

BREMSBASIERTE ASSISTENZFUNKTIONEN

-

FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME

(ABS, ASR, **ESP**[®])

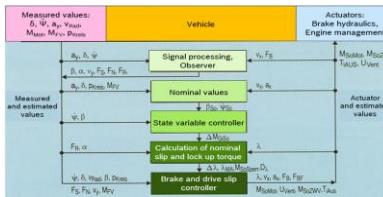
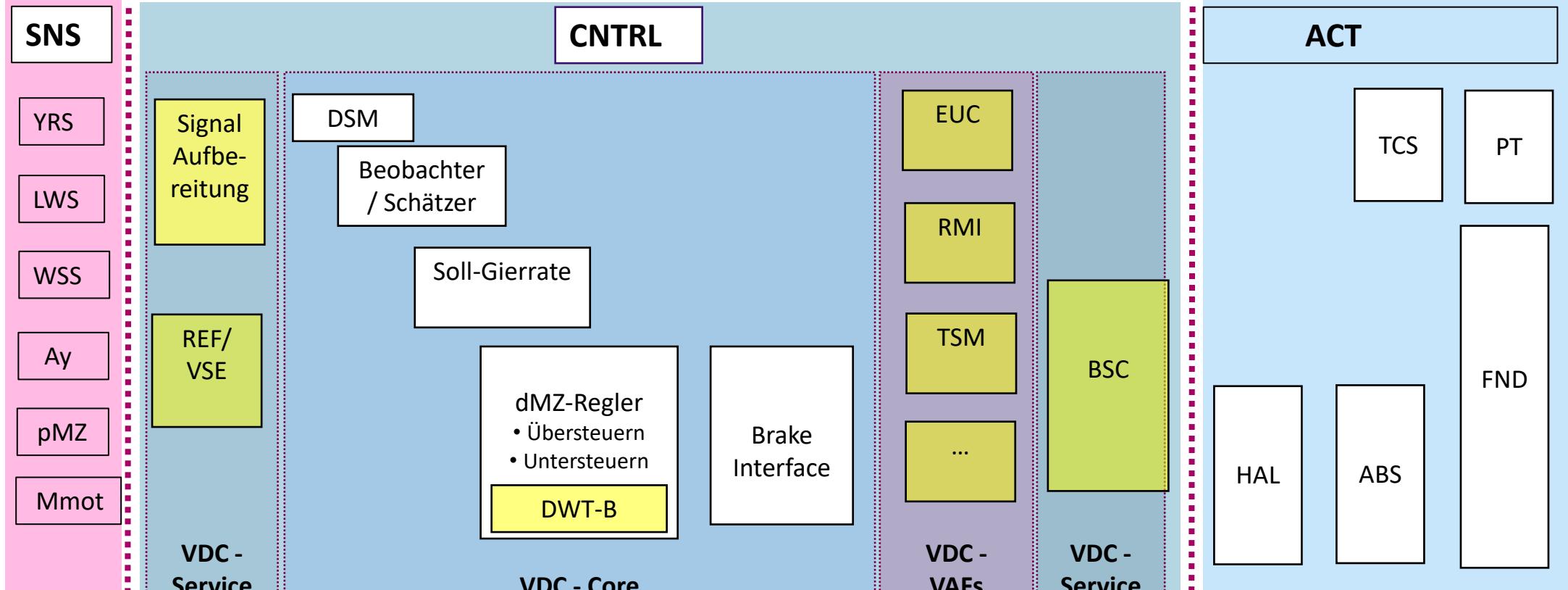


ROBERT BOSCH GMBH
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ



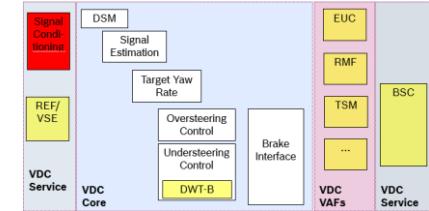
Fahrdynamikregelsysteme

ESP® Reglerstruktur



Fahrdynamikregelsysteme

Signalaufbereitung

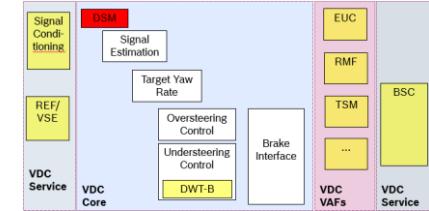


Signalaufbereitung

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

Fahrdynamikregelsysteme

Freischaltung

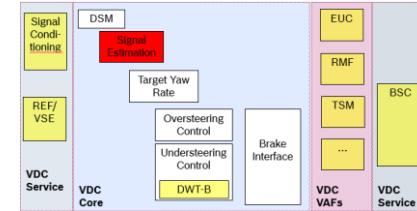


DSM – Dynamic State Management

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

Fahrdynamikregelsysteme

Fahrzustands-Beobachter: Schwimmwinkel

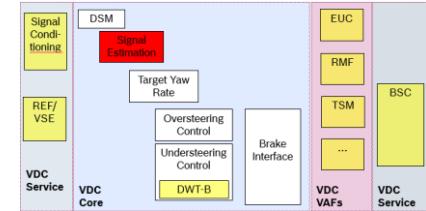


Beobachter

- **Modellgestützte Schätzung von**
 - Schräglauwinkel der Räder,
 - Schwimmwinkel,
 - Fahrzeugquergeschwindigkeit
- **sowie von**
 - Seiten-, Normal- und
 - resultierende Kräfte am Rad
 - Reibwert
- **unter Verwendung des Zweispurmodells**
- **auf Basis der Messgrößen:**
 - Giergeschwindigkeit
 - Lenkradwinkel,
 - Querbeschleunigung
- **und den Schätzgrößen:**
 - Fahrgeschwindigkeit,
 - Brems- u. Antriebskräfte
- **Sondersituationen:**
 - geneigte Fahrbahn,
 - μ -Split

Fahrdynamikregelsysteme

Fahrzustands-Beobachter: Schwimmwinkel



➤ Für kleine Verzögerungswert auf horizontaler, homogener Fahrbahn

- DGL für den Schwimmwinkel

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

- Für kleine Querbeschleunigungen u. Schwimmwinkel gilt:

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

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

- Schräglauwinkel an den Rädern:

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

➤ 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

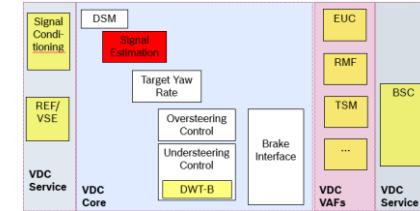
$$m_F \cdot (\dot{v}_y + v_x \cdot \dot{\psi}) = - (F_{S1} + F_{S2}) \cdot \cos \delta_R - (F_{B1} + F_{B2}) \cdot \sin \delta_R - F_{S3} - F_{S4}$$

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

- 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

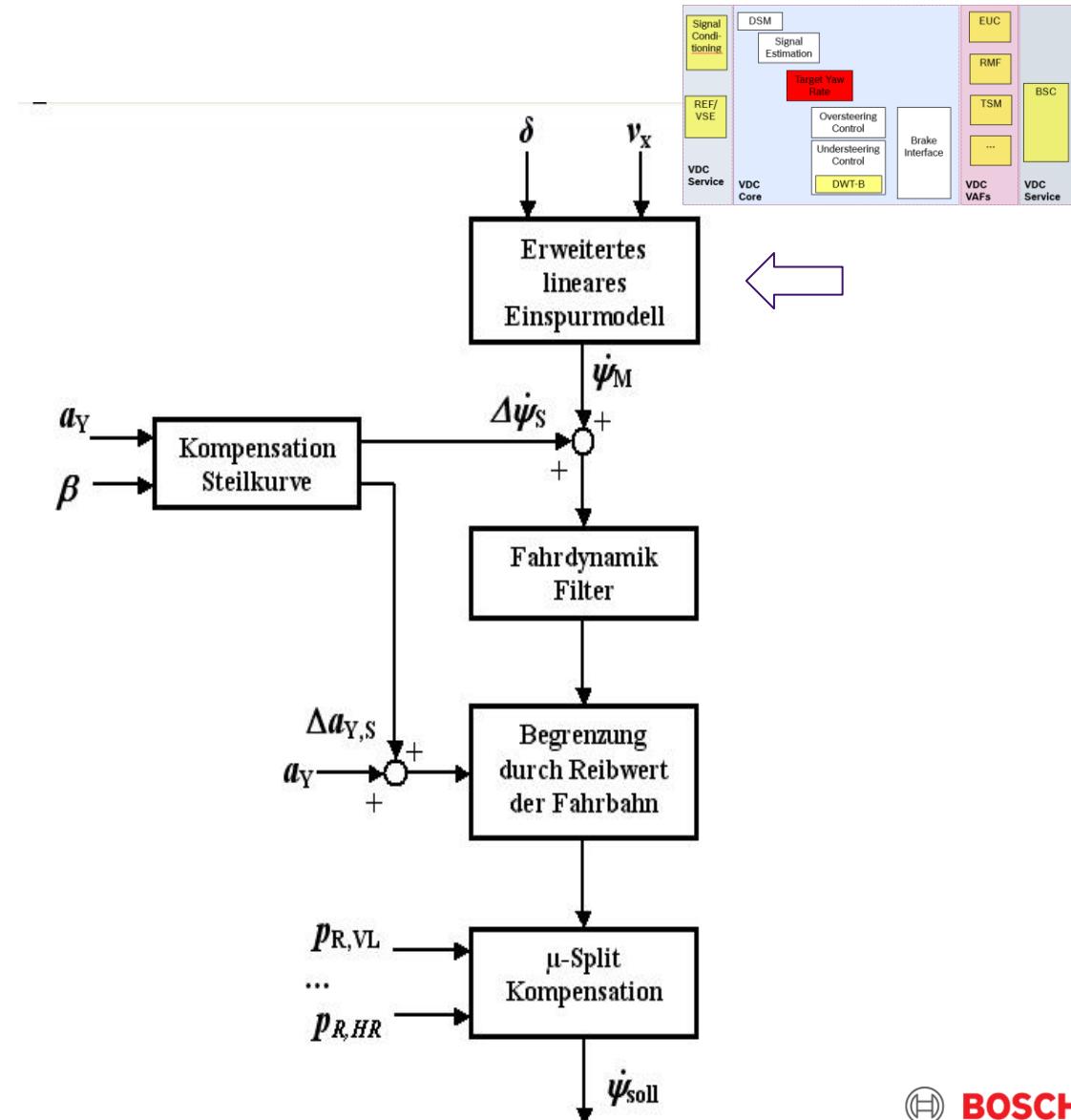
- Phasenverschiebung zwischen Lenkradwinkel u. Giergeschwindigkeit

➤ Begrenzung der Sollgiergeschwindigkeit

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

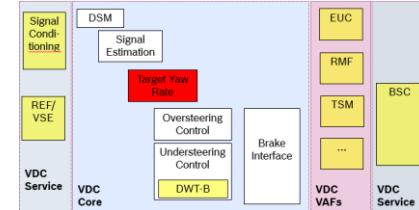
➤ Kompensationen

- Steilwandkurve (vGi , ay)
- μ -Split-Bremsungen ($vGiSo_lim$)



Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit



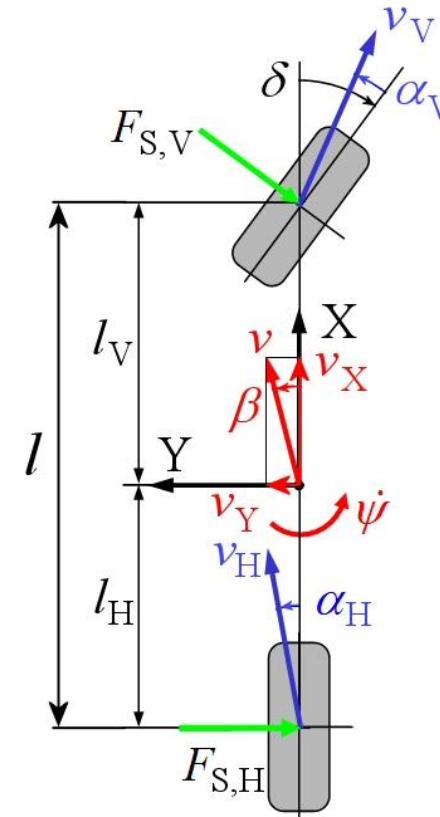
- ## ➤ Sollwert der Giergeschwindigkeit bestimmt auf Basis

- Linearem, erweitertem Einspurmodell
 - Reifenkräften proportional zum Schräglaufwinkel

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

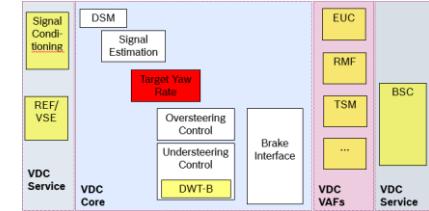
- Mit der charakteristischen Geschwindigkeit

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



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_{Cho}
 - V_{Chu} mit zu applizierendem Zuschlag
 - Übersteuerungsregelung

Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

➤ Sollgiergeschwindigkeit

- Ackermann-Beziehung

➤ Filterung der Sollgiergeschwindigkeit

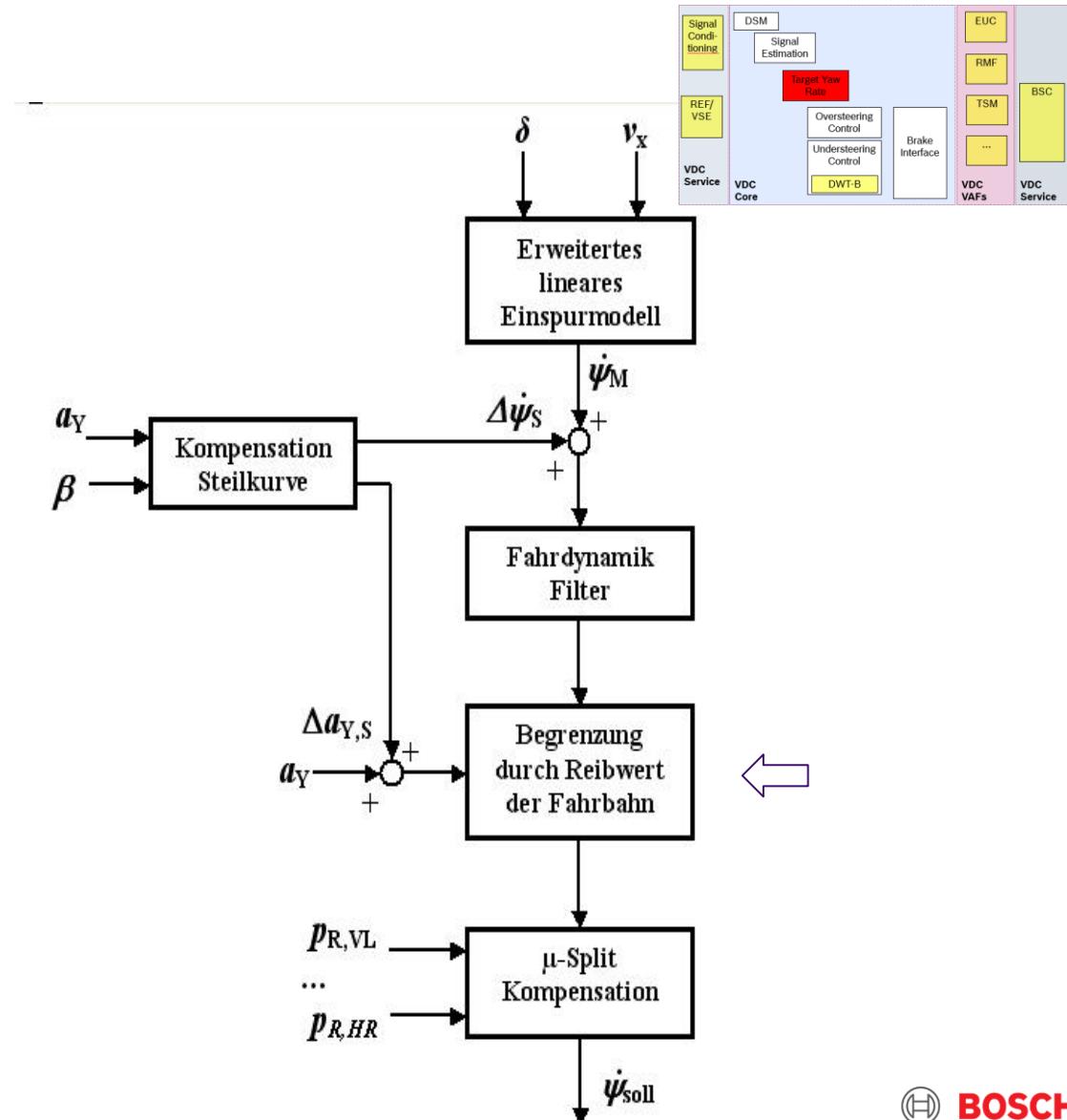
- Phasenverschiebung zwischen Lenkradwinkel u. Giergeschwindigkeit

➤ Begrenzung der Sollgiergeschwindigkeit

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

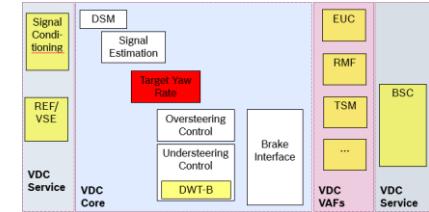
➤ Kompensationen

- Steilwandkurve (vGi , ay)
- μ -Split-Bremsungen ($vGiSo_lim$)

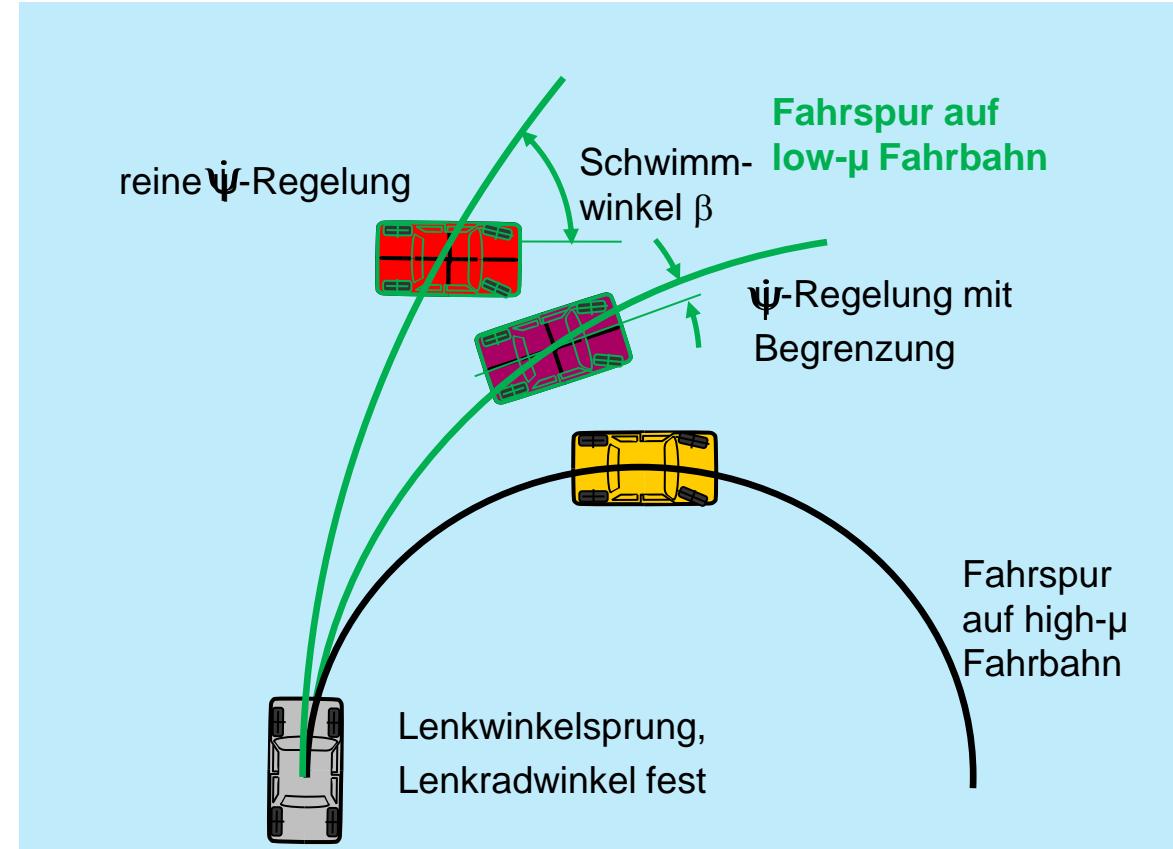


Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit

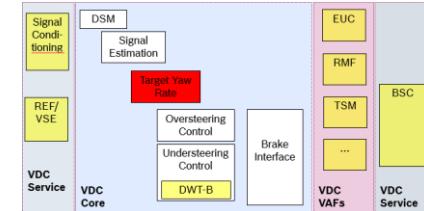


- Ackermann nur gültig im linearen Bereich
- Fahrbahnreibwert wird nicht berücksichtigt; d.h. auch keine großen Schwimmwinkel
- vGiSo kann größer sein als für ein physikalisch mögliches stabiles Fahren -> große Schwimmwinkel
- Der Sollgierrate ist auf Werte zu begrenzen für die der Schwimmwinkel nicht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



Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit



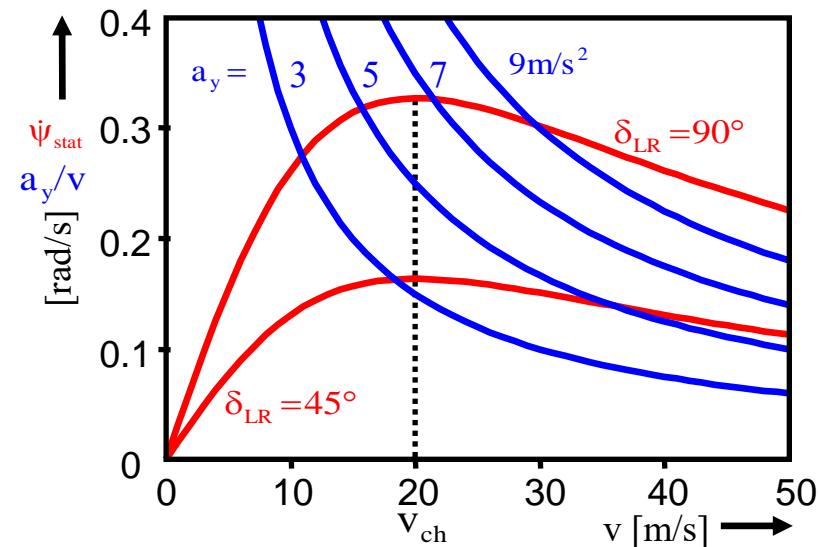
- Neben der Ackermann-basierten Sollgiergeschwindigkeit ist eine kraftbegrenzte Sollgierrate zur Berücksichtigung der Fahrbahnreibverhältnisse erforderlich um den Schwimmwinkelanstieg zu begrenzen
- Für die Schwimmwinkelgeschwindigkeit für große Giergeschwindigkeiten gilt:

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

- 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

➤ Sollgiergeschwindigkeit

- Ackermann-Beziehung

➤ Filterung der Sollgiergeschwindigkeit

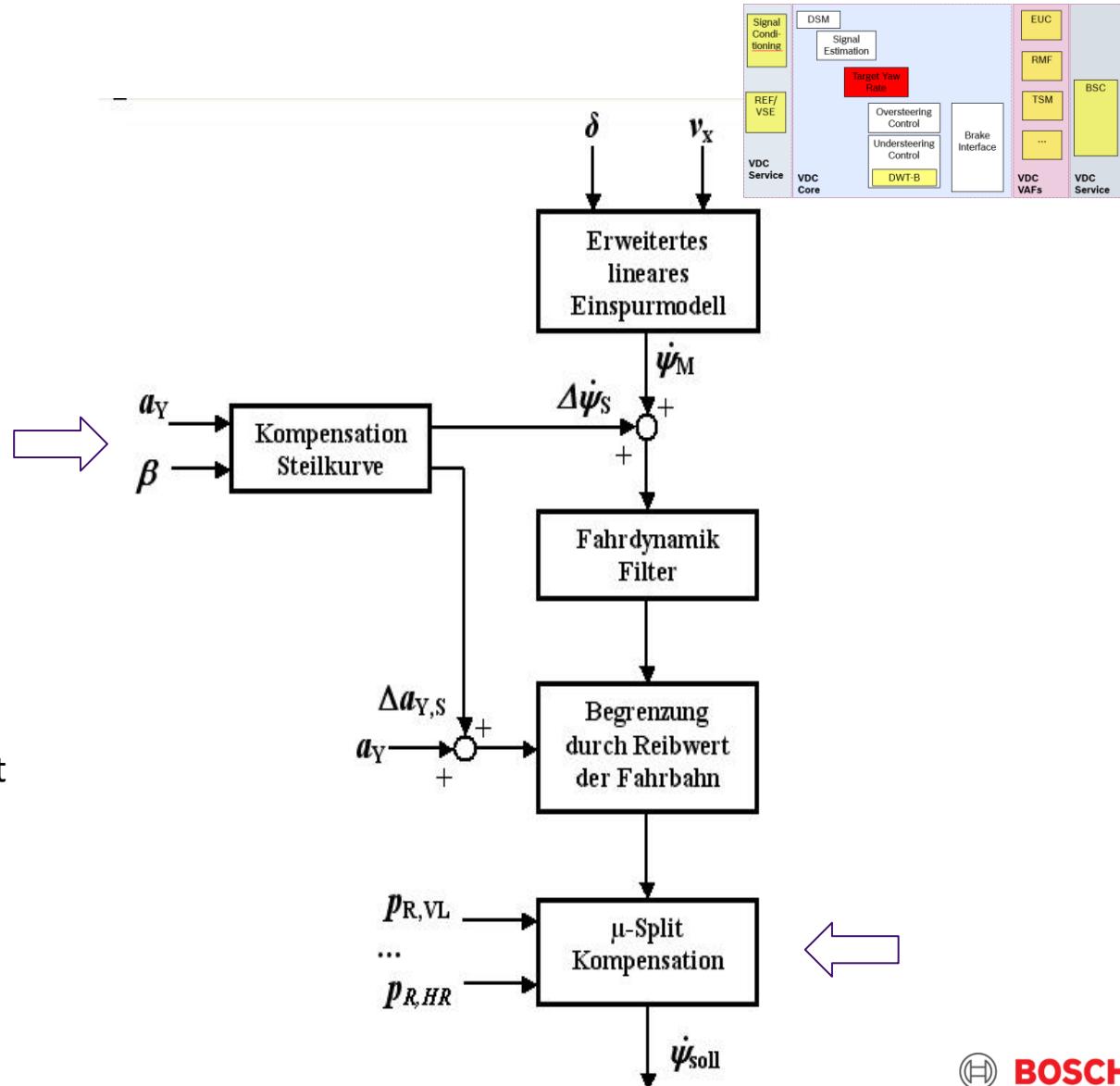
- Phasenverschiebung zwischen Lenkradwinkel u. Giergeschwindigkeit

➤ Begrenzung der Sollgiergeschwindigkeit

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

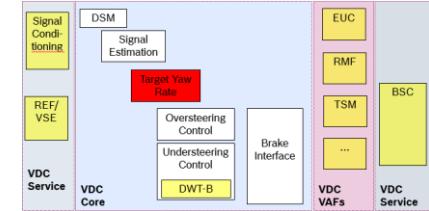
➤ Kompensationen

- Steilwandkurve (vGi , ay)
- μ -Split-Bremsungen ($vGiSo_lim$)



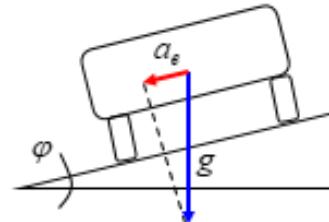
Fahrdynamikregelsysteme

Sollwert: Giergeschwindigkeit



➤ Kompensationen der Sollgiergeschwindigkeit sind erforderlich für

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



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

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

Fahrdynamikregelsysteme

Giergeschwindigkeitsregelung

Ziel der Regelung:

➤ Anforderung

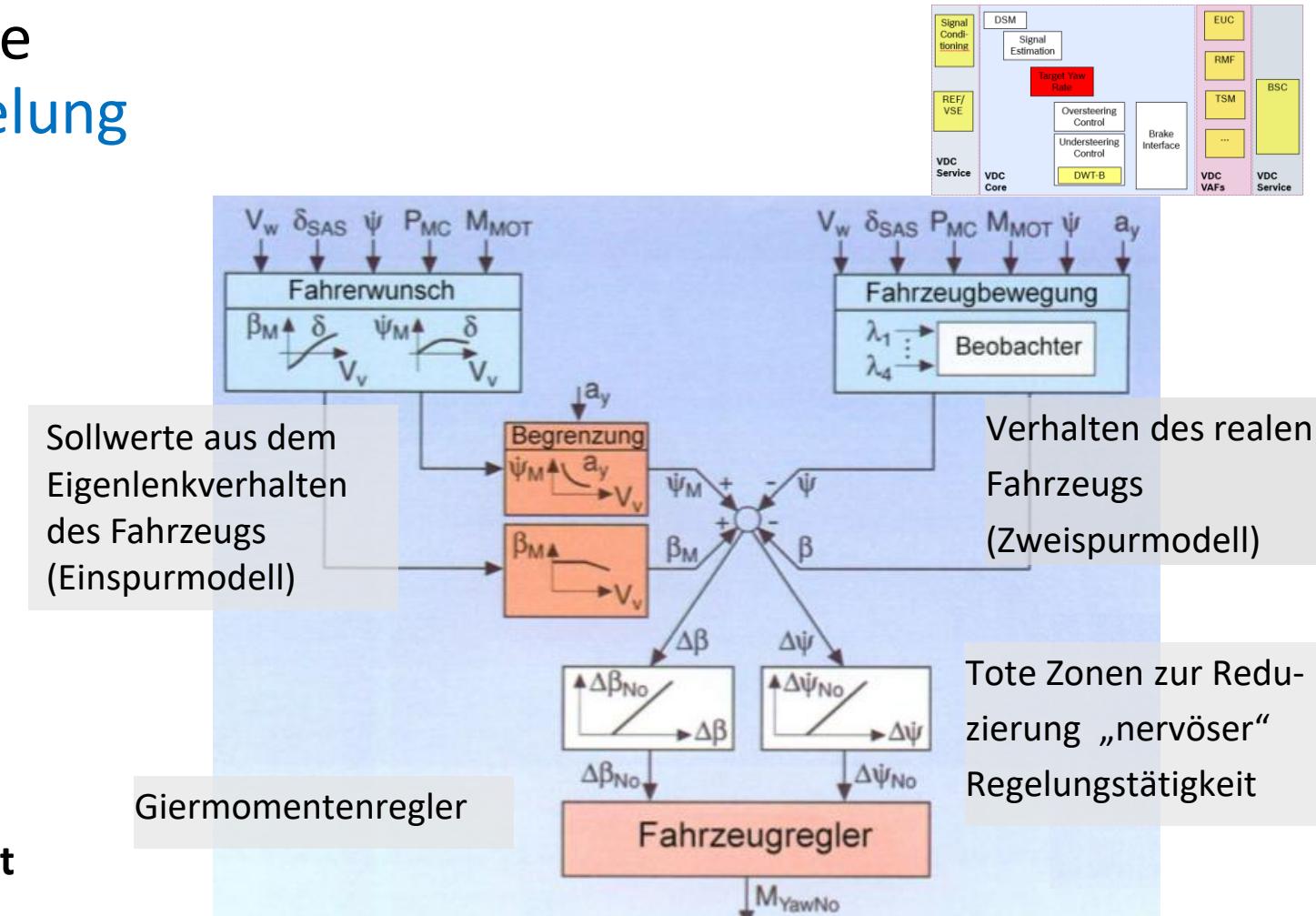
- Fzg soll dem Fahrerwunsch folgen – ausgehend vom Lenkradwinkel
- Fzg soll nicht übersteuern, d.h. der Schwimmwinkel muss begrenzt sein

➤ Messbare Größen

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

➤ D.h. Giergeschwindigkeitsreglung mit Schwimmwinkelbegrenzung

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



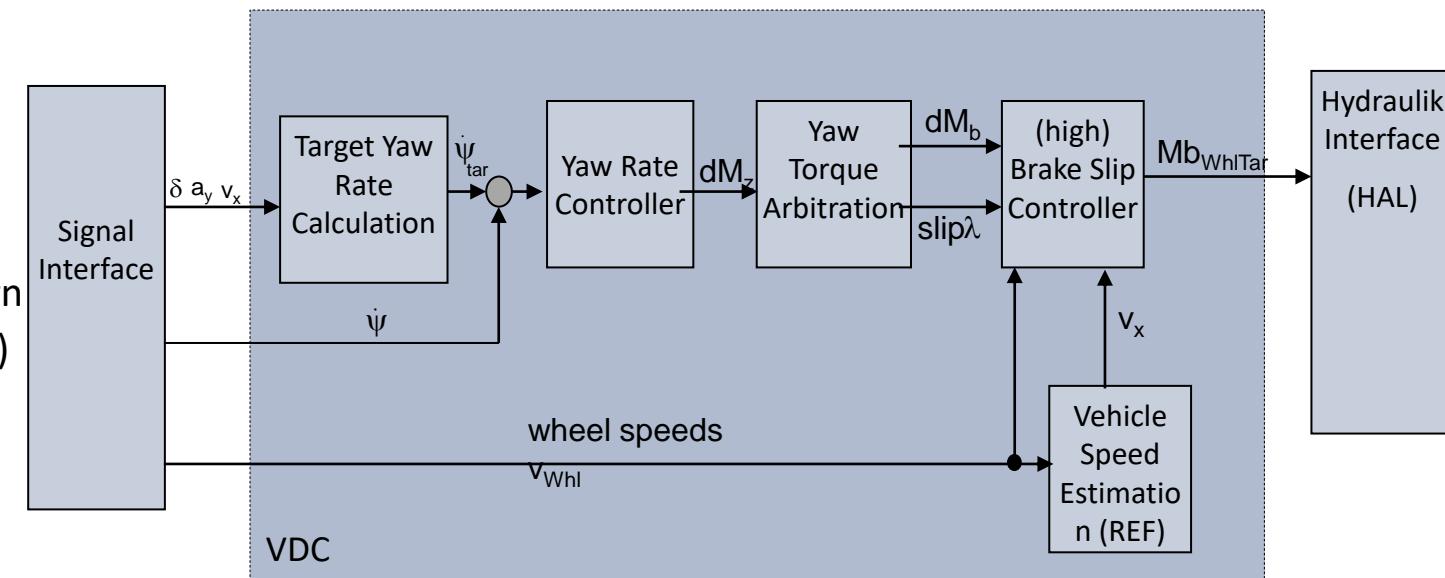
Fahrdynamikregelsysteme

dMZ-Regler

Regelstrategie

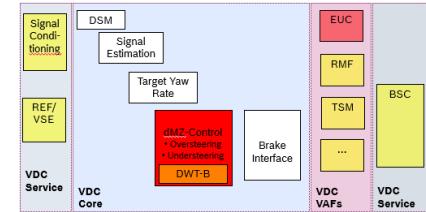
➤ Die Drehratenregelung erfüllt das Ziel eines stabileren als auch lenkfähigeren Fahrzeugs

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



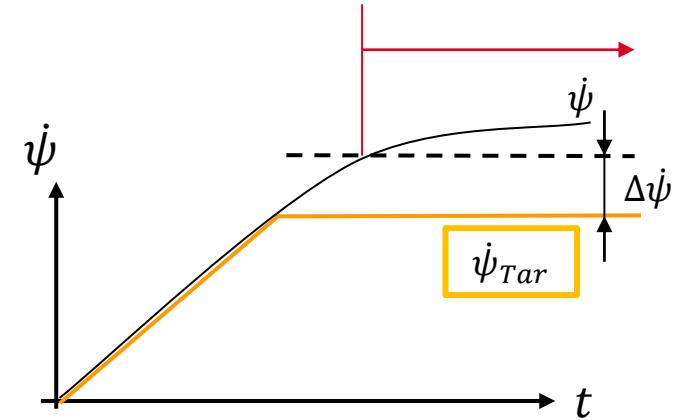
Fahrdynamikregelsysteme

dMZ-Regler



➤ Reglerfreigabe

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

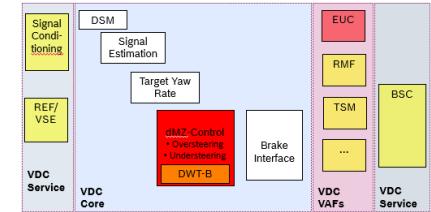
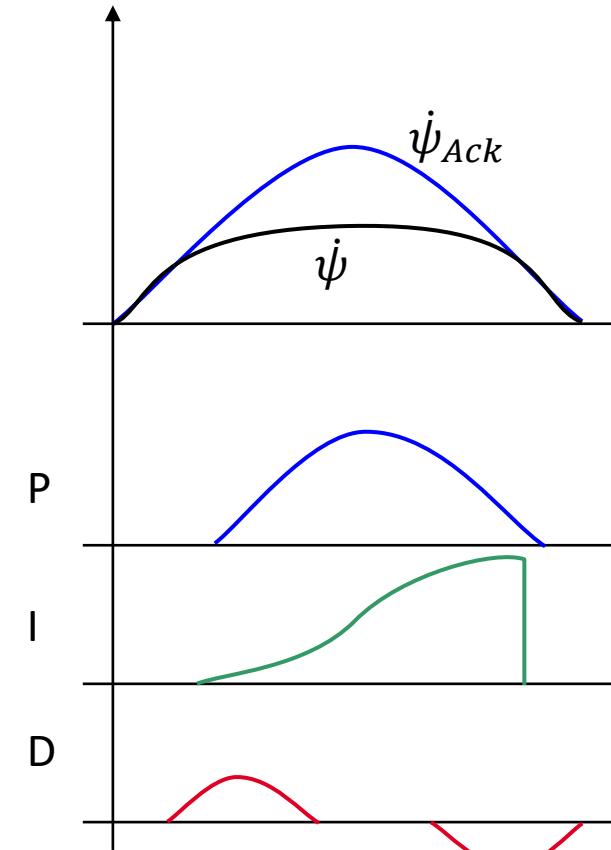
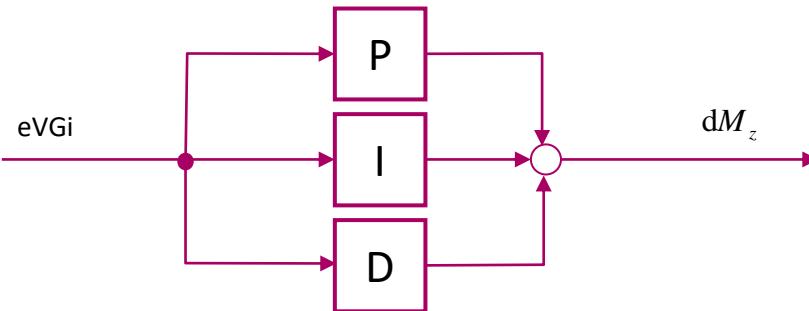


Fahrdynamikregelsysteme

dMZ-Regler

➤ PID-Regelung

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

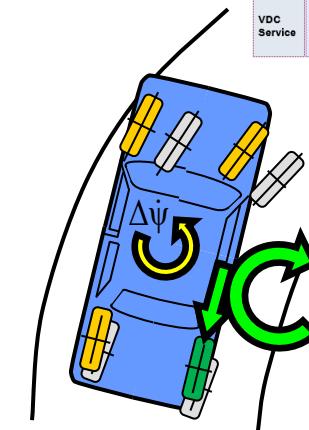
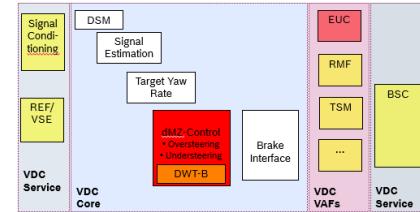


Fahrdynamikregelsysteme

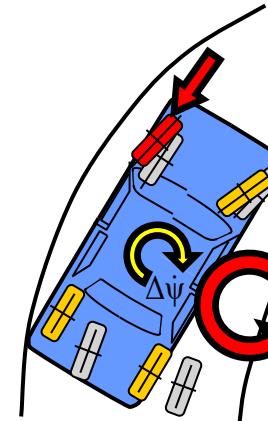
dMZ-Regler

➤ dMZ-Eingriffe

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



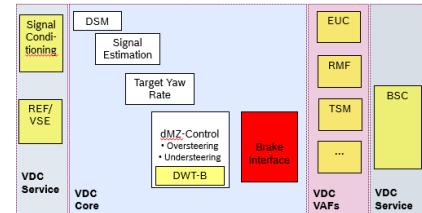
**Giermoment dMZ
Untersteuern**



**Giermoment dMZ
Übersteuern**

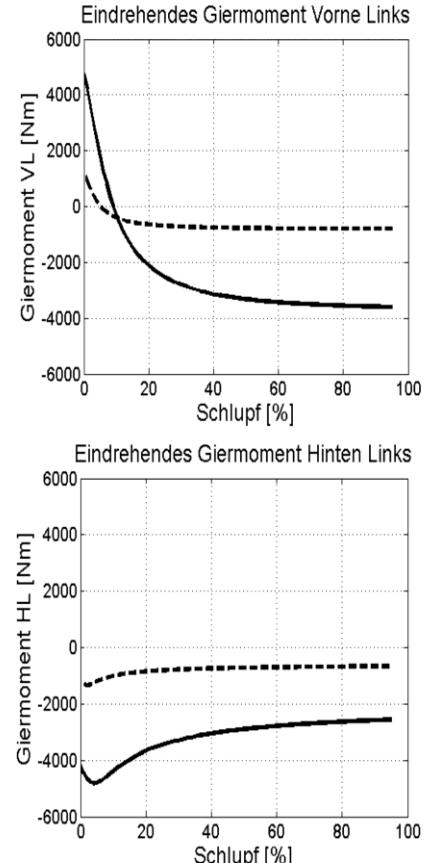
Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

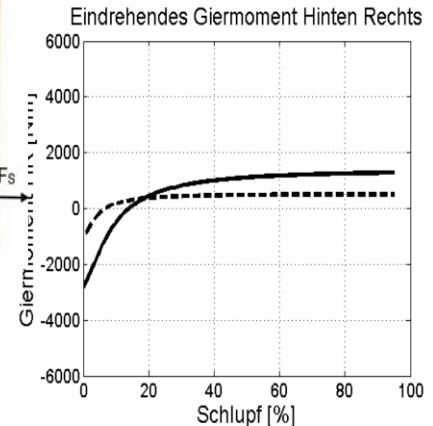
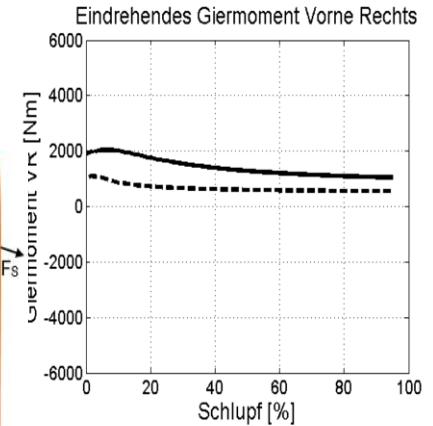
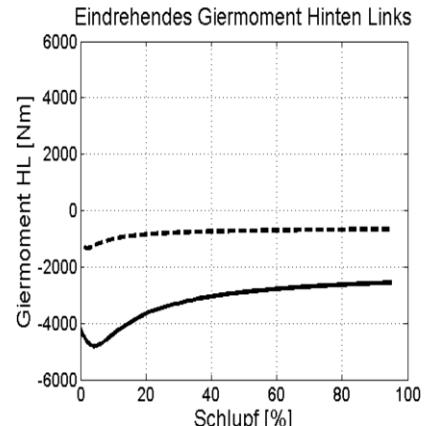
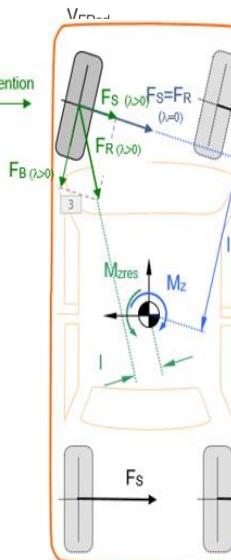


➤ MZ Arbitrierung

- 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)

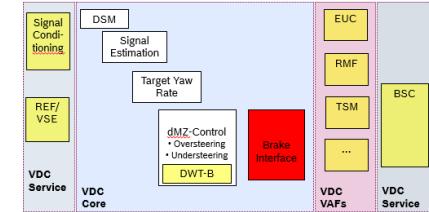


Eindrehendes Giermoment Vorne Links
— Asphaltfahrbahn
- - - Schneefahrbahn



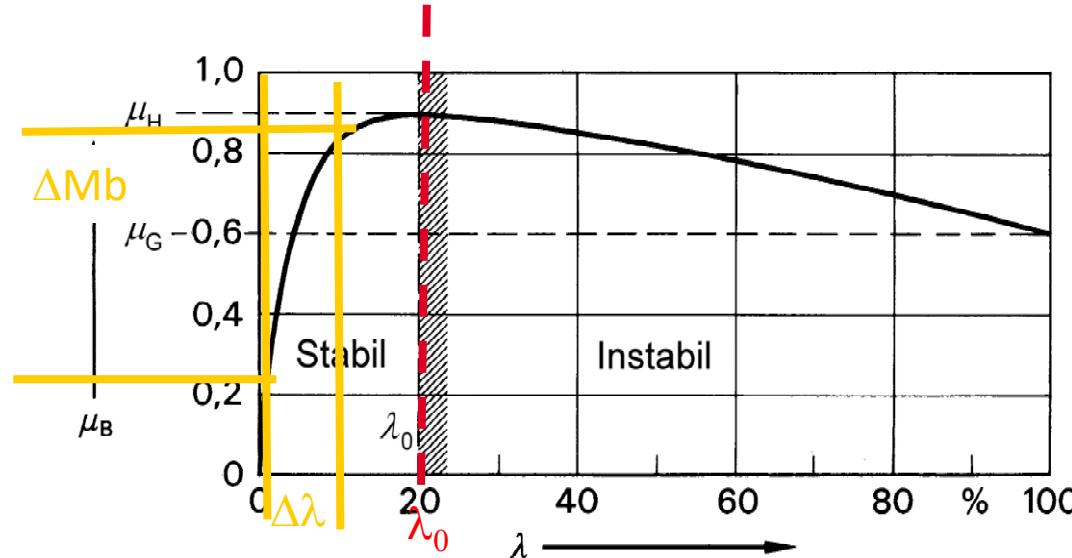
Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface



➤ Arbitrierung von:

- Bremsmoment
- Bremsschlupf



Bremsmomentenanforderung:

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

Schlupfanforderung:

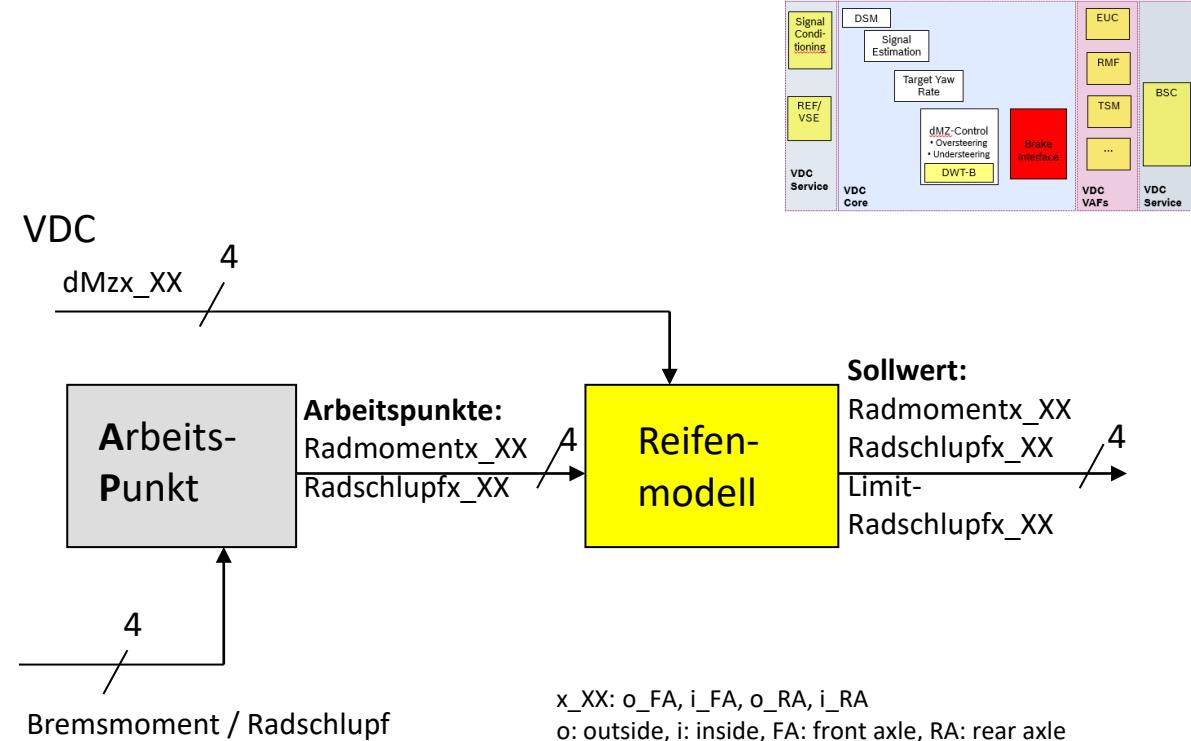
- Im instabilen Bereich der μ -Schlupf-Kurve
- Im Übersteuerfall
- Nur an kurvenäußereren Vorderrädern
- Umgesetzt durch Brake Slip Control BSC

Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Wheel Mapping - Reifenmodell

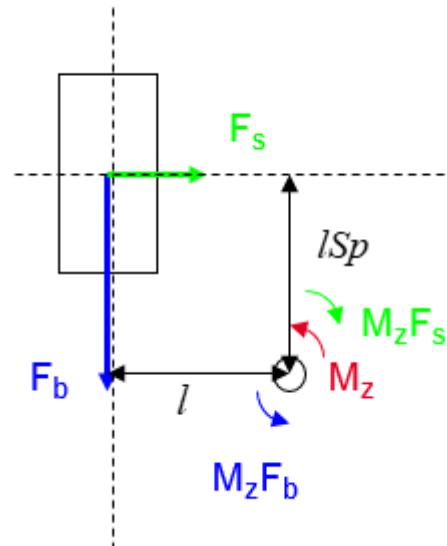
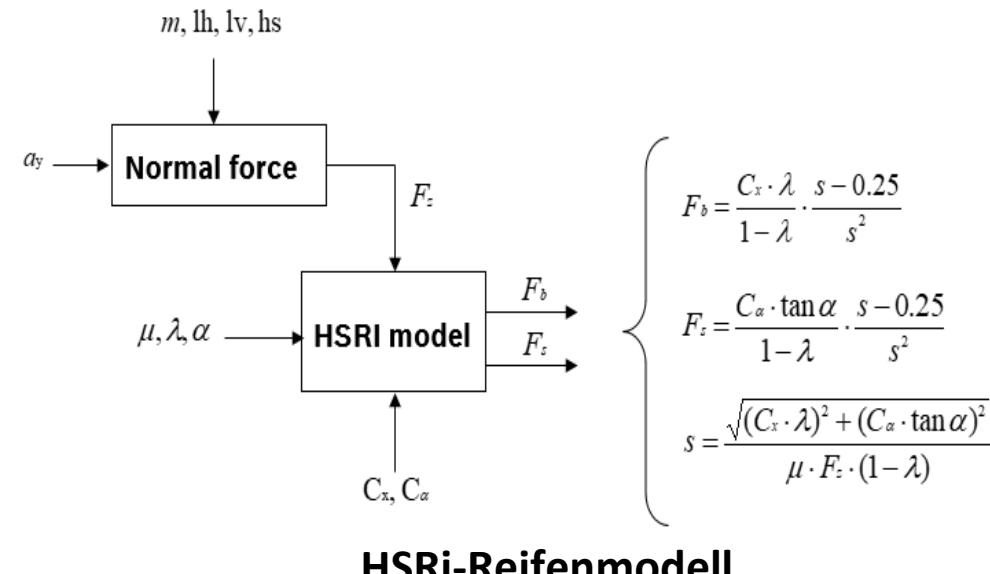
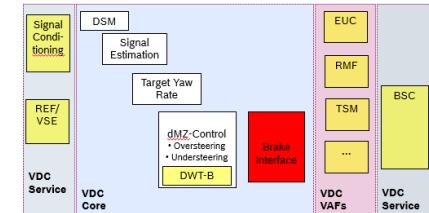
- Berechnet den Arbeitspunkt radindividuell
- Übersetzt für jedes Rad dM_{zx_XX} in
 - Momentenanforderung
 - Schlupflimit
 - Schlupfanforderung
- Legt die Eingriffsstrategie fahrzustandsbedingt fest
 - Schlupf- / Momentenerhöhung
 - Momentenreduktion im ABS-Fall



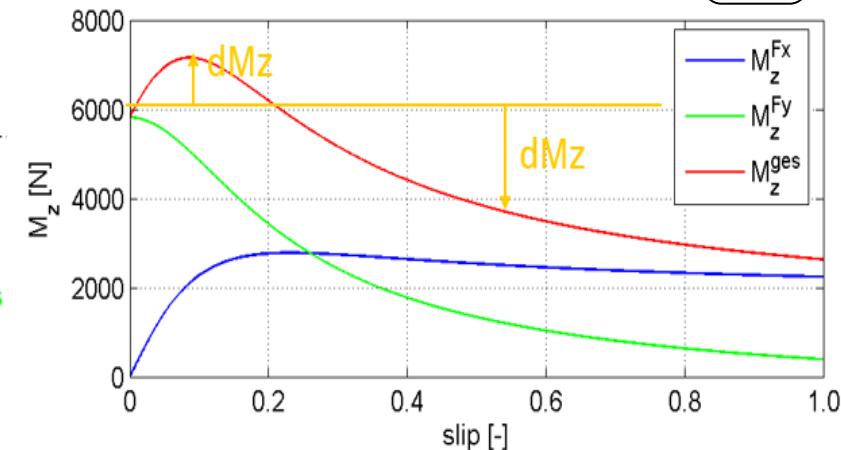
Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Reifenmodell



$$dM_z = M_z F_b + M_z F_s$$



dMZ am kurveninneren Vorderrad

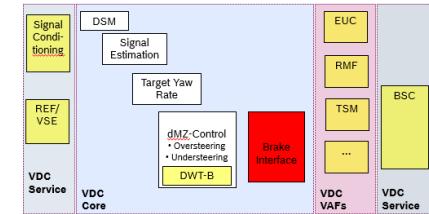
Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Mz Arbitrierung - Übersicht

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

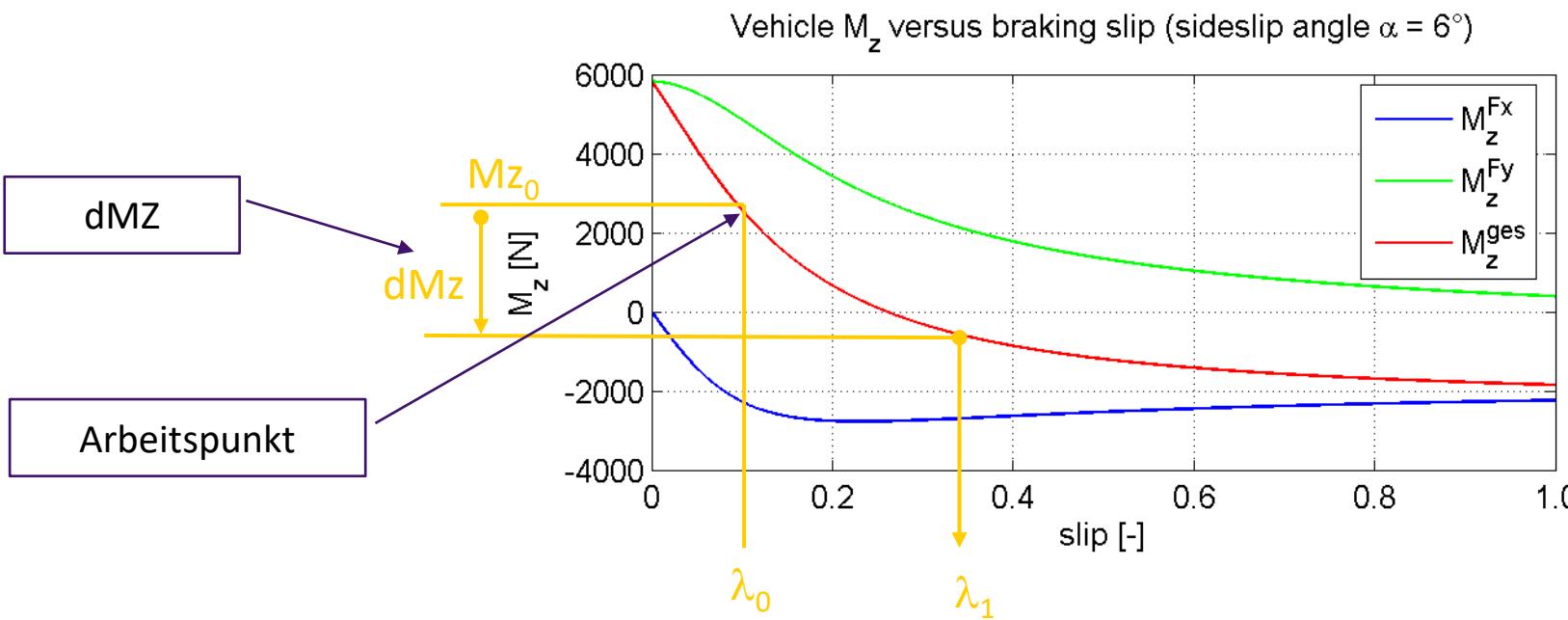
- für kleinen Bremsschlupf (bspw. im Freirollfall) kann das äußere Hinterrad und das innere Vorderrad für Stabilisierungs- als auch Untersteuereingriffe genutzt
- hingegen kann zuviel Bremsschlupf zu einem kontroproduktiven Einfluß auf das Giermoment führen.

Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Bestimmung des Bremsschlups

- Übersetzung von dM_z auf zugehörigen Bremsschlupf λ_1 - gebremst

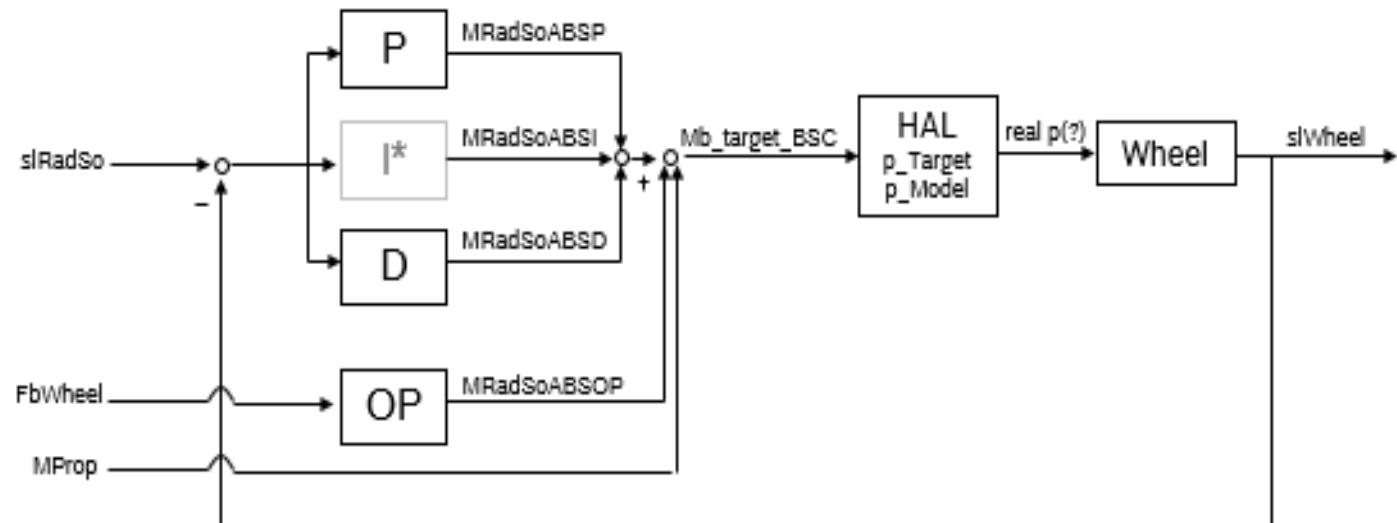
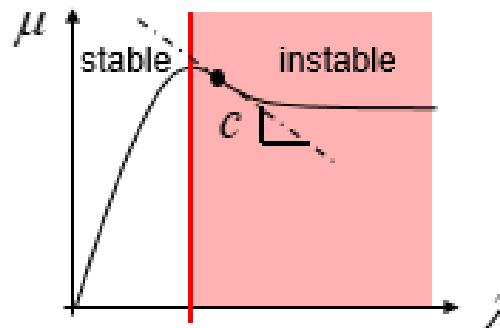


Fahrdynamikregelsysteme

Bremseninterface

➤ Brake Slip Controller – BSC

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

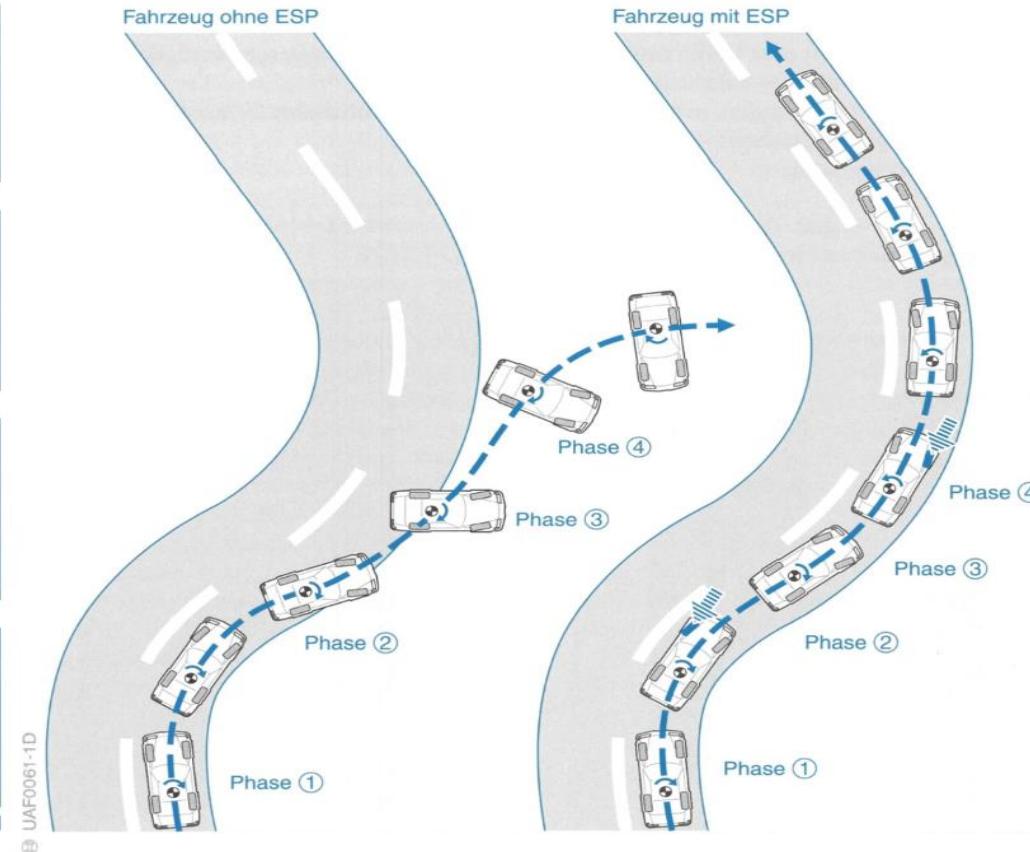
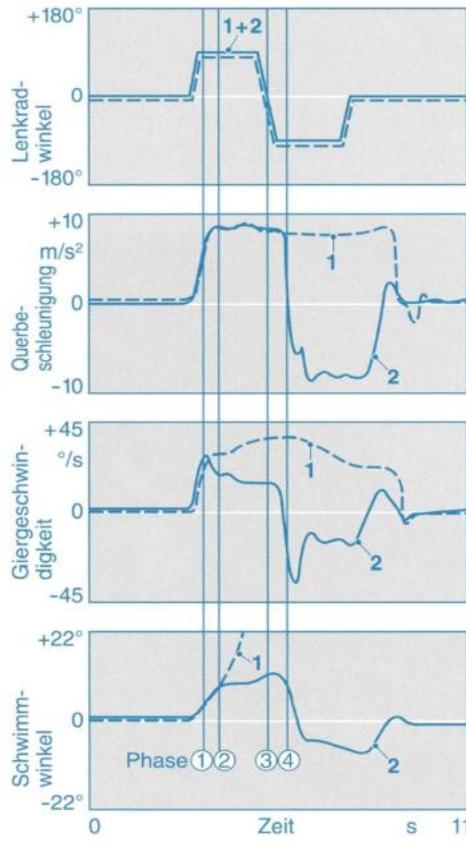


Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Regelkonzept: Eingriffstrategie



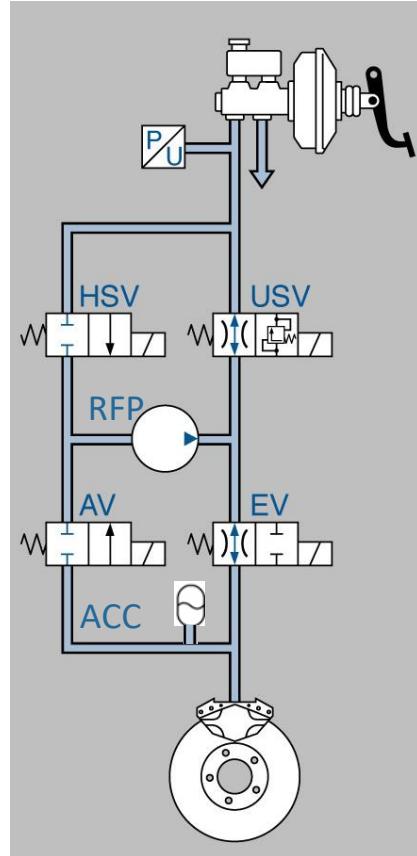
Zeitverläufe fahrdynamischer Größen beim Durchfahren einer Rechts-Links-Kurve



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

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Hydroaggregat - Prinzip



HSV – hochdruckfestes Ansaugventil

USV – Umschaltventil

EV – Einlassventil

AV – Auslassventil

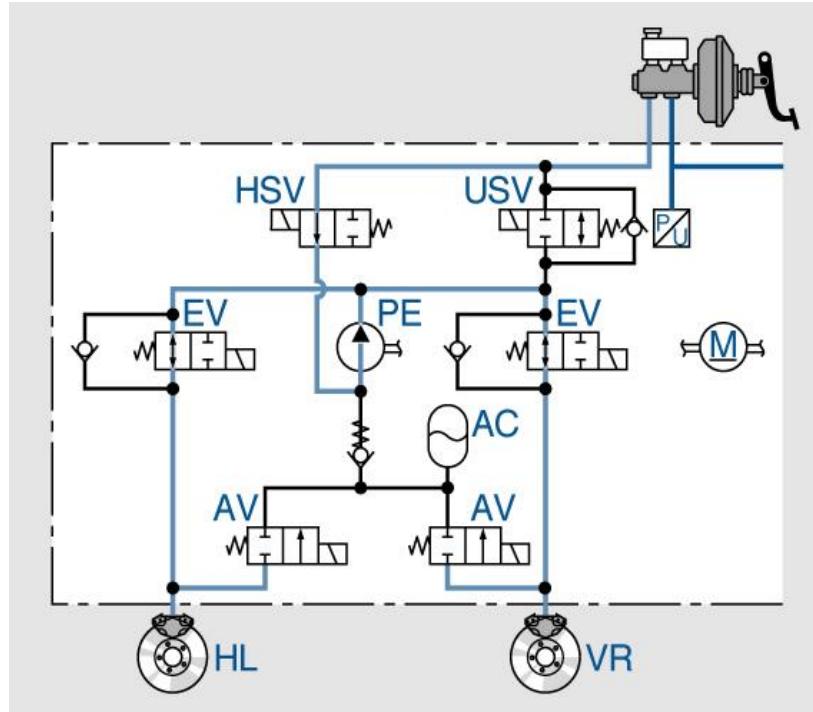
P/U – Drucksensor

RFP – Rückförderpumpe

ACC – Accumulator

Fahrdynamikregelsysteme

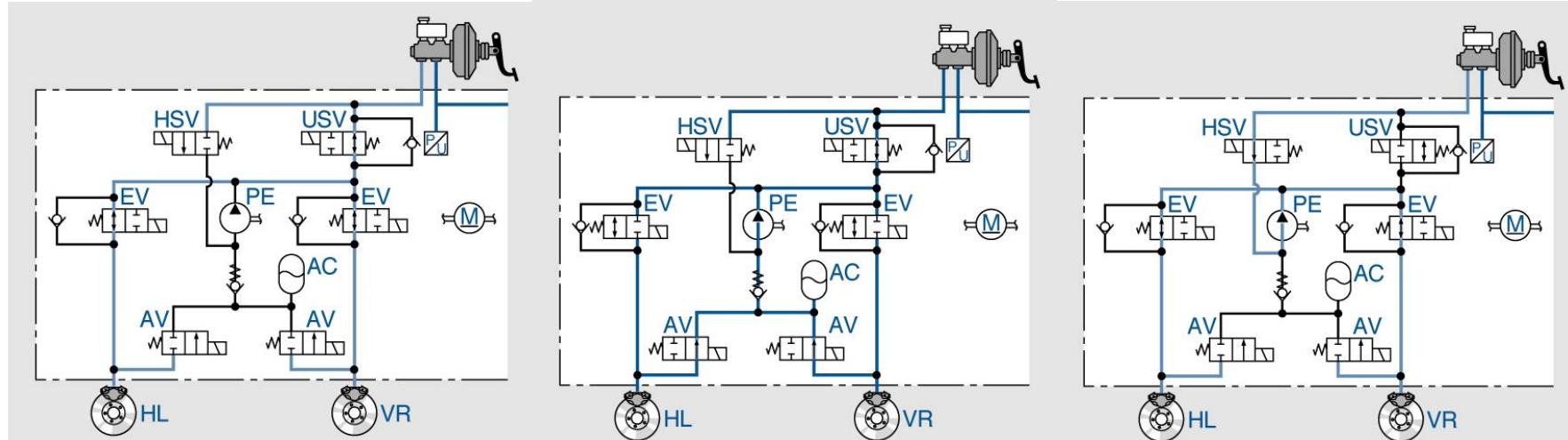
ESP®-Hydroaggregat -Druckregelung



Druck abtauern bei MESSRAUER/ESP-Regelung

Fahrdynamikregelsysteme

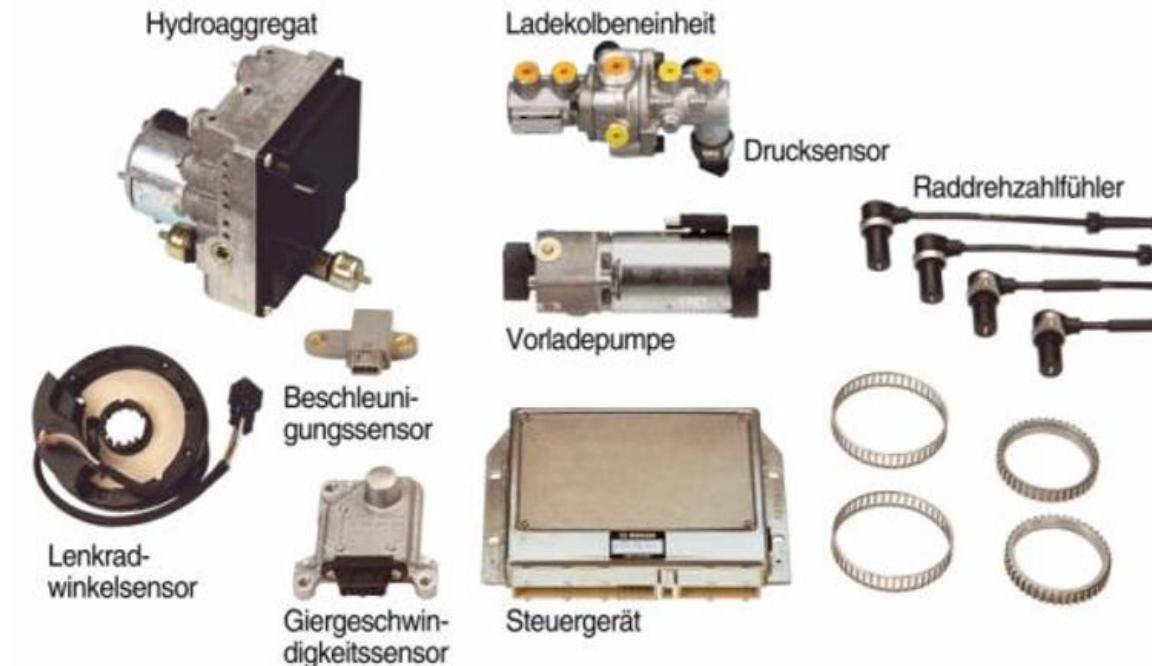
ESP®-Hydroaggregat -Druckregelung



Druck aufbauen bei normaler Bremsung

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten



ESP5.0
(BOSCH 1995)

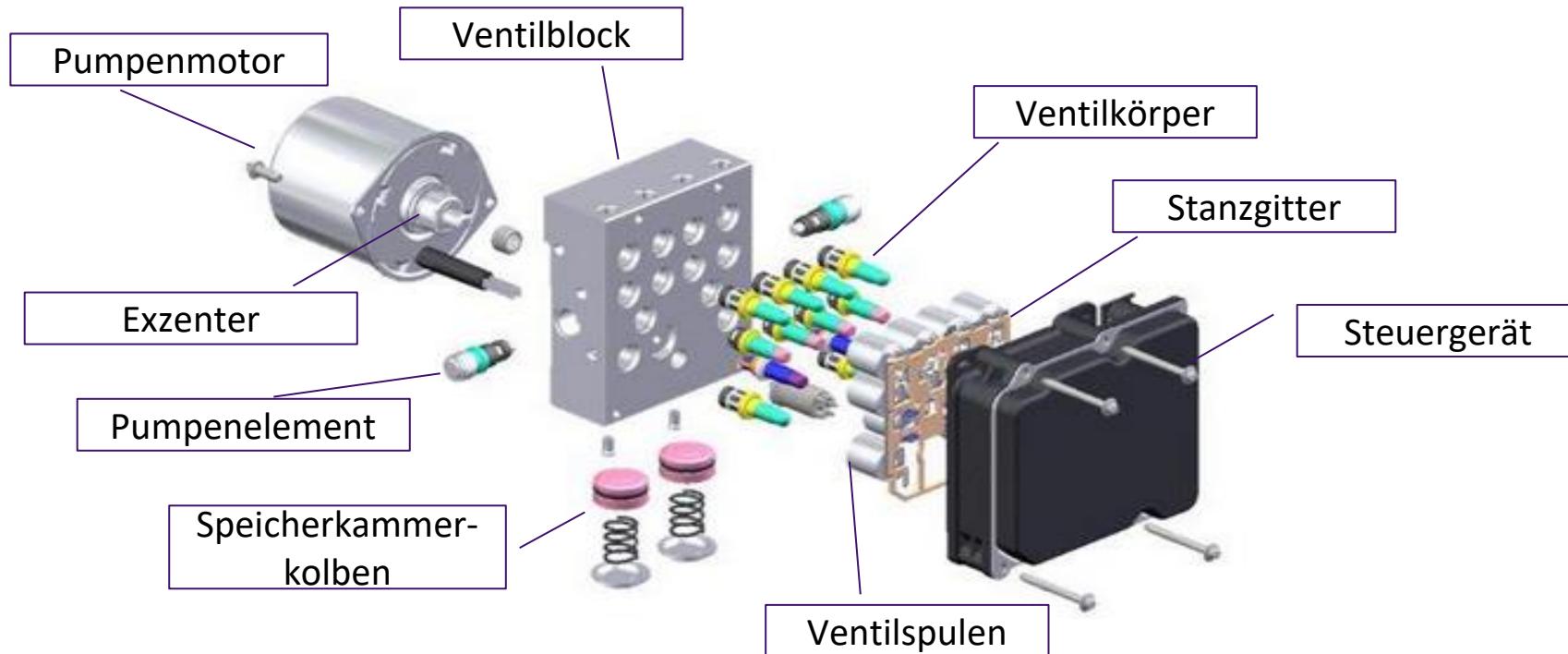


ESP9.0
(BOSCH 2010)

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten - Hydroaggregat

ESP/ESC (Bosch 8)



Fahrdynamikregelsysteme

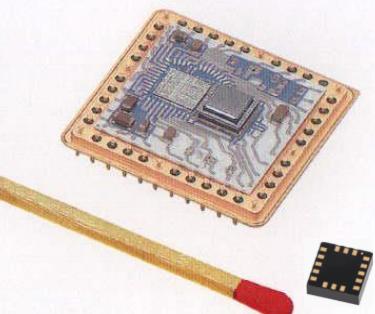
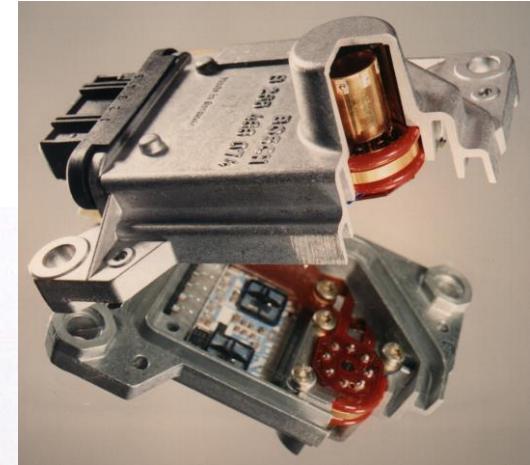
ESP®-Komponenten: Drehratensensor



Urvater des DRS von GEC



Feinmechanisch



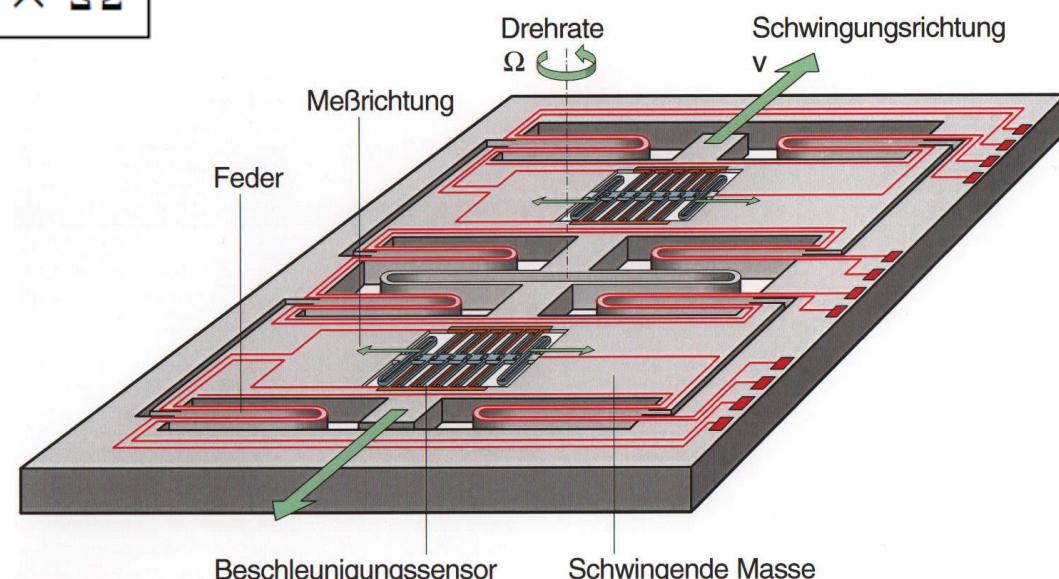
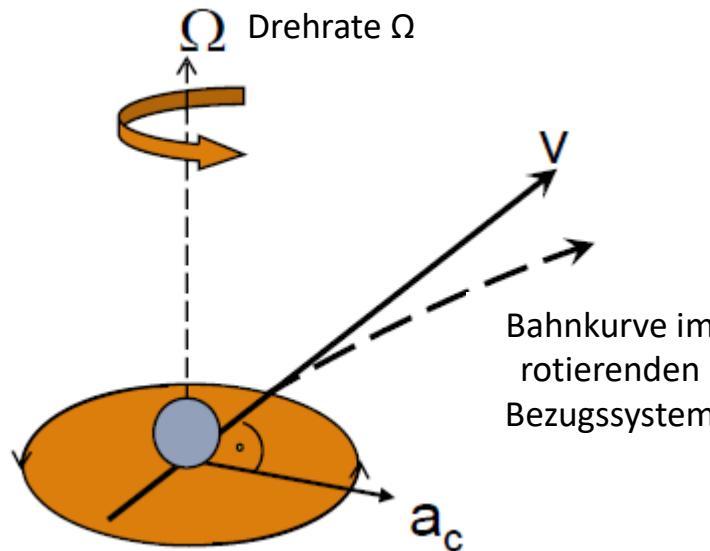
Mikromechanisch

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten: Drehratensor

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

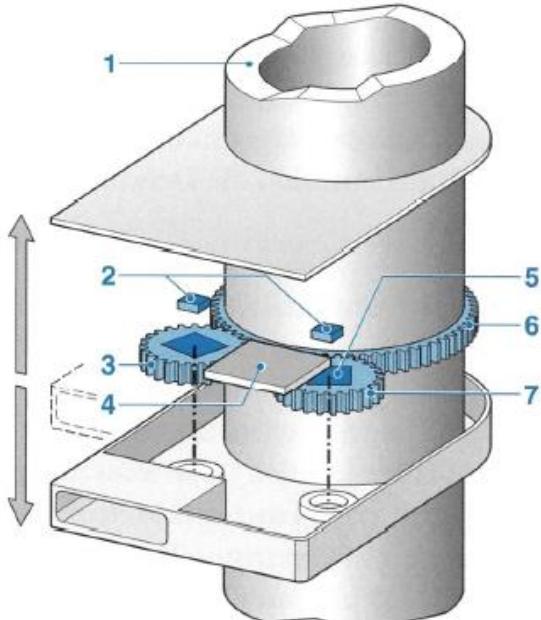
$$\vec{a}_c = -2 \vec{v} \times \vec{\Omega}$$



Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten: Lenkradwinkelsensor

2 AMR-Lenkradwinkelsensor LWS3 (Prinzip)



3 AMR-Lenkradwinkelsensor LWS3 (Ansicht)

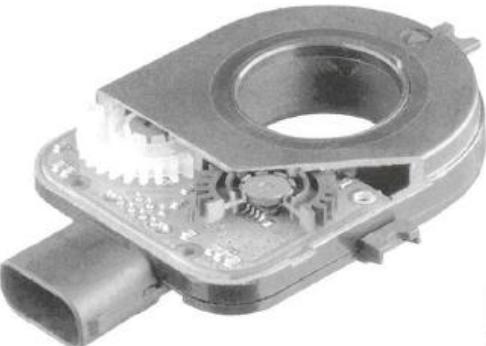


Bild 2

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

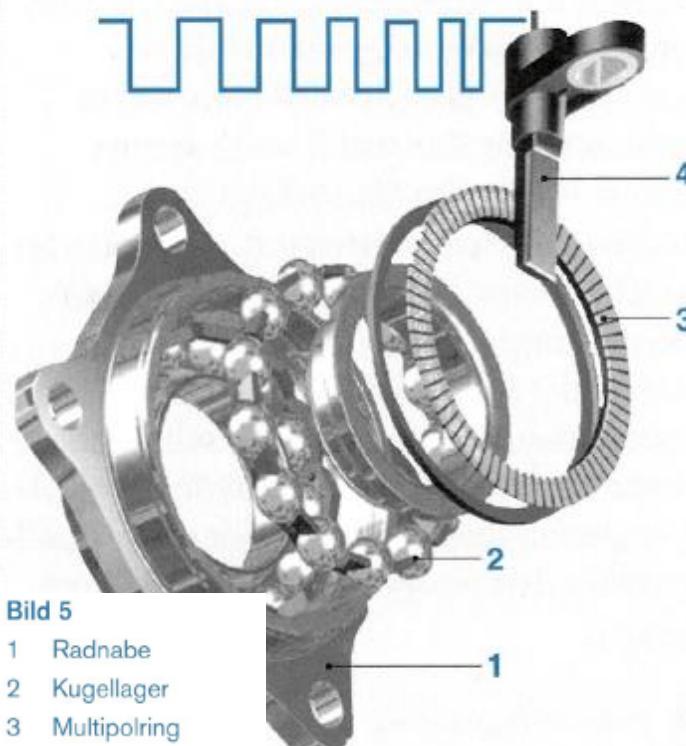
- Lenkwelle (1) mit Zahnkranz mit n Zähne mit Magneten (5)
- Mess-Zahnräder (3, 7) mit m u. m+1 Zähnen und Magneten (5)
- Verdrehungswinkel der Mess-Zahnräder (3, 7) werden mit Hilfe von AMR Elementen (2) gemessen.
- Beide Messwinkel werden im Sensor von einem Mikrocontroller (4) ausgewertet. Ausgabe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

AMR - Anisotroper magnetoresistiver Effekt:
Besondere Legierungen, bei denen der elektrische Widerstand der Schicht abhängig vom äußeren Magnetfeld ist.

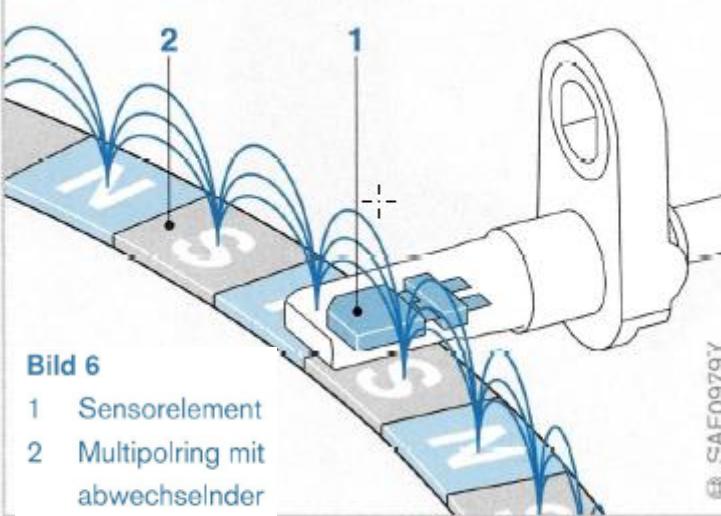
Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Komponenten: Raddrehzahlsensor

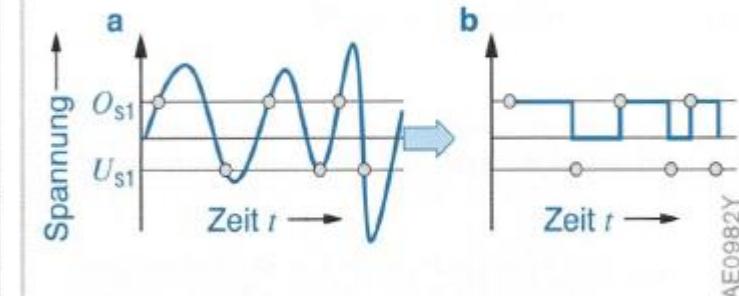
5 Explosionsskizze mit Multipol-Impulsgeber



6 Schnittbild durch den aktiven Drehzahlsensor

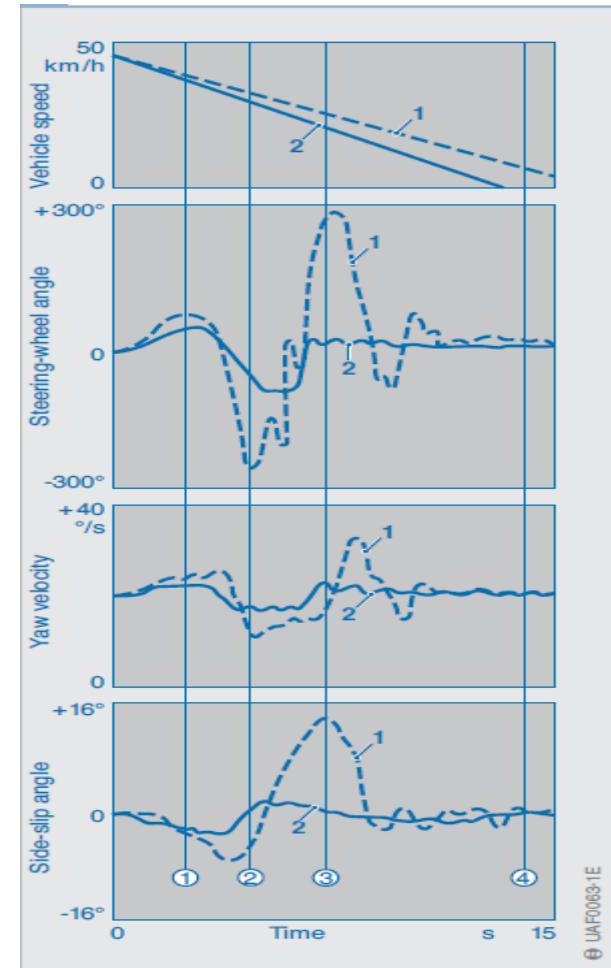
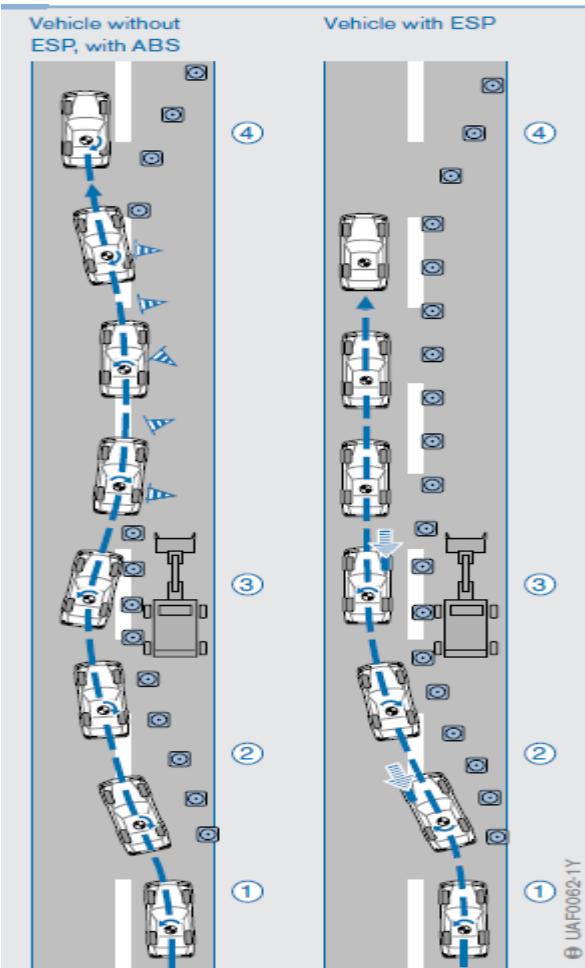


9 Signalumwandlung im Hall-IC



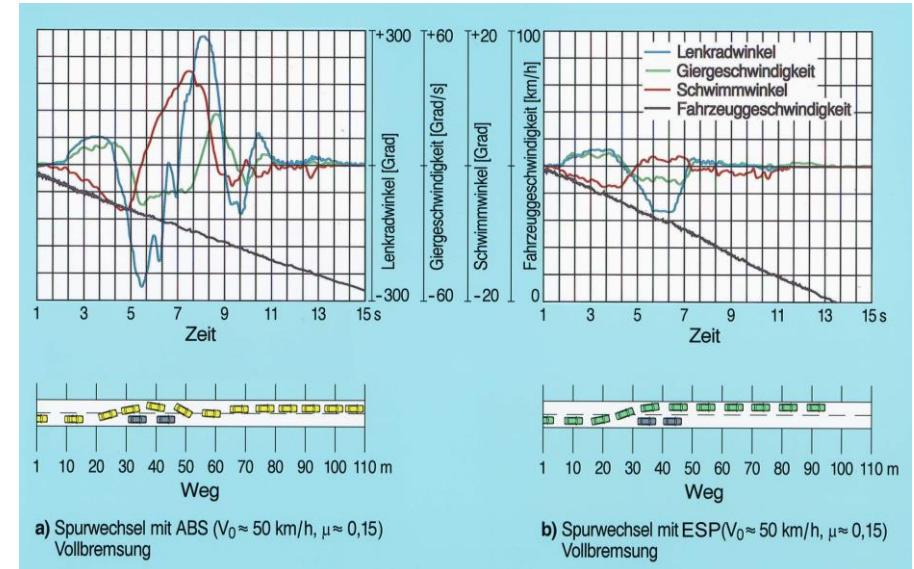
Fahrdynamikregelsysteme

Beispiele: Spurwechsel auf Glatteis



Spurwechsel mit Notbremsung

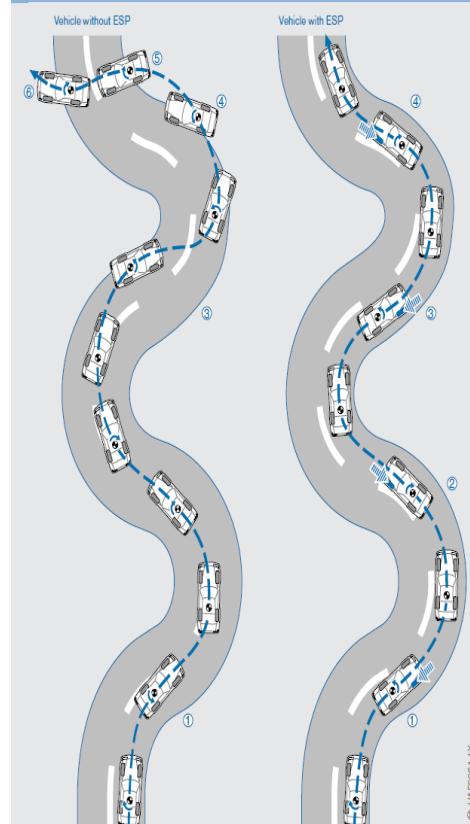
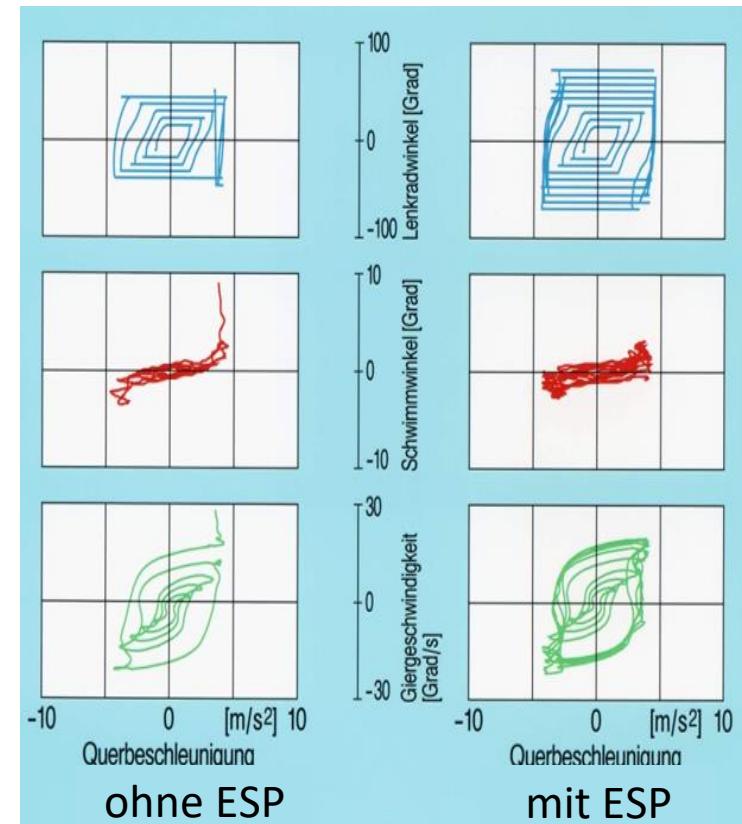
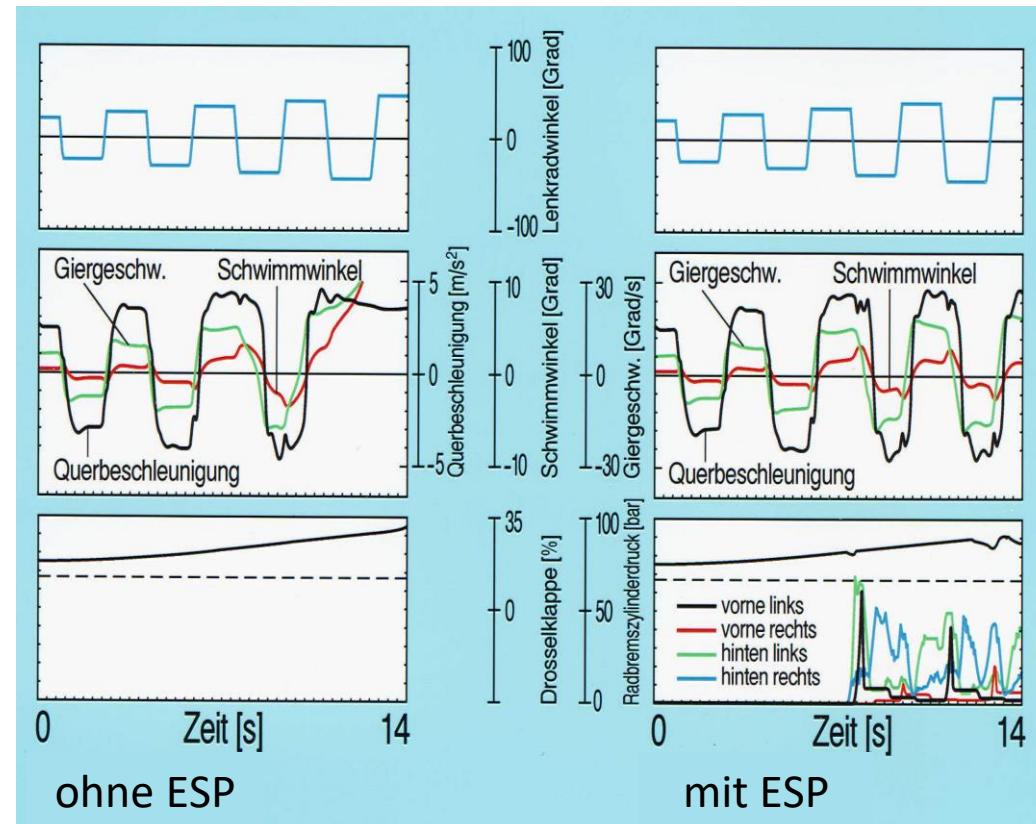
$V_0=50\text{km/h}$, Nieder-Mue



Fahrdynamikregelsysteme

Beispiele: Lenkstufen

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

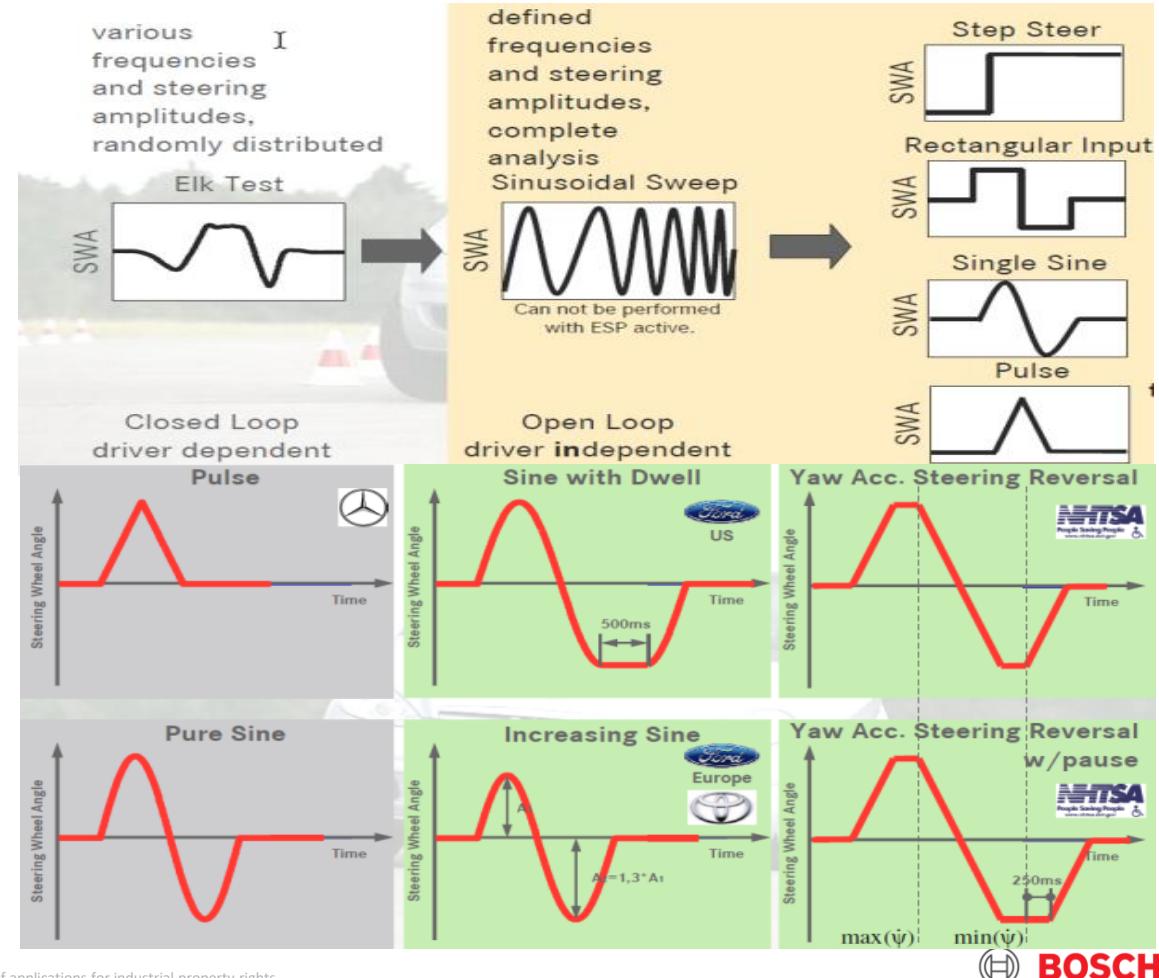


Fahrdynamikregelsysteme

Freigabe: ESP®-Performance Check

Zielsetzung:

- Zunehmende Verbreitung von ESP® erforderte einen Test zum Nachweis der Funktionalität (Homologation)
 - Weltweit durchführbar
 - Standardisiert
 - Repräsentatives Manöver
 - Nachweis von Stabilität und Lenkfähigkeit
 - Begrenzter Testaufwand
 - Differenzierung der Systeme (Yaw Rate Sensor)
- Realisierung
 - NA (NHSTA): FMVSS126-Test (2007)
 - EU: ECE Reg 13H & Euro NCAP ESC Test (2011-2014)
 - UN/ECE: weitere Länder

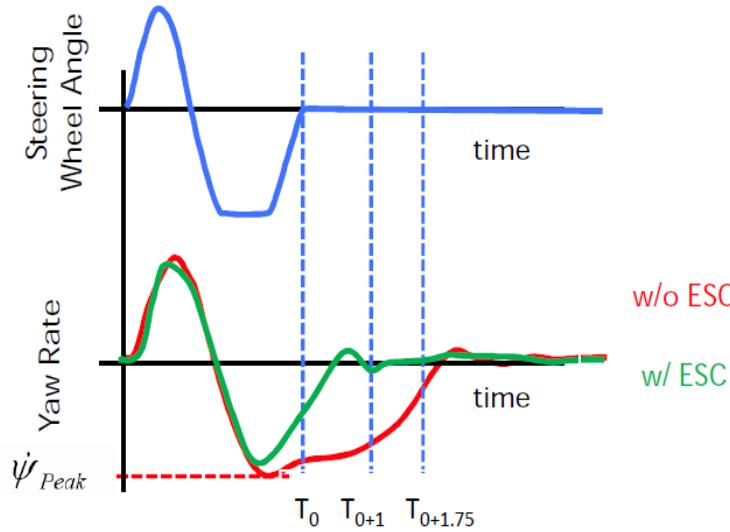


Fahrdynamikregelsysteme

Freigabe: ESP®-Performance Check

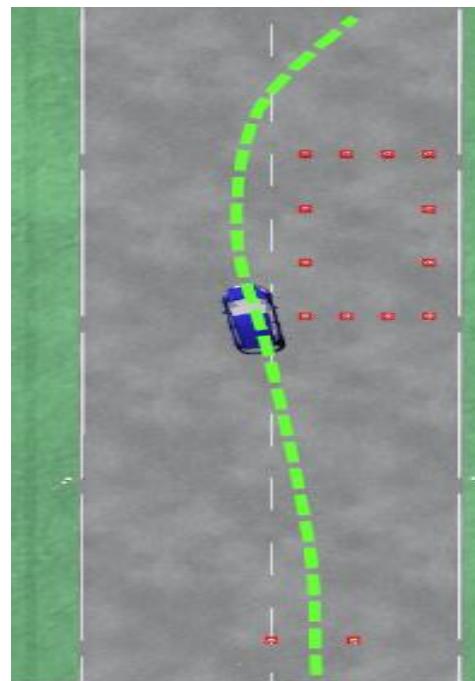
Kriterien:

- Abklingen der Drehrate (Stabilität)



$$YRR = 100 * \left(\frac{\dot{\psi}(\text{at time } t)}{\dot{\psi}_{Peak}} \right) \begin{cases} \text{at } T_{0+1} \leq 35\% \\ \text{at } T_{0+1.75} \leq 20\% \end{cases}$$

- Seitlicher Versatz (Lenkfähigkeit)



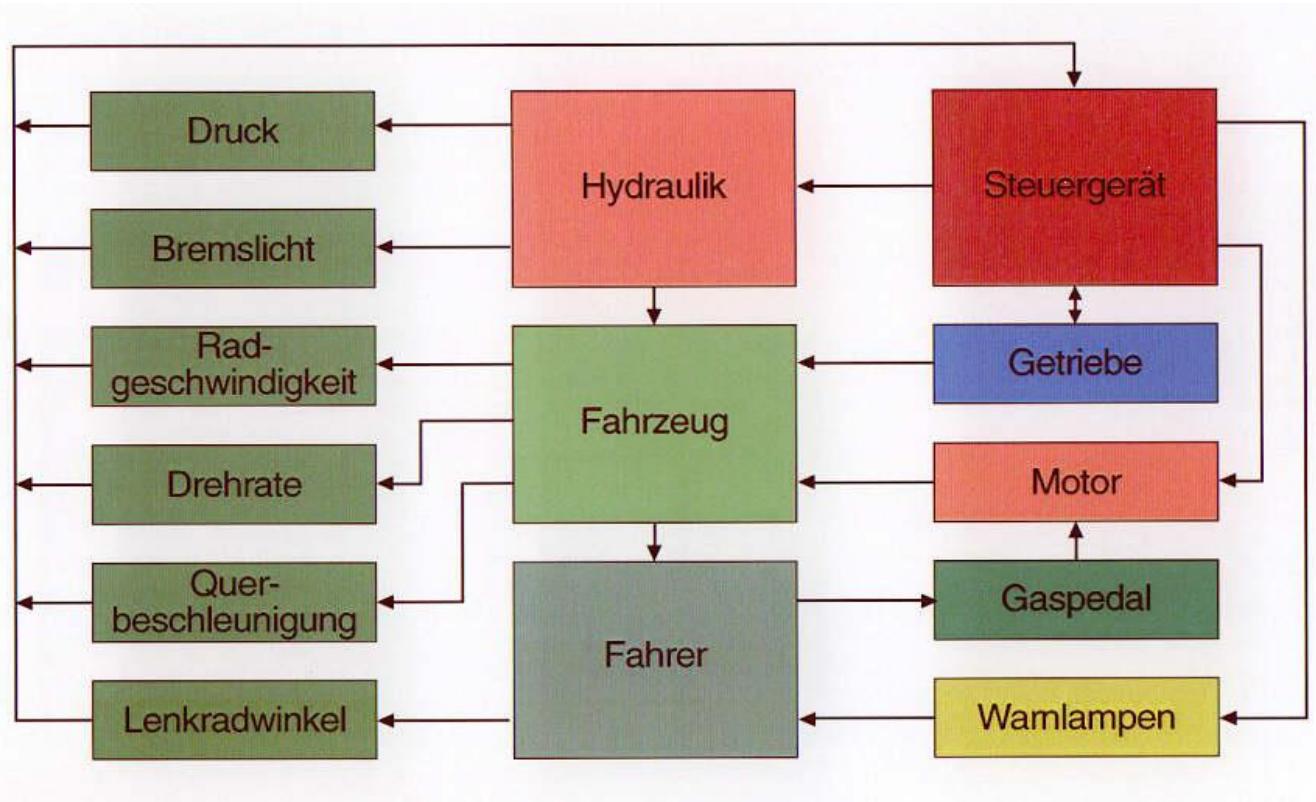
$$\text{Lateral Displacement} = \int_{t_0}^{t_0+1.07} \int_{t_0}^{t_0+1.07} A y_{C.G.}(t) dt \geq 1.83 \text{ m}$$

$n \geq 5, \text{Gewicht} \leq 3.5 \text{to}$

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept

Zu betrachtende „Komponenten“ beim ESP- Sicherheitskonzept



Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept

➤ Fehlervermeidung

➤ Systemüberwachung/Fehlerentdeckung

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

➤ Maßnahmen

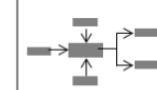
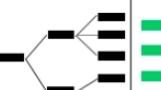
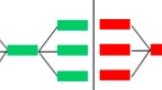
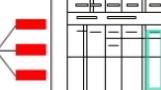
- ➔ Rückfallebenen
- ➔ Abschaltkonzept
- ➔ Fahrerinformation über den Systemstatus

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept - Fehlervermeidung

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

Die 7 Schritte der FMEA

1. Schritt: Betrachtungsumfang (Scoping)	2. Schritt: Strukturanalyse	3. Schritt: Funktionsanalyse	4. Schritt: Fehleranalyse	5. Schritt: Maßnahmenanalyse Ist Zustand	6. Schritt: Optimierung Soll Zustand	7. Schritt: Risiko - & Ergebnis- dokumentation
						

1. Schritt: Betrachtungsumfang (Scoping)

- Kick Off
- Projektbeschreibung
- Projektdefinition
- Projektplanung & Terminplanung
- Projektziele
- Umfangabschätzung
- **Scoping** bedeutet die Eingrenzung des Analyseumfangs und somit die Festlegung, was hierbei berücksichtigt bzw. nicht berücksichtigt werden soll
- **Lessons Learned**
- Grundlage für Strukturanalyse

2. Schritt: Strukturanalyse

- Input aus dem Schritt Scoping
- Systemstruktur erstellen
- Alle beteiligten Systemelemente (Fokuselemente) erfassen
- Zur Design-FMEA: Beschreibung des Block-Boundary-Diagramms- Zur Prozess-FMEA: Beschreibung des Prozessablaufdiagramms und des Strukturbaums- Zusammenarbeit zwischen Kunde und Lieferant
- **Pflichtenheft (Wie, Womit)**

3. Schritt: Funktionsanalyse

- **Lastenheft (Was)**
- Funktionen, Eigenschaften & Merkmale den Systemelementen zuordnen
- Funktionen verknüpfen
- Beschreibung mittels Parameter-Diagramm
- Verifikation Anforderungen/ Lastenheft/ Pflichtenheft

4. Schritt: Fehleranalyse

- Fehlerfolgen (FF) Fehler (FA) werden systematisch aus jeder definierten Funktionsanalyse abgeleitet und über die Struktur miteinander verknüpft
- Bewertung der Fehlerfolge (FF) Bedeutung (B)
- Fehlerursachen (FU) Ermittlung mittels Fragetechniken (Ishikawa + 5Wvarum)
- FF - FA - FU

5. Schritt: Maßnahmenanalyse Ist Zustand

- **Ist-Zustand** mit Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen
- Bewertung „Ist Zustand“
- Bewertung Auftreten (A) Entdeckung (E)
- Zuweisung von Maßnahmen (vorhanden und / oder geplant) zu FU, FA, FF
- Ermittlung der Risiken
- Ermittlung der Verantwortliche und Termine benennen
- + RPZ Risikoprioritätszahl (Ist Zustand)
- + AP (Action Priority) Automotive VDA / AIAG (Ist Zustand)

6. Schritt: Optimierung Soll Zustand

- **Soll-Zustand** mit Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen
- Bewertung „Soll Zustand“
- Zuweisung von Optimierungs Maßnahmen zu FU, FA, FF
- Ermittlung des Ist Risikos
- Ermittlung der + RPZ Risikoprioritätszahl (Soll Zustand)
- + AP (Action Priority) Automotive VDA / AIAG (Soll Zustand)
- + AP (Action Priority) Automotive VDA / AIAG (Soll Zustand)

7. Schritt: Risiko - & Ergebnis-dokumentation

- Risikokommunikation
- Grundlage für Entscheidungen (Ist - Soll)
- Dokumentation und Kommunikation der durchgeführten Maßnahmen zur Risikoreduzierung, Wissensweiterleitung der eingeführten Maßnahmen
- Präsentation Ergebnisse
- Übersicht für Entscheider über Projektrisiken
- Hinweis auf technische Fehlerrisiken als Bestandteil des Entwicklungsplans und der Projektmeilensteine

Quelle: KVP Institut GmbH / Andre Kapust

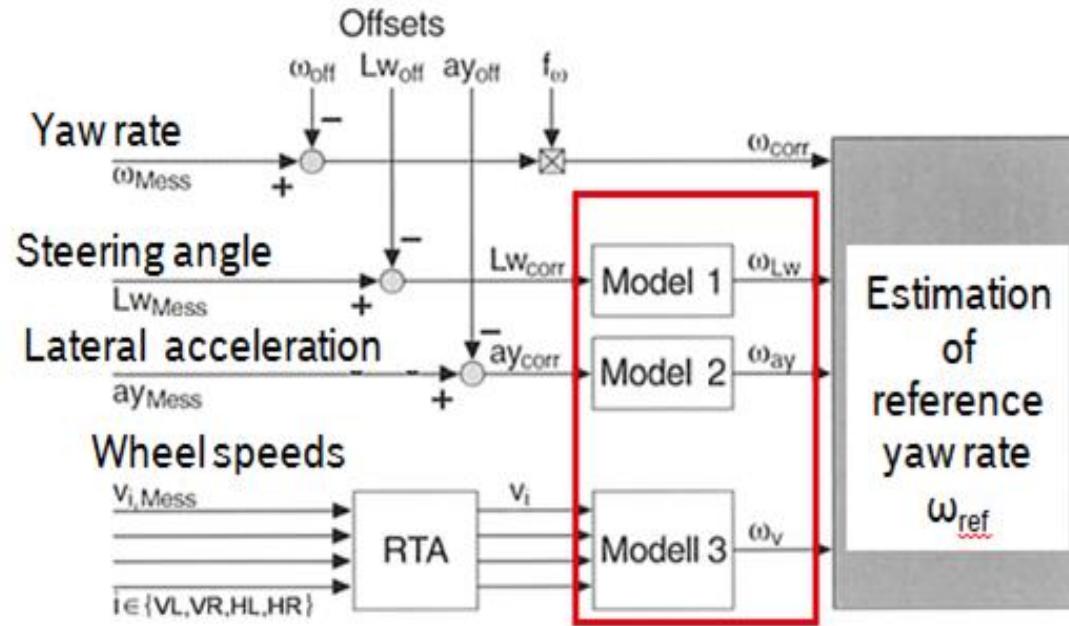
Fahrdynamikregelsysteme

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 Ortung der Fehler
- Speicherung der Kalibrierung im EEPROM für Lenkradwinkel- und Querbeschleunigungssignal

Fahrdynamikregelsysteme

ESP®-Sicherheitskonzept - Modellgestützte Sensorüberwachung

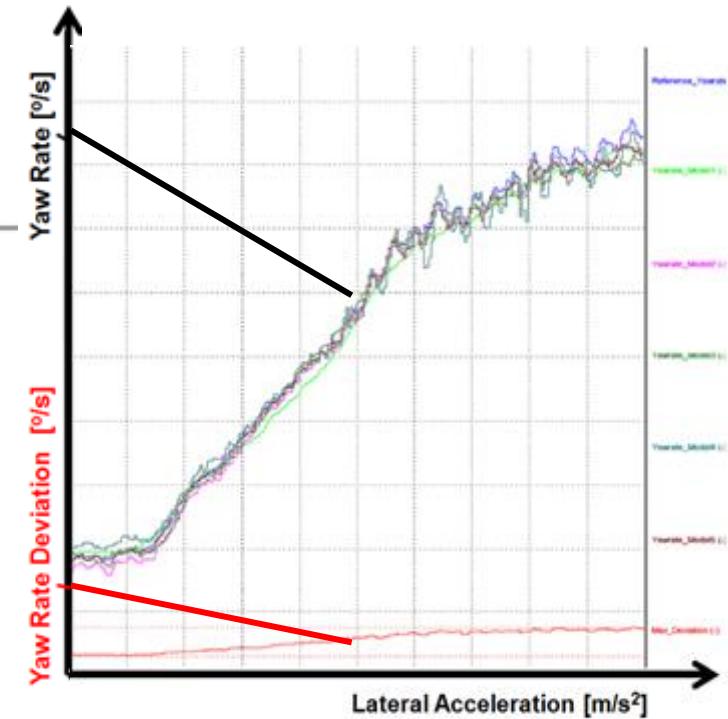


Drehratenmodelle auf Basis:

- 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-, Querbeschleunigungs-, Lenkradwinkelsensors oder des Motor-Steuergeräts:
 - ▶ Wechsel zu Backup-ABS/ASR.
- ▶ Nach dem Abschalten des Systems oder des Backup-ABS:
 - ▶ EBV (Elektronische Bremskraft Verteilung) verfügbar.
- ▶ Der Fahrer wird über den Systemstatus mittels Lampenanzeige informiert.

Fahrdynamikregelsysteme

VDC – Value Added Functions (VAFs)

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

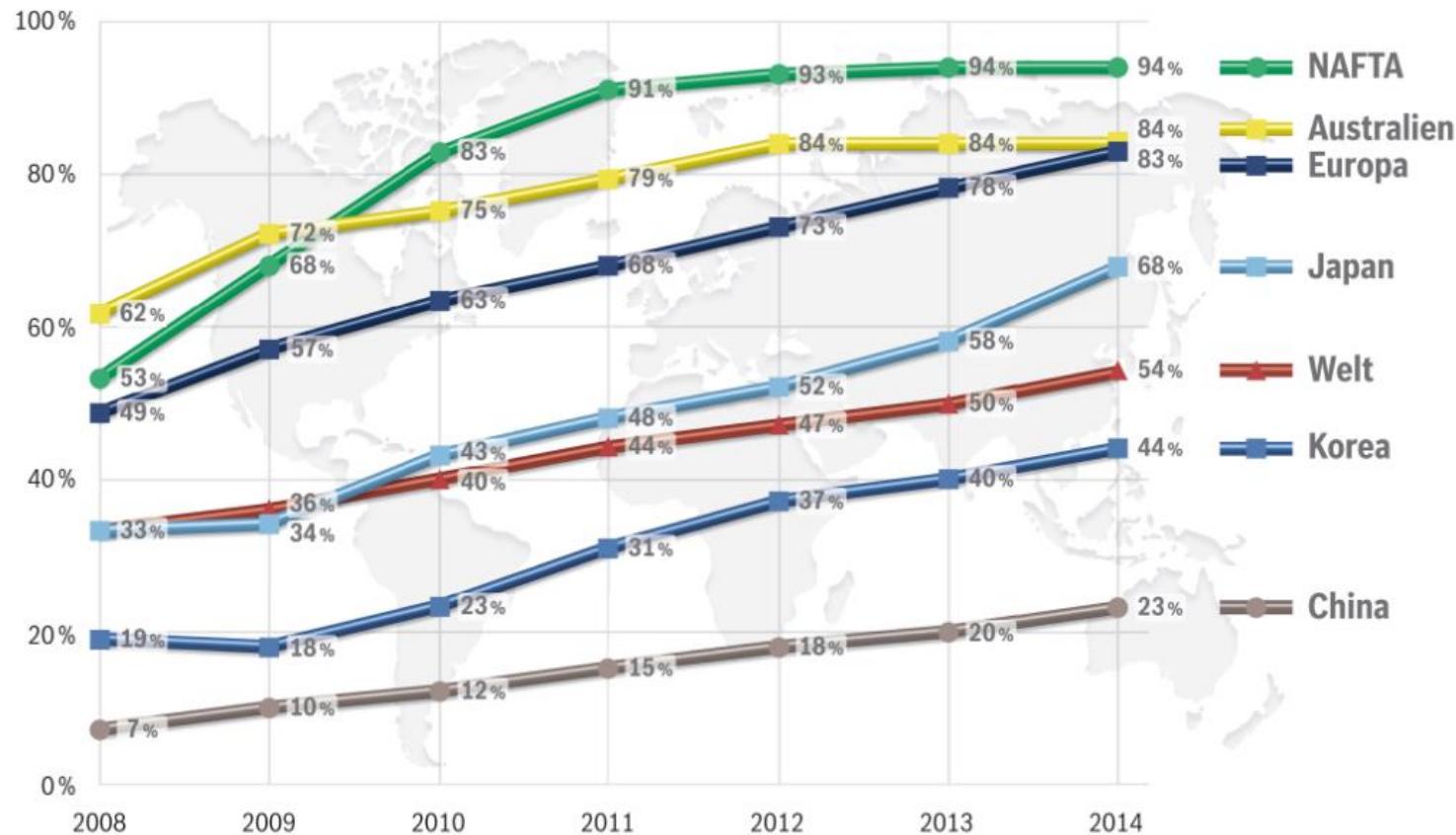
Fahrdynamikregelsysteme

Zusammenfassung: ESP[®]

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

Fahrdynamikregelsysteme

Zusammenfassung: weltweite Ausstattungsrate ESP®



Quelle: Bosch

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

Fahrdynamikregelsysteme ABS, ESP® and AEB Gesetzgebung – Stand 2020



ESP® 2011

Canada



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



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



ABS 2014
ESP® 2018



ESP® 2018



ESP® 2015

New Zealand



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



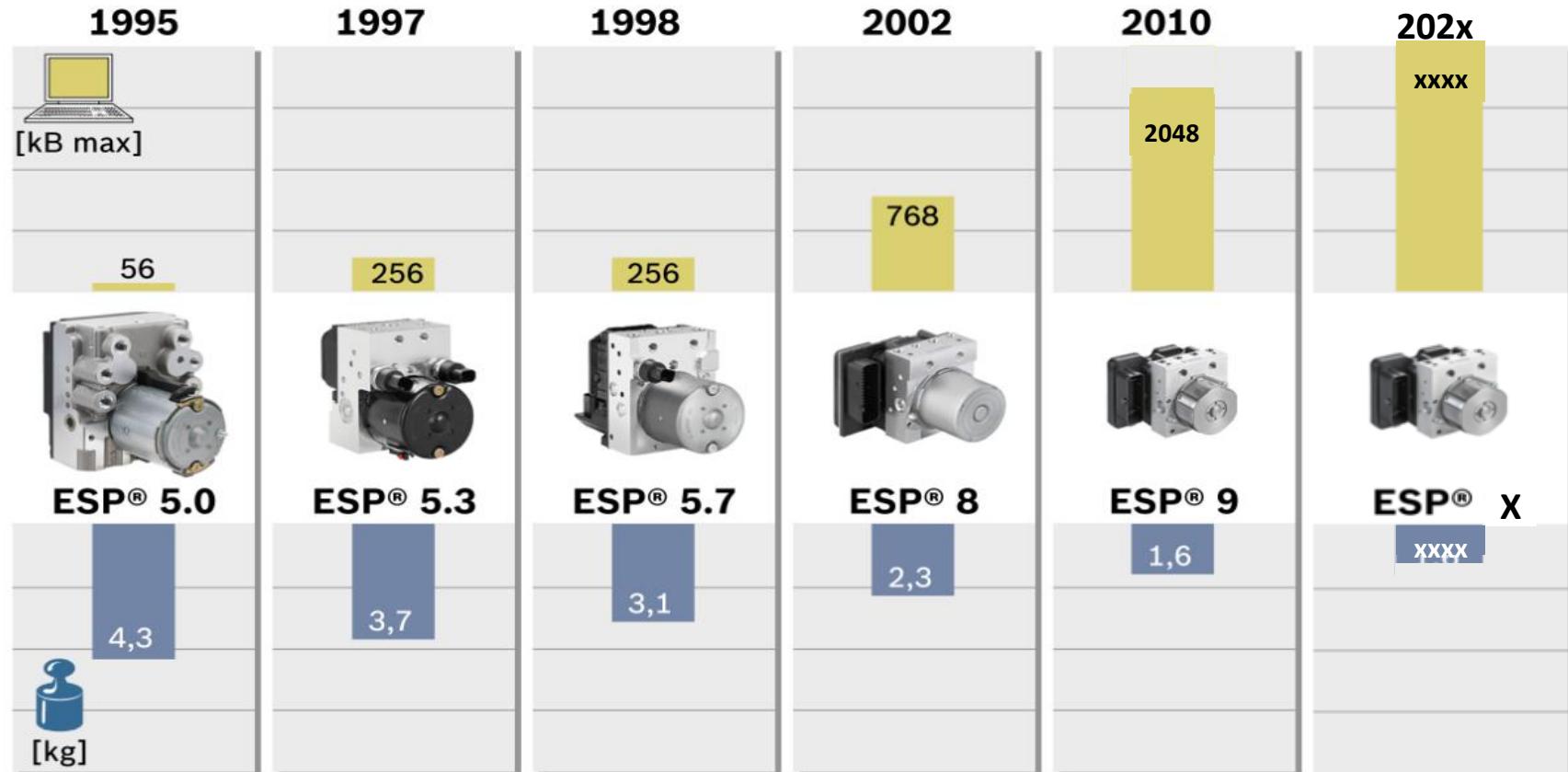
Colombia

ABS (in prep.)

*ABS-M = ABS for Motorcycle

Fahrdynamikregelsysteme ESP® - Wie geht es weiter?

Entwicklungsschritte des ESP® von Bosch



Fahrdynamikregelsysteme

ESP® - Wie geht es weiter?

► Integration von ESP mit weiteren aktiven Systemen

- Aktive Lenkung, Fahrwerk, ... -> Vehicle Motion Controller
- Aktive Antriebsmomentenverteilung

► Rekuperierendes Bremsen

- ESPhev

► Kopplung von ESP als aktivem Sicherheitssystem mit Systemen, die auf Umfeldsensorik aufbauen

- ADAS: ACC, ...
- Systemen der passiven Sicherheit

► Herausforderung:

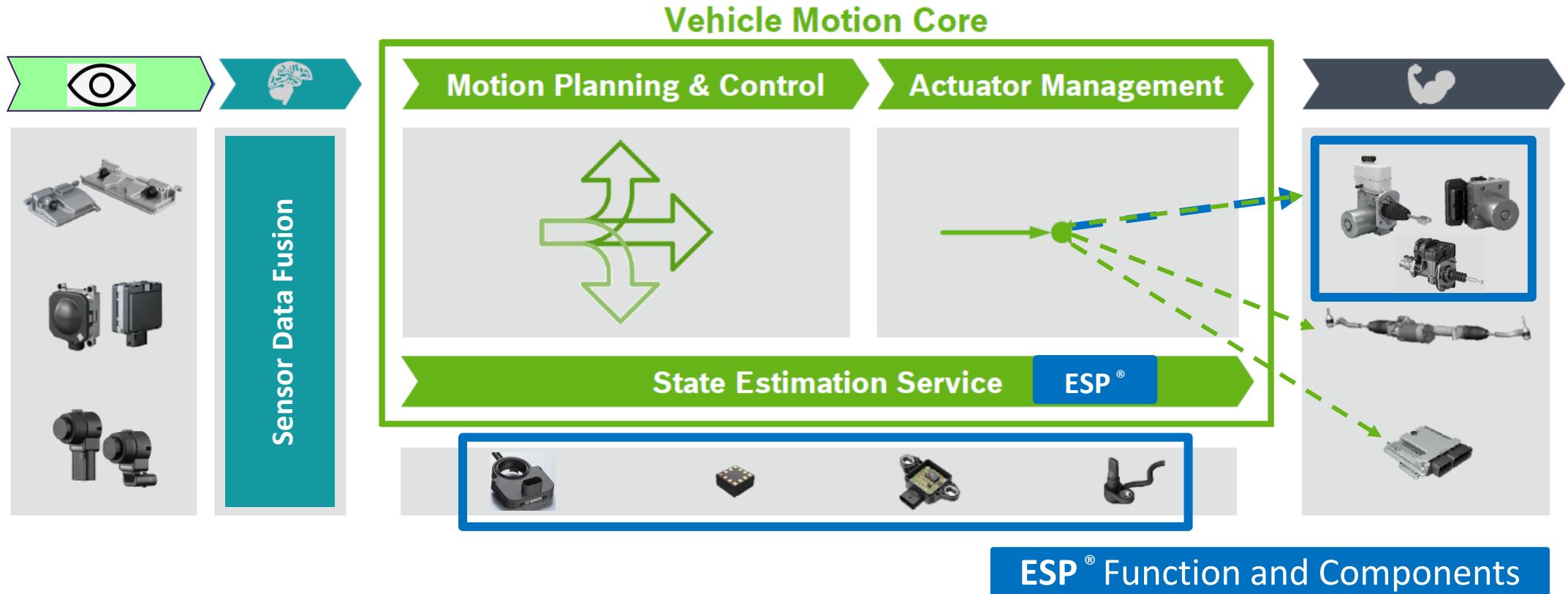
- Kopplung von Komponenten und Systemen unterschiedlicher Hersteller, vor allem wenn diese Wettbewerber sind
- Austausch von Spezifikationen und sicherheitsrelevanter Daten erforderlich



<https://www.youtube.com/watch?v=6kR27GjKbIQ>

Fahrdynamikregelsysteme

Active safety and driver assistance - ESP® ADAS



Active safety and driver assistance

Wie geht es weiter? CC-Portfolio für ADAS

Brake boost → Vacuum-free & dynamics

Vacuum Booster



iBooster



Modulation → Regeneration

ESP®

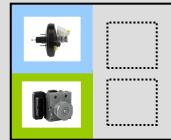


ESP® hev

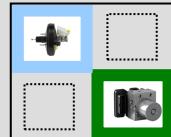


Driving Configuration

- Conventional
- Assisted



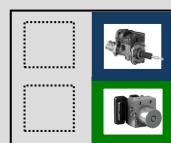
- Conventional
- Assisted



- Conventional
- Assisted
- Automated



- Conventional
- Assisted
- Automated



Brake boost & Modulation



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

Fahrdynamikregelsysteme

Zusammenfassung: „Werte, Ziele, Teamgeist“



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

von Dr. Volkmar Denner

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

15 000 gerettete Menschenleben

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

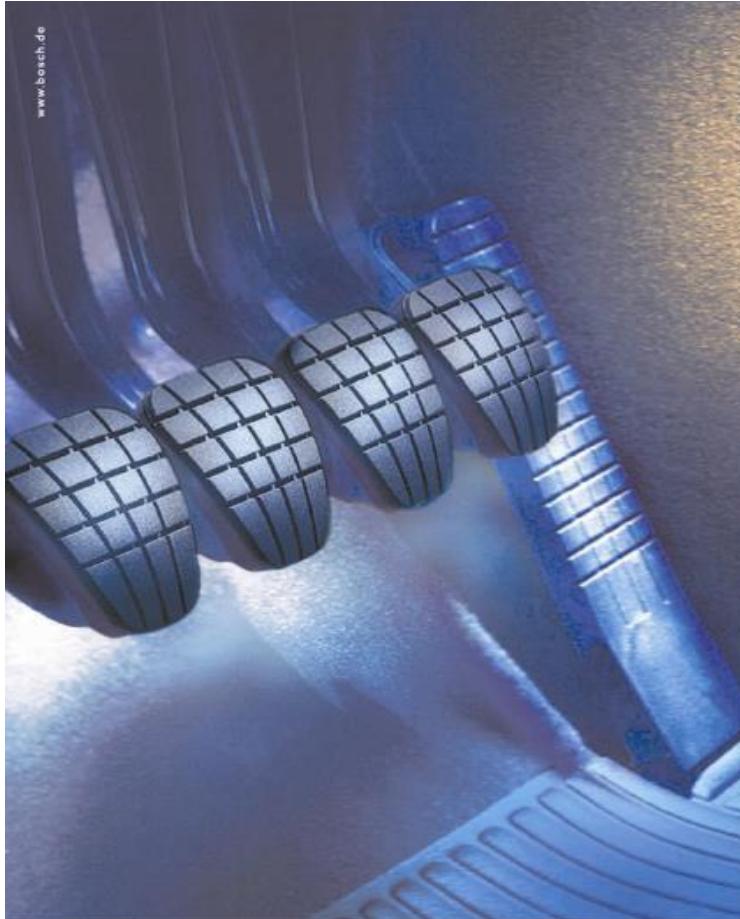
Das ESP® – wenn Technik zum Schutzen gel wird



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 Schutzen gel. 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