



Vorlesung Fahrzeugmechanik (Kap. 7: Regelsysteme)

Hochschule Ulm, WS 2017/18

Theodor Großmann



Vorlesungsinhalte Fahrzeugmechanik

Kapitel:

1. Einführung Fahrzeugmechanik
2. Reifen
3. Federn, Dämpfer,...
4. Einmassenschwinger
5. Achsen
6. Lenkung
7. **Regelsysteme**
8. Längsdynamik
9. Luftwiderstand
10. Querdynamik
11. Vertikaldynamik&Strassen
12. Fahrzeugmodelle
13. Gesamtfahrzeug
14. menschliche Wahrnehmung /Sitze
15. Sleeping Policeman/Schlagloch
16. Fahrzeugentwicklung mit DPT



Die fahrdynamisch kritischen Zustände werden oft verursacht durch:

- ⇒ Fehleinschätzungen der Verkehrssituationen
- ⇒ unangemessene Geschwindigkeit und Fahreingriffe
- ⇒ Unaufmerksamkeit des Fahrers
- ⇒ aufgezwungene Verkehrssituationsänderungen

Die fahrdynamisch kritischen Fahrzustände sind dadurch gekennzeichnet, dass an den Reifen die Haftreibwerte überschritten werden:

- ⇒ Das Fahrzeug verhält sich dann plötzlich anders, als es dem Erfahrungsbereich des Fahrers entspricht.
- ⇒ Das Fahrzeug kann nicht mehr dem vom Fahrer erwünschten Kurs folgen.
- ⇒ Es beginnt sehr stark zu unter- und übersteuern und kann instabil werden und schleudern.

Einsatzgebiete der Regelsysteme:

- **Längsdynamik**

Antreiben & Bremsen:

ABS, ASR

(zusätzlich:

beim Antreiben: Motor- & Getriebesteuergeräte

beim Bremsen: Umgebungserfassung)

- **Querdynamik**

Untersteuern & Übersteuern:

ESP, SBC

- **Vertikaldynamik**

Nicken & Wanken & Heben:

**ADS, ABC,
Dynamic Drive**



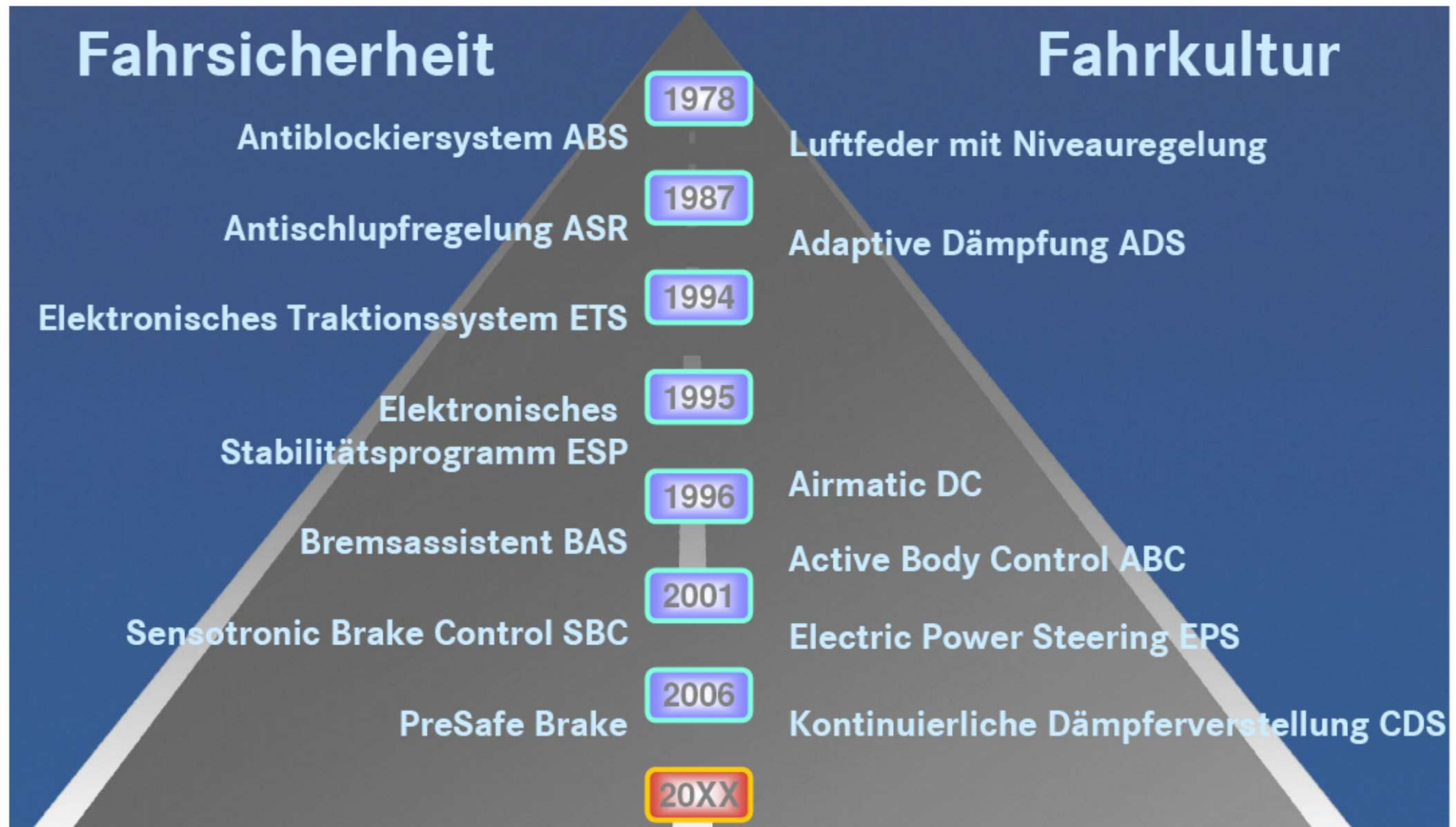
Der Fahrer ist in diesen fahrdynamisch kritischen Situationen durch mangelnde Erfahrung häufig nicht mehr in der Lage, das Fahrzeug zu einer kontrollierten Bewegung zurückzuführen.

Je niedriger die vorhandenen Haftreibungswerte sind, um so häufiger können diese kritischen Situationen auftreten.

Aktive Fahrsicherheitssysteme können einen wesentlichen Beitrag zur Vermeidung solcher Unfälle leisten, in dem sie fahrdynamisch kritische Situationen entschärfen.

Serieneinführung:

ABS (<u>A</u> nti- <u>B</u> lockier- <u>S</u> ystem):	1978
ASR (<u>A</u> nti- <u>S</u> chlupf- <u>R</u> egelung):	1986
FDR (<u>F</u> ahr- <u>D</u> ynamik- <u>R</u> egelung):	1995
SBC (<u>S</u> ensotronic <u>B</u> rake <u>C</u> ontrol):	2001
PreSafe-Brake	2007





Regelsysteme

Einführung

- ☺ Kundenwahrnehmung/ Fun to Drive
- ☺ Integration software-definierte Funktionen
- ☹ Gesamtsystemkomplexität
- ☹ Systeme beeinflussen sich funktional



Entwicklungs-Trend
Integration der Elektronik im Fahrzeug



DKW-Meisterklasse, 1936, Sturz
mechanisch mit der Lenkung gekoppelt

Fahrkomfortsysteme:

- Dämpfungsregelung
- Aktive Stabilisatoren
- ABC Aktivfahrwerk

Fahrsicherheitssysteme:

- ABS Bremsregelung
- ASR Traktionsregelung
- ESP Fahrstabilitätsregelung
- SBC Bremsenregelung

Fahrdynamiksysteme:

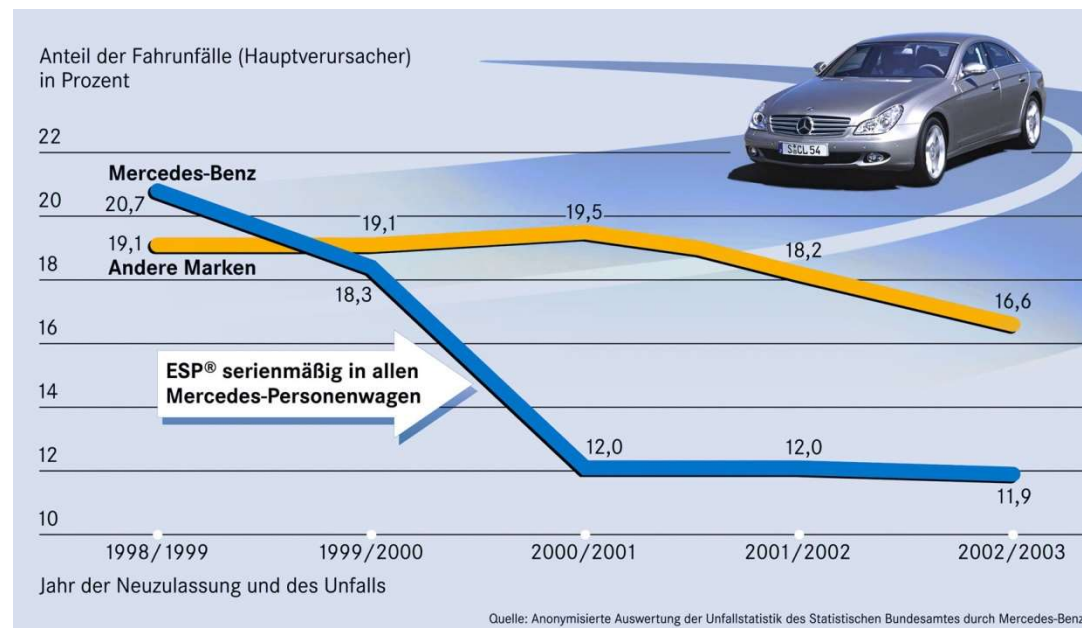
- Hinterachslenkung
- Aktive Lenksysteme
- Active Tire Tilt Control
- Aktive Regeldifferentiale



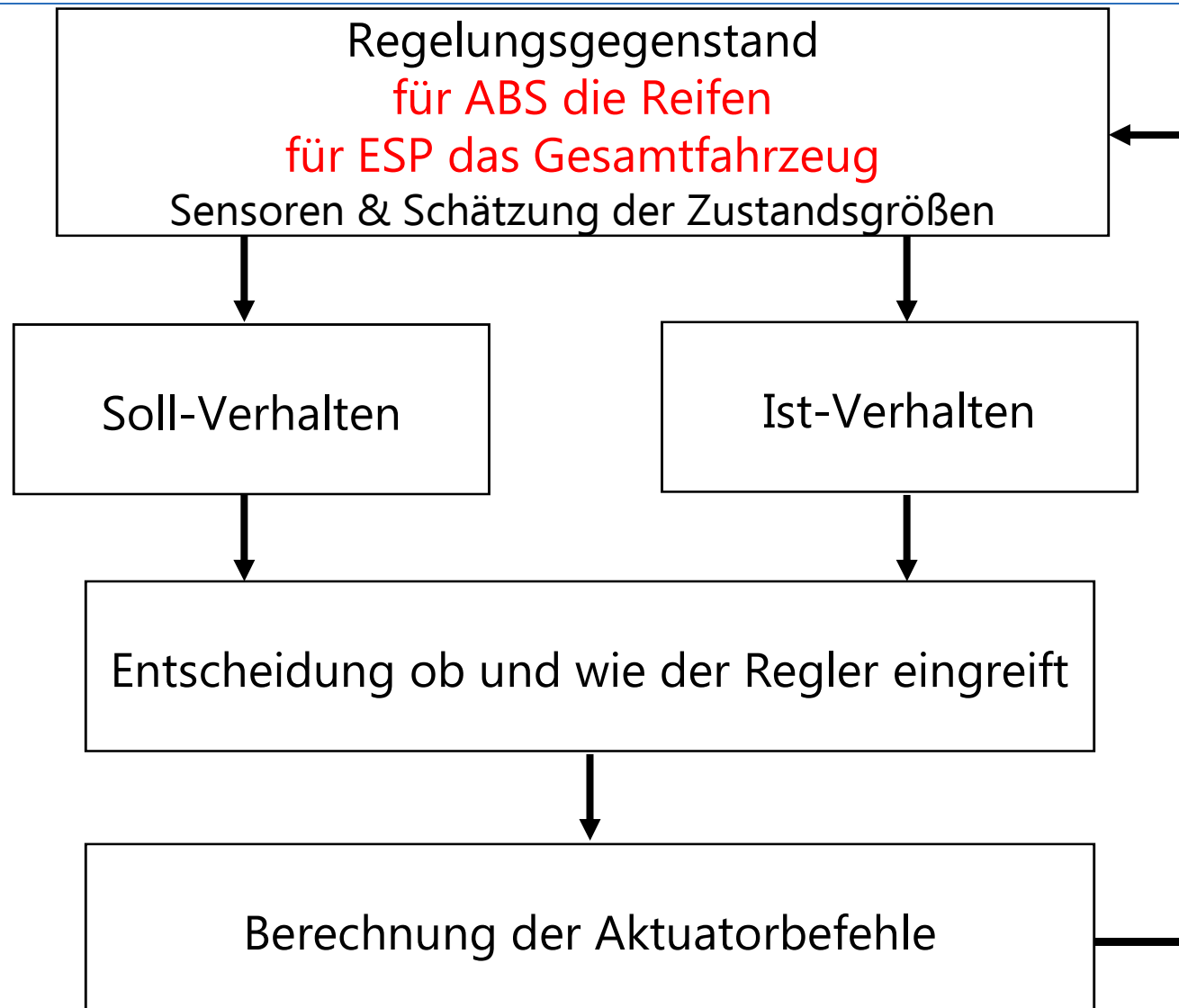
Regelsysteme

ESP: Vermeidung von Unfälle

Auch die Fahrunfällen (Unfälle ohne andere Beteiligte, auf diesen Unfalltyp kommen 43% der Getöteten) konnte Mercedes von 15 % (1999) auf 10,6 % (2000) und 10,7% (2001) senken, während andere Marken konstant hoch blieben. Auch Überschlüge und Seitenkollisionen wurden dank ESP verringert. Bei den Unfällen die ESP nicht verhindern konnte, reduzierte sich jedoch die Verletzungstärke erheblich. So ging der Anteil der höchsten Verletzungsschwere von 15% auf 5% aller Unfälle zurück!



Mercedes-Benz untersuchte für diese Studie insgesamt 1.561.085 Unfälle aus der Quelle des Statistischen Bundesamt.



Kundennutzen von ABS:

- ⇒ Ein Blockieren der Räder ist praktisch ausgeschlossen.
- ⇒ Hindernisse können auch bei Vollbremsungen umfahren werden. Das Fahrzeug bleibt lenkbar, da die Räder nicht blockieren
- ⇒ Die Richtungsstabilität bleibt auch bei einer Vollbremsung erhalten.
- ⇒ Der Fahrer kann stets die maximale Bremskraft nutzen.

Kundennutzen von ASR:

- ⇒ Bei Hinterachsantrieb: ASR verhindert Ausbrechen des Fahrzeugheckes
- ⇒ ASR arbeitet über den gesamten Geschwindigkeitsbereich
- ⇒ Verbessertes Traktionsvermögen z.B. bei Glätte
- ⇒ Besonders vorteilhaft auf unterschiedlich griffiger Fahrbahn und in der Kurve
- ⇒ Abschaltbar bei Schneekettenbetrieb zur Traktionsverbesserung oder beim Anfahren

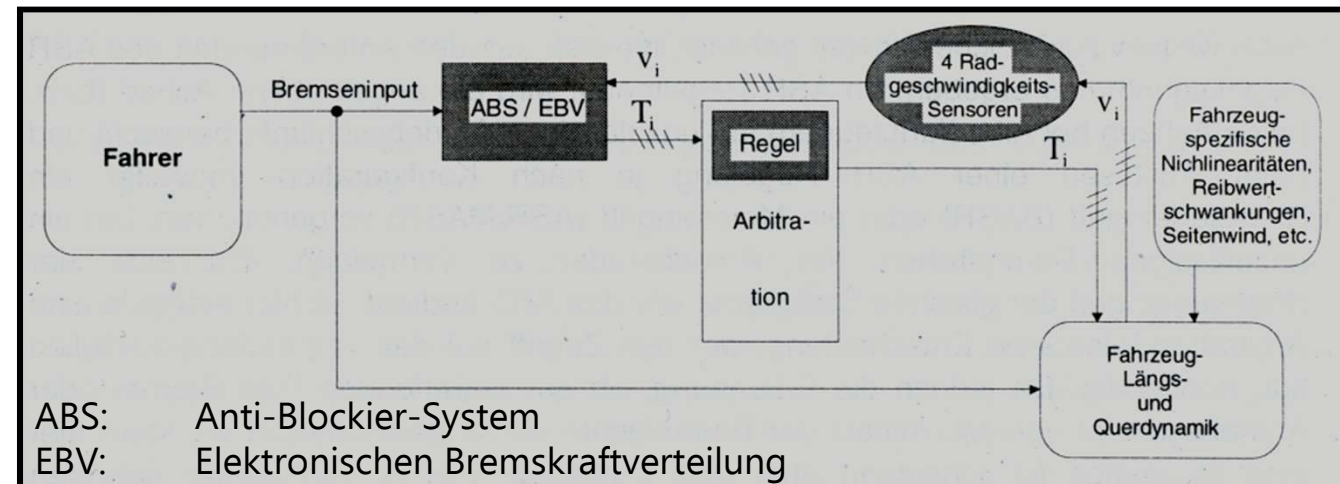


Regler Betrachtete Regelstrecke	ABS (Reifen)	ESP (Gesamtfahrzeug)
Aufgabe	Reifen blockieren verhindern	Fahrzeug folgt dem Fahrerwunsch bis in den Grenzbereich
Sensoren	Radrehzahlen	Raddrehzahlen, Lenkwinkel, Giergeschwindigkeit, Querbefchleunigung, Drosselklappenstellung, Bremsdruck
Aktoren	Hydraulische Bremsen mit 8 Ventilen	Hydraulische Bremsen mit 12 Ventilen und Pumpe, EGAS Eingriff



Regelsysteme

Anti-Blockier-System (ABS)



ABS - Funktion:

- ⇒ Sensoren an den Räder messen die Raddrehzahlen. Aus den Signal der einzelnen Sensoren errechnet das elektronische Steuergerät eine Durchschnittsgeschwindigkeit, die etwa der Fahrgeschwindigkeit entspricht
- ⇒ Durch Vergleich der Radgeschwindigkeit für ein Rad und der Durchschnittsgeschwindigkeit aller Räder erkennt das Steuergerät, ob ein Rad zum Blockieren neigt. Sobald ein Rad zu blockieren droht, vermindert das System für das betreffende Rad den Bremsdruck bis zu einem festgelegten Schwellenwert diesseits der Blockiergrenze.
- ⇒ Dieses Wechselspiel (Bremsdruck verringern/Bremsdruck erhöhen) erfolgt, solange der Fuß den maximalen Bremsdruck auf dem Bremspedal aufrechterhält.

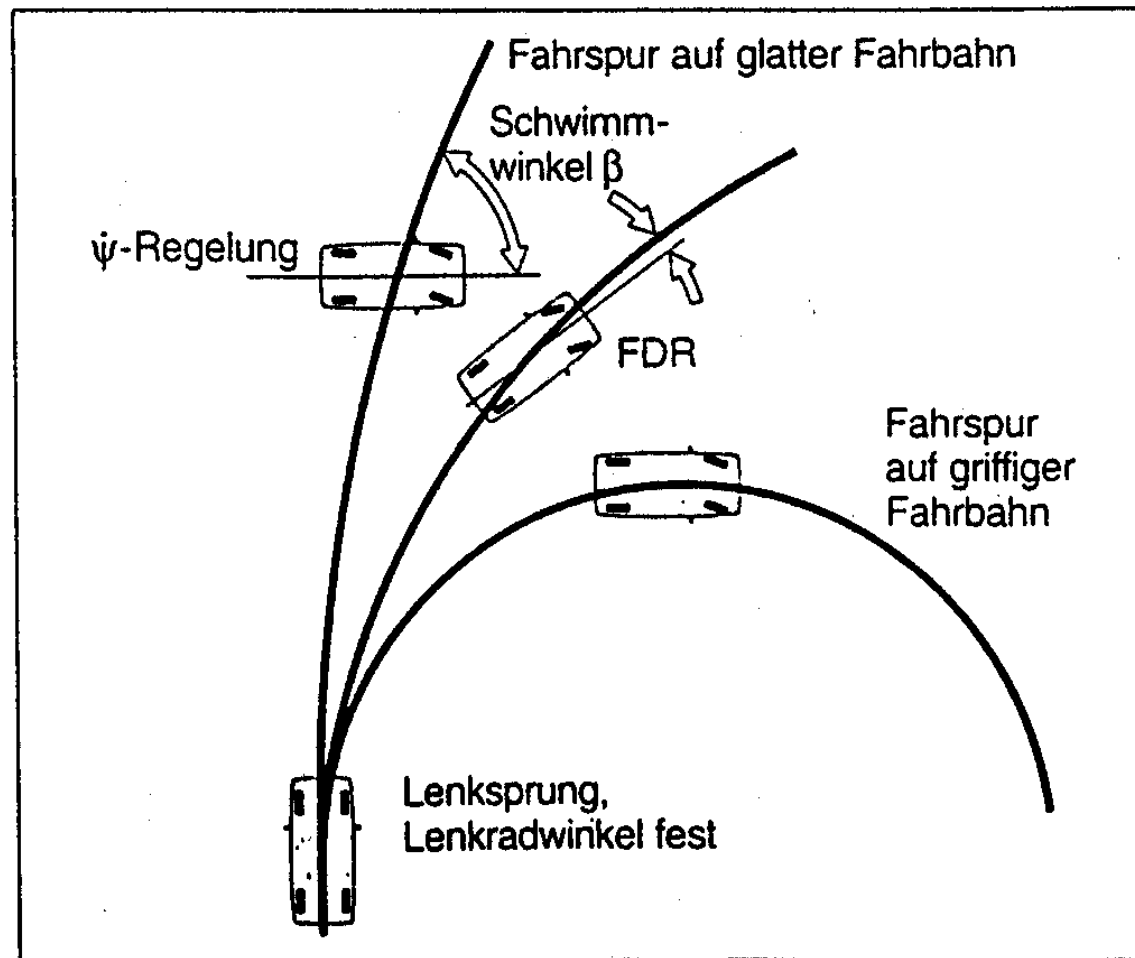
Anti-Schlupf-Regelung (ASR)



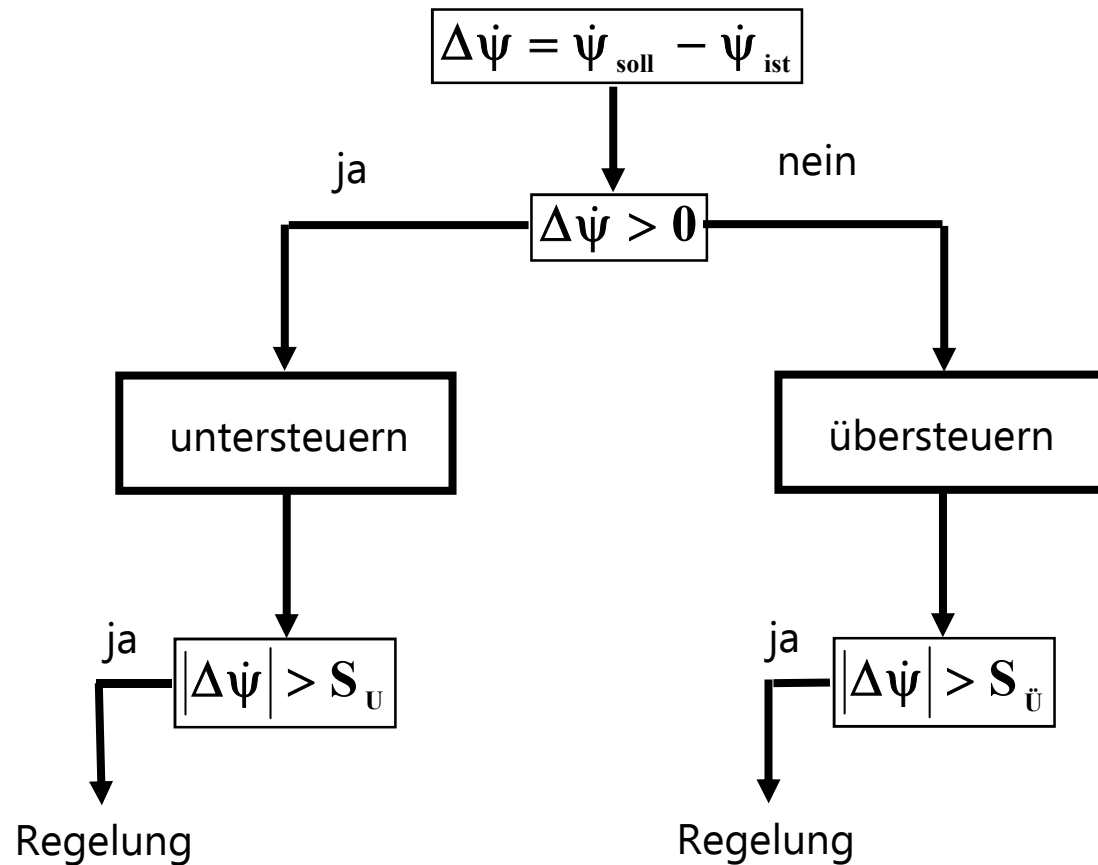
- ⇒ Je ein Sensor pro Rad erfasst die Drehzahlen aller Räder und verarbeitet diese Daten im Steuergerät.
- ⇒ Gibt der Fahrer so viel Gas, dass die Antriebsräder beginnen durchzudrehen, erkennt ASR ein für die momentan Verhältnisse zu hohes Motor-Antriebsmoment. Über das elektronische Gaspedal (E-Gas) wird die Drosselklappe angesteuert und dadurch automatisch weniger Gas gegeben.
- ⇒ Bei hohem Schlupf der Räder wird ein zusätzlicher Bremsengriff vorgenommen, der bei mehr als 40 km/h aus Sicherheitsgründen an den Antriebsrädern gleichzeitig erfolgt.



Giergeschwindigkeit und Schwimmwinkel



Für das ESP ist die wichtigste Zustandsgröße die Giergeschwindigkeit.

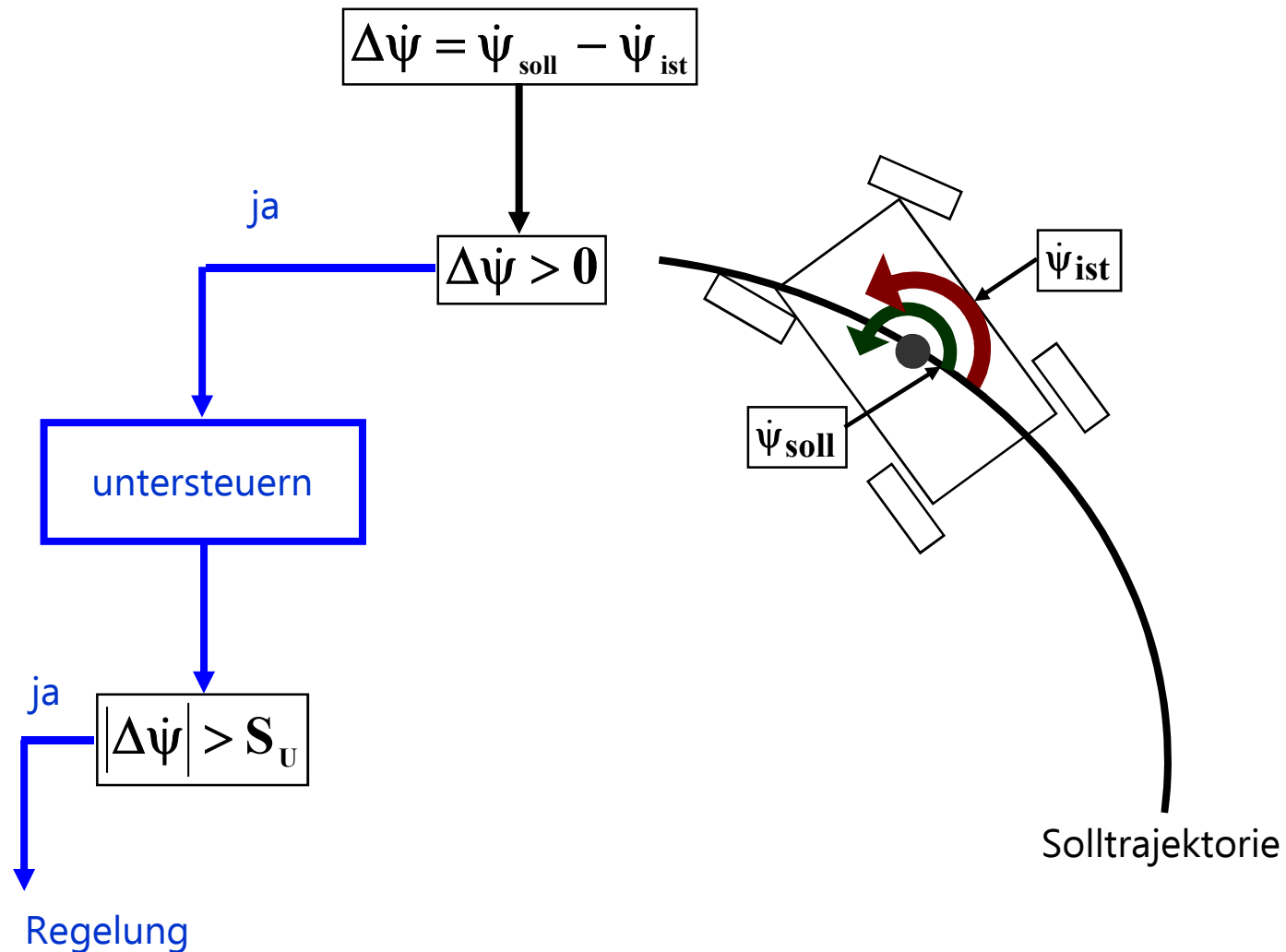


S_u = Schwellwert für Untersteuern

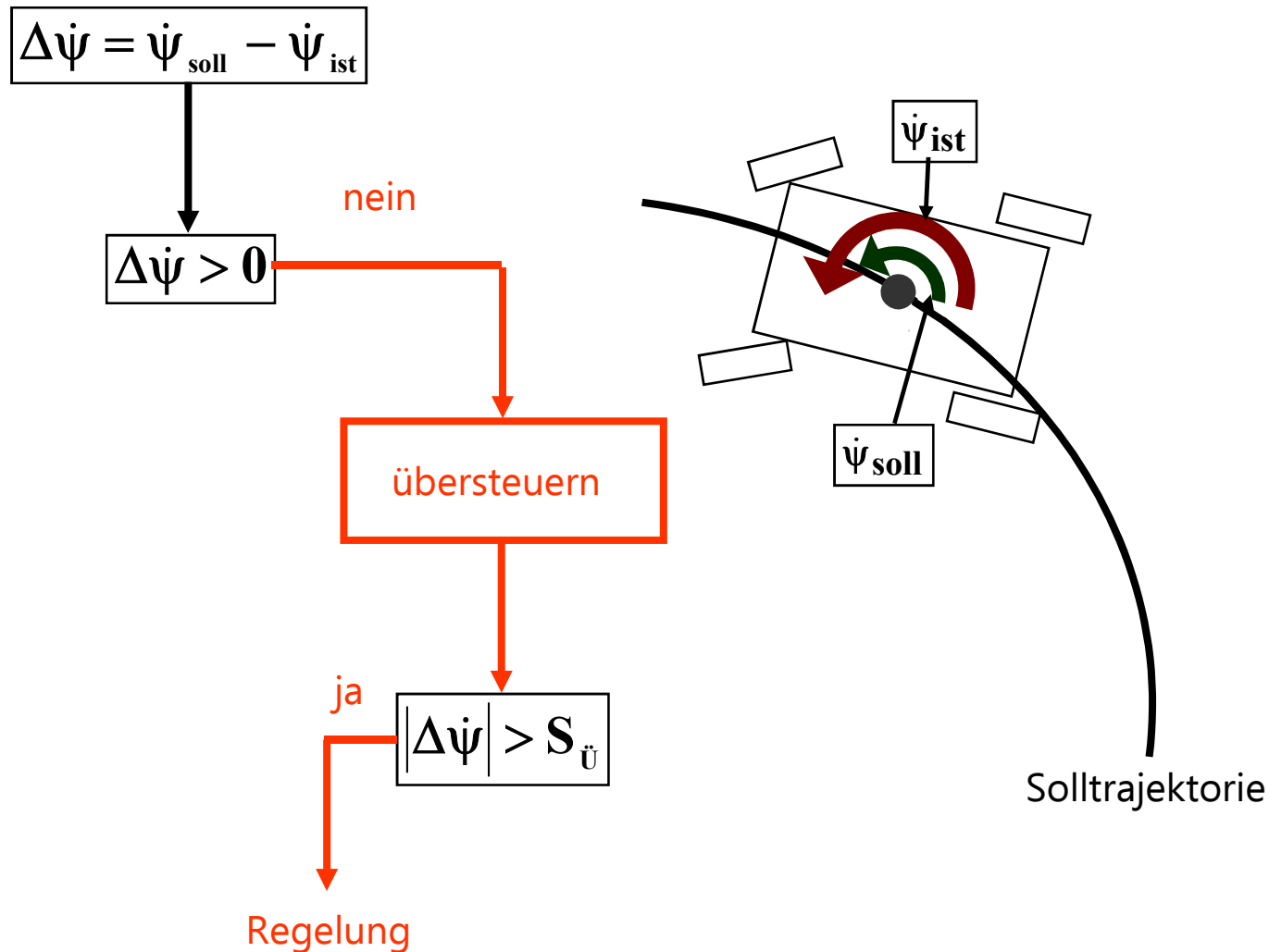
$S_{\ddot{u}}$ = Schwellwert für Übersteuern

Die Schwellwerte können Funktionen von v , a_y , ... seien.

Situation: Untersteuern bei Linkskurve

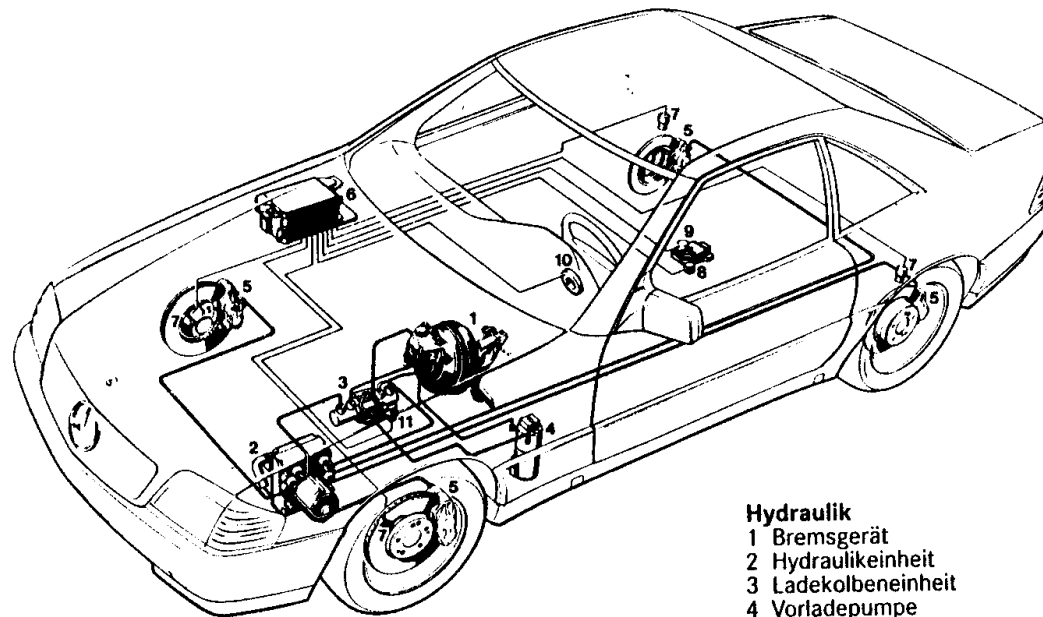


Situation: Übersteuern bei Linkskurve





Anordnung der Systemkomponenten im Fahrzeug



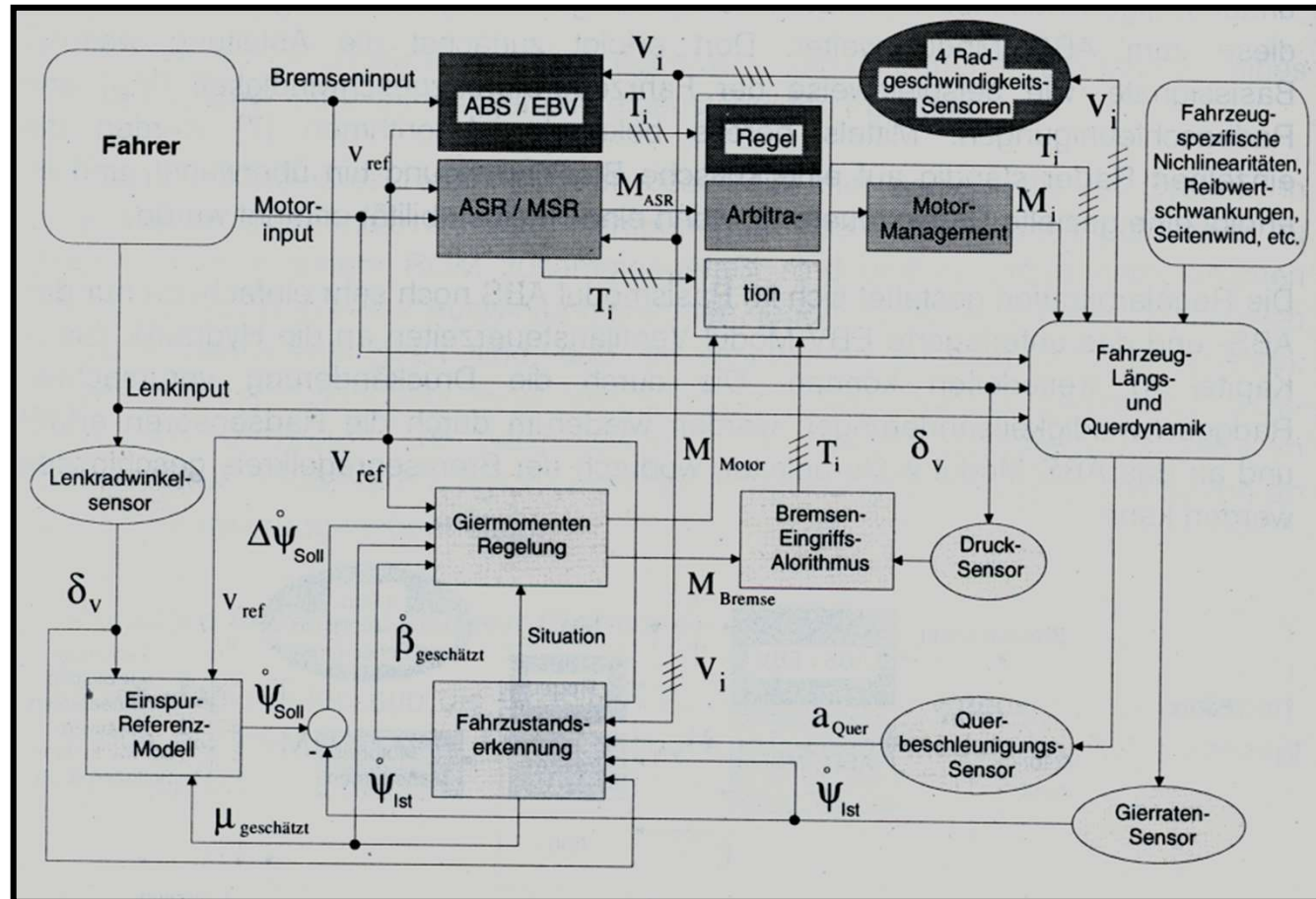
Hydraulik

- 1 Bremsgerät
- 2 Hydraulikeinheit
- 3 Ladekolbeneinheit
- 4 Vorladepumpe
- 5 Radbremse
- 6 Elektronisches Steuergerät

Sensorik

- 7 Raddrehzahlsensor (4 x)
- 8 Querschleunigungssensor
- 9 Giergeschwindigkeitssensor
- 10 Lenkwinkelsensor
- 11 Vordrucksensor

Hydr. Leitungen ———
Elektr. Leitungen - - - -



ESP schließt die Funktionen aller übrigen Systeme (ABS, BAS, ETS und ASR) ein und ergänzt sie um eine Steuerlogik, die sich auf eine umfassende Sensorik stützt.

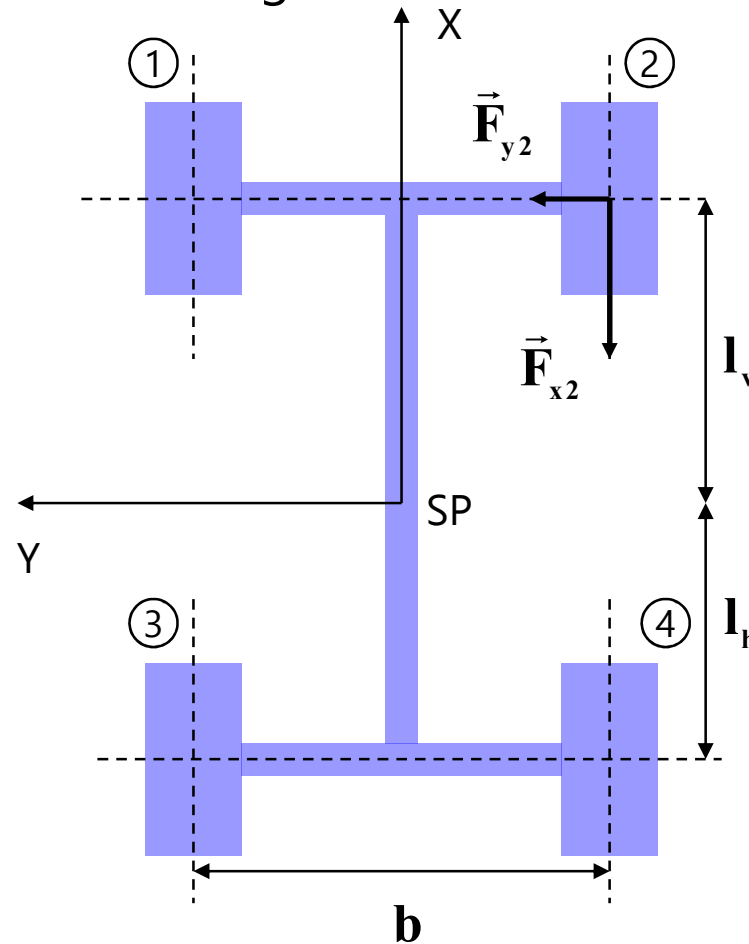
Kundennutzen von ESP:

- ⇒ Fahrstabilität im gesamten Geschwindigkeitsbereich: beim Bremsen, Beschleunigen und freien Rollen
- ⇒ Hohes Unfallvermeidungspotenzial durch Verhindern des Schleuderns beim Ausweichen, zu schnell angefahrenen Kurven, Fahrfehlern oder beim Bremsen
- ⇒ Bessere Traktion beim Anfahren auf glatter oder unbefestigter Fahrbahn
- ⇒ ESP-Off-Schalter für mehr Schlupf (zum „Freischaukeln“ bei Schneekettenbetrieb etc.)

Möglichkeiten zur Fahrzeugstabilisierung:

Die Reifenkräfte erzeugen bezogen auf den Schwerpunkt SP folgende Momente:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_1 &= +\mathbf{F}_{y1} \cdot \mathbf{l}_v + \mathbf{F}_{x1} \cdot \frac{\mathbf{b}}{2} \\ \mathbf{M}_2 &= +\mathbf{F}_{y2} \cdot \mathbf{l}_v - \mathbf{F}_{x2} \cdot \frac{\mathbf{b}}{2} \\ \mathbf{M}_3 &= -\mathbf{F}_{y3} \cdot \mathbf{l}_h + \mathbf{F}_{x3} \cdot \frac{\mathbf{b}}{2} \\ \mathbf{M}_4 &= -\mathbf{F}_{y4} \cdot \mathbf{l}_h - \mathbf{F}_{x4} \cdot \frac{\mathbf{b}}{2} \end{aligned}$$



(Vorzeichen entsprechend einer Linkskurve)



Durch Aufbringen von Bremsmomenten an den einzelnen Rädern können die Momenten M_1 bis M_4 gezielt geändert werden.

Unter der Annahme, dass sich die Radlasten und Schräglaufwinkel im ersten Moment nicht ändern, ergeben sich folgende Änderungsmomente beim Aufbringen einer $\Delta\lambda$ Schlupfänderung:

$$\Delta M_1 = + \frac{\partial F_{y1}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot l_v + \frac{\partial F_{x1}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \frac{b}{2}$$

$$\Delta M_2 = + \frac{\partial F_{y2}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot l_v - \frac{\partial F_{x2}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \frac{b}{2}$$

$$\Delta M_3 = - \frac{\partial F_{y3}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot l_h + \frac{\partial F_{x3}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \frac{b}{2}$$

$$\Delta M_4 = - \frac{\partial F_{y4}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot l_h - \frac{\partial F_{x4}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \frac{b}{2}$$



Regelsysteme

Fahrzeugstabilisierung

$$\Delta \mathbf{M}_1 = + \frac{\partial \mathbf{F}_{y1}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \mathbf{l}_v + \frac{\partial \mathbf{F}_{x1}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \frac{\mathbf{b}}{2} \approx 0$$

$$\Delta \mathbf{M}_2 = + \frac{\partial \mathbf{F}_{y2}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \mathbf{l}_v - \frac{\partial \mathbf{F}_{x2}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \frac{\mathbf{b}}{2} < 0$$

$$\Delta \mathbf{M}_3 = - \frac{\partial \mathbf{F}_{y3}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \mathbf{l}_h + \frac{\partial \mathbf{F}_{x3}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \frac{\mathbf{b}}{2} > 0$$

$$\Delta \mathbf{M}_4 = - \frac{\partial \mathbf{F}_{y4}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \mathbf{l}_h - \frac{\partial \mathbf{F}_{x4}}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda \cdot \frac{\mathbf{b}}{2} \approx 0$$

Ausgangssituation:

Fahrzeug fährt Linkskurve und

a) übersteuert, d.h. die „reindrehenden“, positiven Momente sind gegenüber den „rausdrehenden“, negativen Momenten zu groß.



Bremsen Vorne kurvenausßen

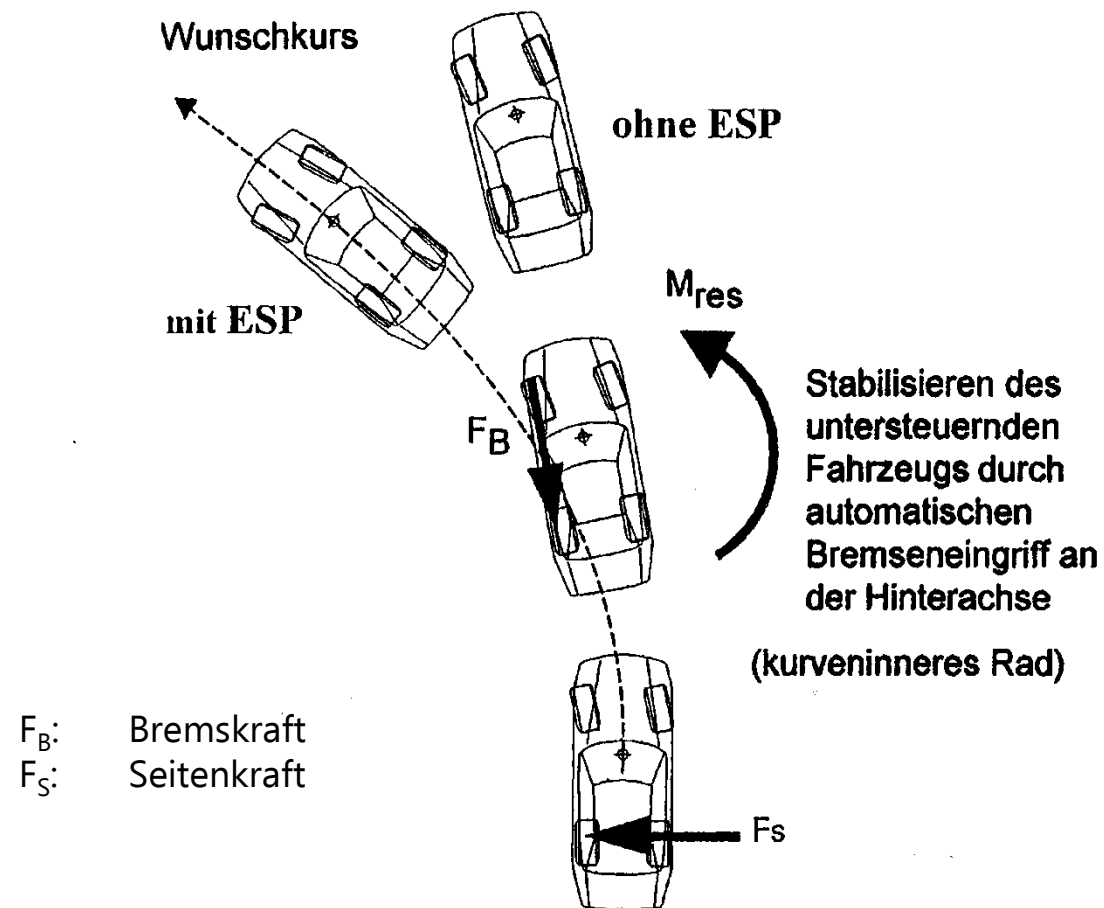
b) untersteuert, d.h. die „reindrehenden“, positiven Momente sind gegenüber den „rausdrehenden“, negativen Momenten zu klein.



Bremsen Hinten kurveninnen

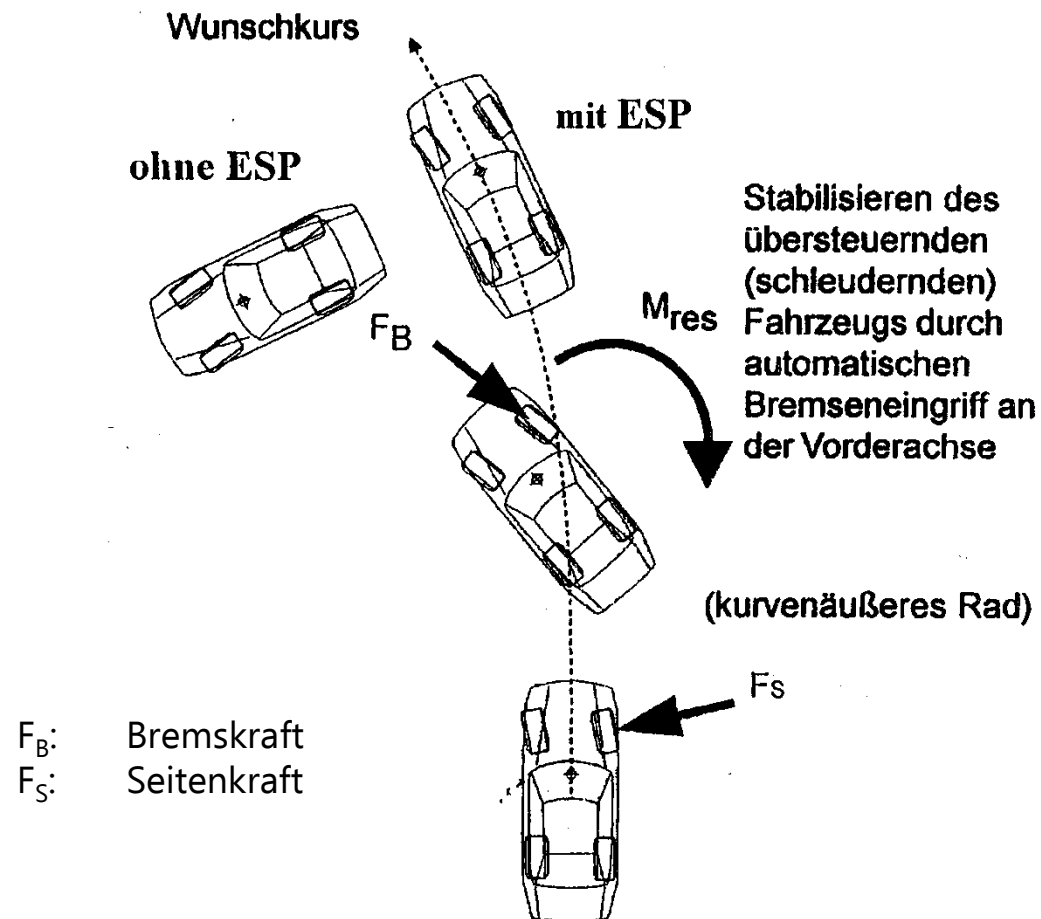


Regeleingriff beim Untersteuern





Regeleingriff beim Übersteuern





Verschiedene Vorgehensweisen sind möglich:

- ⇒ Auswertung der Kräftebilanz des Fahrzeuges
- ⇒ Auswertung der Momentenbilanz am Rad beim Bremsen
- ⇒ Auswertung der Momentenbilanz am Rad beim Antreiben

Für die Kräftebilanz gilt:

$$\mu_{x,\max} \cdot m \cdot g = m \cdot a_{x,\max}$$

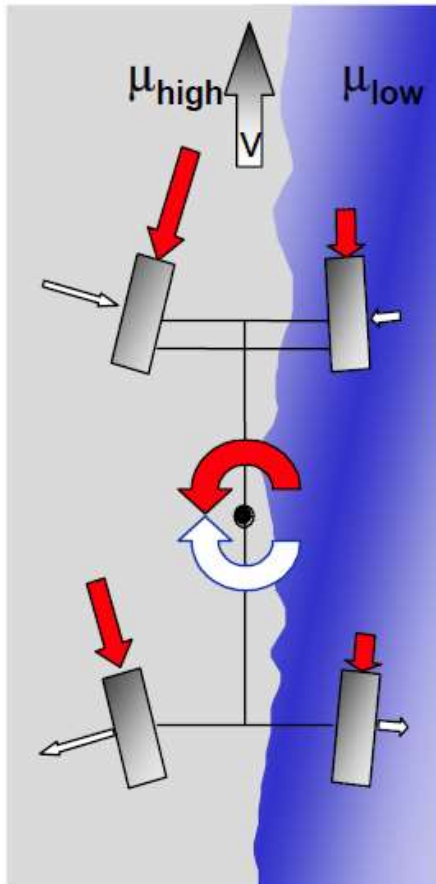
$$\mu_{y,\max} \cdot m \cdot g = m \cdot a_{y,\max}$$

$$\mu_{\max} = \sqrt{\mu_{x,\max}^2 + \mu_{y,\max}^2}$$

Es dürfen nur die $a_{x,\max}$ bzw. $a_{y,\max}$ Werte genommen werden, bei denen der Fahrzustand noch als stabil betrachtet wird. Sonst wird z.B. ein Schleudervorgang mit hohen Beschleunigungen mit einem sehr hohen Strassenreibwert verwechselt.

Dieses Schätzverfahren funktioniert also nur dann hinreichend genau, wenn während des Schätzverfahrens der Reibwert maximal ausgenützt wird.

Bisher gibt es keine serientaugliche Lösung für die direkte Reibwertmessung.



$$M_t = (F_{B,lv} + F_{B,lh}) * s/2 - (F_{B,rv} + F_{B,rh}) * s/2 + (F_{S,lv} + F_{S,rv}) * t_v + (F_{S,rv} + F_{S,rh}) * t_h$$

zusätzlich mit

F_s : Seitenkraft aus Elastokinematik

s : Spurweite

t : Längsabstand zum Schwerpunkt

l, r : links, rechts

v, h : vorne, hinten

Wegen $|F_{S,lv}| > |F_{S,rv}|$ und $|F_{s,lh}| > |F_{s,rh}|$
stabilisierendes Giermoment aus
unterschiedlichen Spur-Seitenkräften
auf der μ_{low} und der μ_{high} Seite



Elektrohydraulische Wankstabilisierung. An Vorder- und Hinterachse.



Konzept:

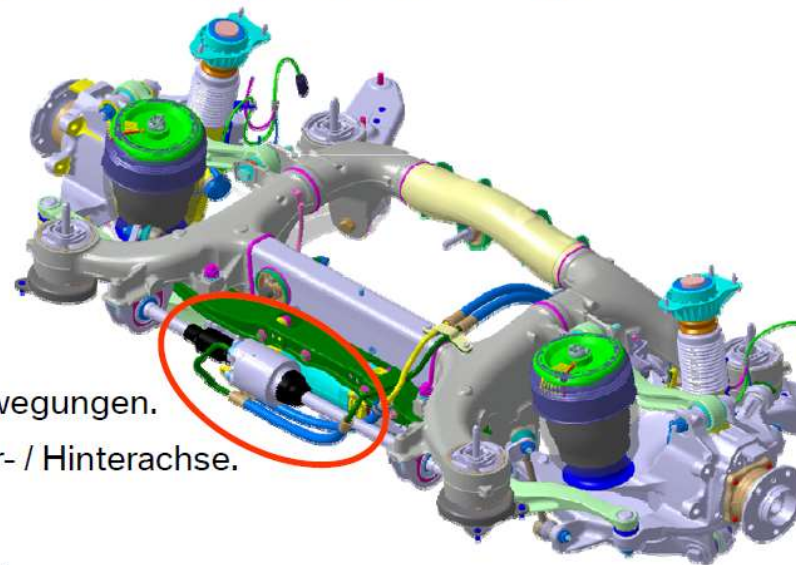
- Geteilter Stabilisator mit hydraulischem Schwenkmotor.
- Geradeausfahrt: Stabilisatorhälften entkoppelt für max. Federungskomfort.

Ergebnis:

- Minimierung Fzg.-Wankbewegungen.
- Wankratenverteilung Vorder- / Hinterachse.



- Erhöhung des Fahrkomforts.
- Verbesserung des Eigenlenkverhaltens.
- Gesteigerte Fahrsicherheit.
- Höhere Zielgenauigkeit und Agilität.





BMW Group
Reidar Fleck
Tag des
Fahrwerks
04.10.2010

Gesamtübersicht. Mechatronisches Fahrwerk des BMW 5er GT.

