



Überblick

- Stabile Fahrzustände
- Physikalische Grundlagen instabiler Fahrzustände: was ist Untersteuern/Übersteuern, was ist Gieren, Schlupf
- Physikalische Grundlagen: Mue-Schlupf Kurven von Reifen
- ESP-Hydraulikschaltbild und Sensorik (Drehzahlsensoren, Drehratensensor, Lenkwinkelsensor, Querbeschleunigungssensor)
- ABS/ASR Regelung
- Instabiler Fahrzustand beim Gieren, was ist der Schwimmwinkel
- Regeleingriffe des ESP
- Zusatzfunktionen wie z.B. Hill Hold Funktion



Stabile Fahrzustände

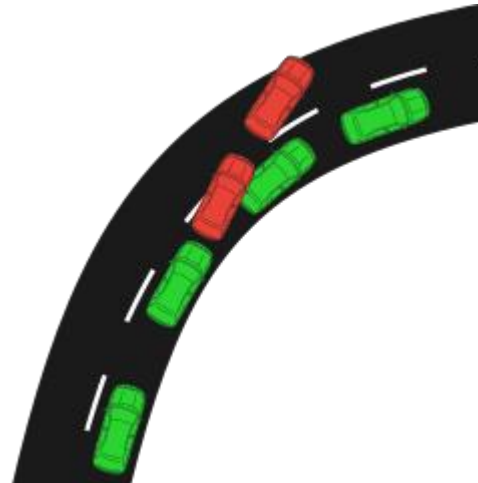
Der Nutzen moderner Bremsensysteme bis hin zur elektronischen Stabilitätsregelung (engl. Electronic Stability Control, ESC) liegt darin, das Verhalten des Autos für den Fahrer berechenbarer, in einem weiten Bereich stabil und im Grenzbereich gut beherrschbar zu machen. Stabil bedeutet hierbei für den Fahrer, dass die Reaktion des Autos auf Bedienvorgaben seinen Erwartungen entspricht. Ein Fahrzustand heißt stabil, wenn er bei konstanten Fahrervorgaben unverändert bleibt und sich bei kleinen Änderungen der Vorgaben nur wenig ändert. Stabile Fahrzustände sind der Normalfahrbereich, in dem vor allem komfortrelevante und fahrspaßrelevante Abstimmungen des Fahrwerks vom Fahrer wahrgenommen werden.

- Quelle: Buch Fahrdynamikregelung mit Brems- und Lenkeingriff Springer-Verlag

Physikalische Grundlagen

Untersteuern (under steering):

Die Fahrzeugschnauze schiebt über die Vorderräder zum äußeren Kurvenrand

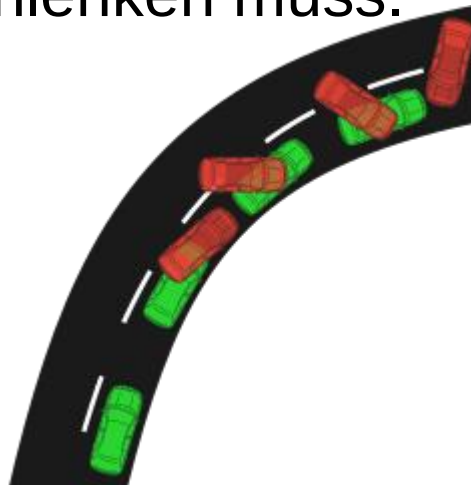


Quelle: Wikipedia



Physikalische Grundlagen

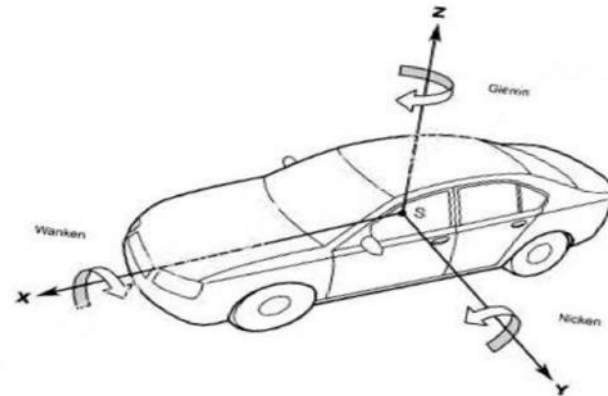
Übersteuern (over steering): Das Heck drängt nach außen, der Lenkeinschlag ist geringer als es dem Kurvenradius entspräche. Übersteuern ist deutlich kritischer, da der Fahrer gegenlenken muss.



Quelle: Wikipedia

Physikalische Grundlagen

Gieren (yaw), Nicken(pitch), Wanken (roll)



Quelle: <https://www.repxpert.de/de/technical-information/chassis/bilstein-from-yawing-to-understeering>

Physikalische Grundlagen

Schlupf ist das Verhältnis des Rades zur Fahrzeuggeschwindigkeit

Treib- oder Antriebsschlupf:

$$s_T = \frac{\omega - \omega_0}{\omega}$$

Bremsschlupf:

$$s_B = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$$

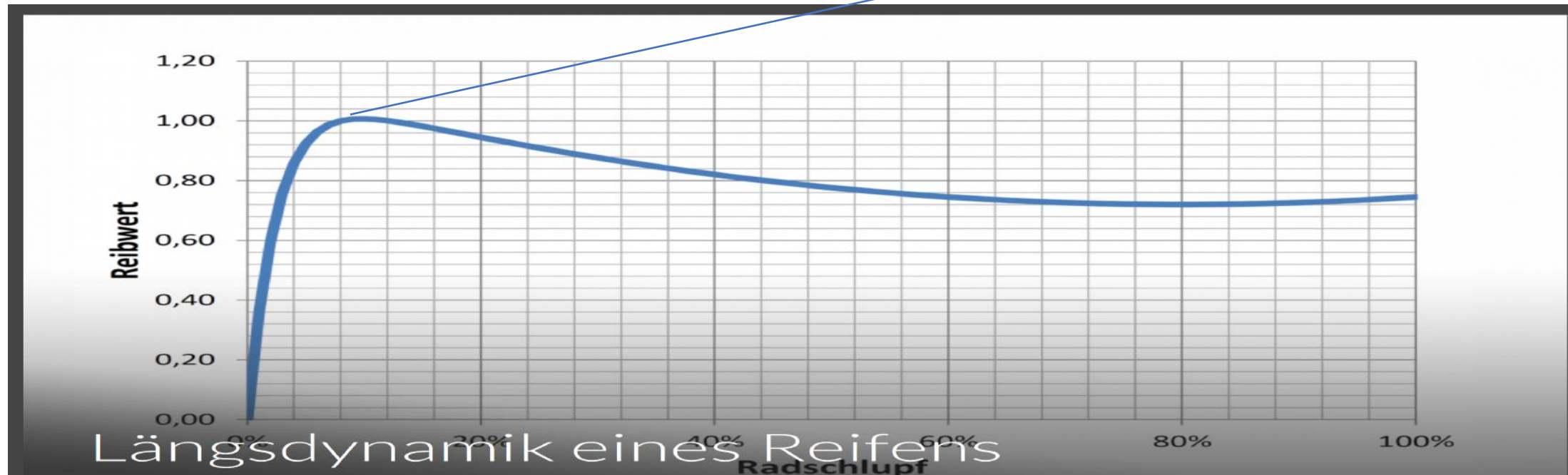
Fahrzeuggeschwindigkeit ω

Radgeschwindigkeit ω_0

Physikalische Grundlagen

μ ue Schlupfkurve von Reifen

Maximale Kraftübertragung
von Reifen auf den
Untergrund aus Längs- und
Querkräften

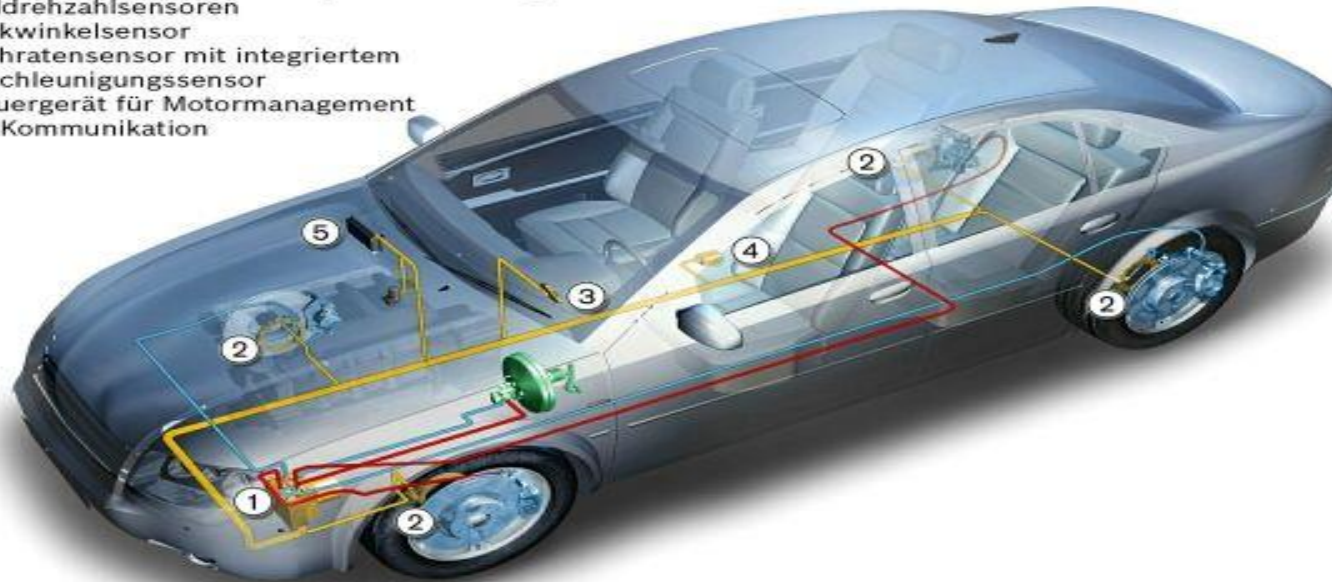


Quelle: <https://www.cbcity.de/langsdynamik-eines-reifens>

Elektronisches Stabilitäts-Programm ESP®

Die Komponenten des Elektronischen Stabilitäts-Programms ESP® von Bosch:

- 1 ESP-Hydroaggregat mit integriertem Steuergerät
- 2 Raddrehzahlsensoren
- 3 Lenkwinkelsensor
- 4 Drehratensensor mit integriertem Beschleunigungssensor
- 5 Steuergerät für Motormanagement zur Kommunikation



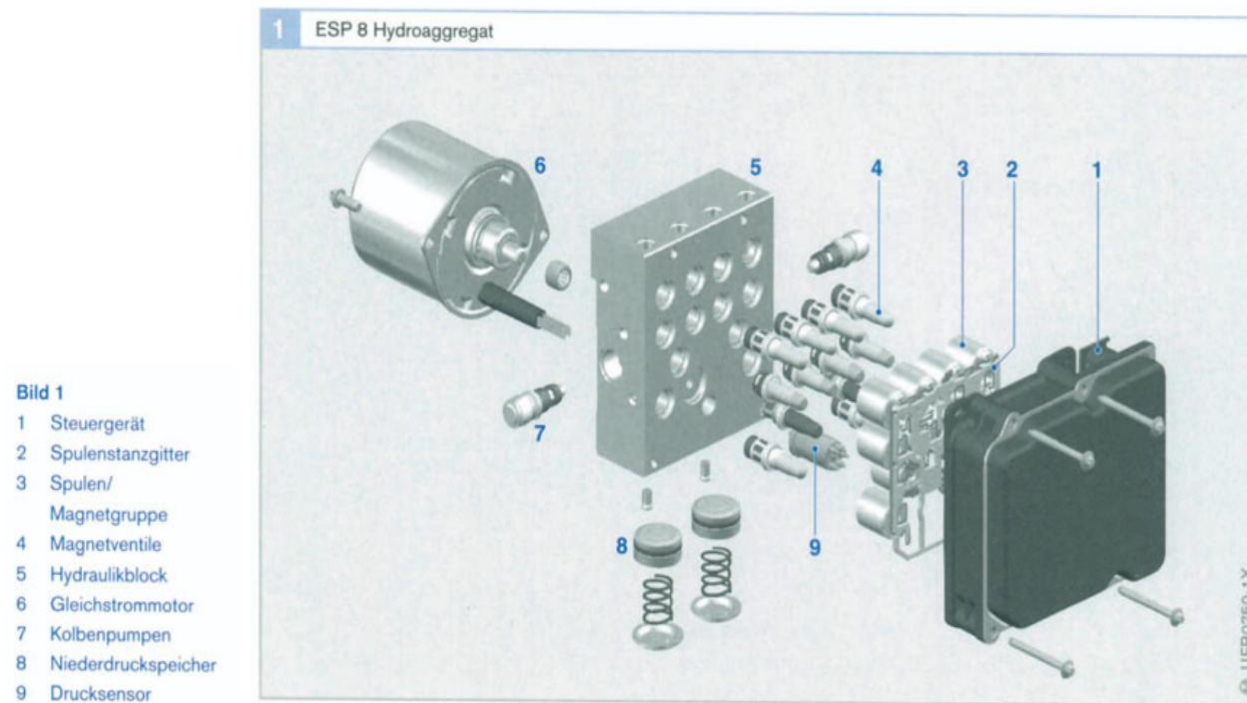
ESP Elektronisches Stabilitätsprogramm



R29

Classic Roadster

Mercedes-Benz R129 SL-Club e.V.



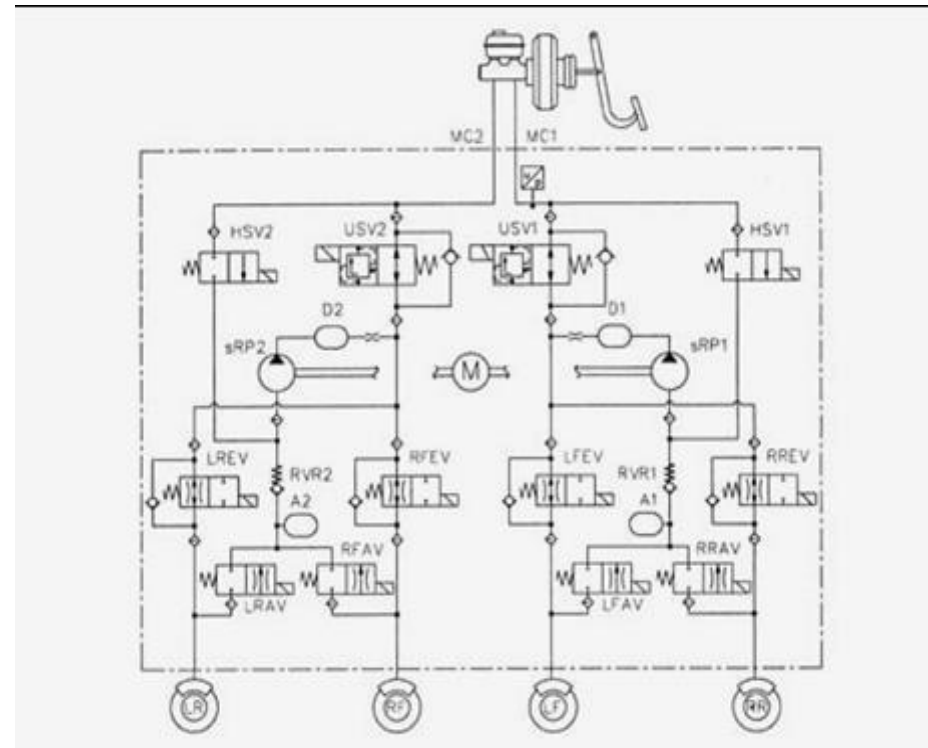
Robert Bosch GmbH, *Sicherheits- und Komfortsysteme*

© Robert Bosch GmbH and Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2004

Quelle: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-322-80324-5_10



ESP Hydraulikplan



Quelle: https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-the-ESP-electrohydraulic-modulator-ABS-Bosch-57-RREV-RRAV-LFEV-LFAV_fig1_326685570

ESP Elektronisches Stabilitätsprogramm

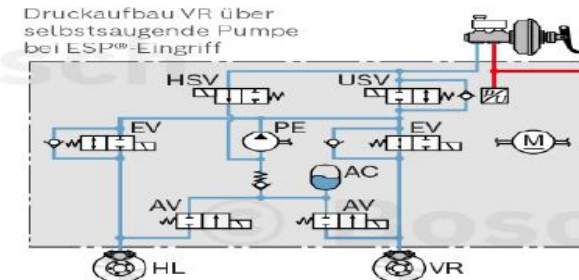
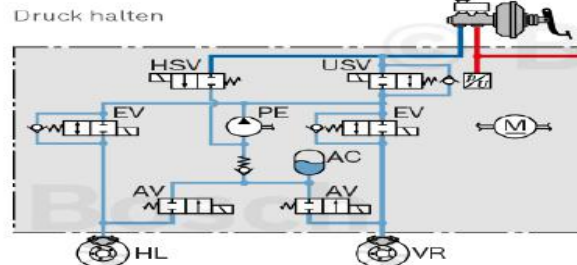
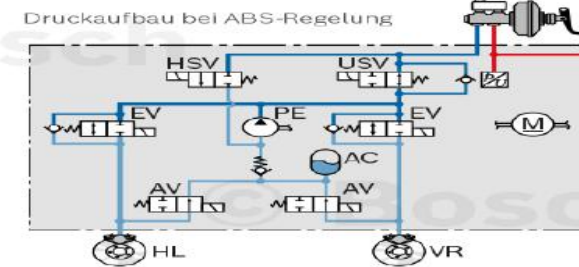
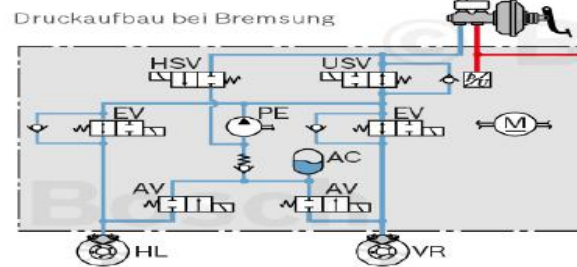
R29

Classic Roadster

Mercedes-Benz R129 SL-Club e.V.

ESP Druck- auf, -abbau, -halten exemplarisch für einen Bremskreis um auf das Maximum der mu-Schlupfkurve einzuregeln

Hydraulikeinheit eines ESP®-Systems



EV Einlassventil
AV Auslassventil
USV Umschaltventil
HSV Hochdruckschaltventil

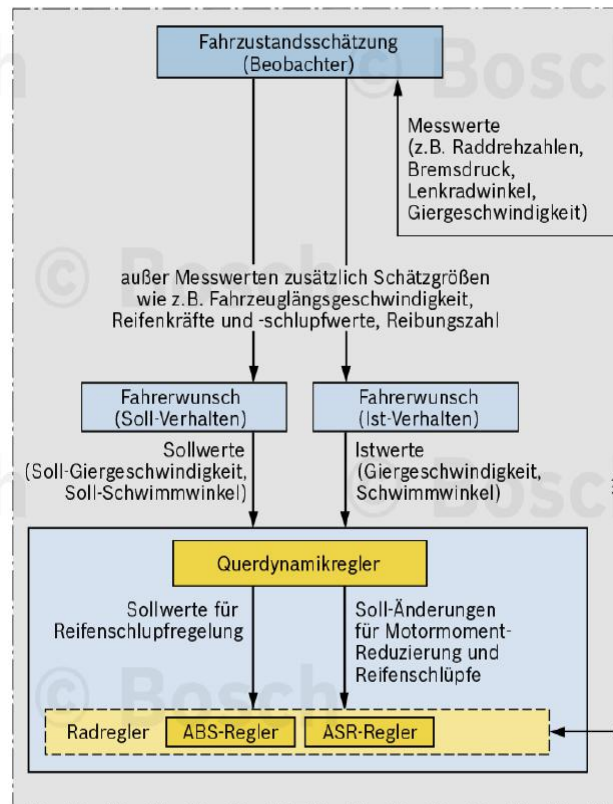
AC Niederdruckspeicher
M Pumpenmotor
PE Rückförderpumpe

V vorn
H hinten
R rechts
L links

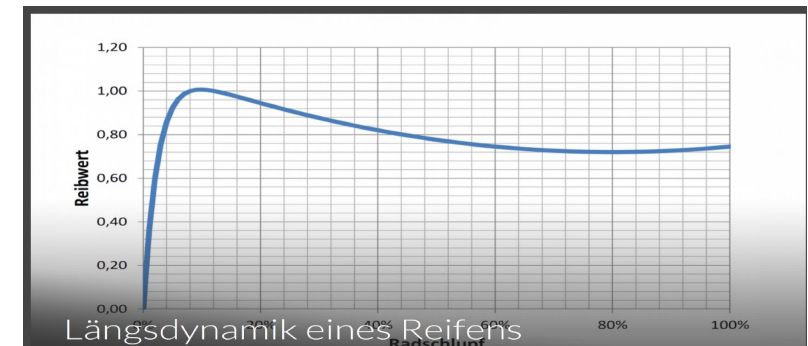
Vergleich Fahrerwunsch und
Istzustand des Fahrzeugs

Beispiel ABS (Antiblockierregelung) :
Bremsen auf Eis ->
blockierte Räder -> Reduktion des
Raddrucks radindividuell auf das
Maximum der μ ue Schlupfkurve
-> maximal mögliche Verzögerung und
Fahrzeug bleibt lenkbar

ESP®-Regelsystem im Fahrzeug

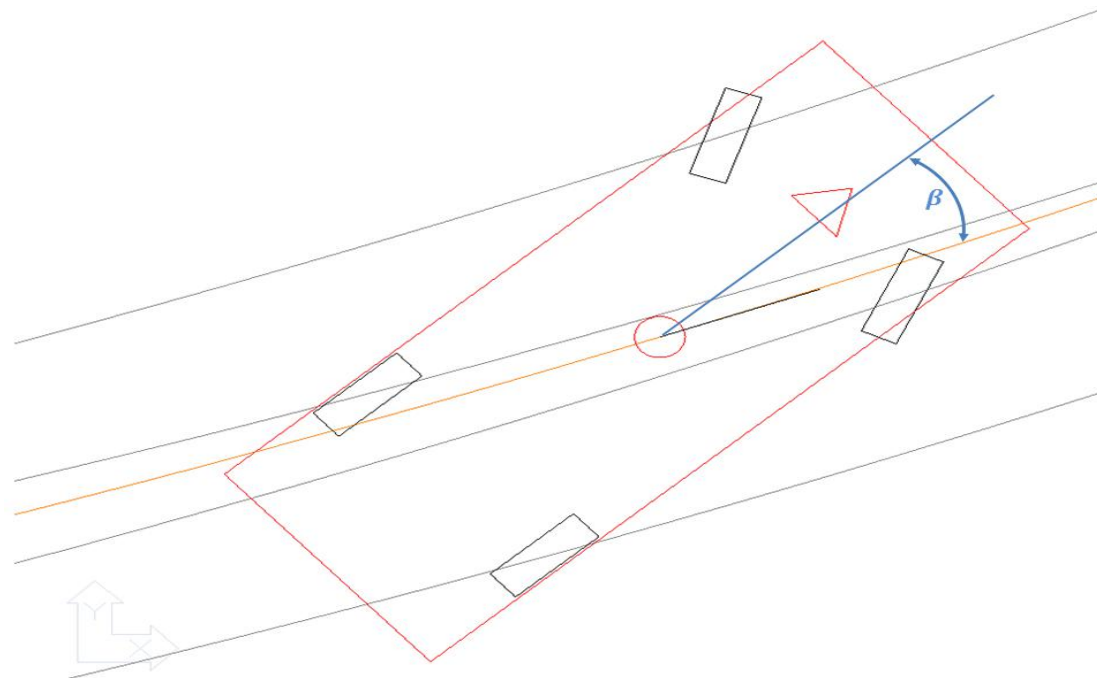


Beispiel ASR (Antischlupfregelung):
Beschleunigen auf Eis -> durchdrehende
Räder -> Reduktion des
Raddrucks radindividuell auf das
Maximum der μ ue Schlupfkurve
-> maximale mögliche Beschleunigung und
Fahrzeug bleibt lenkbar



Physikalische Grundlagen

Gieren: Drehung des Fahrzeugs um die Hochachse.
Der Schwimmwinkel ist der Winkel β zwischen der Bewegungsrichtung des Fahrzeugs im Schwerpunkt und der Fahrzeuglängsachse.



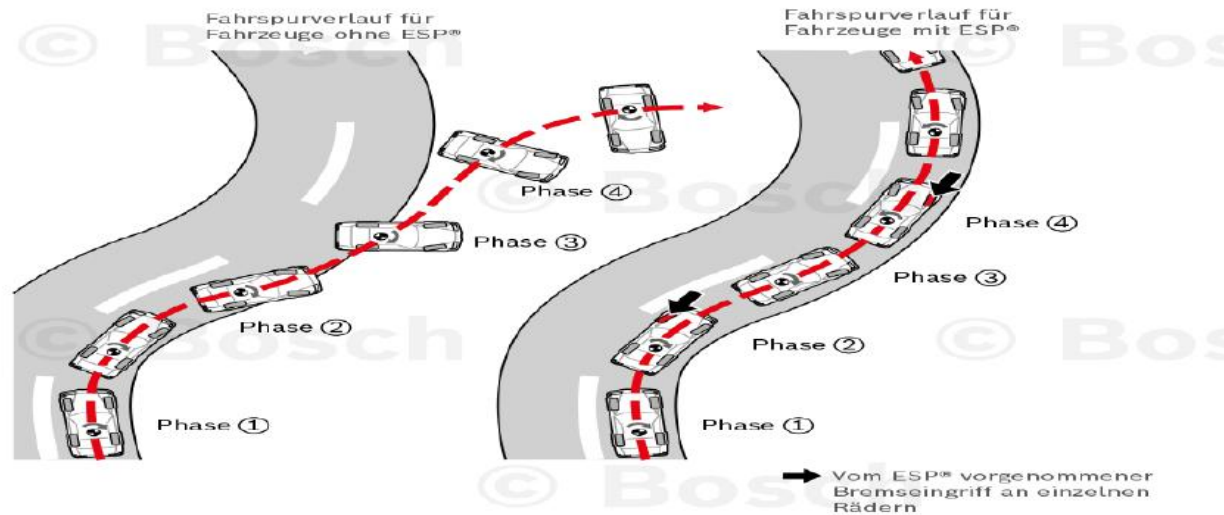
ESP Elektronisches Stabilitätsprogramm

R29

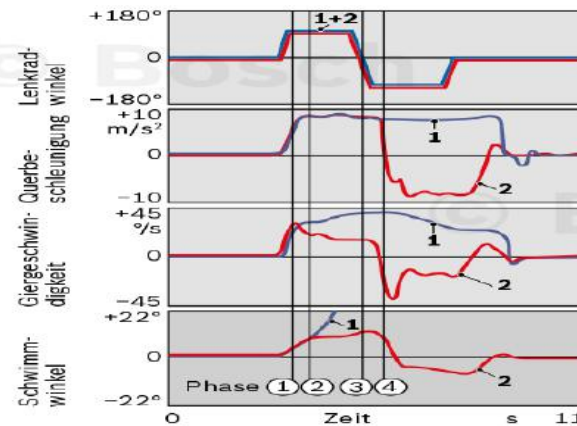
Classic Roadster

Mercedes-Benz R129 SL-Club e.V.

Durchfahren einer Rechts-Links-Kurvenfolge



Zeitverläufe fahrdynamischer Größen



Phase 1
Fahrer lenkt, Seitenkraftaufbau

Phase 2
Drohende Instabilität,
ESP®-Bremseneingriff vorne links

Phase 3
Gegenlenken;
Fahrzeug ohne ESP® gerät außer Kontrolle,
Fahrzeug mit ESP® bleibt unter Kontrolle

Phase 4
Fahrzeug ohne ESP® nicht mehr beherrschbar,
Fahrzeug mit ESP® nach Bremseneingriff stabilisiert

1 Fahrzeug ohne ESP®
2 Fahrzeug mit ESP®

Quelle:
ESP_Lehrtafel_Bosch_de.pdf

R29

Classic Roadster



Mercedes-Benz R129 SL-Club e.V.

Funktionsweise ESP im Youtube:

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

Beispiel von Zusatzfunktionen für Fahrzeuge mit ESP

Hill Hold Function

https://www.youtube.com/watch?v=kH05yS_SG3M

Hill Descent Function

<https://www.youtube.com/watch?v=eJ-WyenO-eo>

Youtube: „Alte Schule Anton von Zanten“ 68 Minuten

R29

Classic Roadster



Mercedes-Benz R129 SL-Club e.V.

Danke für die Aufmerksamkeit