

BREMSBASIERTE ASSISTENZFUNKTIONEN

-

FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME

(ABS, ASR, **ESP[®]**)



ROBERT BOSCH GMBH
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ



Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?

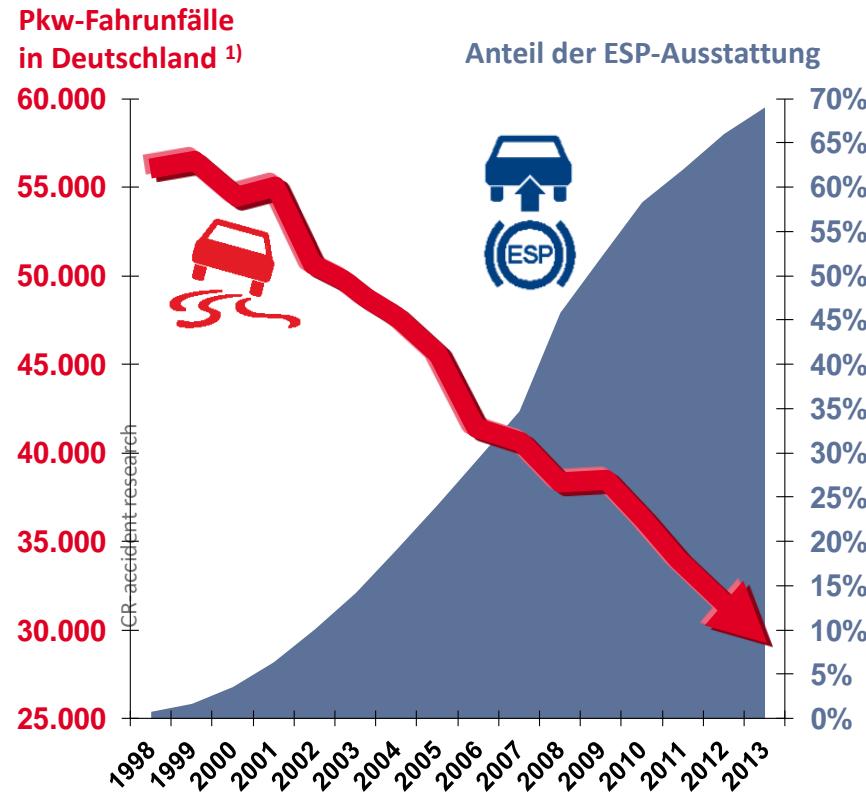
Entwicklung der Fahrunfälle in Deutschland



- 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 Personenschaden)

²⁾ Daten von CC/MKC, DAT-Bericht

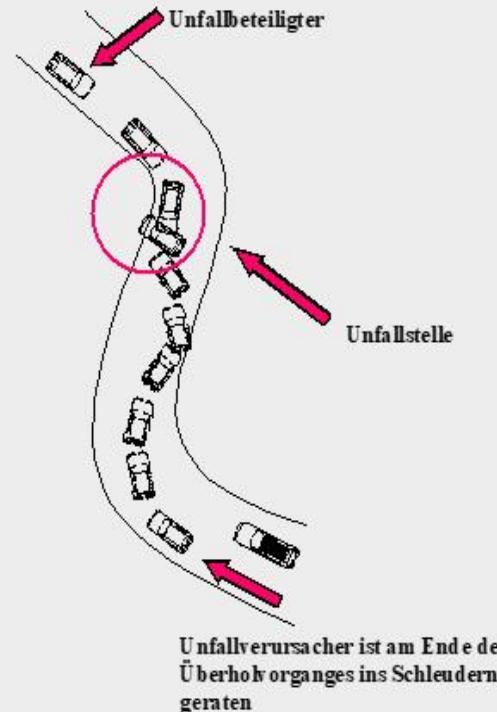


- Das Gros der PKW-Kollisionen ereignet sich im Bereich zw. 60 u. 100km/h
- 30% der Unfälle mit Personenschaden erfolgt ohne Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer
 - 50% davon erfolgen durch Seitencrashes
 - **ESP® vermeidet 80% der Schleuder-situationen im realen Unfallgeschehen²⁾**
- **ESP® leistet einen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

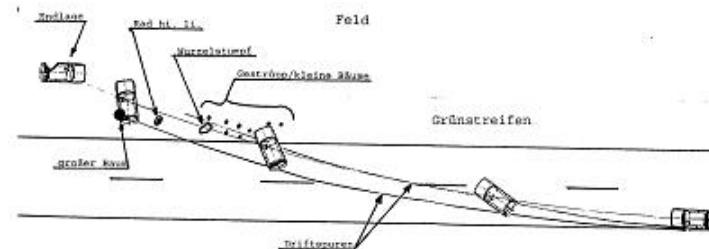
Bremsbasierte Assistenzfunktionen

Fahrdynamik: Warum ESP®?

Typischer Unfallablauf: Seitenkollision



Unfall mit Verlust der Fahrzeugkontrolle



Ursachen

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

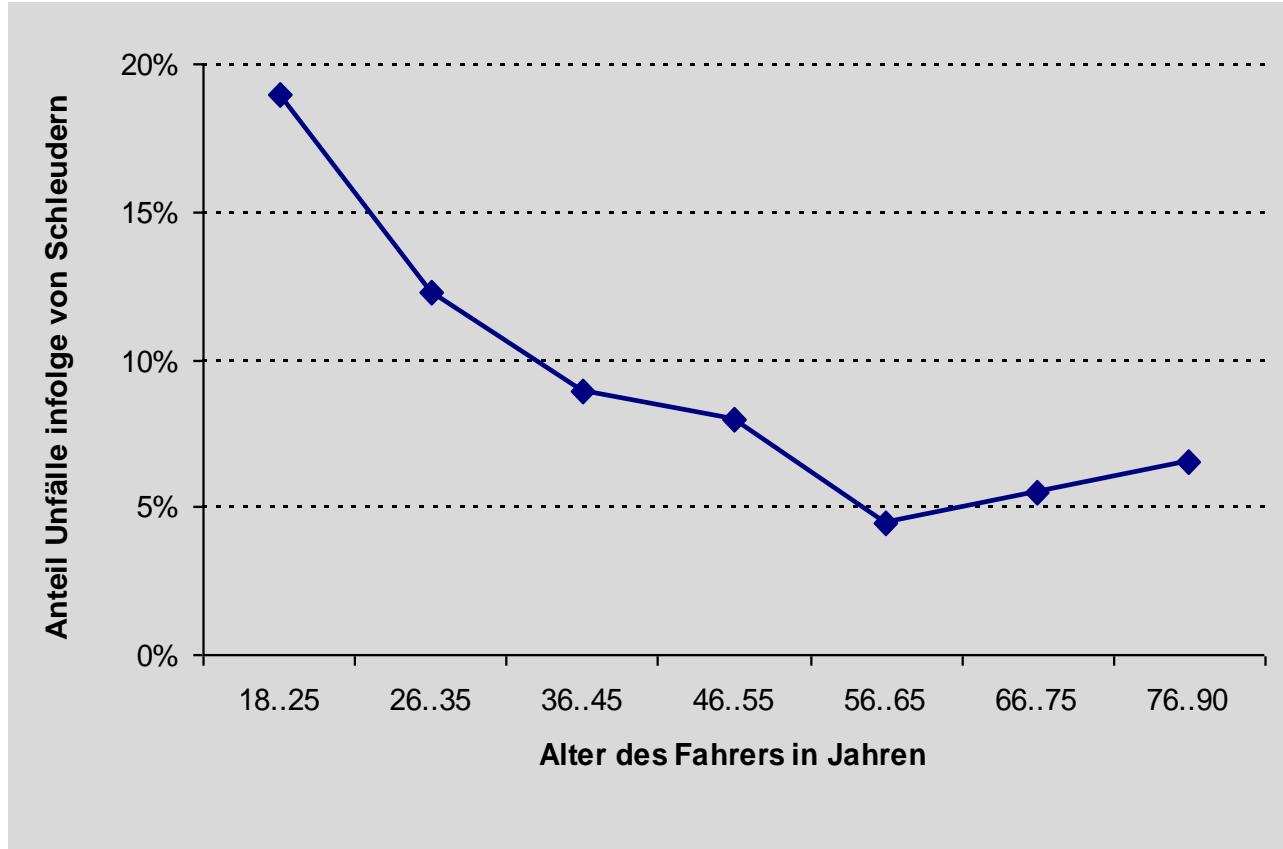
(Alleimunfall)

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.)

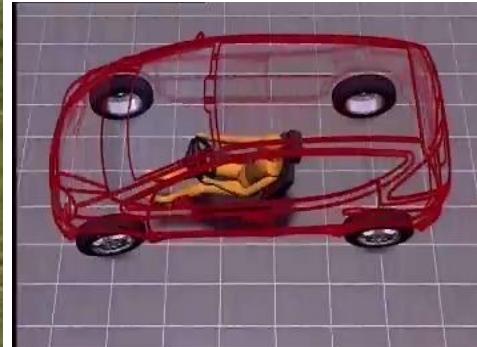
Bremsbasierte Assistenzfunktionen

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®-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

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



1985



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®

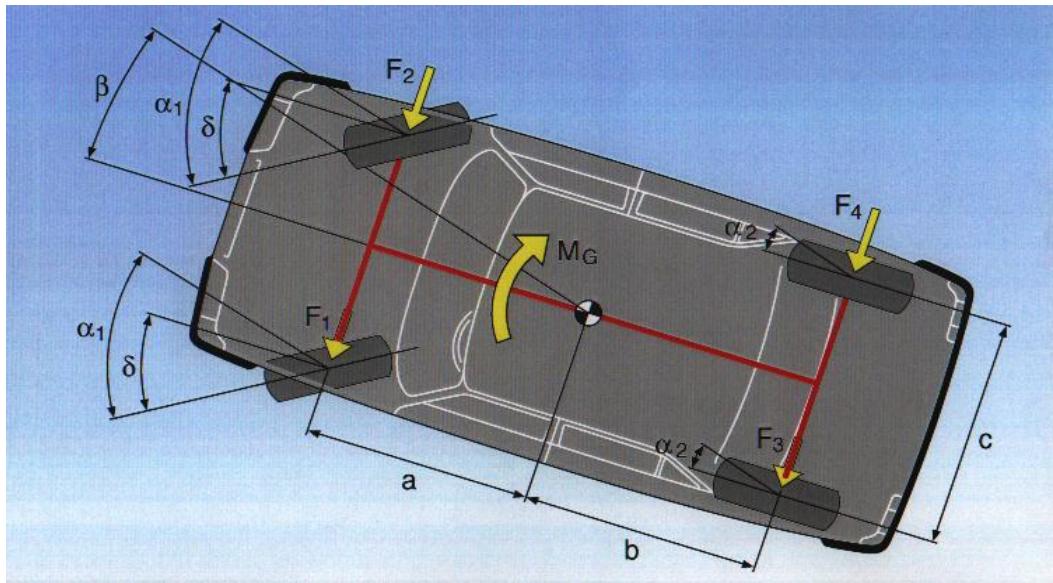
1995

im MB W140 und R129



Fahrdynamikregelsysteme

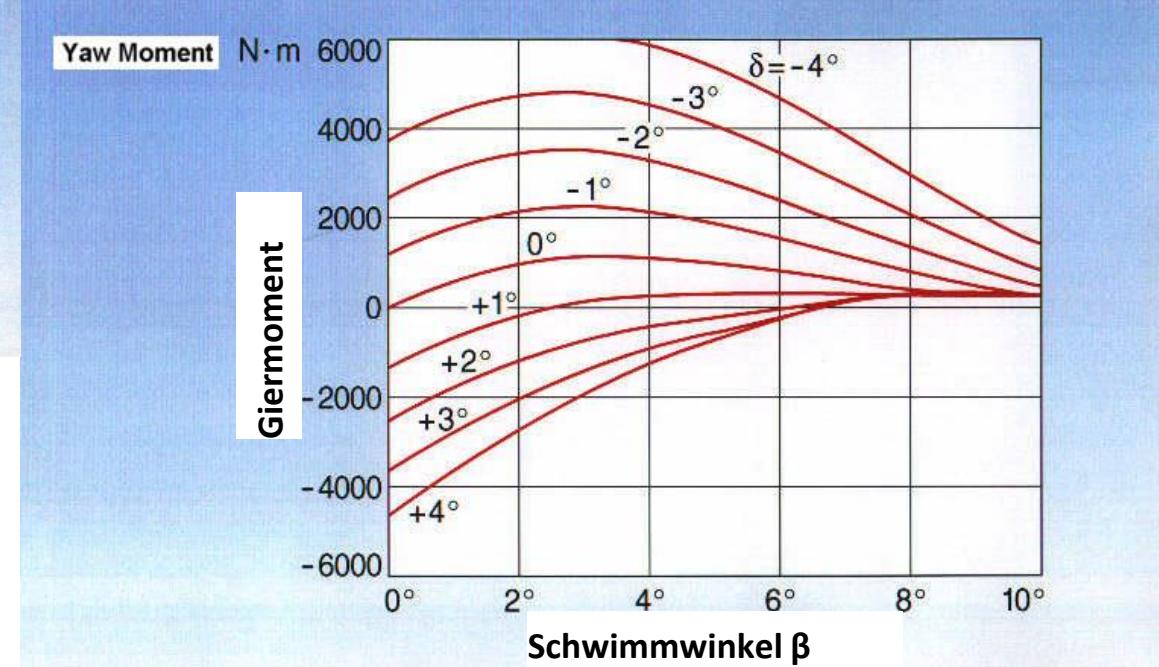
Fahrdynamik: Die Beta Methode (Honda)



Untersuchung der Lenkfähigkeit als Funktion des Schwimmwinkels

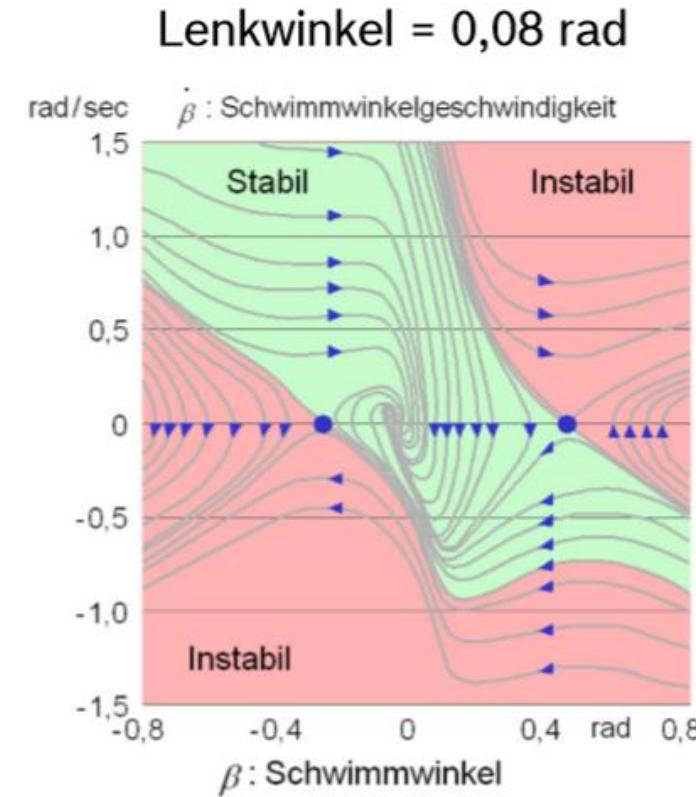
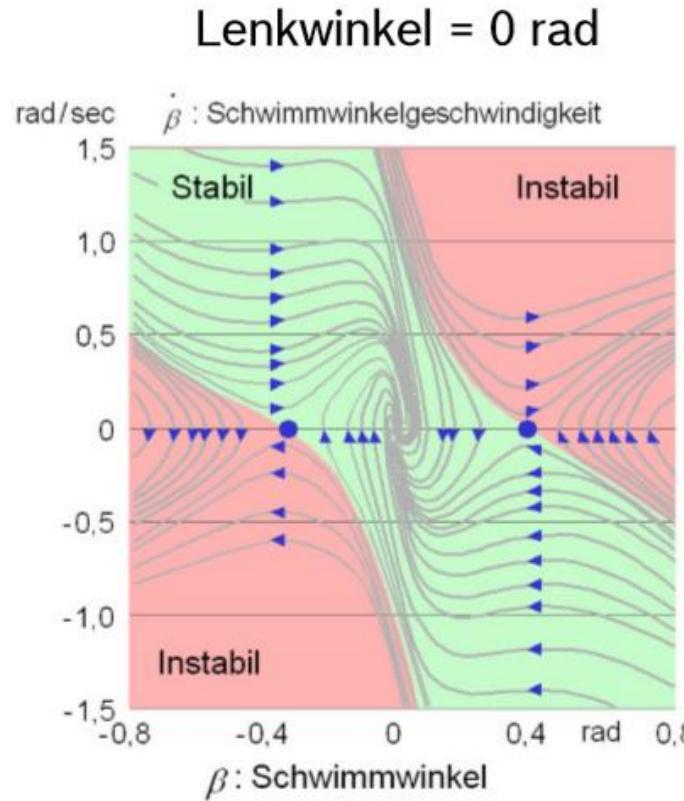
Lenkfähigkeitskennfeld:

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



Fahrdynamikregelsysteme

Fahrdynamik: Fahrzeugstabilität im Phasenbereich (Toyota)



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

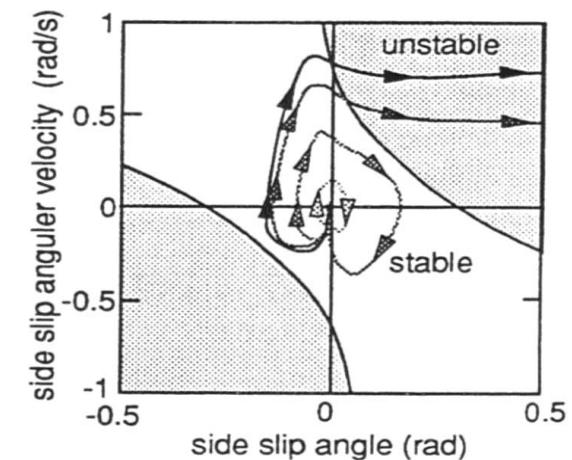


Fig.2 Response in Sine Steering Input

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:

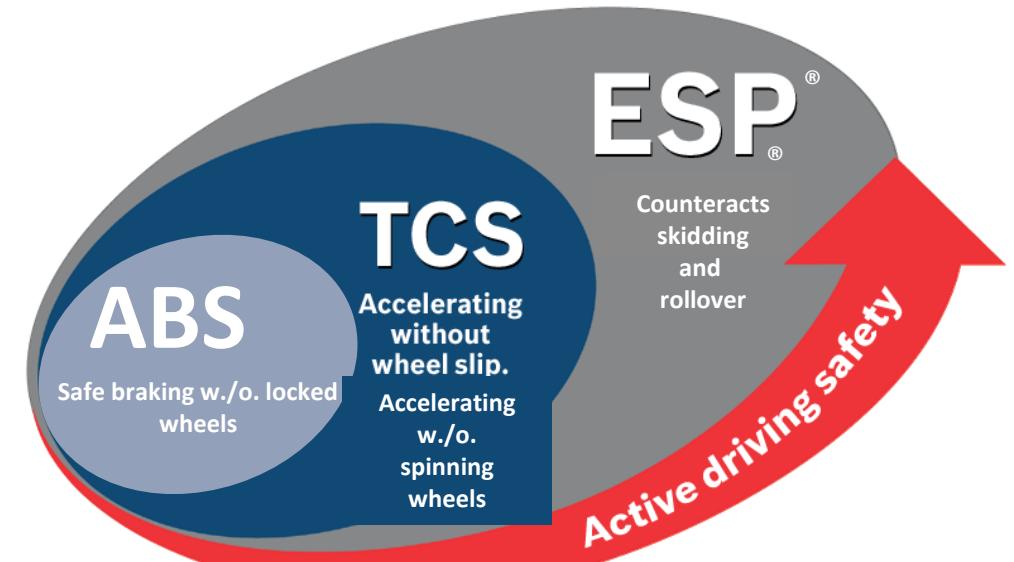
- ESC: Electronic Stability Control

➤ OEM-spezifisch:

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

➤ ESP®-System

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

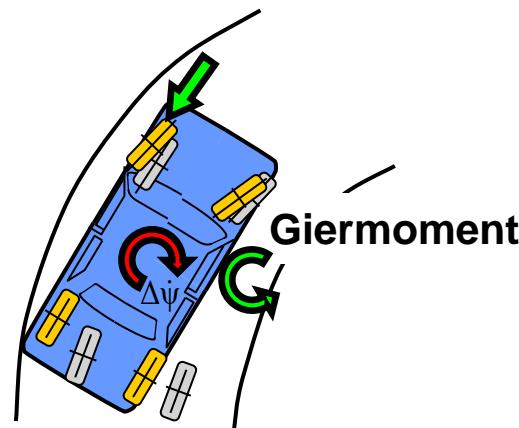


Fahrdynamikregelsysteme

Grundlagen Fahrdynamik: ESP®-Funktion

➤ Übersteuern:

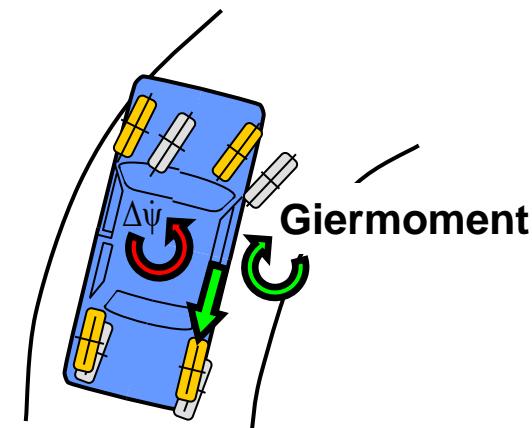
- Das Fahrzeug bricht aus, d.h. die Hinterachse des Fahrzeugs „rutscht“ nach kurvenaußen
- Die Giergeschwindigkeit ist zu groß



Stabilisierung durch Bremseneingriff am kurvenäußerem Vorderrad

➤ Untersteuern:

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

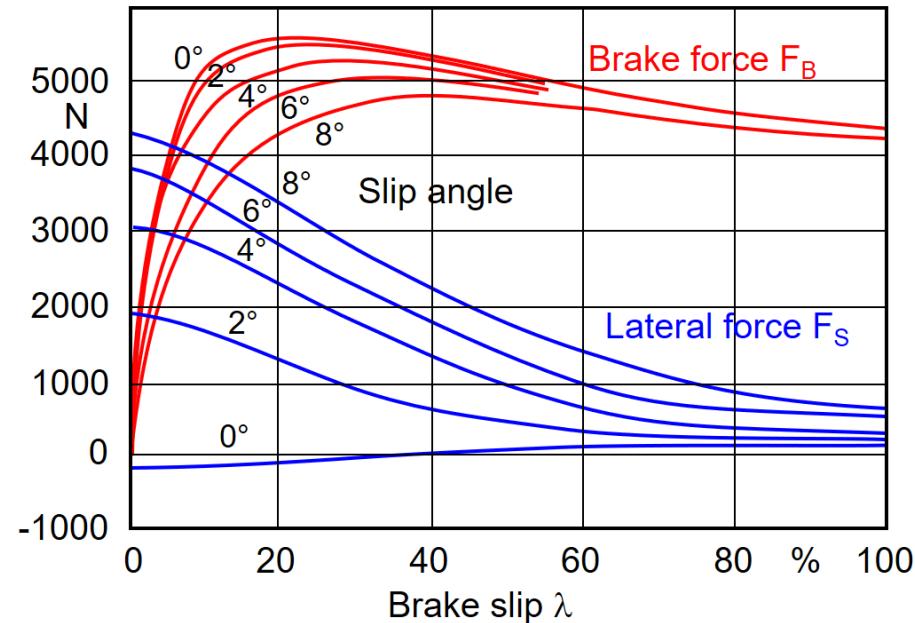


Stabilisierung durch Bremseneingriff am kurveninneren Hinterrad

Fahrdynamikregelsysteme

Grundlagen Fahrdynamik: ESP®-Funktion

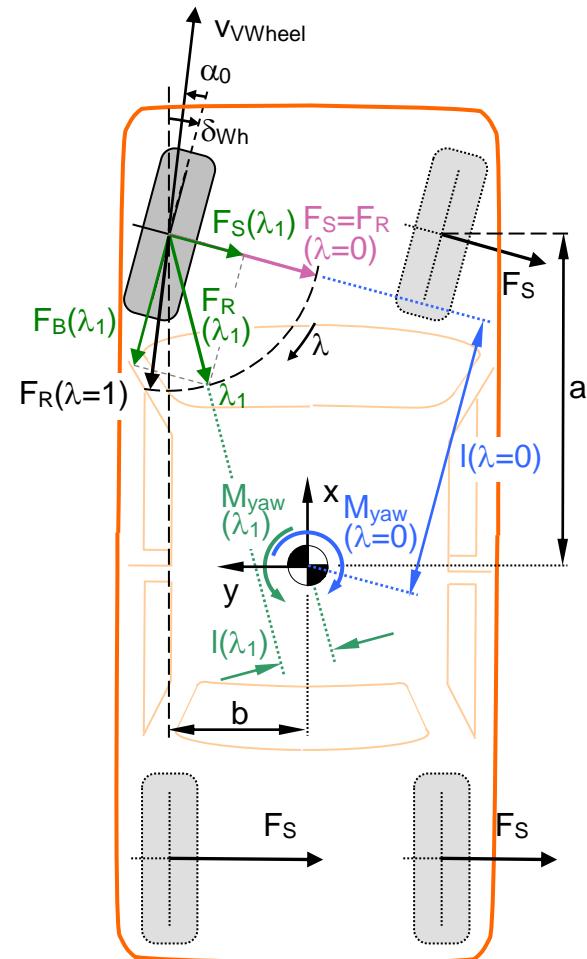
- ESP® wurde auf der Basis von ABS und ASR entwickelt, mit denen die Radbremsdrücke und das Motormoment individuell moduliert werden können.
- Das Konzept des ESP® baut auf die Eigenschaft des Reifens, den Seitenreibwert über den Schlupf λ verändern zu können
- Damit ist die Querdynamik des Fahrzeugs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



Fahrdynamikregelsysteme

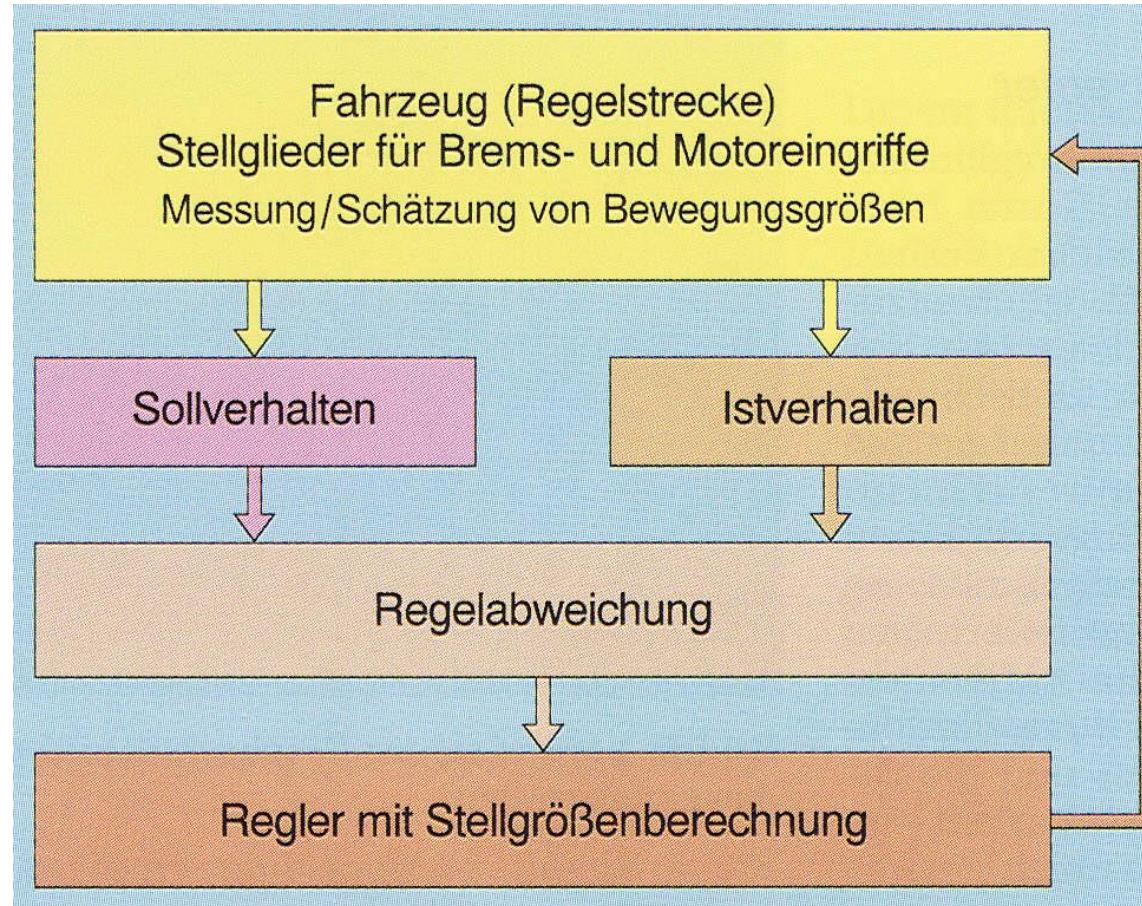
ESP®-Regelkonzept: radindividuelle Schlupfeingriffe

- 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



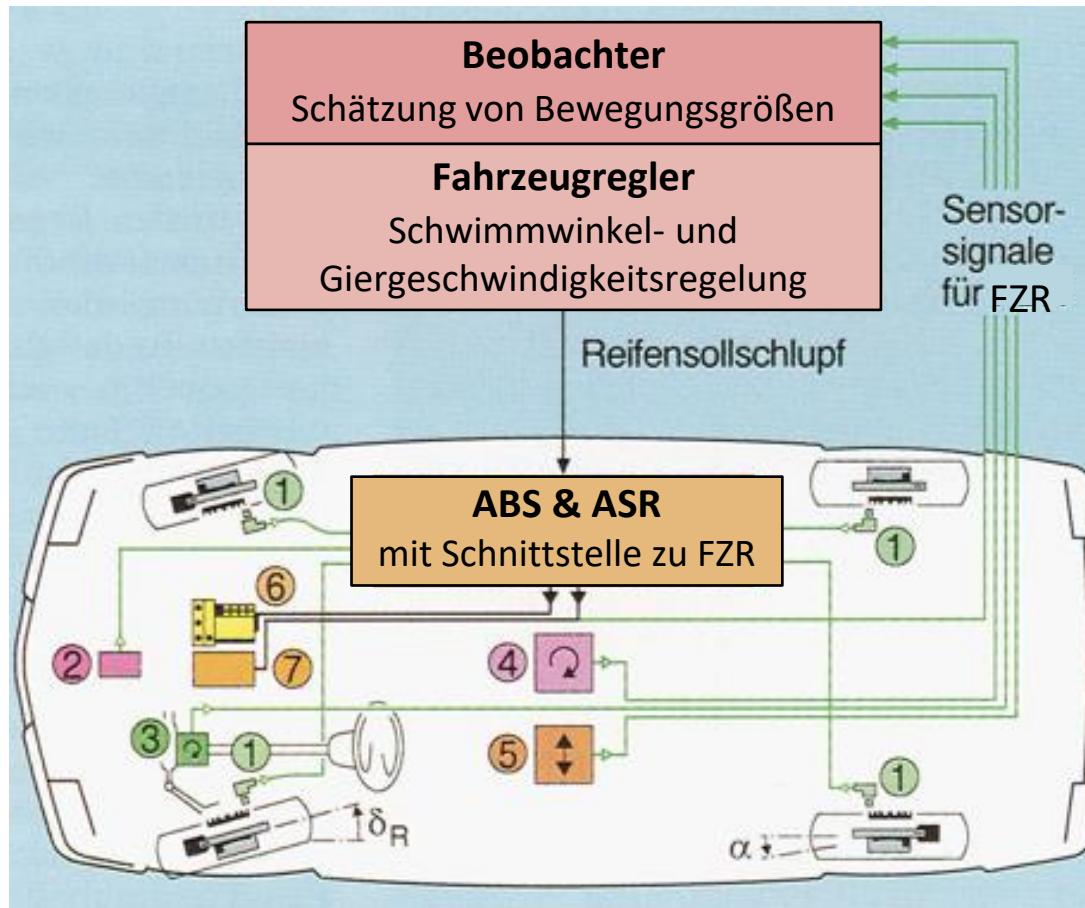
Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Prinzipielles Blockschaltbild



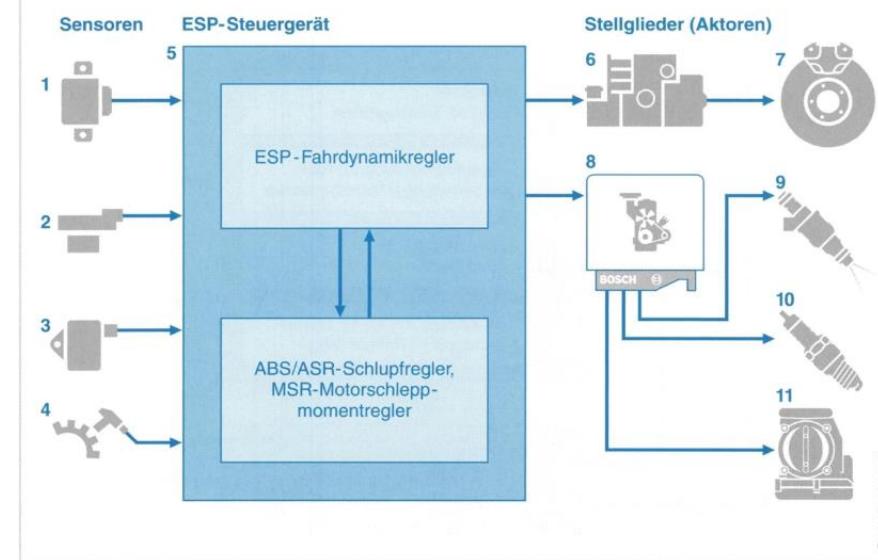
Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Hierarchischer Aufbau



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

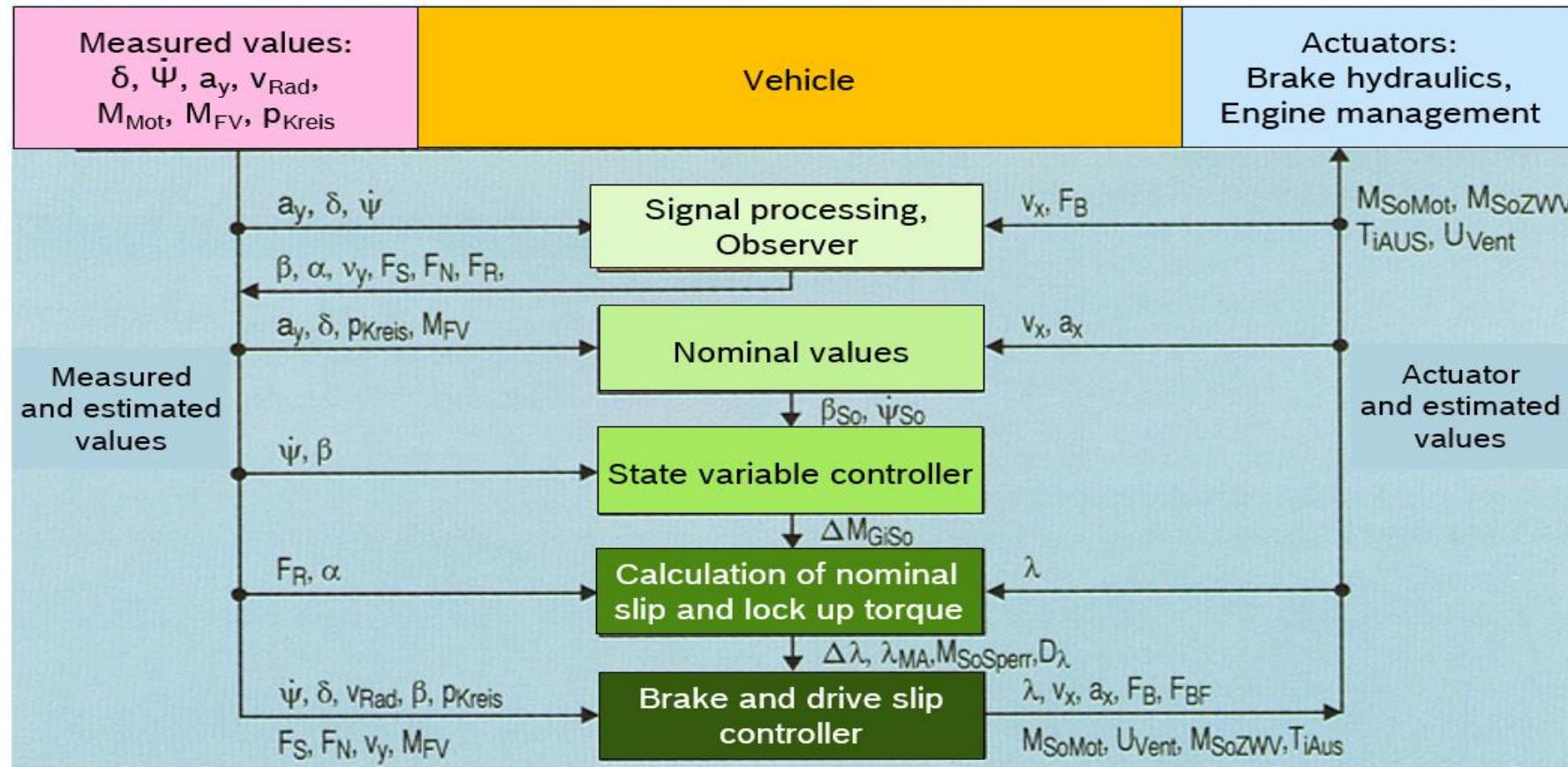
2 Regelsystem der Fahrdynamikregelung im Fahrzeug



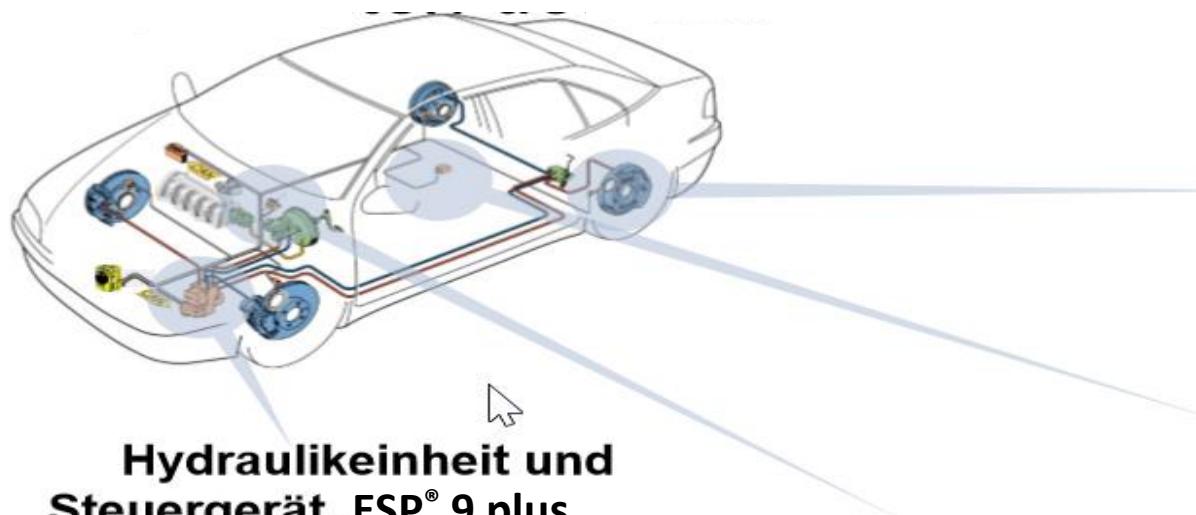
UAF0007-1D

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Blockschaltbild ESP-Regler



Fahrdynamikregelsysteme ESP®-Komponenten Gen 9



Hydraulikeinheit und
Steuergerät ESP® 9 plus



Drehzahlsensor (DF11)



Sensor Cluster DRS MM5.8

