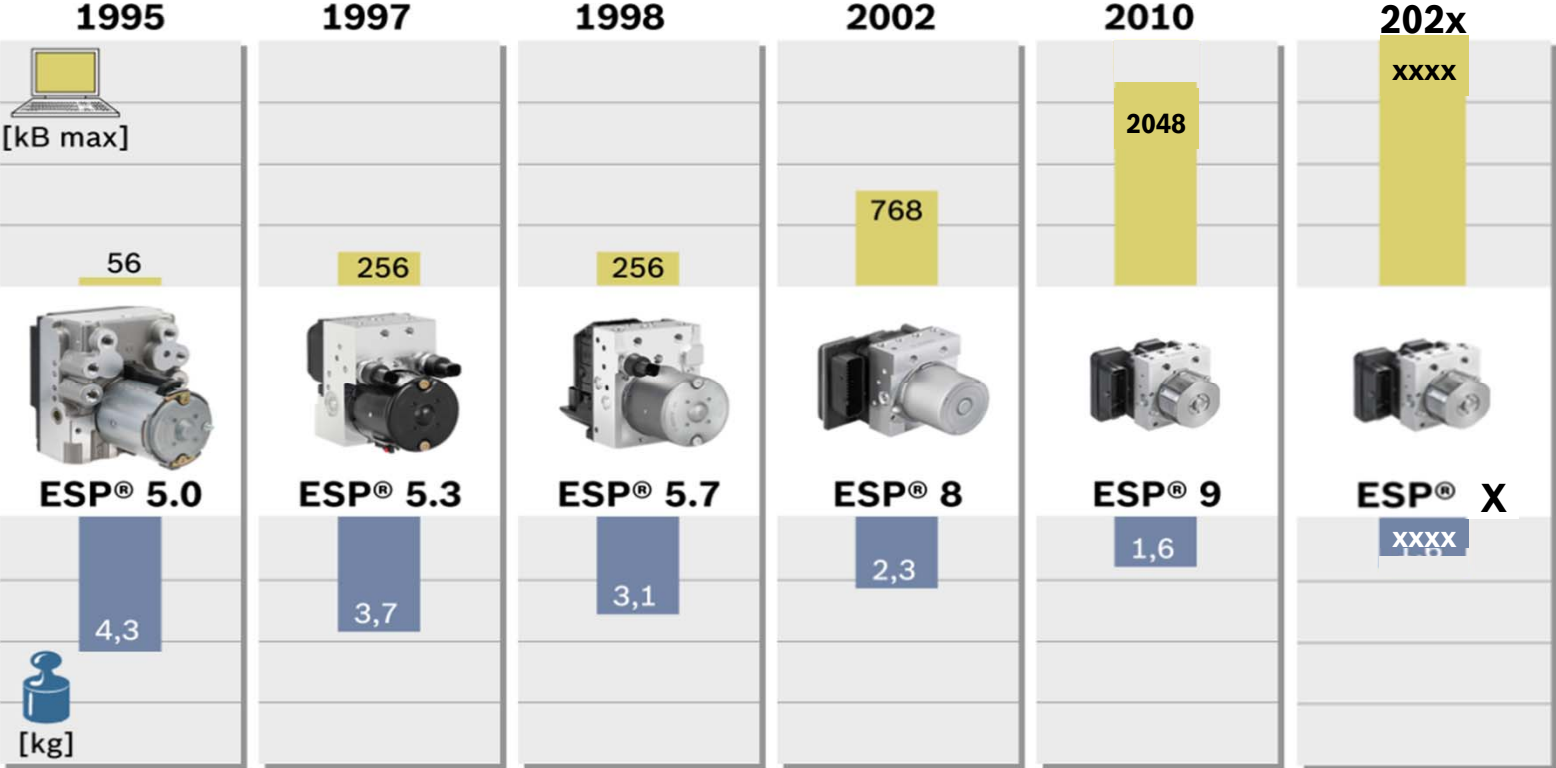
ABS (in prep.)

*ABS-M = ABS for Motorcycle

Active safety and driver assistance

Wie geht es weiter?

Entwicklungsschritte des ESP® von Bosch



Active safety and driver assistance

Wie geht es weiter? CC-Portfolio für ADAS

Brake boost → Vacuum-free & dynamics

Vacuum Booster



iBooster



Modulation → Regeneration

ESP®

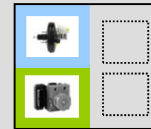


ESP® hev

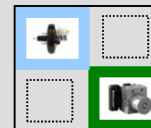


Driving Configuration

- Conventional
- Assisted



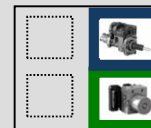
- Conventional
- Assisted



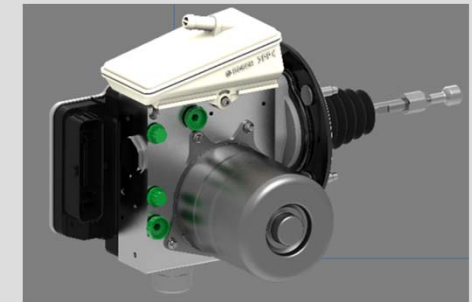
- Conventional
- Assisted
- Automated



- Conventional
- Assisted
- Automated



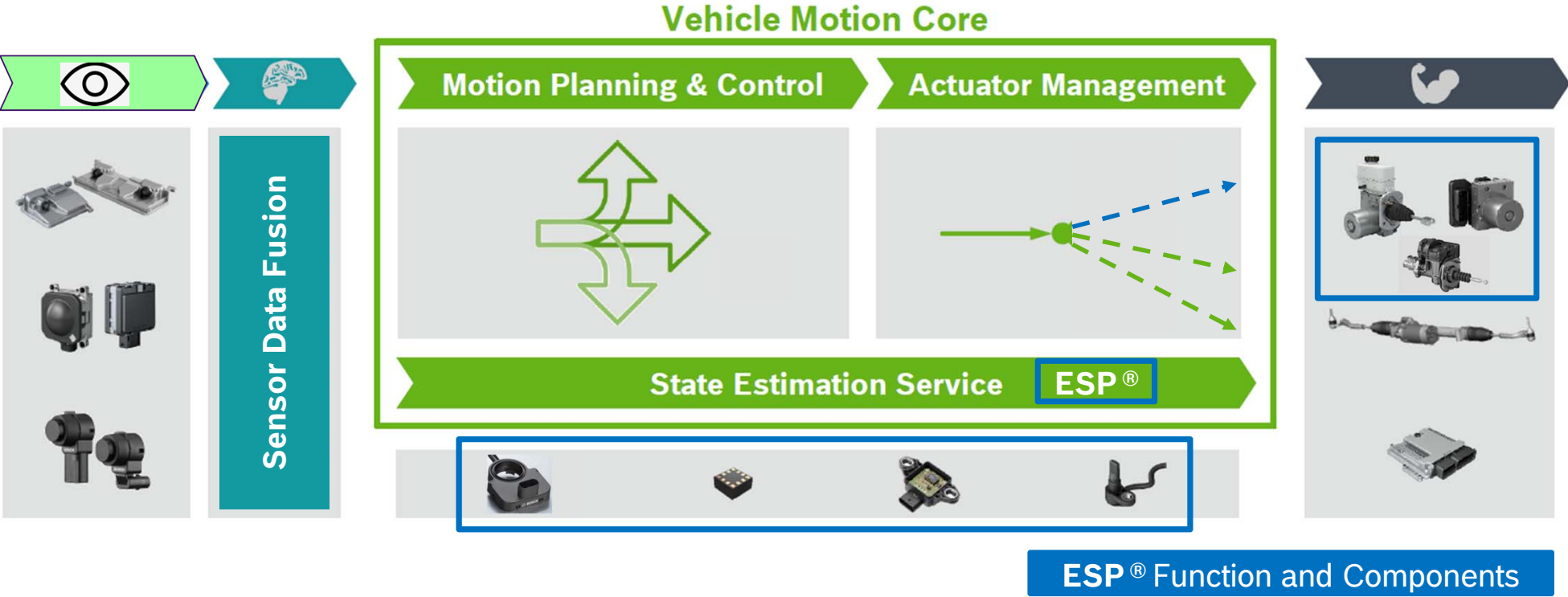
Brake boost & Modulation



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

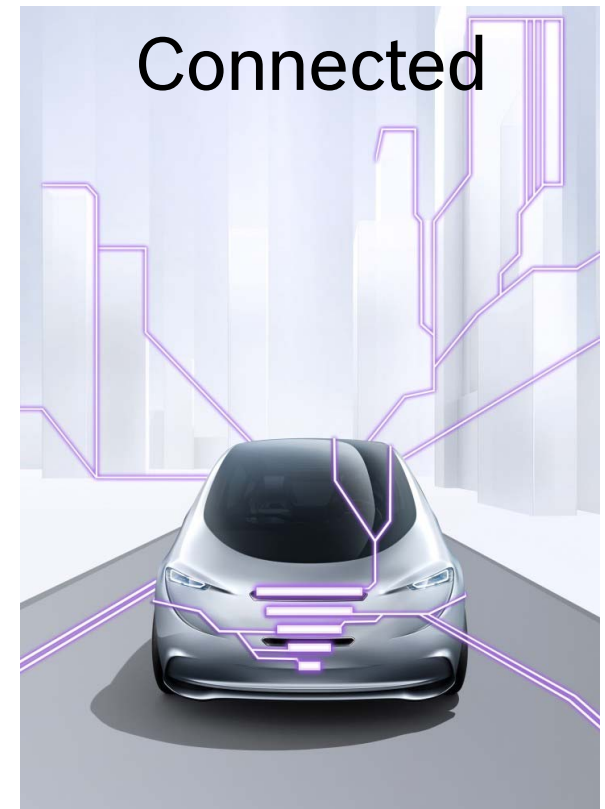
Active safety and driver assistance

ADAS – ESP® within Vehicle Motion Core (VMC)



Fahrdynamikregelsysteme

Wie geht es weiter? CC-Felder für ADAS



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. Volkmart 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

VIELEN DANK FÜR
IHR INTERESSE UND
IHRE
AUFMERKSAMKEIT!
-
FRAGEN?