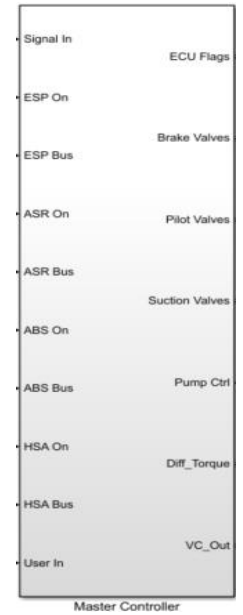
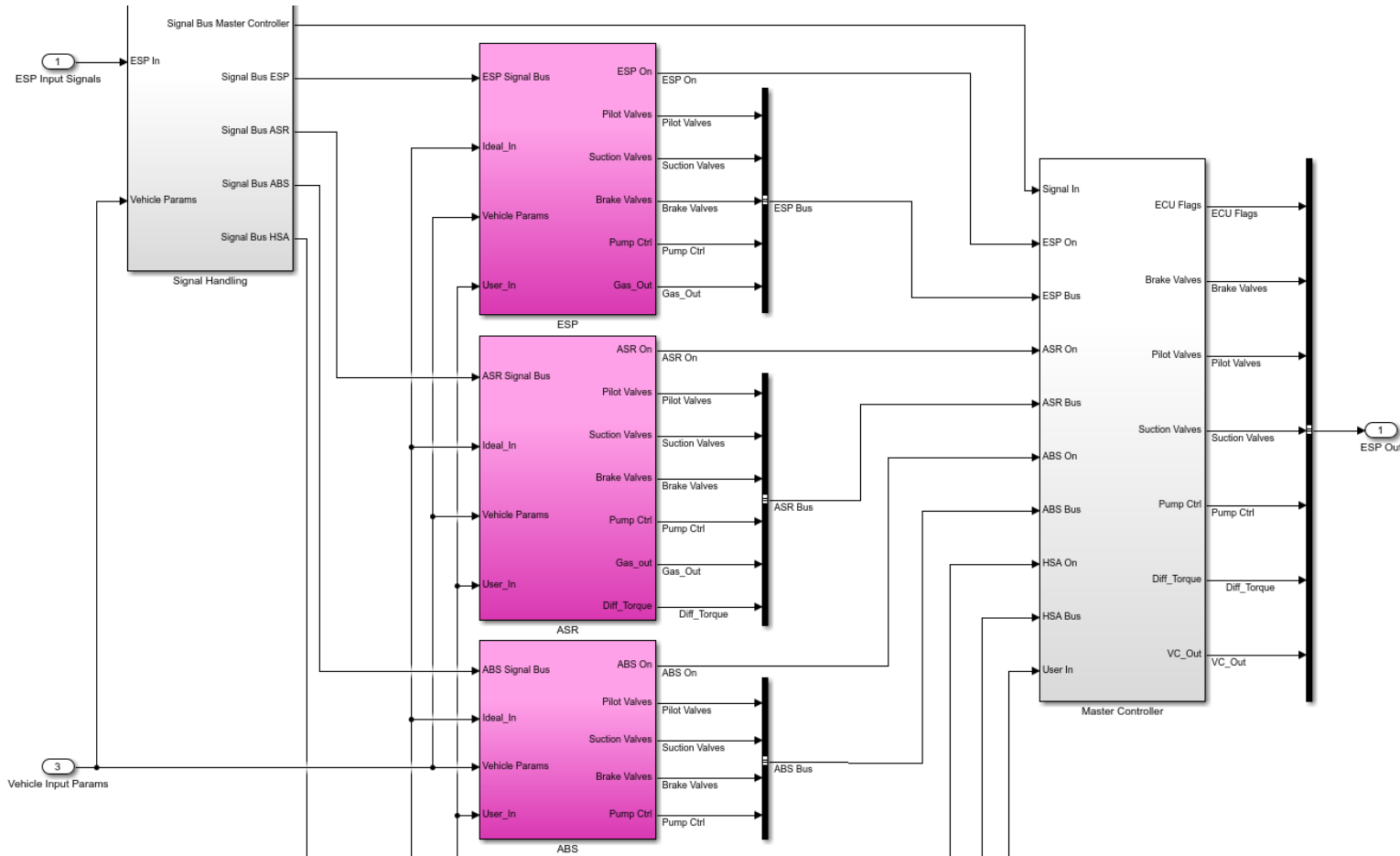


BREMSBASIERTE ASSISTENZFUNKTIONEN - FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME (ABS, ASR, ESP[®] - ÜBUNGEN)

ROBERT BOSCH GMBH
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ

Fahrdynamikregelsysteme

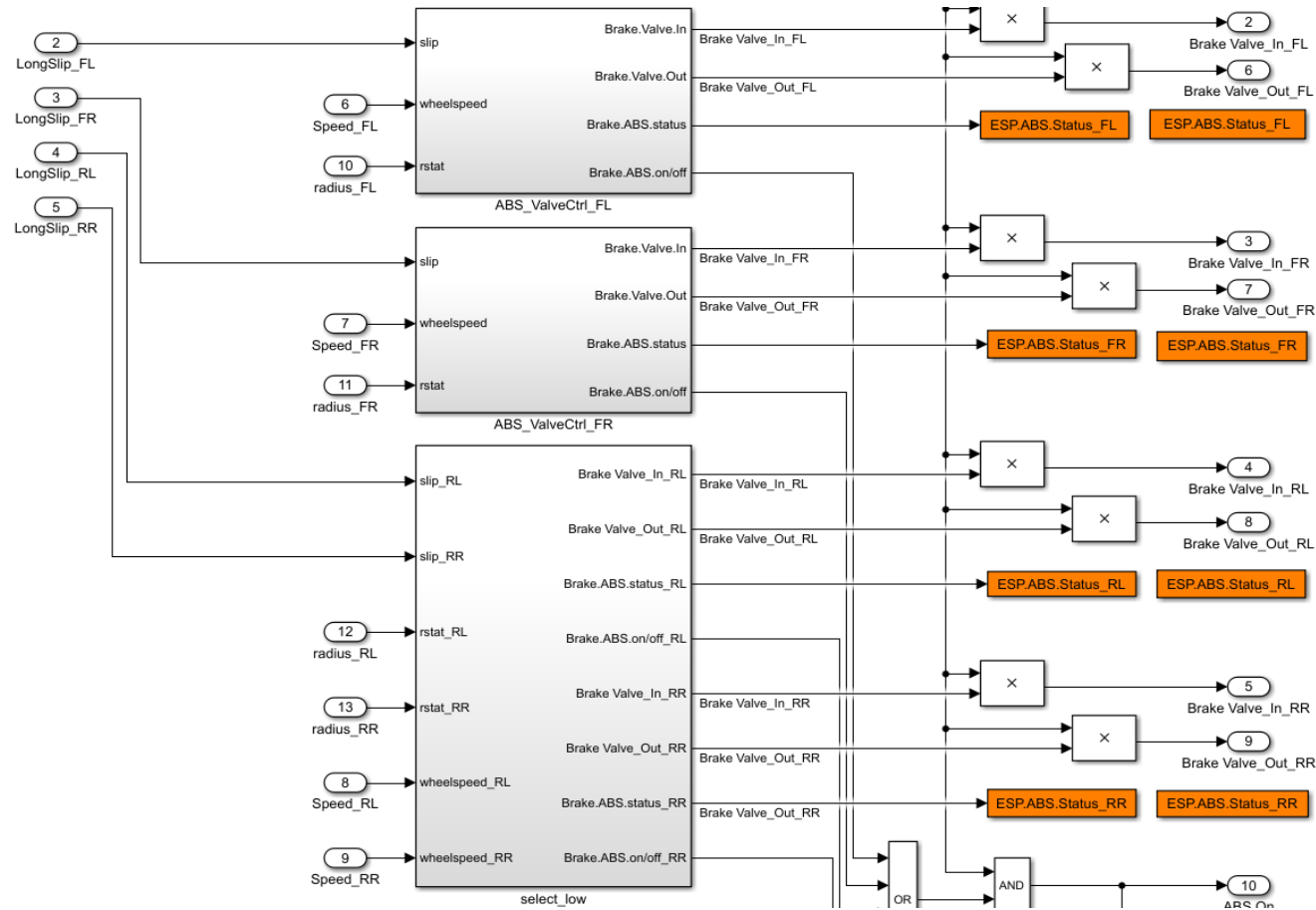
Übungen – ESC_{IPG}-Struktur



Master Controller
- Priorisierung der Regler (ABS, ESC, ASR, HAS)

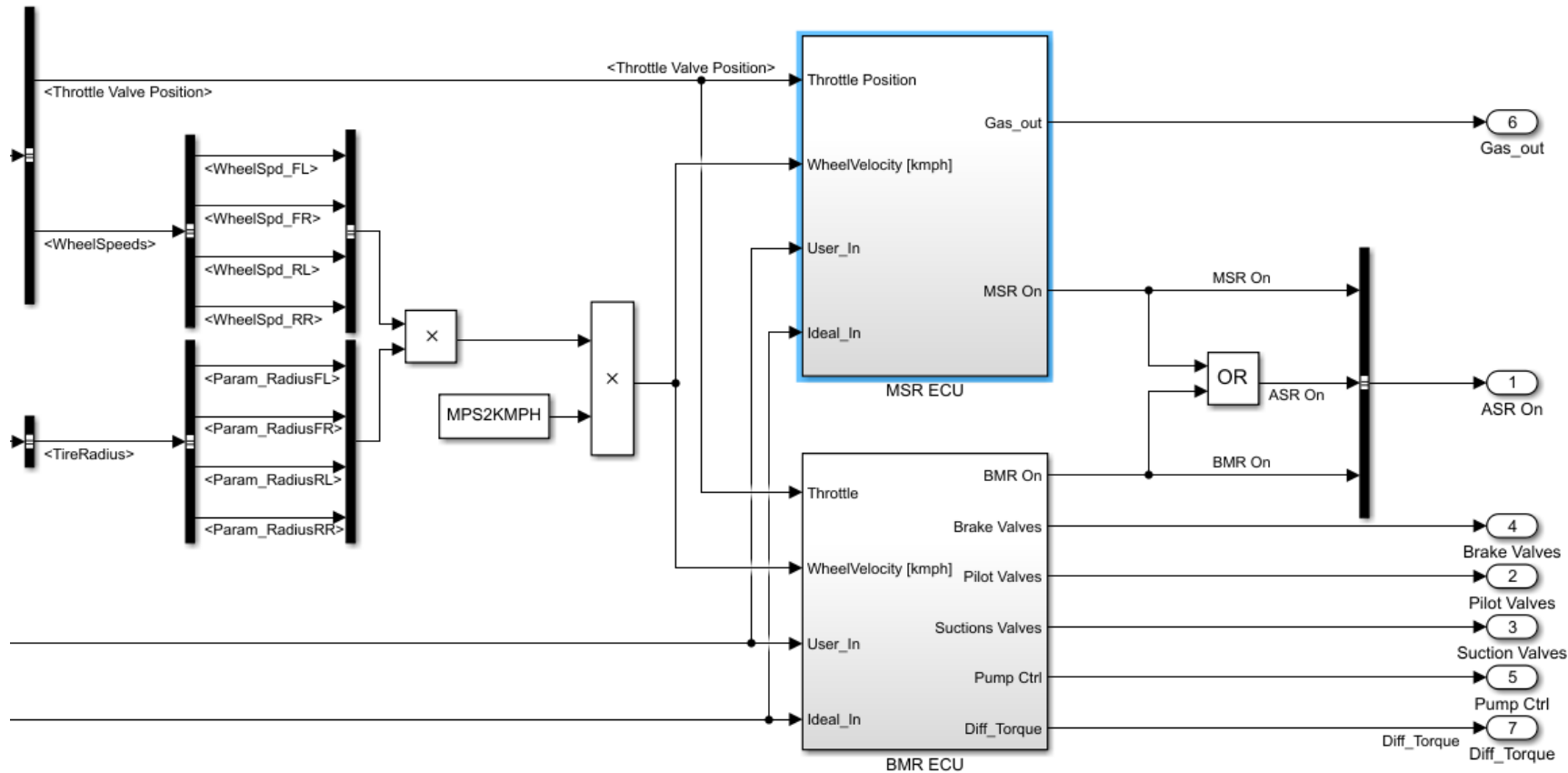
Fahrdynamikregelsysteme

Übungen – ABS_{IPG}-Struktur



Fahrdynamikregelsysteme

Übungen – ASR_{IPG}-Struktur



Fahrdynamikregelsysteme

Übungen CM4SL^{*)} – ABS-/ASR-Manöver

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Manöver: Testrun Examples/Braking
- Fahrbahn: bspw. Testrun “Braking”
– Modifikation des Reibwert

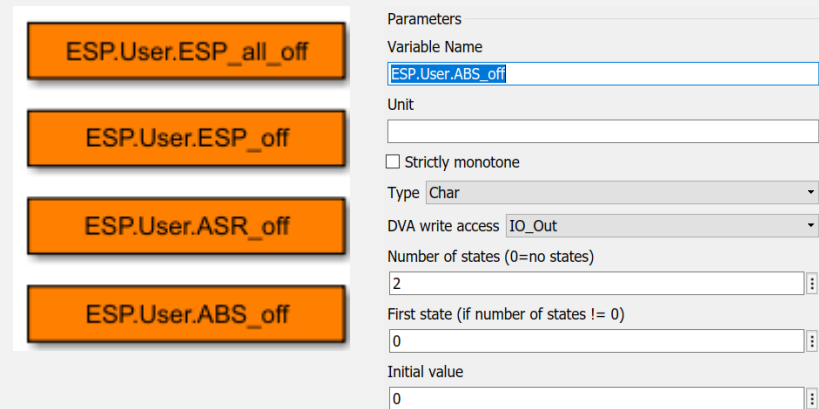
^{*)} Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querbeschleunigung
 - Diagramm 2: ABS_aktiv, ASR_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente, Motormoment

► Manöver:

- Aktivierung/Deaktivierung Regler im SimulinkBlock:
[HydBrakeCU_ESP_YawRate_so_modif/CarMaker/IPG](#)
[Vehicle/Brake/HydBrakeCU Example/ESP Controller/User Input Signals1](#)



Parameters	
Variable Name	ESP.User.ABS_off
Unit	
☐ Strictly monotone	
Type	Char
DVA write access	IO_Out
Number of states (0=no states)	2
First state (if number of states != 0)	0
Initial value	0

- ESP-User.ABS_off = 0 ABS-aktiv
- ESP-User.ABS_off = 1 ABS-inaktiv

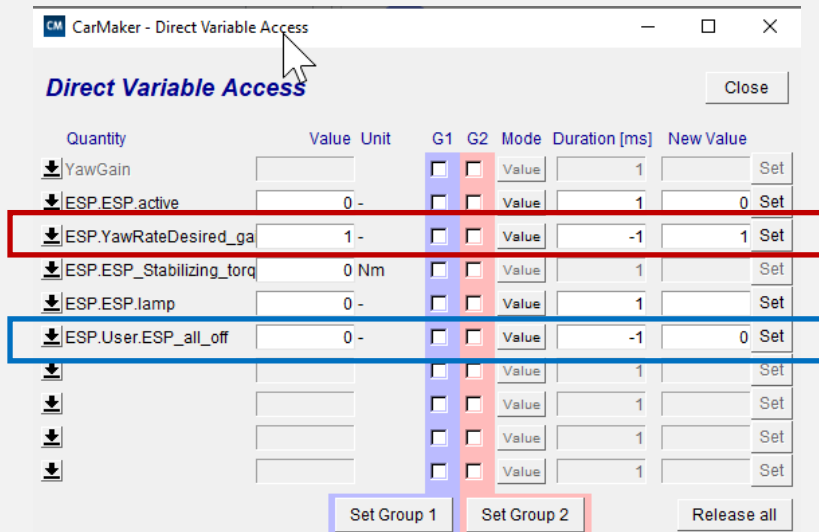
^{*)} Bei Nutzung des compiled standalone CM-Projekts „ADAS_Master_ESP_CM9“ Parametervorstellung mittels DVA

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen– ABS-/ASR-Manöver

► Manöver:

► Aktivierung/Deaktivierung Regler mittels DVA:

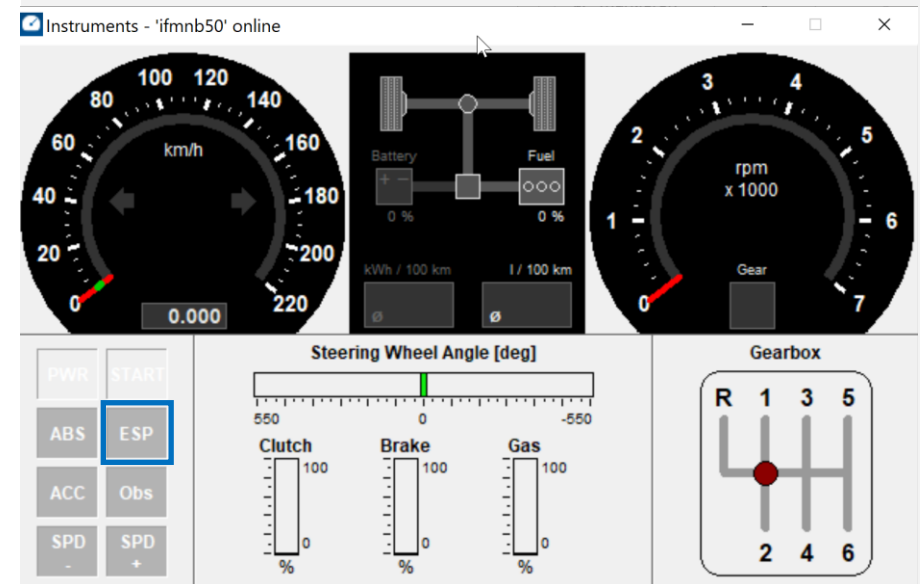


Roter Rahmen: Verstärkung Sollgierrate

Blauer Rahmen: Aktivierung/Deaktivierung Regler

- $\text{ESP-User.ESP_all_off} = 0$ ABS/ASR/ESP-aktiv
- $\text{ESP-User.ESP_all_off} = 1$ ABS/ASR/ESP-inaktiv

Alternativ kann ESP aktiviert/deaktiviert werden in den Instruments



Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Bremsmanöver m./o. ABS

Manöver 1 low- μ homogen:

- ▶ Beschleunigen
 - $V_0 = 0\text{km/h}$, $V_{\max} = 72\text{km/h}$, Längs- u. Quer: IPG-Driver
 - Haltephase: 3s
- ▶ Bremsmanöver:
 - Längsdynamik
 - Kupplung treten, Gas weg
 - Bremse auf 1
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ Regler:
 - ABS: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ Variationen
 - Querdynamik manuell mit Sinuslenken
 - Amplitude: 60deg, Periode: 1s, >5 Perioden
- ▶ Fahrbahn
 - Modifikation des Reibwerts am Anbremspunkt $s=650\text{m}$
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf gesamter Fahrbahnbreite

Manöver 2 μ -split:

- ▶ Beschleunigen
 - $V_0 = 0\text{km/h}$, $V_{\max} = 72\text{km/h}$, Längs- u. Quer: IPG-Driver
 - Haltephase: 3s
- ▶ Bremsmanöver:
 - Längsdynamik
 - Kupplung treten, Gas weg
 - Bremse auf 1
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ Regler:
 - ABS: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ Fahrbahn
 - Modifikation des Reibwerts am Anbremspunkt $s=650\text{m}$
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf linker Fahrbahnseite

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Bremsmanöver m./o. ABS

Manöver 3 mue-step pos/neg:

- ▶ Beschleunigen
 - $V_0 = 0\text{km/h}$, $V_{\max} = 72\text{km/h}$, Längs- u. Quer: IPG-Driver
 - Haltephase: 3s
- ▶ Bremsmanöver:
 - Längsdynamik
 - Kupplung treten, Gas weg
 - Bremse auf 1
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ Regler:
 - ABS: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ Fahrbahn:
 - Modifikation des Reibwerts von 670 bis 690m
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf gesamter Fahrbahnbreite

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Beschleunigungsmanöver m./o. ASR

Manöver 4 low-mue homogen:

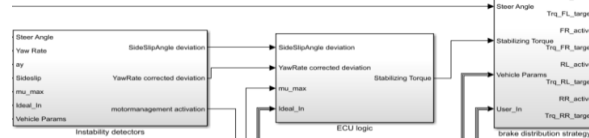
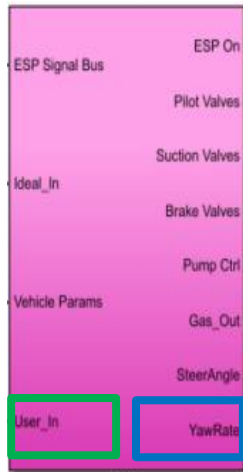
- ▶ **Anfahrmanövermanöver:**
 - Längsdynamik
 - Kupplung lösen
 - Gas geben (1)
 - Bremse auf 0
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ **Regler:**
 - ASR: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ **Variationen**
 - Querdynamik manuell mit Sinuslenken
 - Amplitude: 60deg, Periode: 1s, >5 Perioden
- ▶ **Fahrbahn**
 - Modifikation des Reibwerts am Startpunkt $s=0\text{m}$
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf gesamter Fahrbahnbreite

Manöver 5 mue-split:

- ▶ **Anfahrmanövermanöver:**
 - Längsdynamik
 - Kupplung lösen
 - Gas geben (1)
 - Bremse auf 0
 - Querdynamik
 - IPG Driver
- ▶ **Regler:**
 - ASR: aktiv / inaktiv
 - ESP: inaktiv
- ▶ **Variationen**
 - Fahrbahnsteigung: 10% auf 100m Länge
- ▶ **Fahrbahn**
 - Modifikation des Reibwerts am Startpunkt $s=650\text{m}$
 - $\mu_{\text{low}} = 0.2$ auf linker Fahrbahnseite

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen – ESC_{IPG}-Struktur



Instability Detectors

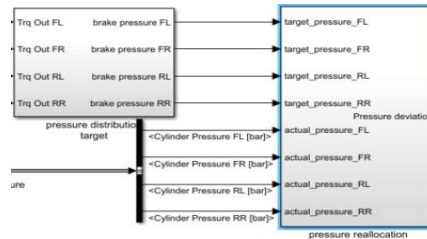
- Istwert gemessen
 - Sollwerte trigonometr. Beziehung (Momentanpol)
- für Drehrate u. Schwimmwinkel

ECU-Logic

- Berechnung Threshold für Eingriffsschwelle
- Stabilisierungsmoment: P-Regler auf Basis Drehrate und Schwimmwinkel
- Schwimmwinkel zur Freigabe ESC-Eingriffe

Brake Distribution Strategy

- Aufteilung Stabilisierungsmoment auf Soll-Radmomenteänderungen

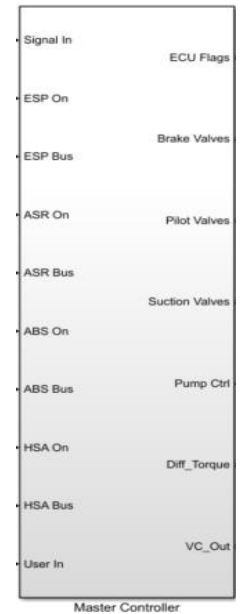


Pressure Distribution Target

- Umrechnung Soll-Radmomenteänderungen in Druckänderungen
- Superposition der Druckänderungen mit Raddrücken zu Sollrücken

Pressure Reallocation

- Regelung der Solldrücke durch Ansteuerung von Ventilen u. Pumpe



Master Controller

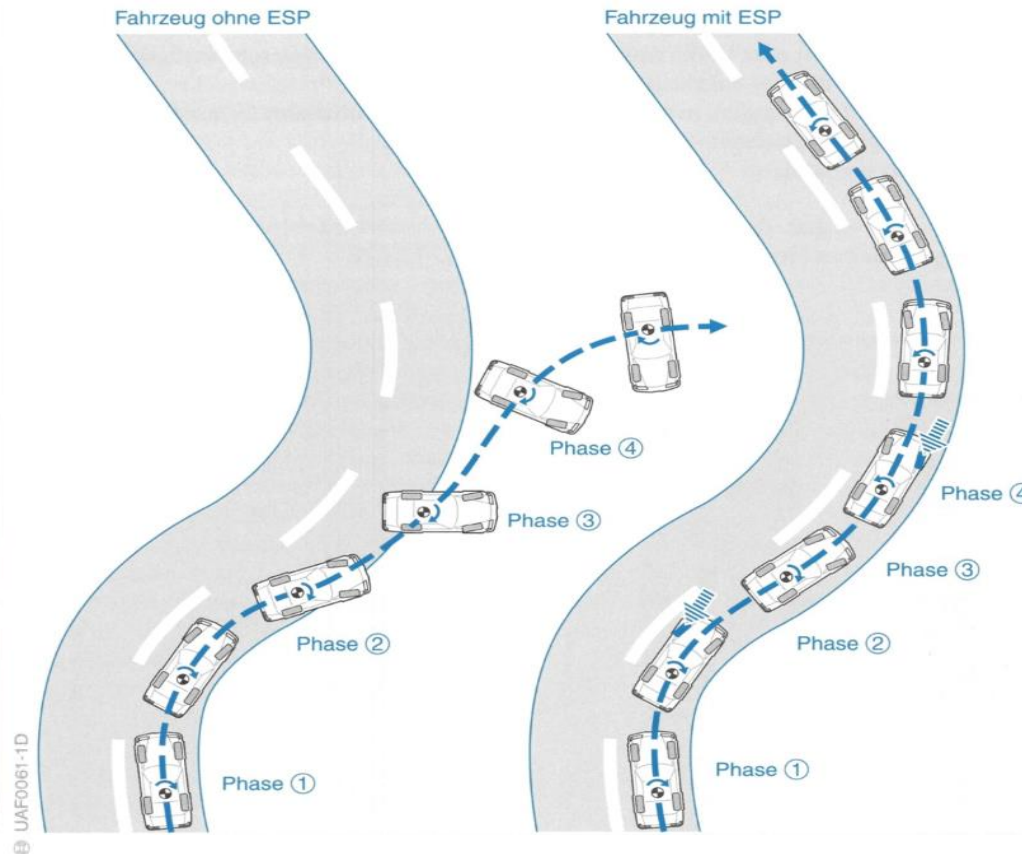
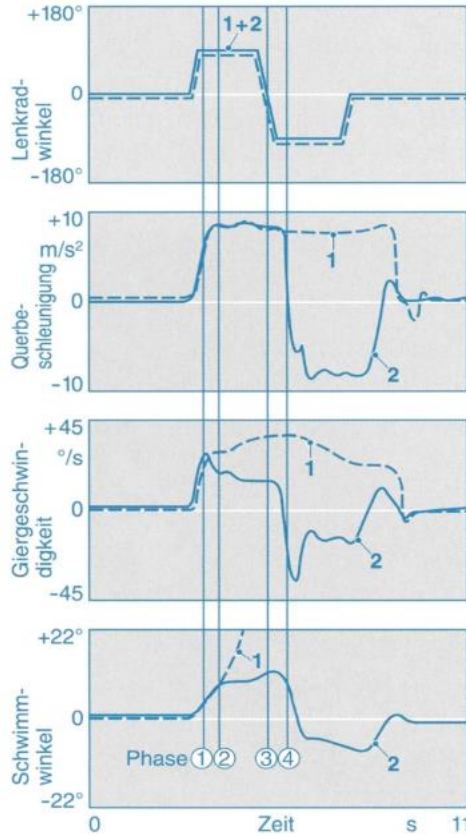
- Priorisierung der Regler (ABS, ESC, ASR, HAS)

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Doppelter Lenkwinkelsprung



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

Übungen **CM4SL^{*)}** - Beispiel: Doppelter Lenkwinkelsprung-ESP[®] - Performance Check

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Road: unendlich große Fahrdynamikfläche, $\mu = 1.0$

^{*)} Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querbefleunigung
 - Diagramm 2: ESP_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente, Motormoment

► Manöver:

- $V_0 = 0 \text{ km/h}$; Beschleunigen auf $= 80 \text{ km/h}$
- Lenksprünge mit:
 - Anfangslenkwinkel: $\Delta\epsilon_0 = 0^\circ$
 - Lenkamplitude: $\Delta\epsilon = \pm 130^\circ$
 - Lenkwinkelgeschwindigkeit: $d\Delta\epsilon/dt = 400^\circ/\text{s}$
 - Haltezeit: $t = 1 \text{ s}$
 - Rücksprung auf: $\Delta\epsilon = 0^\circ$
- ESP[®]
 - aktiv / inaktiv
 - Parameter: ESP.User.ESP_all_off (Default=0, Off=1)
- Variation
 - FzgGeschwindigkeit – ab wann treten ESP[®]-Eingriffe auf?

Fahrdynamikregelsysteme

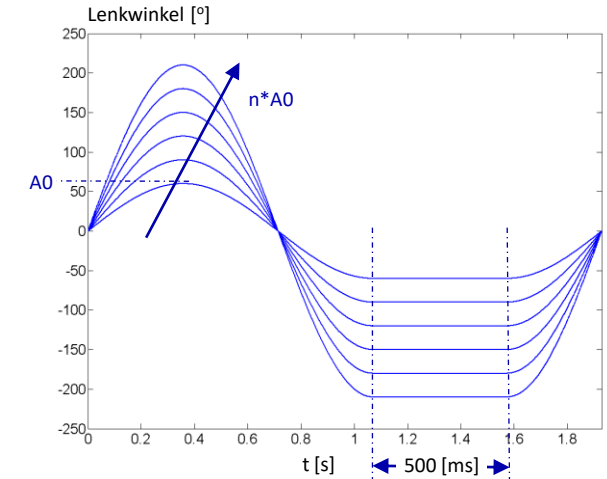
Übungen - Beispiel: Sine with Dwell - ESP®-Performance Check

Zielsetzung:

- ▶ Zunehmende Verbreitung von ESP® erforderte einen Test zum Nachweis der Funktionalität
 - ▶ 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

Manöver – Sine with Dwell:

- ▶ Fahrbahn: hoch-mue
- ▶ $80 \pm 2 \text{ km/h}$, hoher Gang
- ▶ Sinuslenken mit 0.7 Hz
- ▶ Haltezeit: 500 ms
- ▶ A_0 -Amplitude für $a_y = 0.3g$
- ▶ $n \cdot A_0 @ 0.3g$ ($n = 2 \dots 7$)
- ▶ Max. Amplitude: $\sim 270^\circ$
- ▶ Ausführung mittels Lenkrobotor

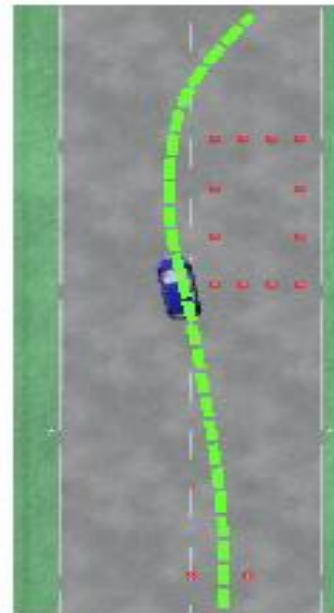
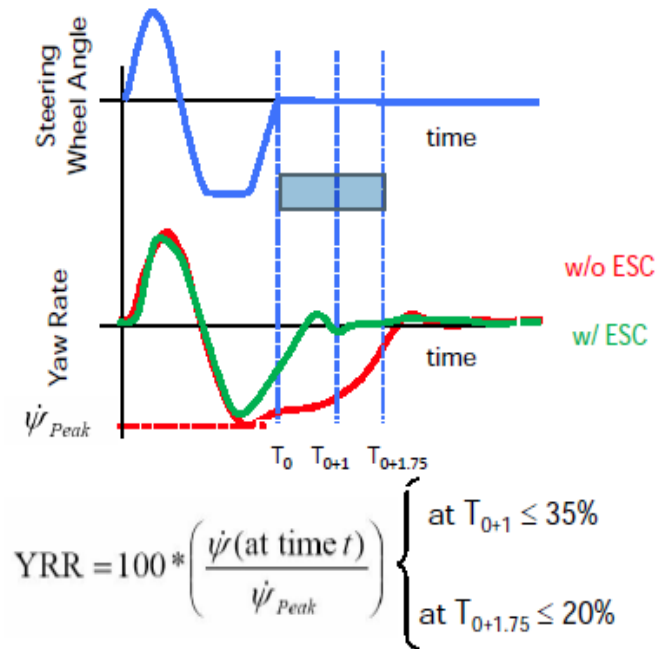


Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Sine with Dwell - ESP®-Performance Check

Kriterien:

- Abklingen der Drehrate (Stabilität)
- Seitlicher Versatz des Fahrzeugs (Lenkfähigkeit)



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

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-.slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Road: unendlich große Fahrdynamikfläche, $\mu = 1.0$
- *) Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querbefleunigung
 - Diagramm 2: ESP_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente, Motormoment

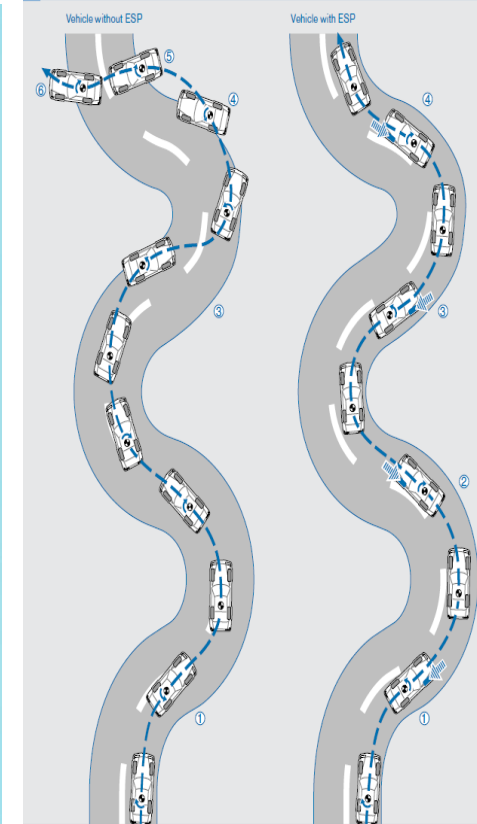
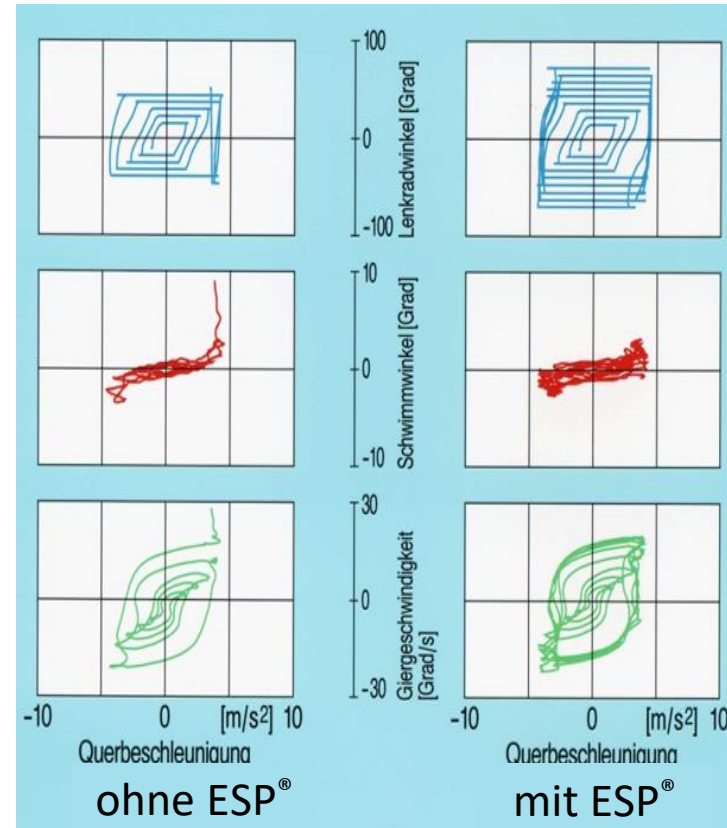
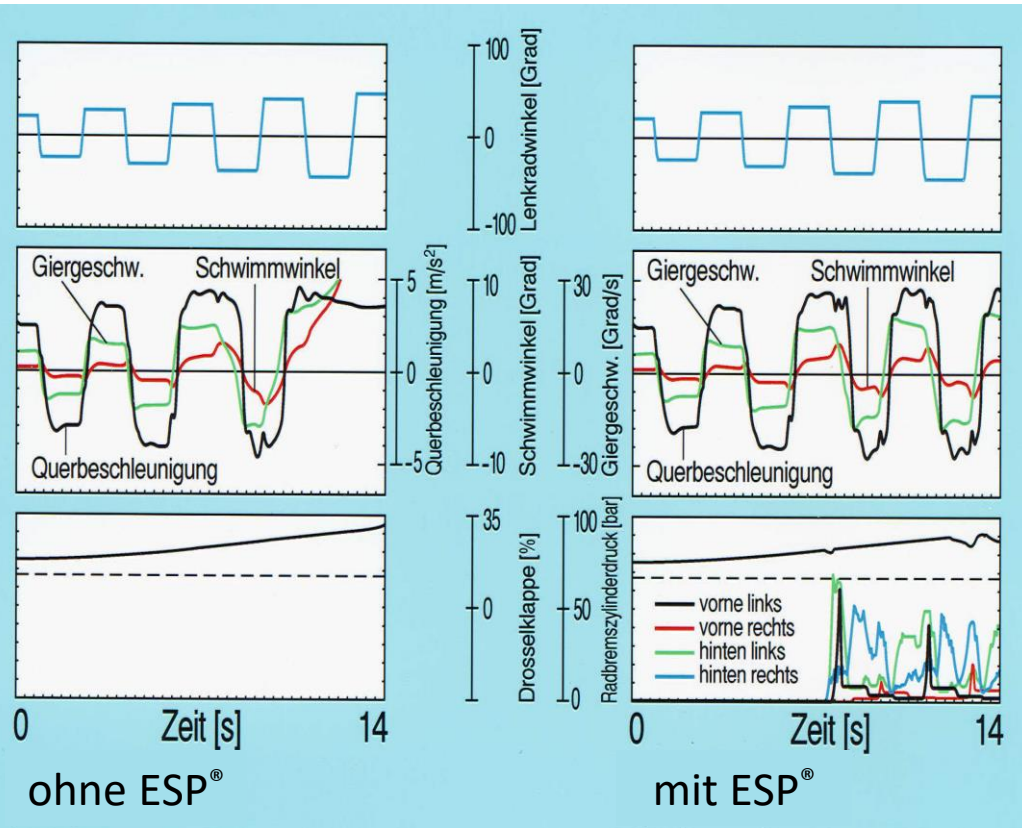
► Manöver:

- $V_0 = 0 \text{ km/h}$; Beschleunigen auf $= 80 \text{ km/h}$
- Einschwingphase: 3s
- Lenken mit Sine-with-Dwell
 - Lenkamplitude: $\Delta\delta = \pm 130^\circ$
 - s. CarMaker/Examples
- ESP®
 - aktiv / inaktiv
 - Parameter: ESP.User.ESP_all_off (Default=0, Off=1)
- NHTSA-Kriterien anwenden
 - Yaw Rate: $t=t_0+1.0: \leq 35\%$ $t=t_0+1.75: \leq 20\%$
 - Seitenversatz: $t=t_0+1.07: s \geq 1,83 \text{ m}$

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Bidirektionale Lenkstufen

Vergleich Slalom Manöver mit zunehmender Lenkamplitude ohne/mit ESP® ($\mu = 0.45$, $V=72\text{km/h}$)



Fahrdynamikregelsysteme

Übungen CM4SL*) - Beispiel: Bidirektionale Lenkstufen

► Projekt: CM 9.0.2 ESP

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/-slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Road: unendlich große Fahrdynamikfläche; $\mu = 0.45$
- *) Alternativ kann auch das standalone compiled CM-Projekt „ADAS_Master_ESP_CM9“ genutzt werden

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel, Drehrate, Schwimmwinkel, Längs-, Querschleunigung
 - Diagramm 2: ESP_aktiv, FzgGeschw., Radgeschw.
 - Diagramm 3: Reifenlängskräfte, Radbremsmomente, Motormoment
- Window 1 - Phasenplot:
 - Diagramm 1: Drehrate, Schwimmwinkel, Lenkradwinkel als Funktion der Querschleunigung

► Manöver:

- $V_0 = 0 \text{ km/h}$; Beschleunigen auf $= 72 \text{ km/h}$ und halten der Geschwindigkeit
- Lenksprünge mit:
 - Anfangslenkwinkel: $\Delta\epsilon_0 = 0^\circ$
 - Lenkamplitudenzunahme: $\Delta\Delta\epsilon = 5^\circ/\text{Sprung}$
 - Lenkwinkelgeschwindigkeit: $d\Delta\epsilon/dt = 200^\circ/\text{s}$
 - Haltezeit: $t = 2 \text{ s}$
 - Max. Lenkwinkel: $\Delta\epsilon_{\max} = 100^\circ$
- ESP®
 - aktiv / inaktiv
 - Parameter: ESP.User.ESP_all_off (Default=0, Off=1)
- Optional Variationen
 - Solldretrate +/-20%
 - Parameter: Gain YawRate_so_modif (Default=1)