

BREMSBASIERTE ASSISTENZFUNKTIONEN - FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME



(ABS, ASR, ESP[®])

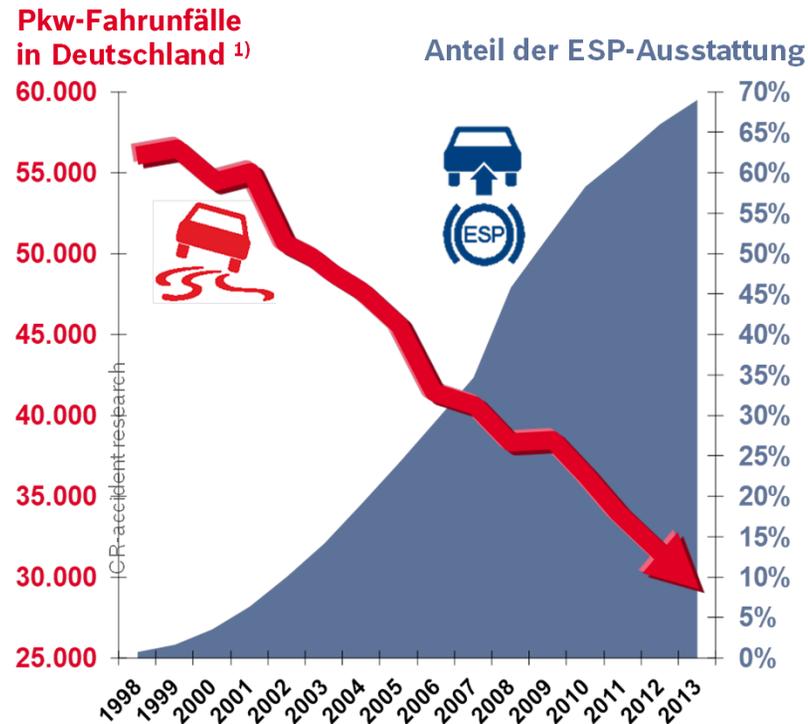
ROBERT BOSCH GMBH
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ

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



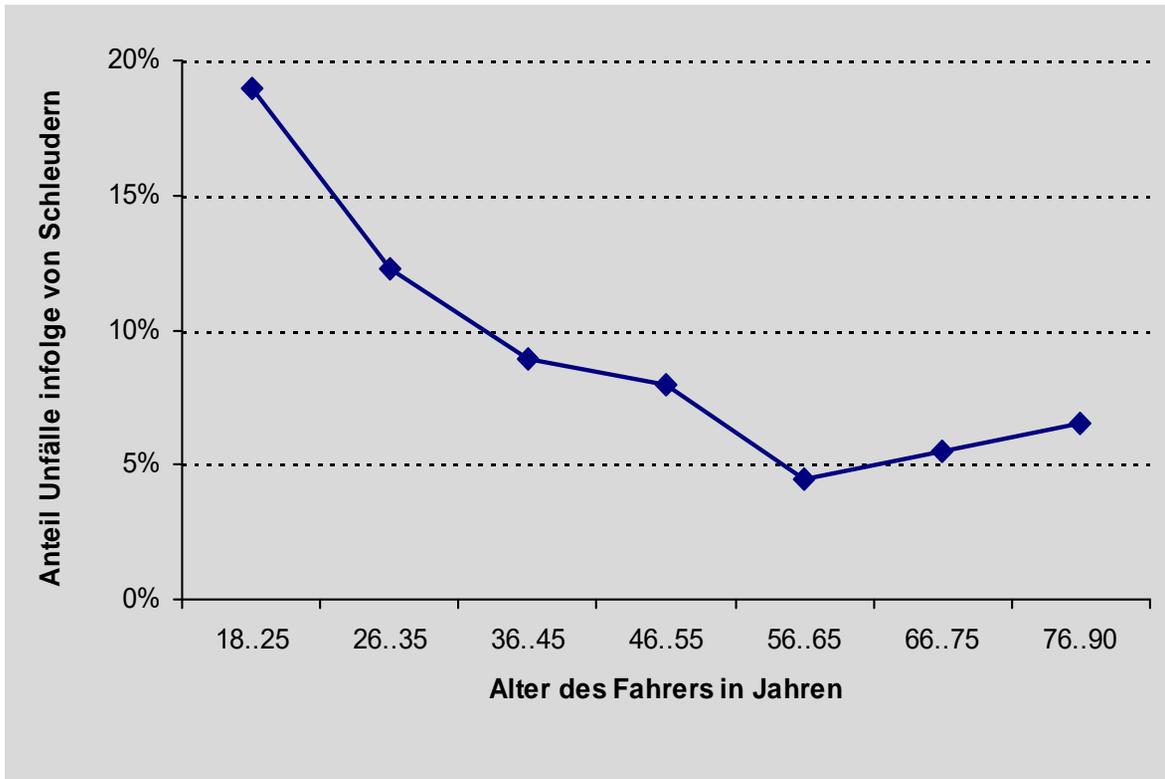
- **Das Gros** der PKW-Kollisionen ereignet sich im Bereich zw. 60 u. 100km/h
- **30%** der Unfälle mit Personenschaden erfolgt ohne Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer
- **50%** davon erfolgen durch Seitencrashes
- **ESP® vermeidet 80%** der Schleudersituationen im realen Unfallgeschehen²⁾
- **ESP®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



Schleudern – Hauptursache für schwere und tödliche Unfälle

- Junge Fahrer (18-25 Jahre) mit höchstem 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.)

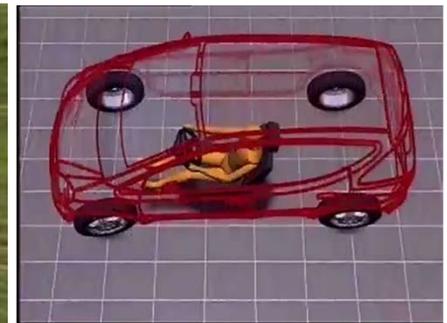
Bremsbasierte Assistenzfunktionen

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®

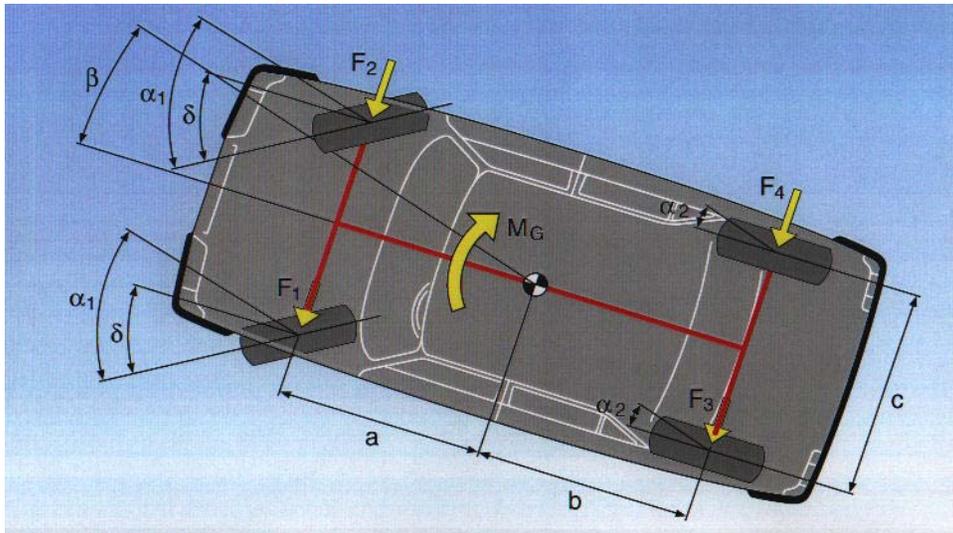
1995

im MB W140 und R129



Fahrdynamikregelsysteme

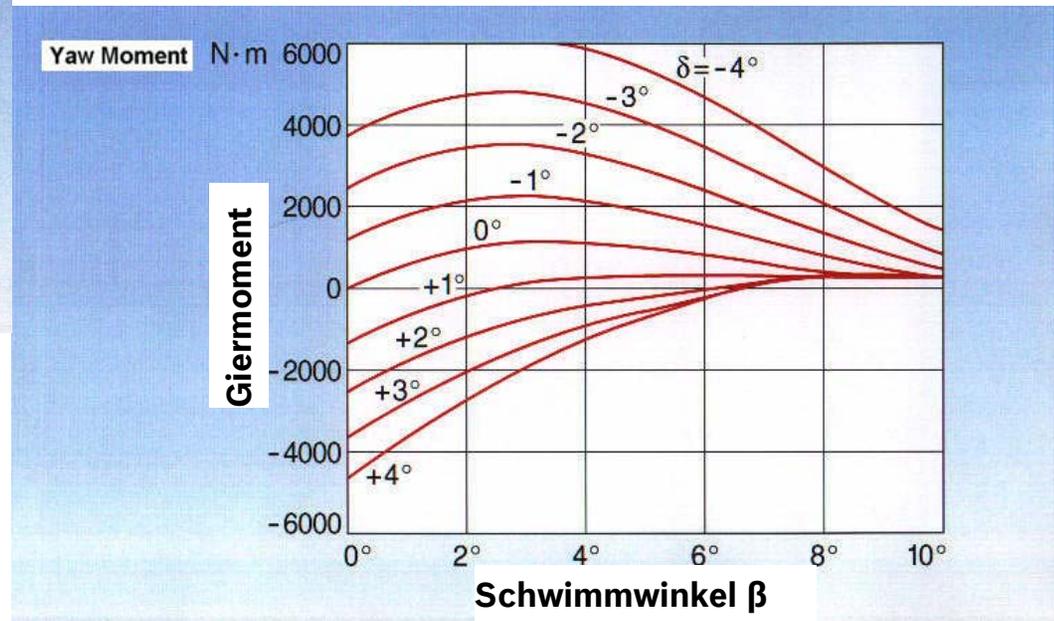
Fahrdynamik: Die Beta Methode (Honda)



Untersuchung der Lenkfähigkeit als Funktion des Schwimmwinkels

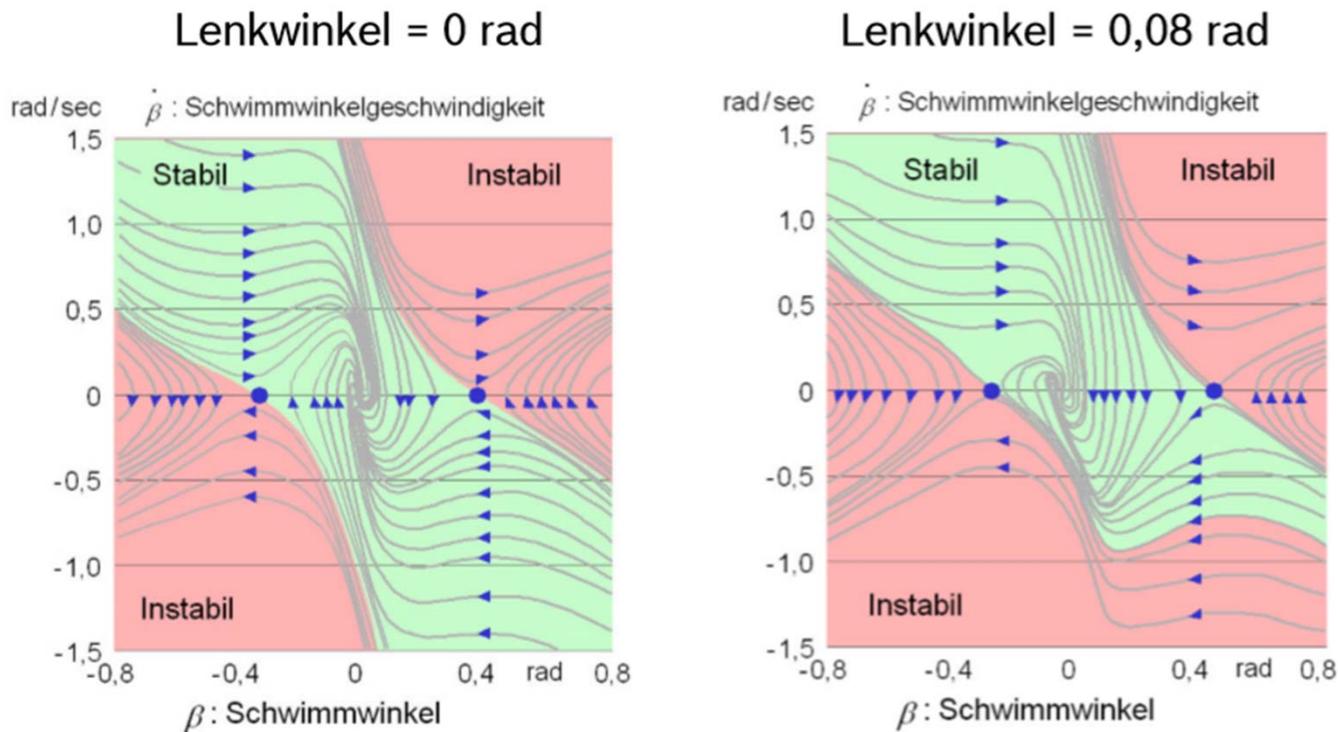
Lenkfähigkeitskennfeld:

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
 $V=100\text{km/h}$; $\mu=1,0$

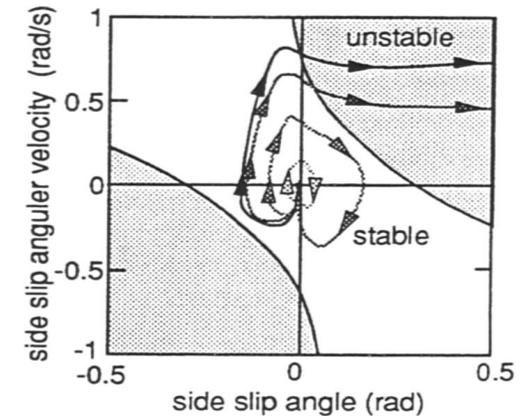


Fig.2 Response in Sine Steering Input

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 ($<20^\circ$) 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:

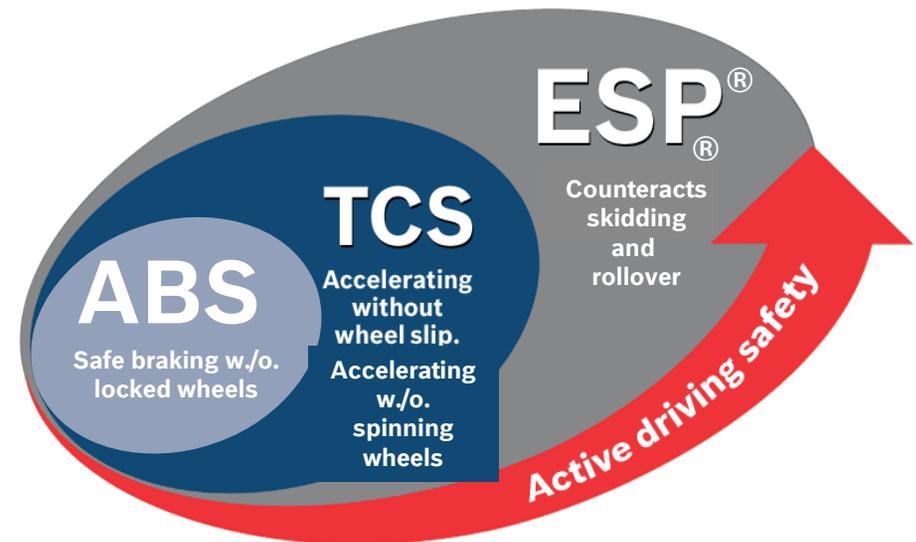
- ESC: Electronic Stability Control

➤ OEM-spezifisch:

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

➤ ESP®-System

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

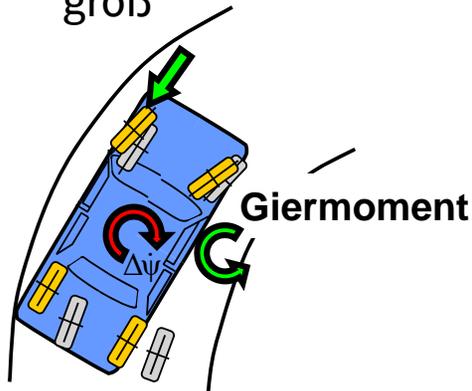


Fahrdynamikregelsysteme

Grundlagen Fahrdynamik: ESP®-Funktion

➤ Übersteuern:

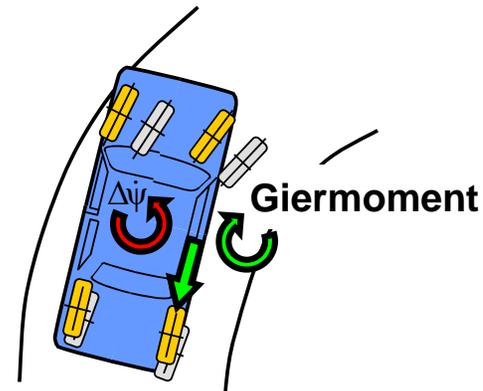
- Das Fahrzeug bricht aus, d.h. die Hinterachse des Fahrzeugs „rutscht“ nach kurvenaußen
- Die Giergeschwindigkeit ist zu groß



Stabilisierung durch Bremseneingriff am kurvenäußeren Vorderrad

➤ Untersteuern:

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

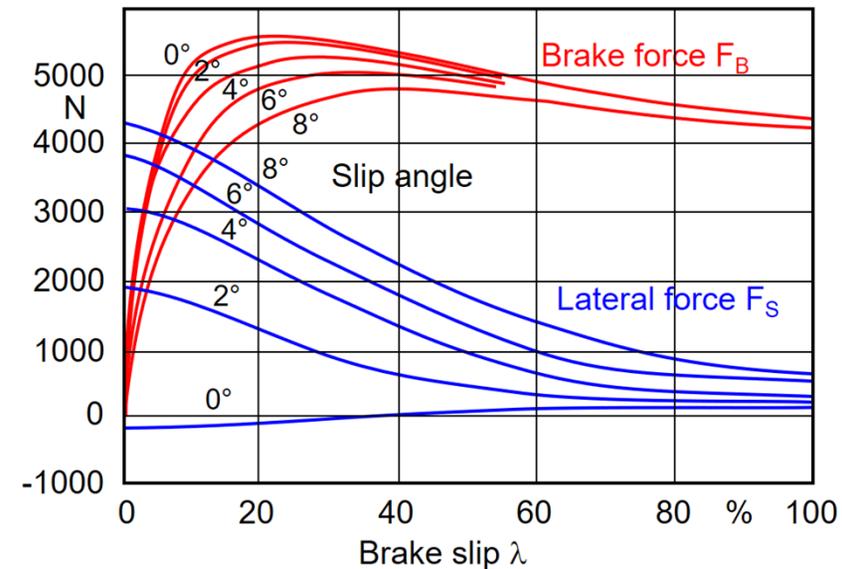


Stabilisierung durch Bremseneingriff am kurveninneren Hinterrad

Fahrdynamikregelsysteme

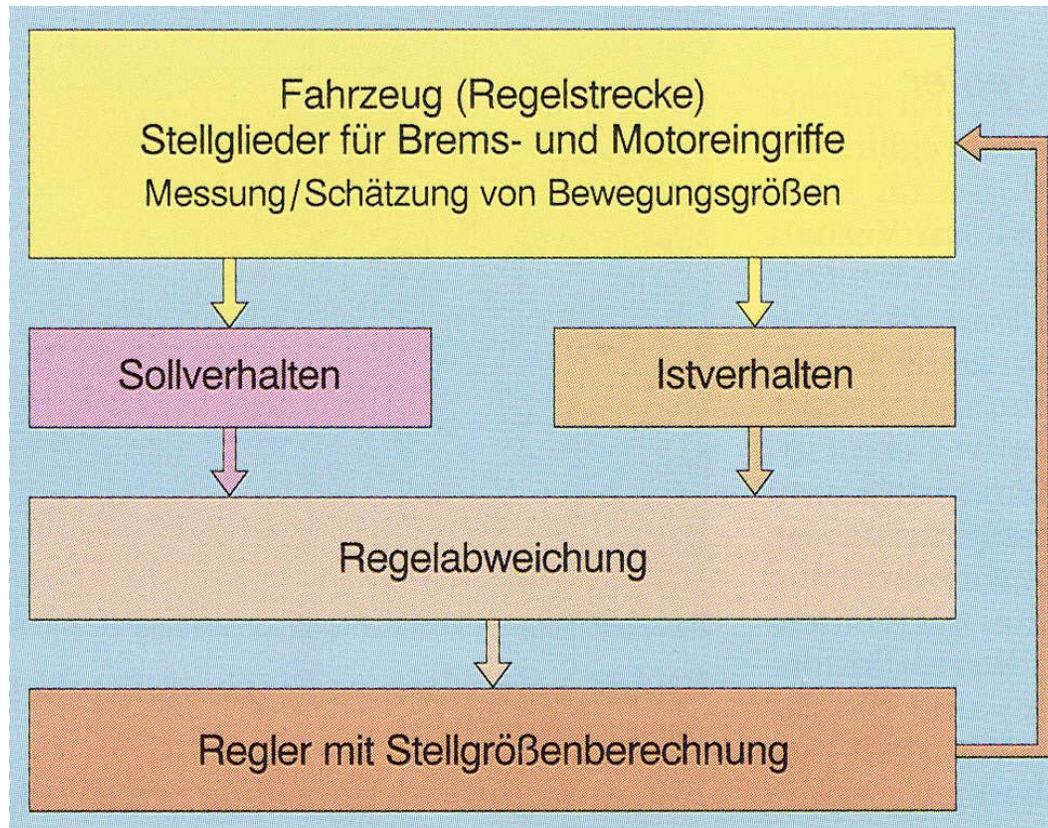
Grundlagen Fahrdynamik: ESP[®]-Funktion

- 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.



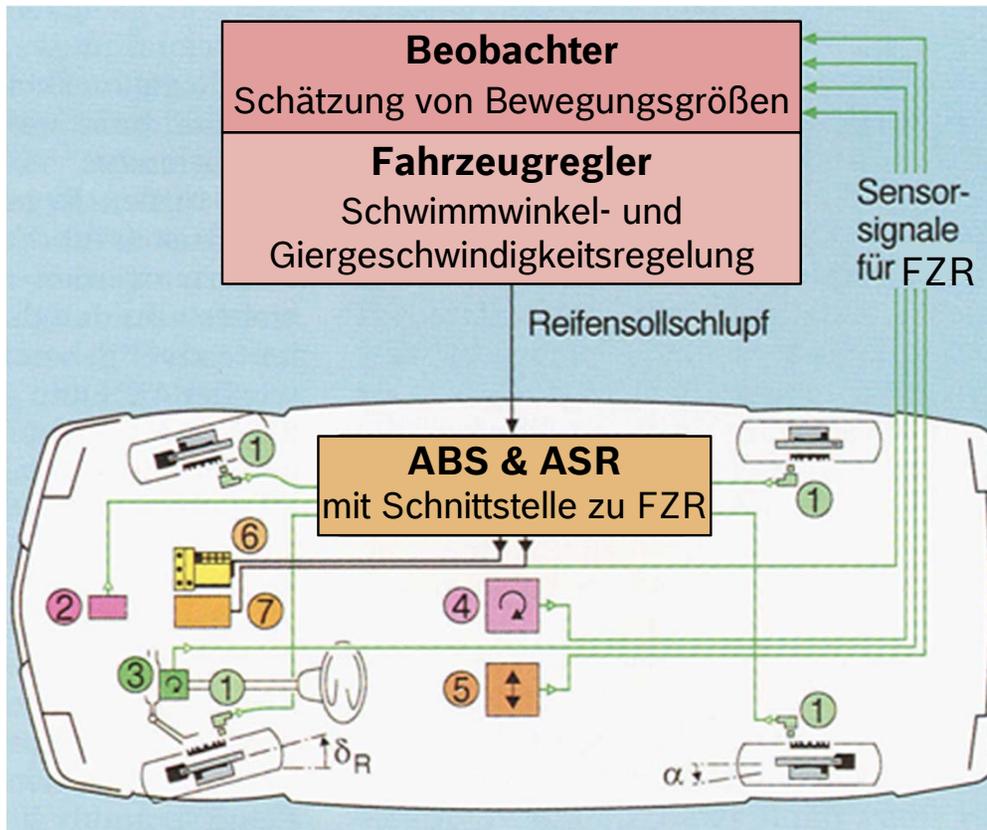
Fahrdynamikregelsysteme

ESP[®]-Regelkonzept: Prinzipielles Blockschaltbild

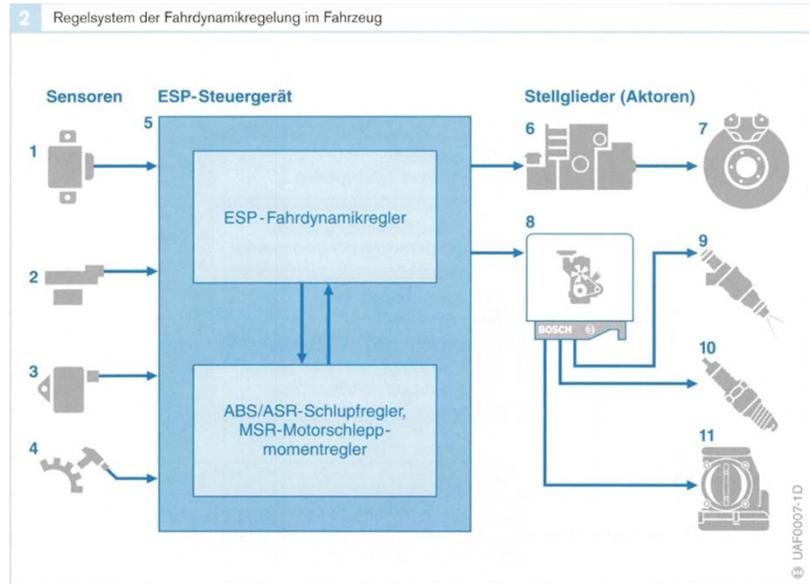


Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Hierarchischer Aufbau

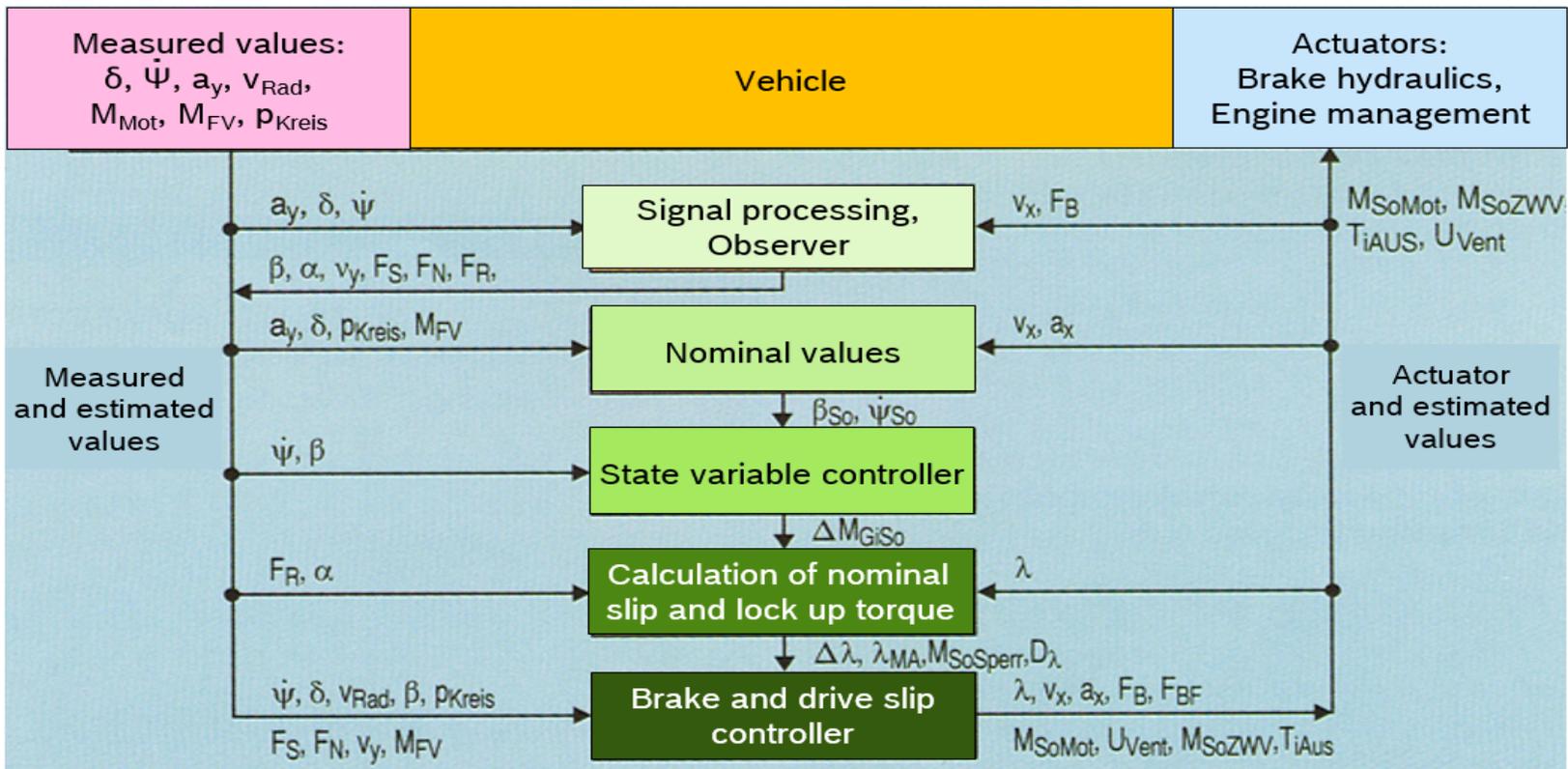


- ① Raddrehzahlsensoren
- ⑤ Querbewegungsbeschleunigungssensor
- ② Vordrucksensor
- ⑥ Druckmodulation
- ③ Lenkradwinkelsensor
- ⑦ Motormanagement
- ④ Giergeschwindigkeitssensor

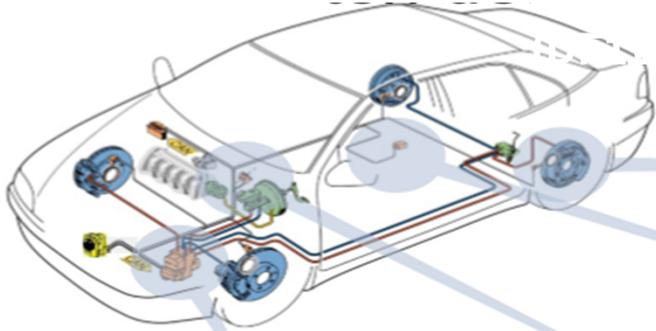


Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Blockschaltbild ESP-Regler



Fahrdynamikregelsysteme ESP®-Komponenten Gen 9



Hydraulikeinheit und Steuergerät ESP® 9 plus



Drehzahlsensor (DF11)



Sensor Cluster DRS MM5.8

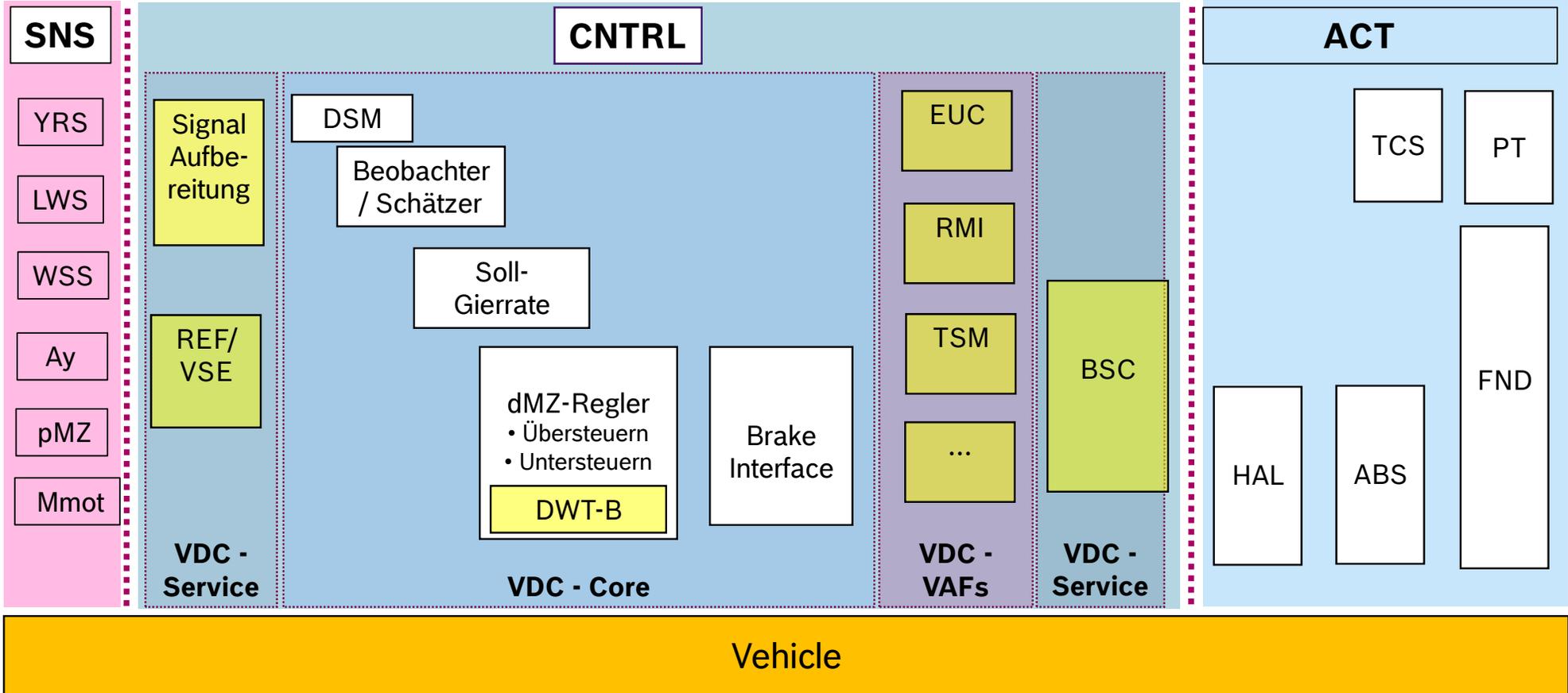
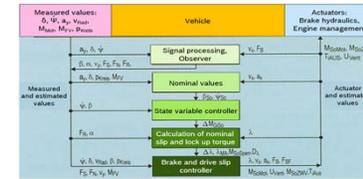


Lenkwinkelsensor



Fahrdynamikregelsysteme

ESP® Reglerstruktur



Fahrdynamikregelsysteme

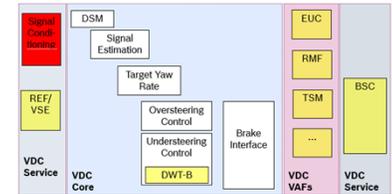
Signalaufbereitung

Signalaufbereitung

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

für die Signale

- Lenkradwinkel
- Giergeschwindigkeit
- Vordruck
- Querbearschleunigung
- Bremslichtschalter

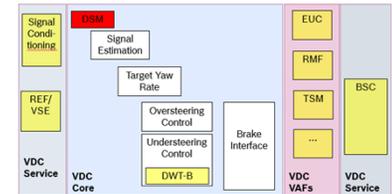


Fahrdynamikregelsysteme

Freischaltung

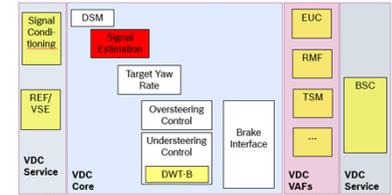
DSM – Dynamic State Management

- 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,
 - Querbewegung
 - **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 Quereschleunigungen u. Schwimmwinkel gilt:

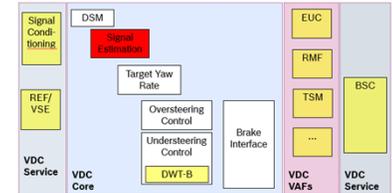
$$\dot{\beta} = \frac{a_Y}{v} - \dot{\psi}$$

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

– 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

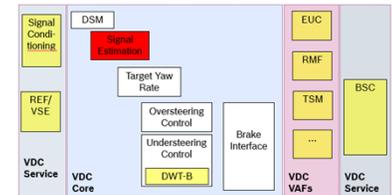
$$m_F \cdot (\dot{v}_y + v_x \cdot \dot{\psi}) = -(F_{S1} + F_{S2}) \cdot \cos \delta_R - (F_{B1} + F_{B2}) \cdot \sin \delta_R - F_{S3} - F_{S4}$$

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

- 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

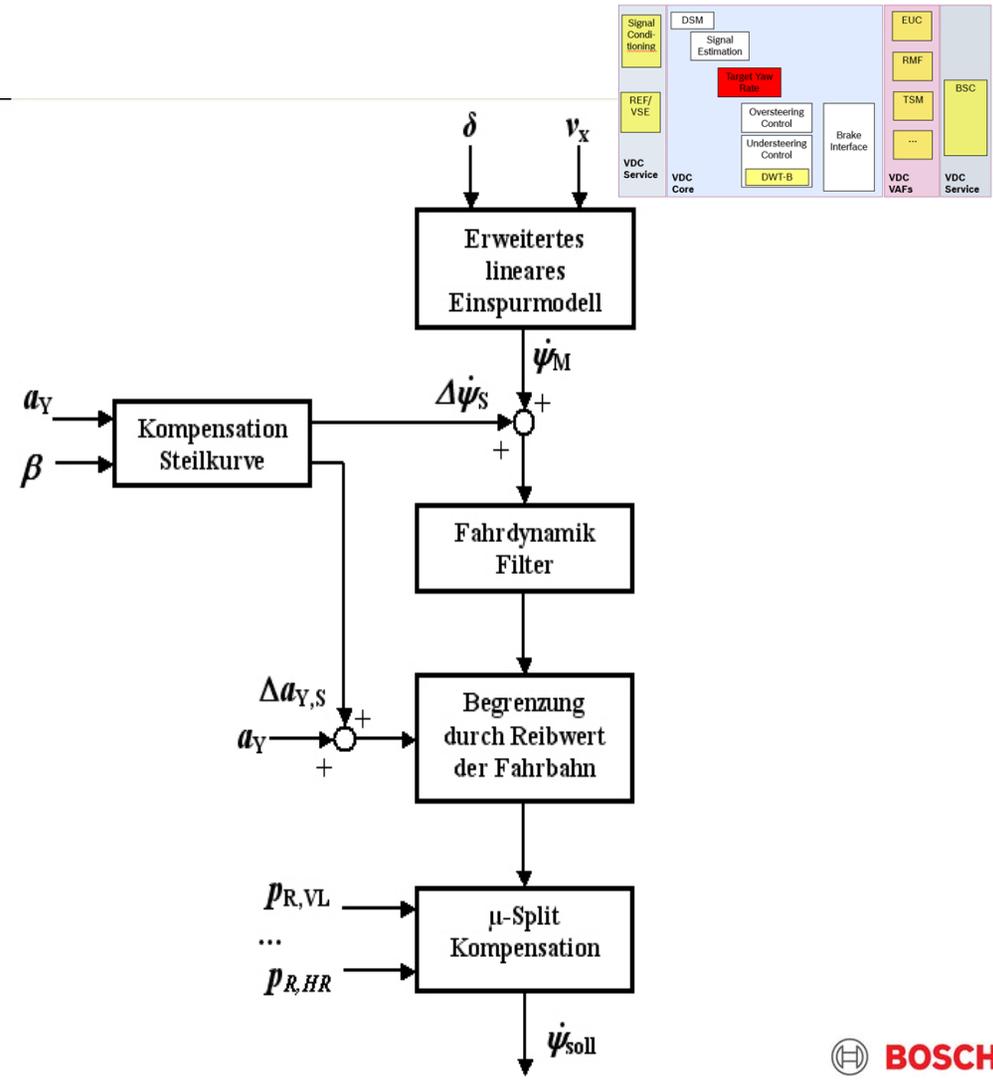
- Phasenverschiebung zwischen Lenkradwinkel u. Giergeschwindigkeit

➤ 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

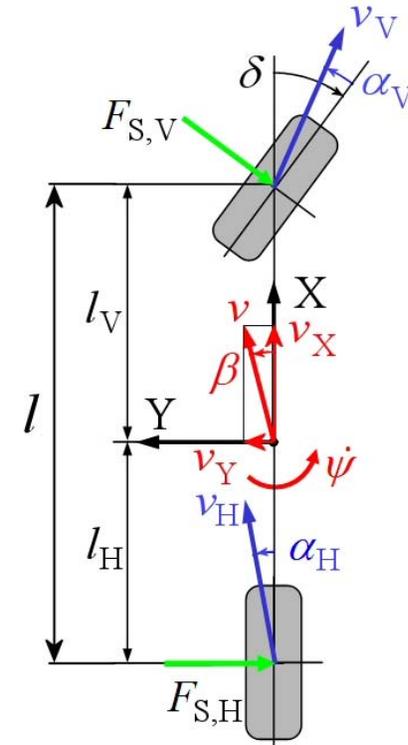
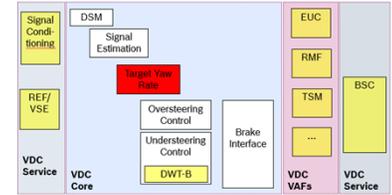
➤ Sollwert der Giergeschwindigkeit bestimmt auf Basis

- 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

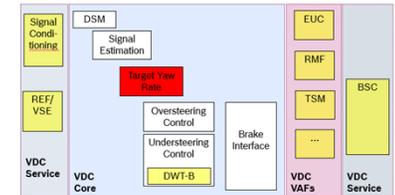
$$v_{\text{ch}} = l \cdot \sqrt{\frac{1}{m} \cdot \left(\frac{c'_{\alpha V} \cdot c'_{\alpha H}}{l_H \cdot c'_{\alpha H} - l_V \cdot c'_{\alpha V}} \right)}$$



Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

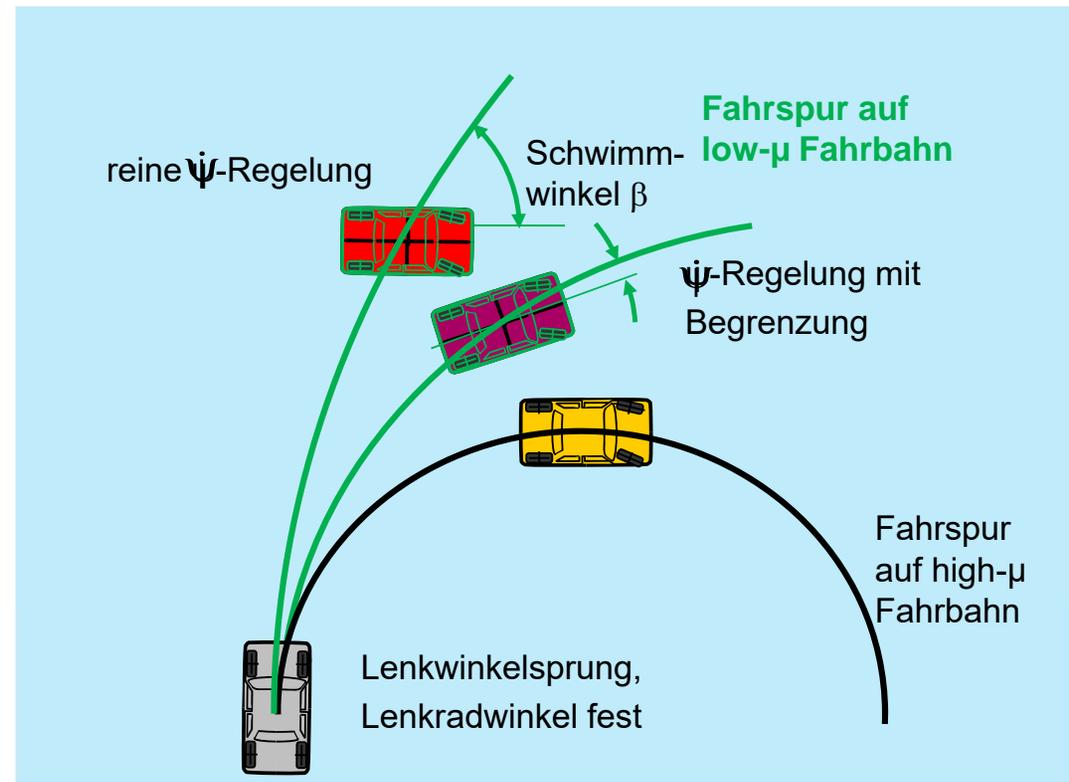
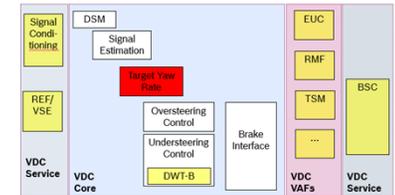
- Veränderungen im Fahrzeug von Beladung, Reifen, ...
erfordern zur Vermeidung unplausibler Regeleingriffe eine Berücksichtigung in der charakteristischen Geschwindigkeit V_{Ch}
- Untere charakteristische Geschwindigkeit - V_{Chu}
 - Gemäß OEM-Daten
 - Untersteuerungsregelung
- Obere charakteristische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



Fahrdynamikregelsysteme

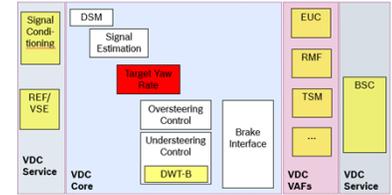
Sollwert: Giergeschwindigkeit

- 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

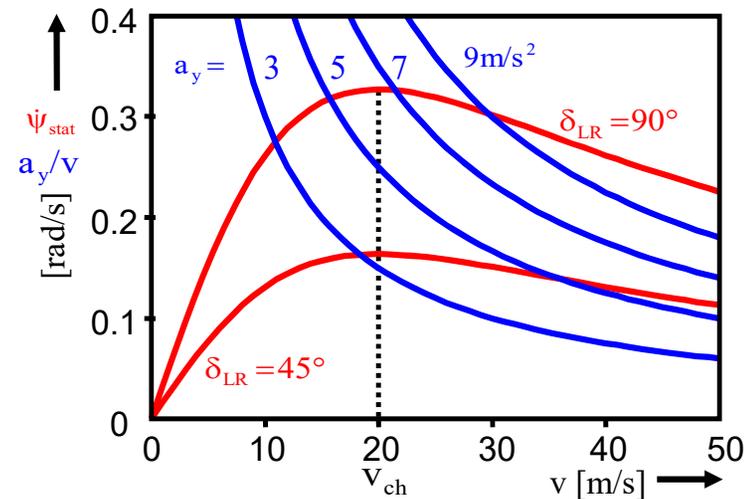
- Für die Schwimmwinkelgeschwindigkeit für große Giergeschwindigkeiten gilt:

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

- mit der Begrenzung der Giergeschwindigkeit auf

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

erfolgt kein weiterer Anstieg des Schwimmwinkels

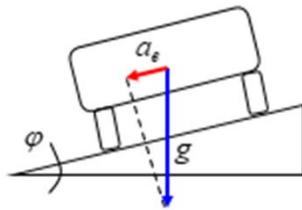


Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

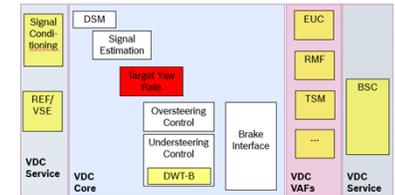
➤ Kompensationen der Sollgiergeschwindigkeit sind erforderlich für

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



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

- 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

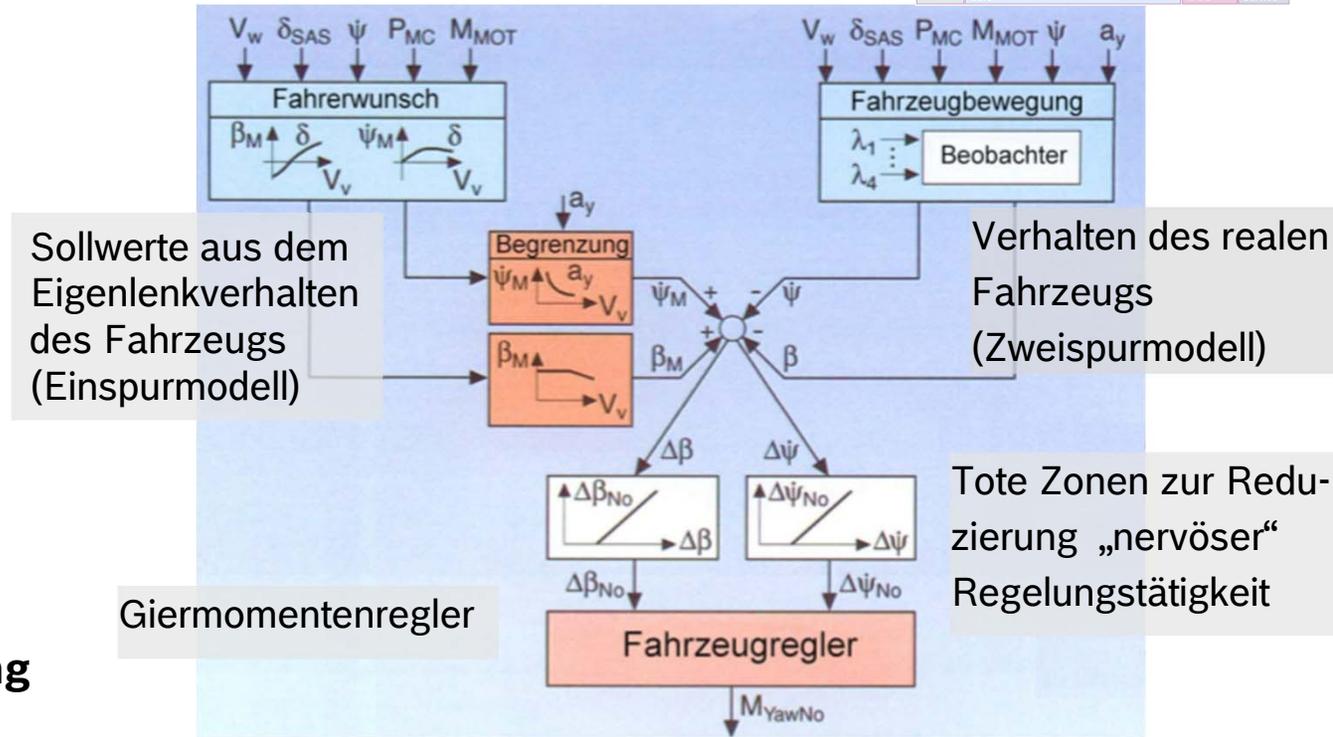
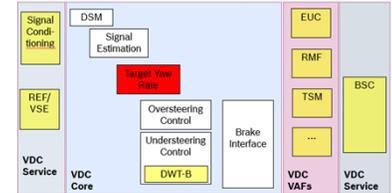
- Fzg soll dem Fahrerwunsch folgen – ausgehend vom Lenkradwinkel
- Fzg soll nicht übersteuern, d.h. der Schwimmwinkel muss begrenzt sein

➤ 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)



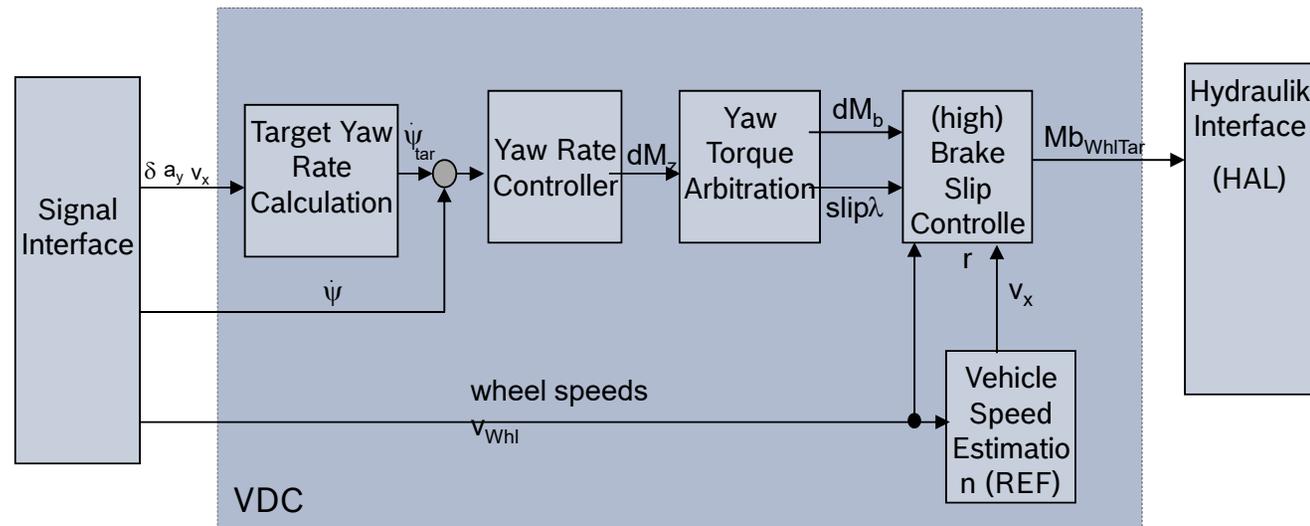
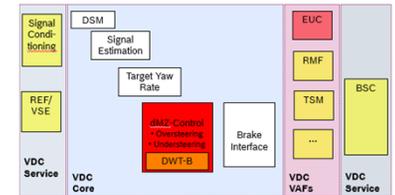
Fahrdynamikregelsysteme

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)

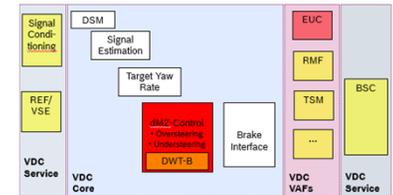
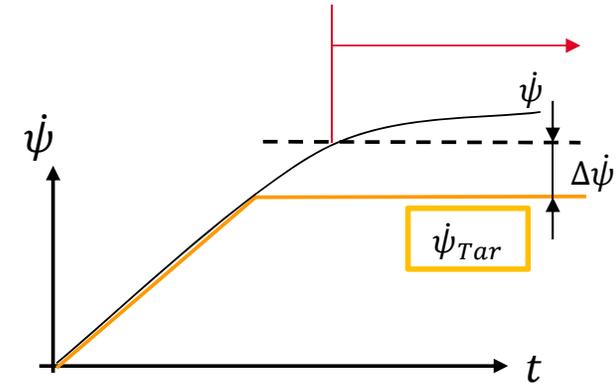


Fahrdynamikregelsysteme

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

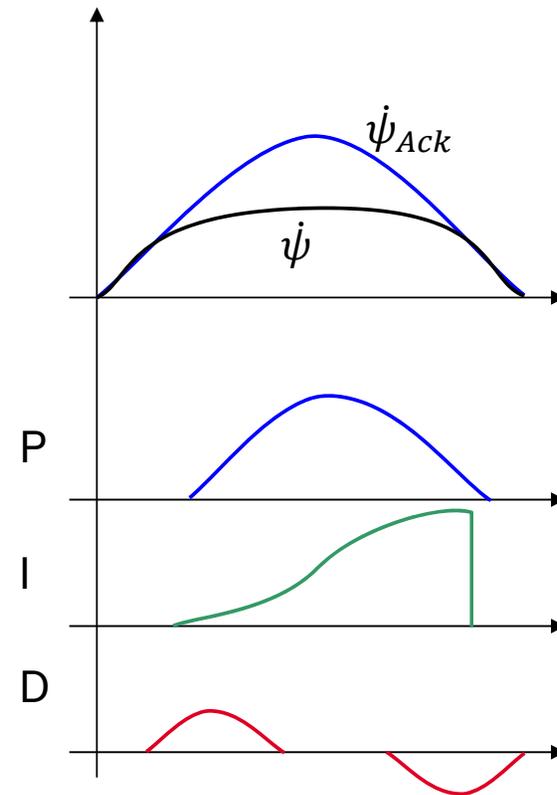
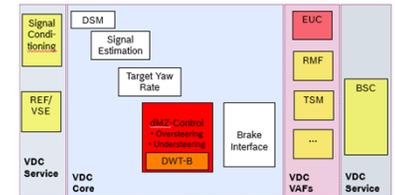
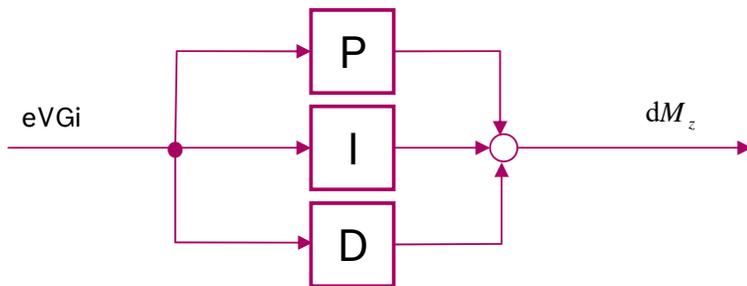


Fahrdynamikregelsysteme

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

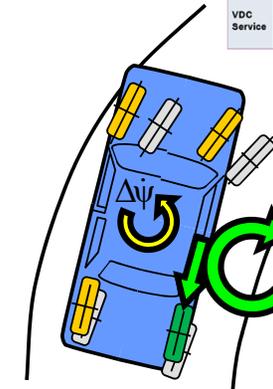
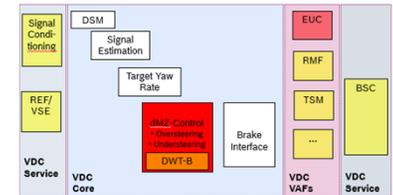


Fahrdynamikregelsysteme

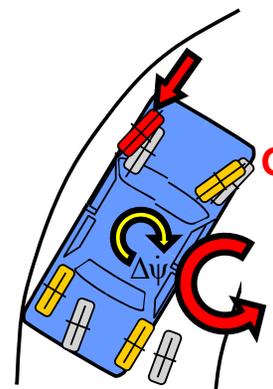
dMZ-Regler

➤ 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**



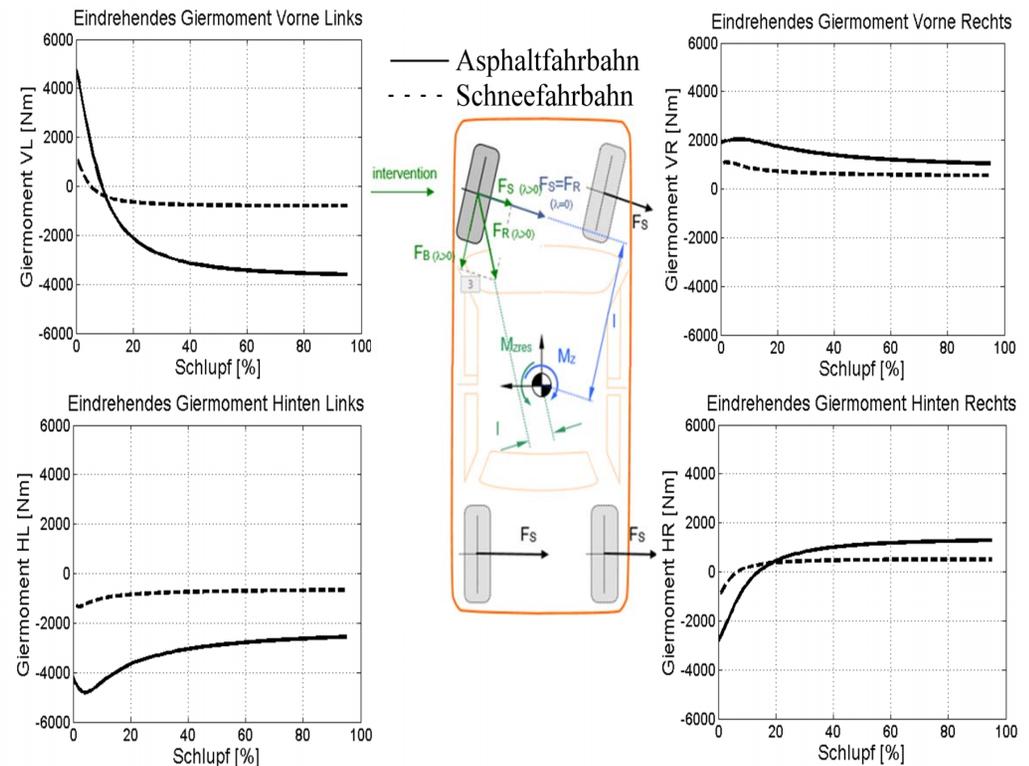
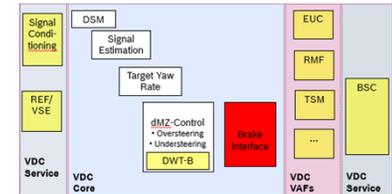
**Giermoment dMZ
Übersteuern**

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)

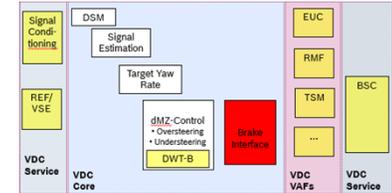
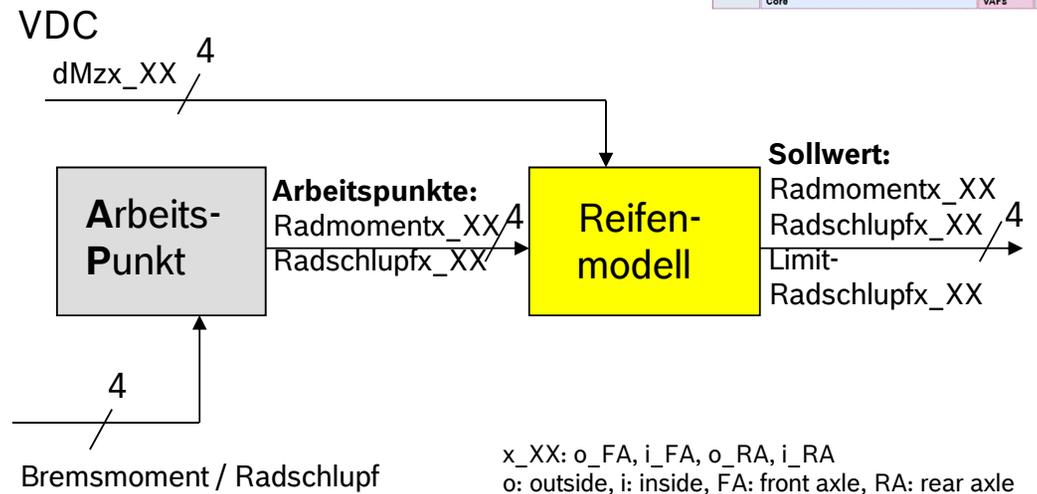


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

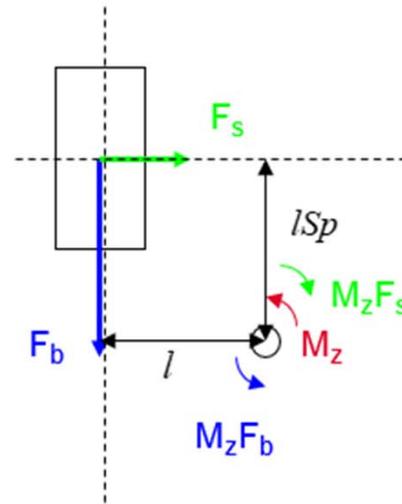
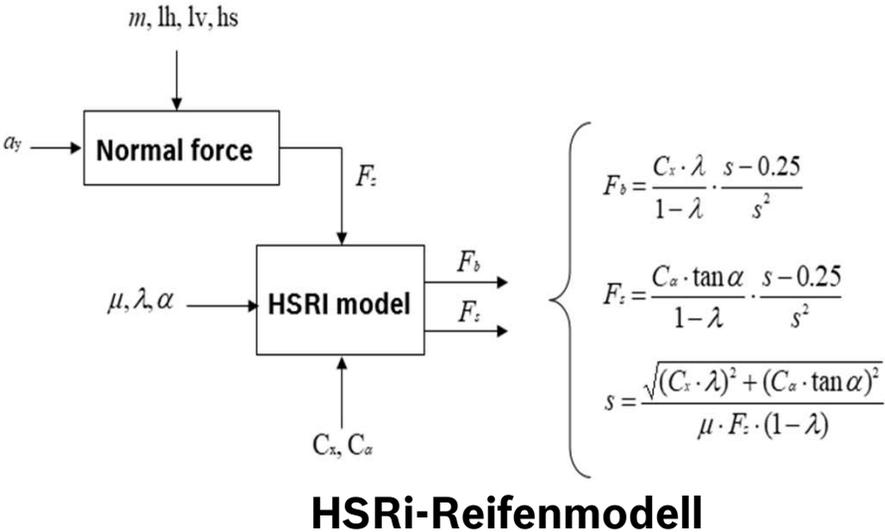
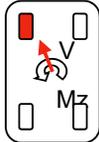
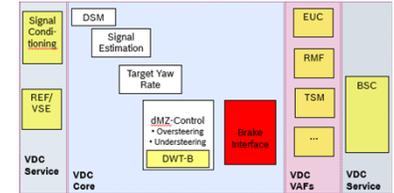
➤ Wheel Mapping - Reifenmodell

- 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

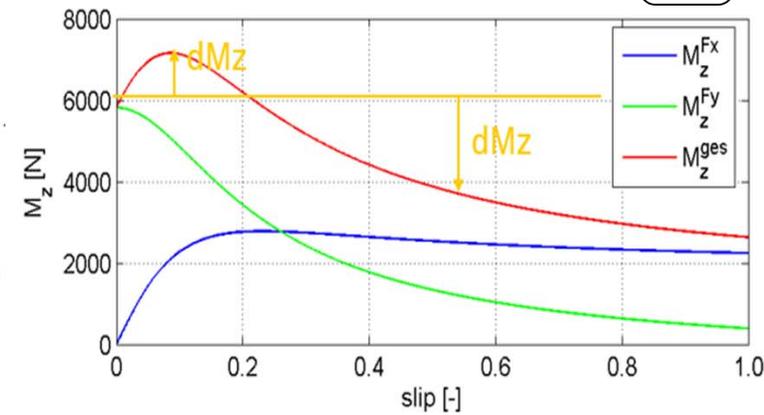


Fahrdynamikregelsysteme Bremseninterface

➤ Reifenmodell



$$dMZ = M_z F_b + M_z F_s$$



dMZ am kurveninneren Vorderrad

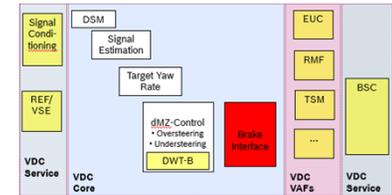
Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Mz Arbitrierung - Übersicht

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

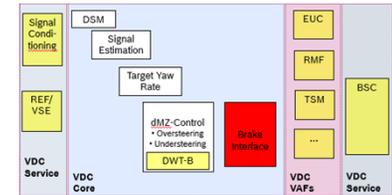
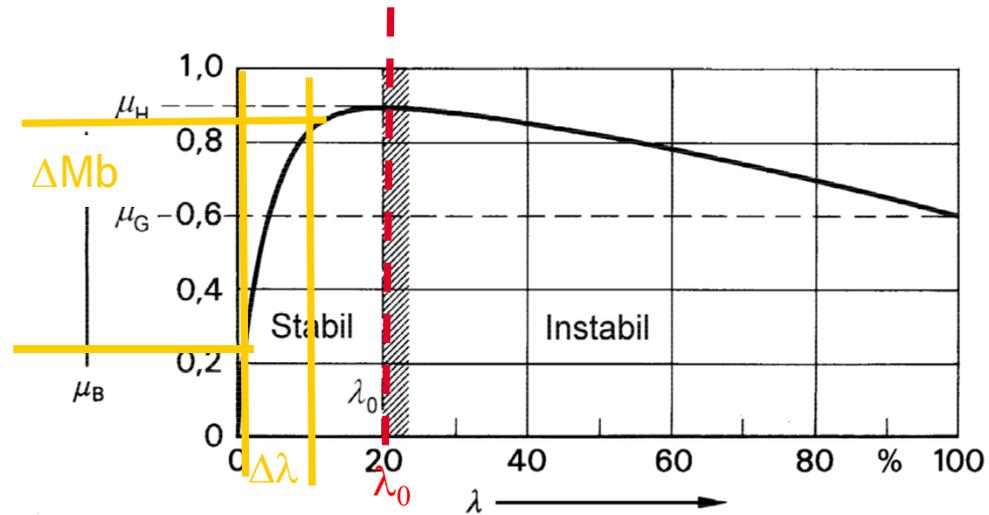
- hinten außen / vorne innen
 - für kleinen Bremsschlupf (bswp. im Freirollfall) kann das äußere Hinter- und das innere Vorderrad für Stabilisierungs- als auch Untersteuereingriffe genutzt
 - hingegen kann zuviel Bremsschlupf zu einem kontroproduktiven Einfluß auf das Giermoment führen.

Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Arbitrierung von:

- Bremsmoment
- Bremsschlupf



Bremsmomentenanforderung:

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

Schlupfanforderung:

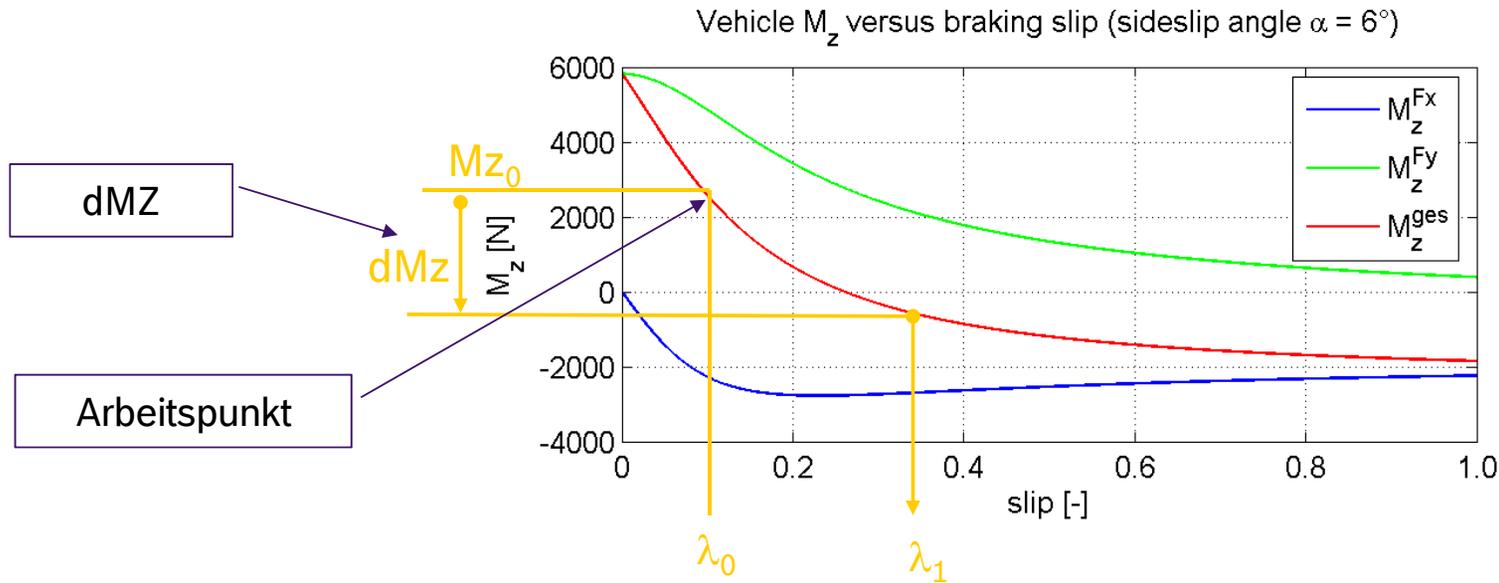
- Im instabilen Bereich der μ -Schlupf-Kurve
- Im Übersteuerfall
- Nur an kurvenäußeren Vorderrädern
- Umgesetzt durch BrakeSlipControl BSC

Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Bestimmung des Bremsschlupfs

- Übersetzung von dM_z auf zugehörigen Bremsschlupf λ_1 - gebremst

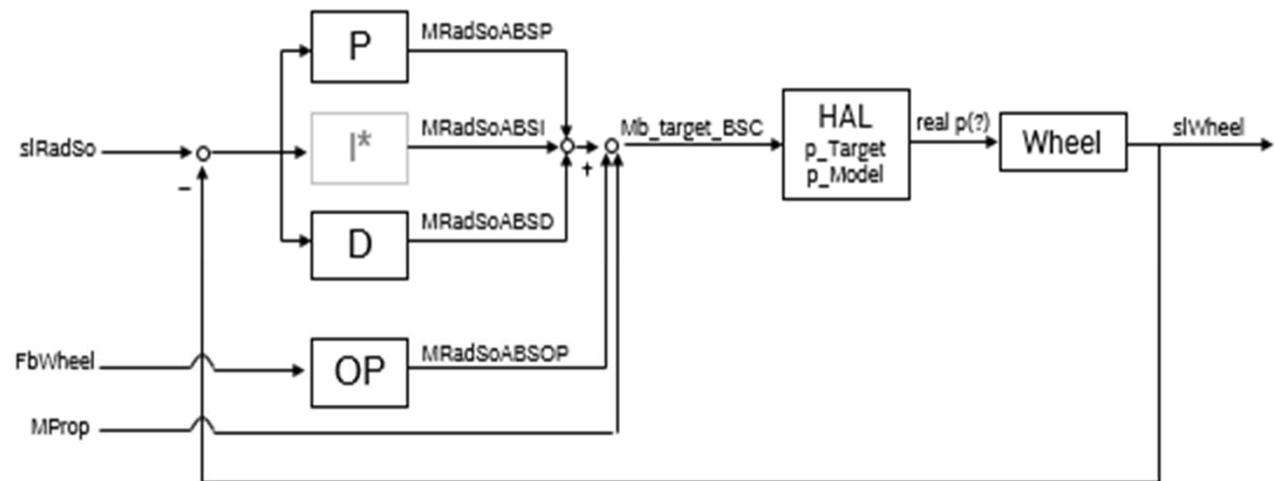
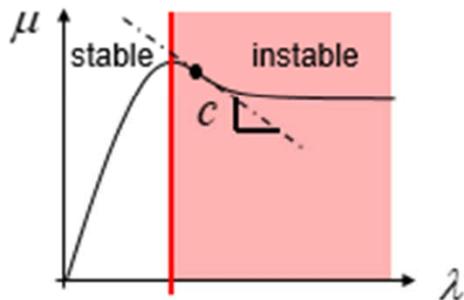


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Brake Slip Controller – BSC

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

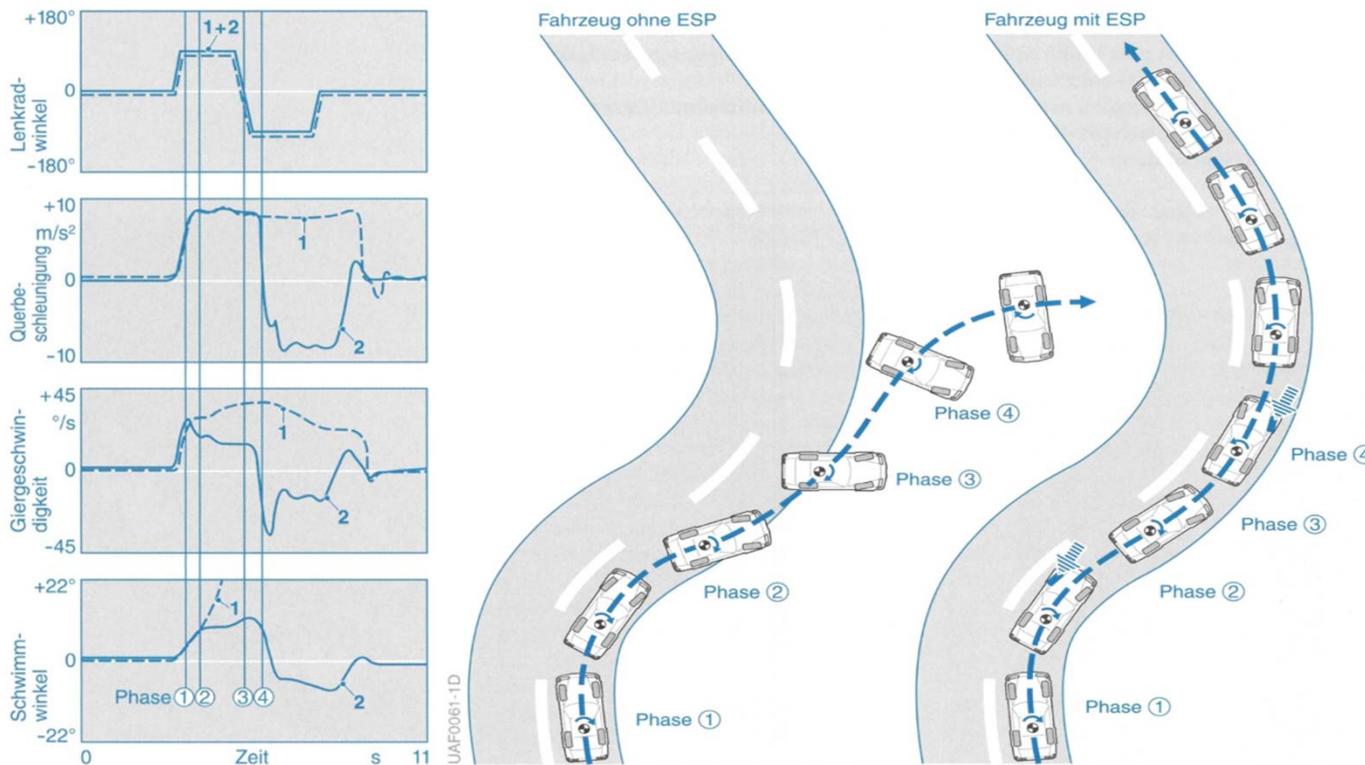


Fahrdynamikregelsysteme

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