

# BREMSBASIERTE ASSISTENZFUNKTIONEN - FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME



(ABS, ASR, ESP<sup>®</sup>)

ROBERT BOSCH GMBH  
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ



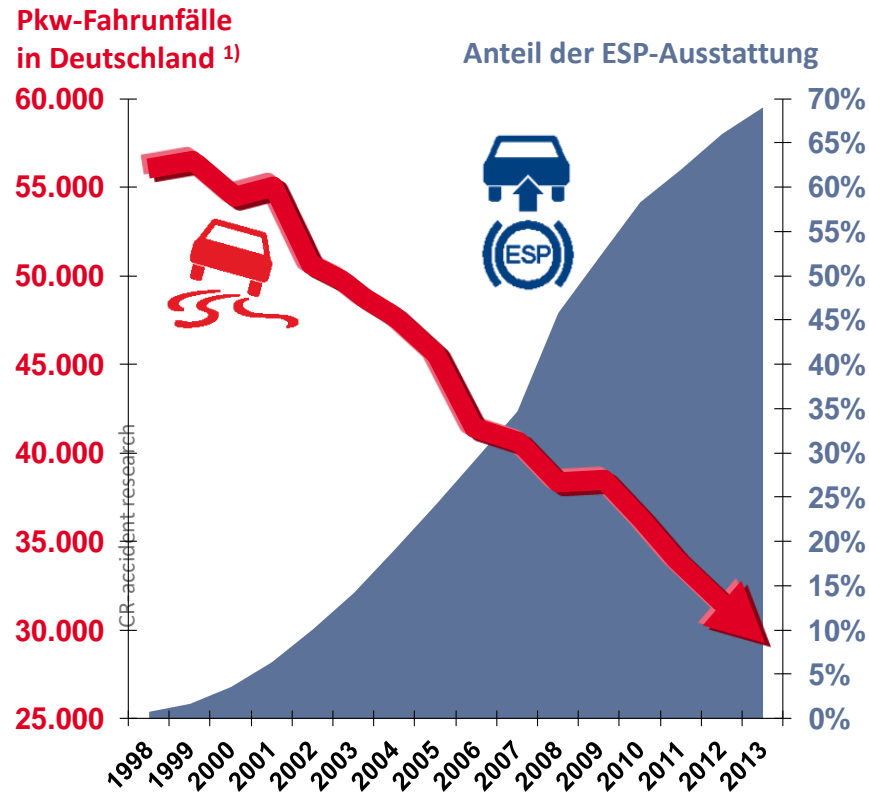
# Bremsbasierte Assistenzfunktionen

## 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



- **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 Unfallgeschehen<sup>2)</sup>
- **ESP® leistet einen großen Beitrag zur Reduzierung der PKW-Fahrerunfälle!**

Quellen: <sup>1)</sup> Statistisches Bundesamt Deutschland: Sonderstudie (Unfälle mit Personenschaden)

<sup>2)</sup> Daten von CC/MKC, DAT-Bericht

# Bremsbasierte Assistenzfunktionen

## Fahrdynamik: Warum ESP®?

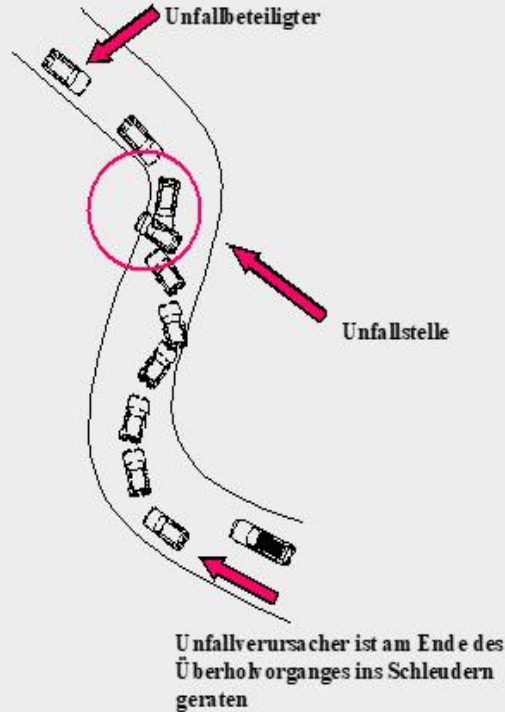
## Typischer Unfallablauf: Seitenkollision



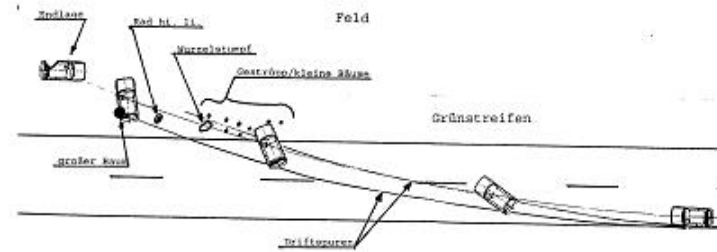
**Unfallbeteiligter: geringe Verletzungen**



### Unfallverursacher: tödliche Verletzungen



## Unfall mit Verlust der Fahrzeugkontrolle



### Ursachen

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

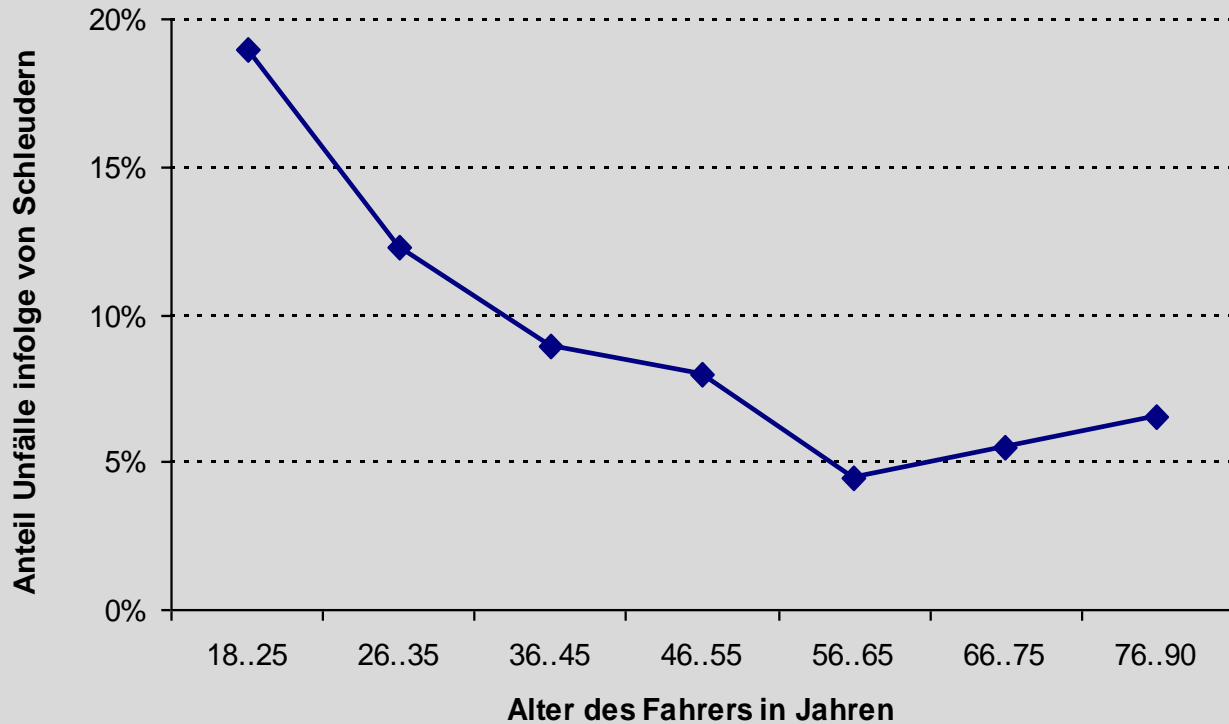
(Alleinunfall)

**Pkw/Pkw Unfall  
vehicle**



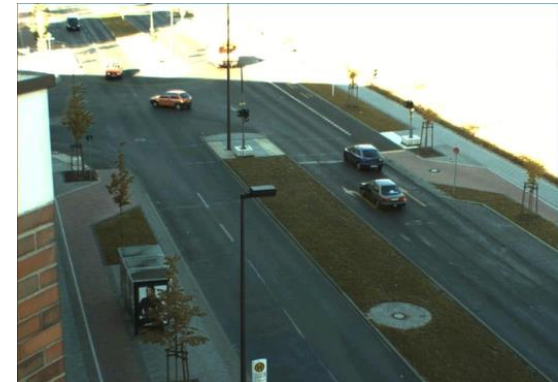
# Bremsbasierte Assistenzfunktionen

## 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.)



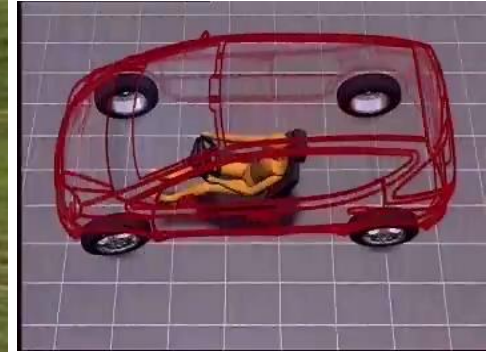
# Bremsbasierte Assistenzfunktionen

## 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®)

# Bremsbasierte Assistenzfunktionen

## ESP<sup>®</sup>-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**



# 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
- **RotierendesRadDynamometer**
- Korrelationsoptik von FIB
- Peissler-Rad
- Kreiselplattform

1985



# Bremsbasierte Assistenzfunktionen

## ESP®-Meilensteine

- |  |                    |
|--|--------------------|
| ➤ <b>Grundsatzentwicklung ABS</b>  | <b>1984 – 1987</b> |
| ABS in Serie seit 1978 -> Auftrag: Kostengünstigeres ABS                 |                    |
| ➤ <b>Erste Ansätze für Fahrzeugregelung</b>                              | <b>1985</b>        |
| (1- und 2-Kanal-ABS, Schlupfregler)                                      |                    |
| ➤ <b>Entwicklungsumgebung / Versuchsträger</b>                           | <b>1985</b>        |
| ➤ <b>Grundsatzuntersuchungen PKW-ABS/ASR</b>                             | <b>ab 1988</b>     |
| 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**

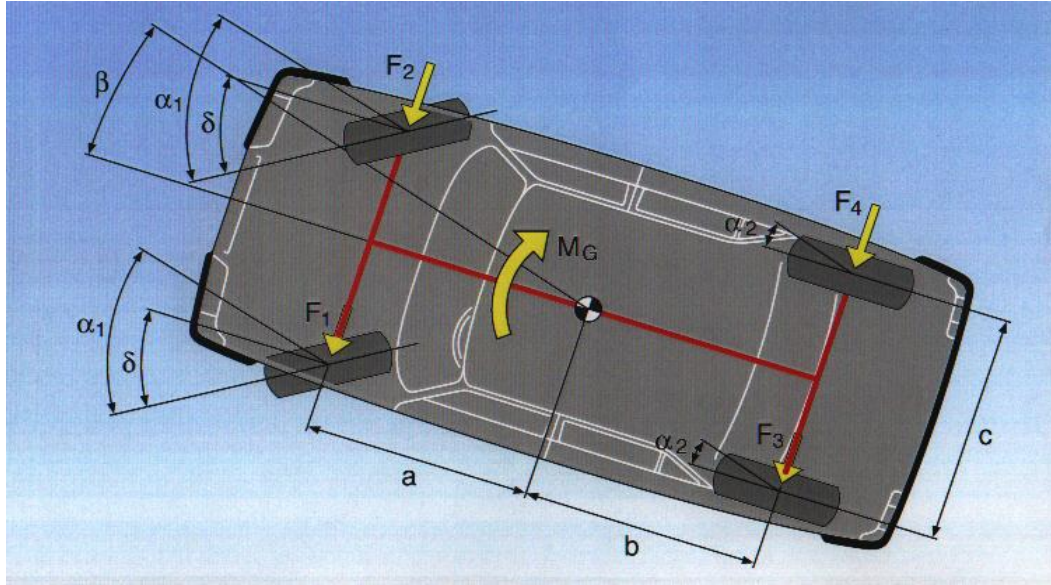
*Serieneinführung des ESP®*  
**1995**  
*im MB W140 und R129*





# Fahrdynamikregelsysteme

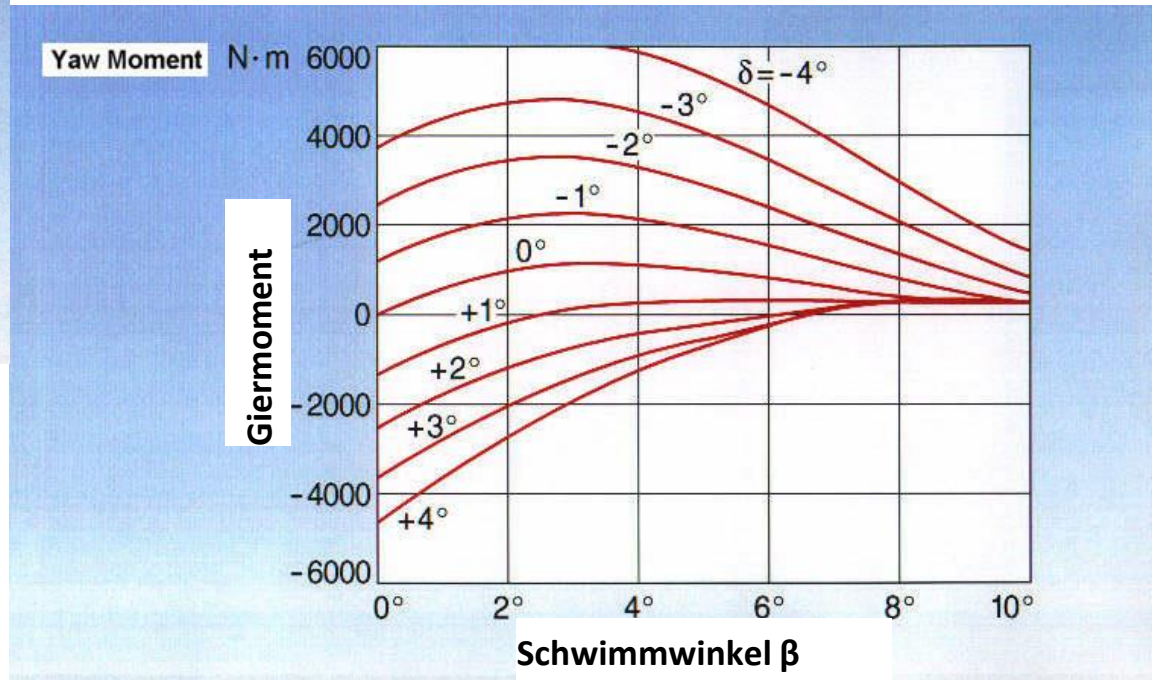
## Fahrdynamik: Die Beta Methode (Honda)



Untersuchung der Lenkfähigkeit als Funktion des Schwimmwinkels

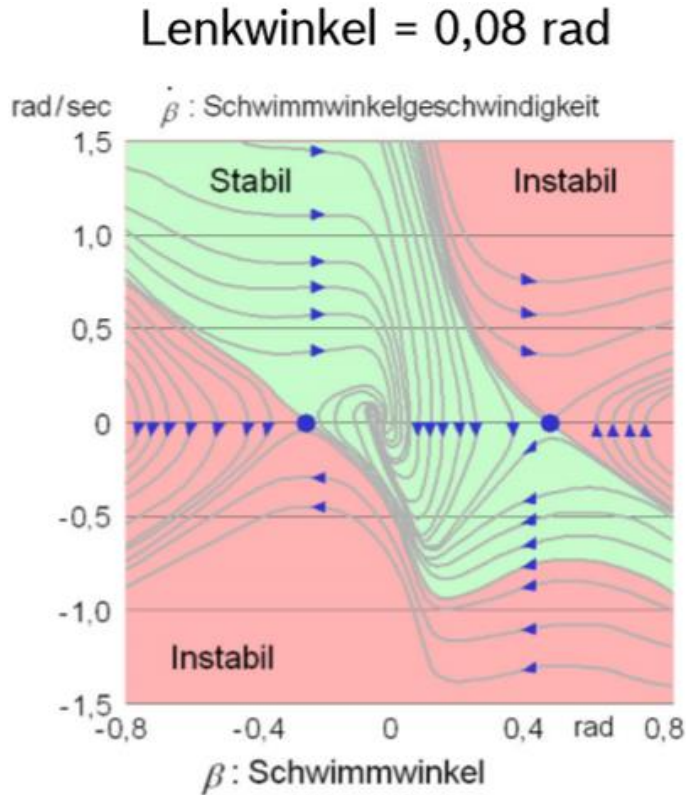
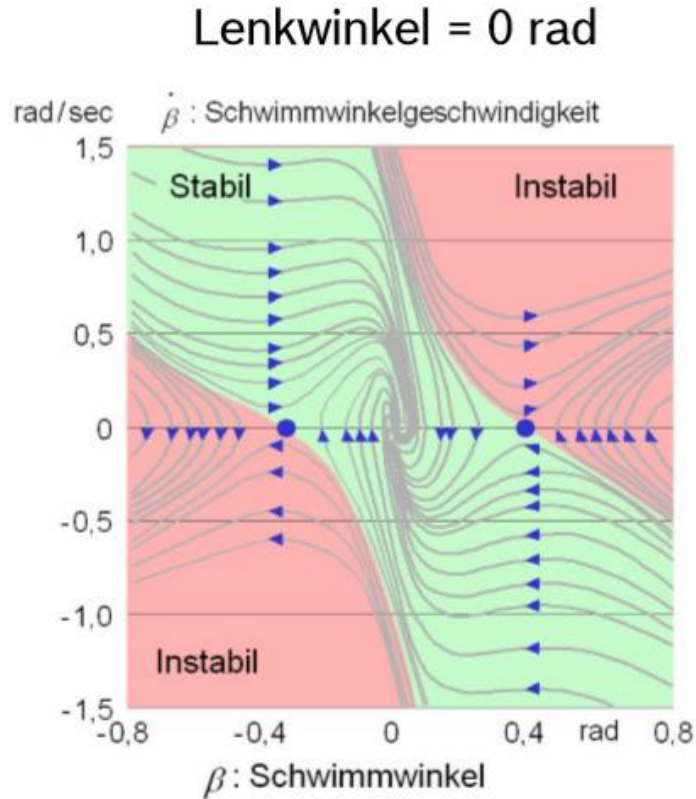
### Lenkfähigkeitskennfeld:

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

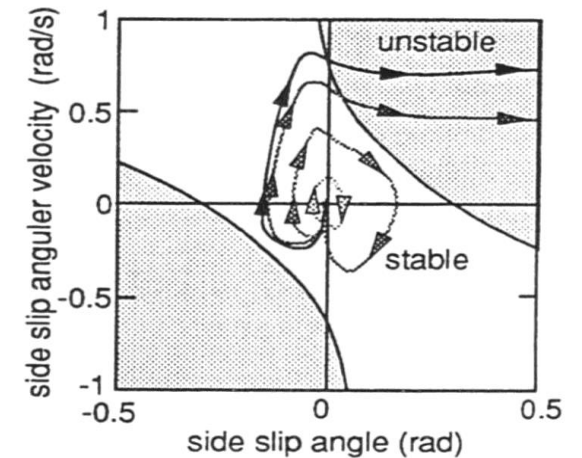


Fig.2 Response in Sine Steering Input

# Fahrdynamikregelsysteme

## ESP<sup>®</sup>-Anforderungen

- ESP<sup>®</sup> muss den Fahrer in allen Fahrsituationen unterstützen (Bremsen, Beschleunigen, Konstantfahrt, ...)
- ESP<sup>®</sup> muss den Lenkaufwand des Fahrers reduzieren
- Der Fahrer muss sich bzgl. des Fahrzeugverhaltens immer sicher fühlen
- Die Fahrervorgaben dürfen nicht zur Instabilität des ESP<sup>®</sup>-Systems führen
- In überhöhten Kurven öffentlicher Straßen (<20°) dürfen keine Eingriffe erfolgen
- ESP<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>-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:

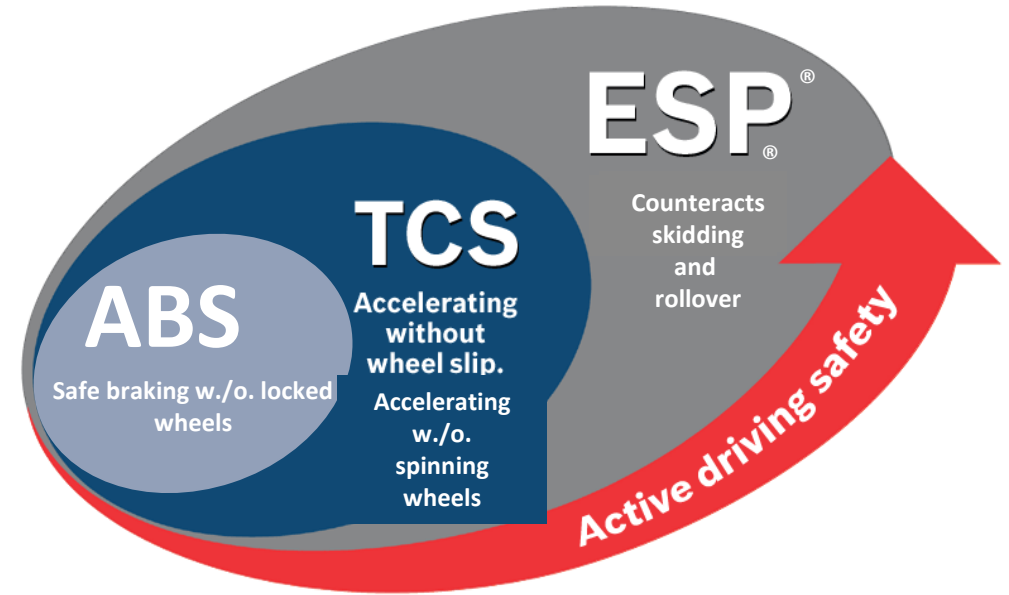
- ESC: Electronic Stability Control

### ➤ OEM-spezifisch:

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

### ➤ ESP®-System

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

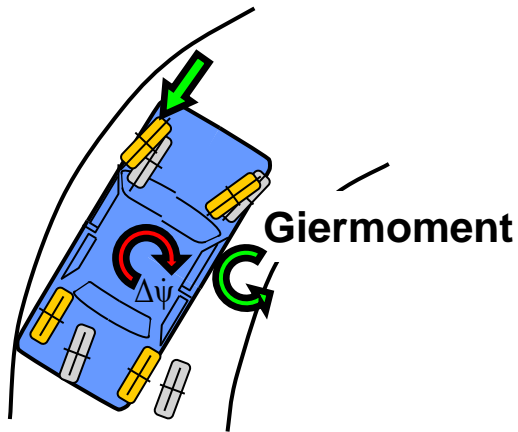


# Fahrdynamikregelsysteme

## Grundlagen Fahrdynamik: ESP<sup>®</sup>-Funktion

### ➤ Übersteuern:

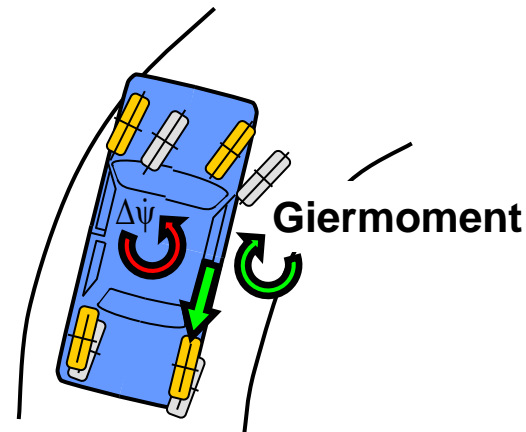
- Das Fahrzeug bricht aus, d.h. die Hinterachse des Fahrzeugs „rutscht“ nach kurvenaußen
- Die Giergeschwindigkeit ist zu groß



Stabilisierung durch Bremseneingriff  
am kurvenäußeren Vorderrad

### ➤ Untersteuern:

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

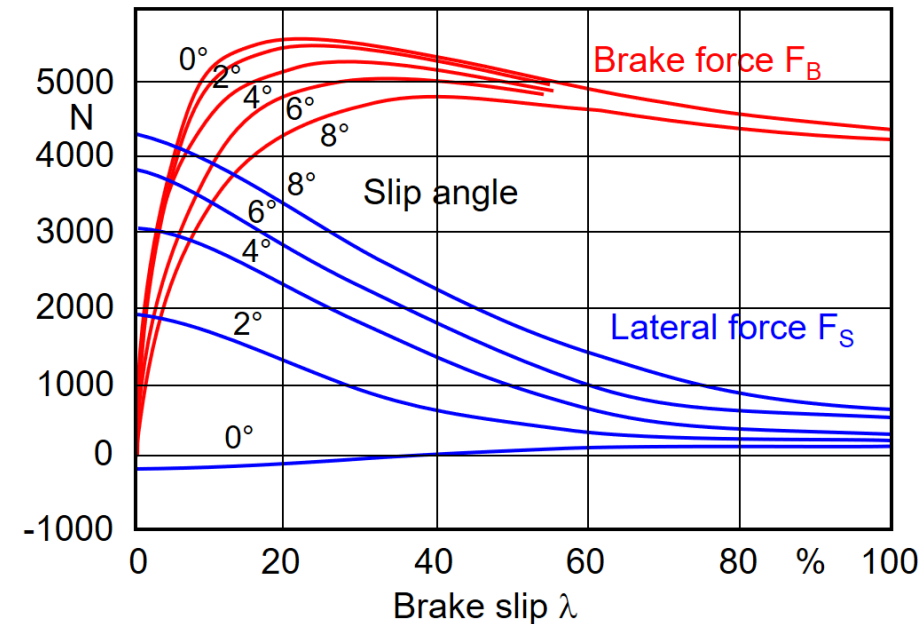


Stabilisierung durch Bremseneingriff  
am kurveninneren Hinterrad

# Fahrdynamikregelsysteme

## Grundlagen Fahrdynamik: ESP<sup>®</sup>-Funktion

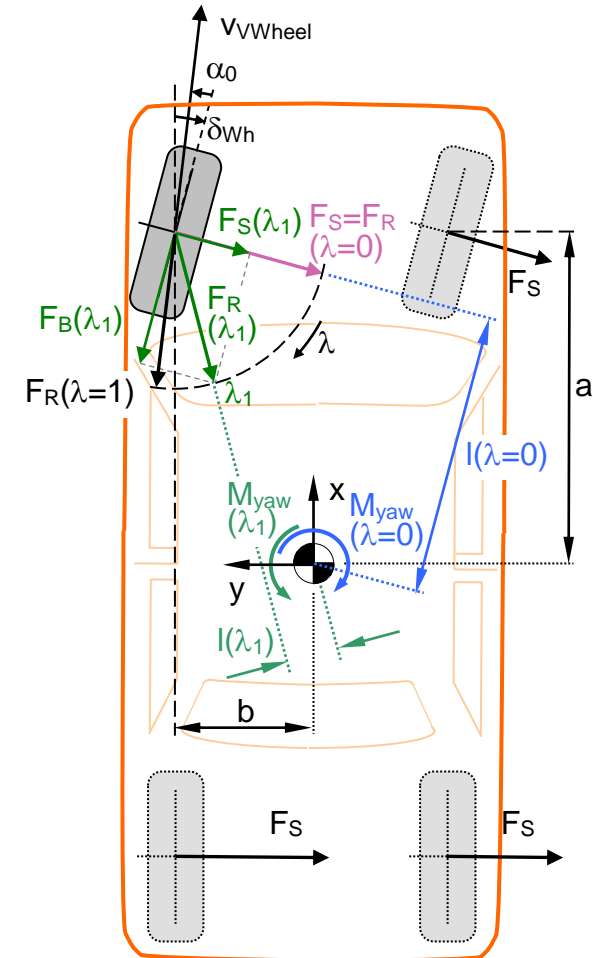
- ESP<sup>®</sup> wurde auf der Basis von ABS und ASR entwickelt, mit denen die Radbremsdrücke und das Motormoment individuell moduliert werden können.
- Das Konzept des ESP<sup>®</sup> baut auf die Eigenschaft des Reifens, den Seitenreibwert über den Schlupf  $\lambda$  verändern zu können
- Damit ist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



# Fahrdynamikregelsysteme

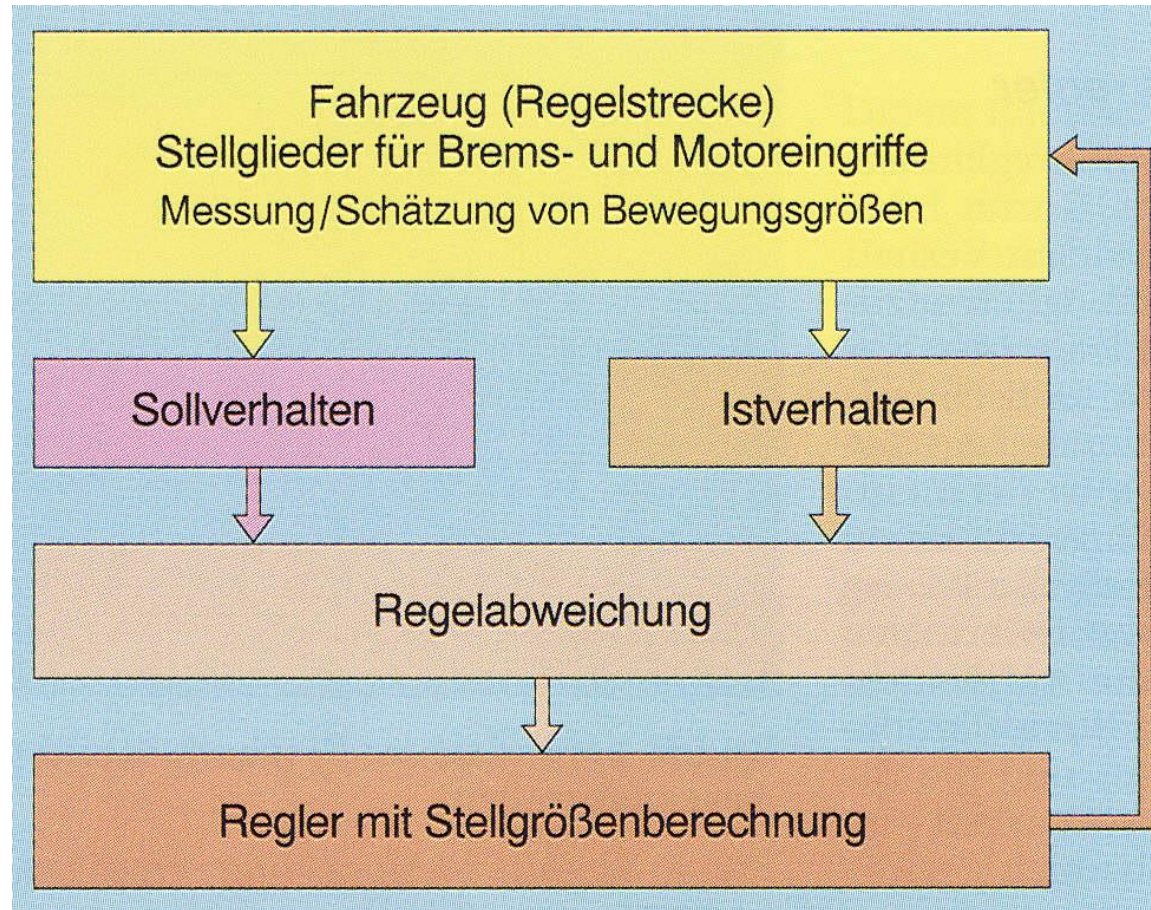
## ESP®-Regelkonzept: radindividuelle Schlupfeingriffe

- 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

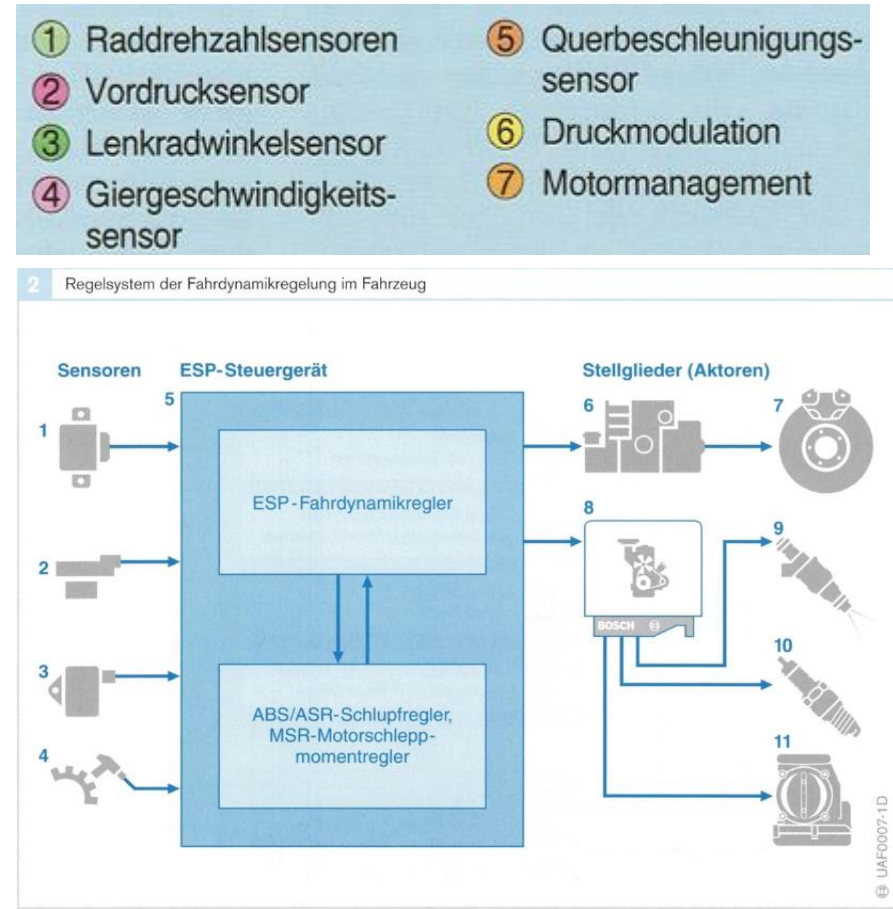
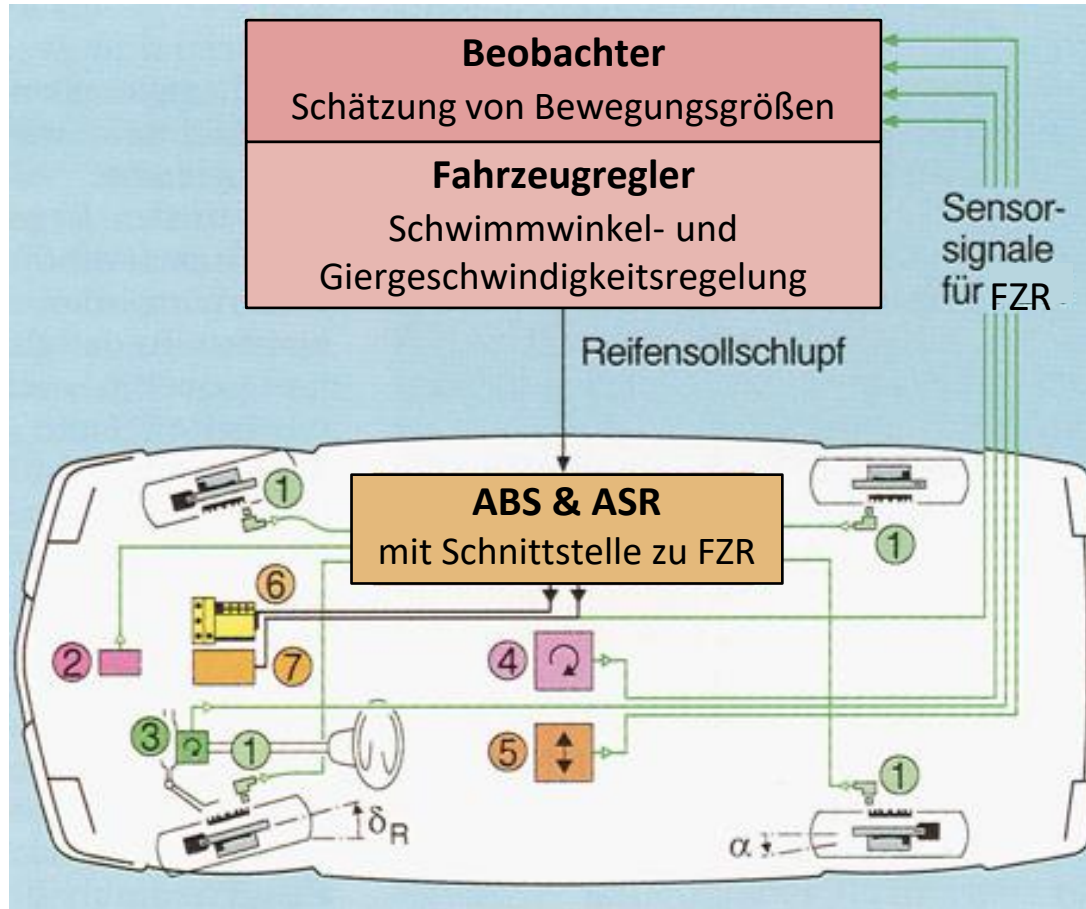
## ESP<sup>®</sup>-Regelkonzept: Prinzipielles Blockschaltbild





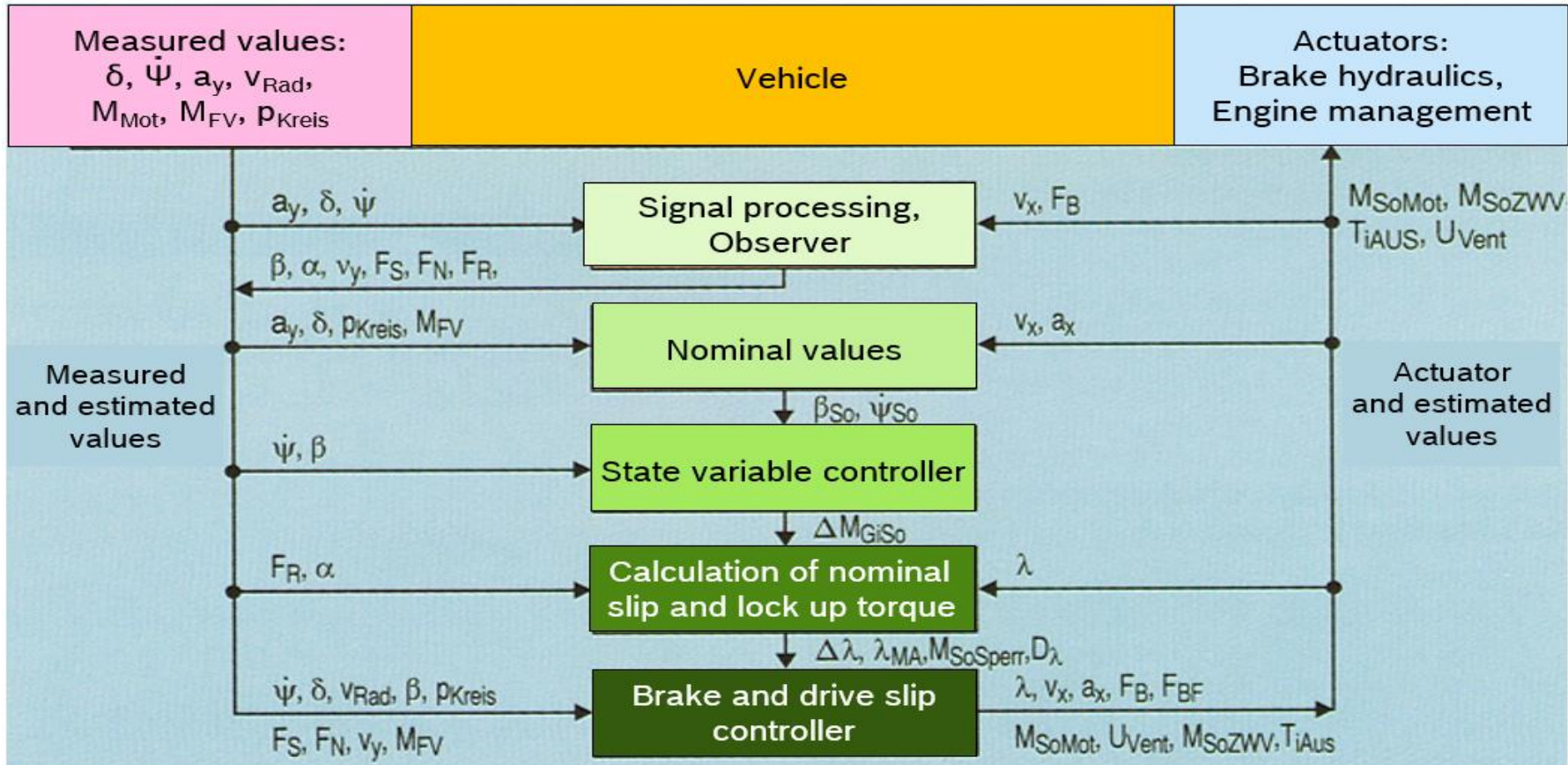
# Fahrdynamikregelsysteme

## ESP®-Regelkonzept: Hierarchischer Aufbau



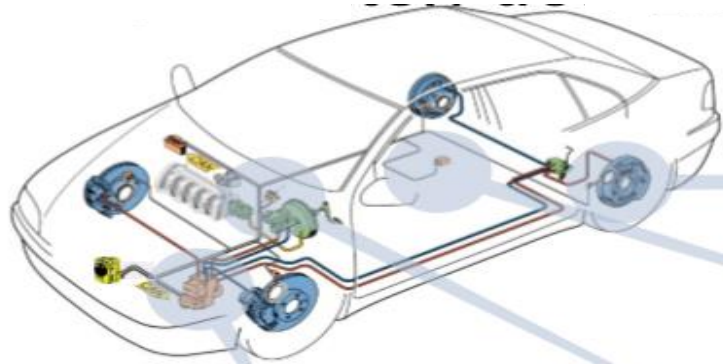
# Fahrdynamikregelsysteme

## ESP®-Regelkonzept: Blockschaltbild ESP-Regler



# Fahrdynamikregelsysteme

## ESP®-Komponenten Gen 9



**Hydraulikeinheit und  
Steuergerät ESP® 9 plus**



**Drehzahlsensor (DF11)**



**Sensor Cluster DRS MM5.8**



**Lenkwinkelsensor**

