

BREMSBASIERTE ASSISTENZFUNKTIONEN - FAHRDYNAMIKREGELSYSTEME (ABS, ASR, ESP® - APPLIKATION)

ROBERT BOSCH GMBH
DIPL.-ING. ALBERT LUTZ

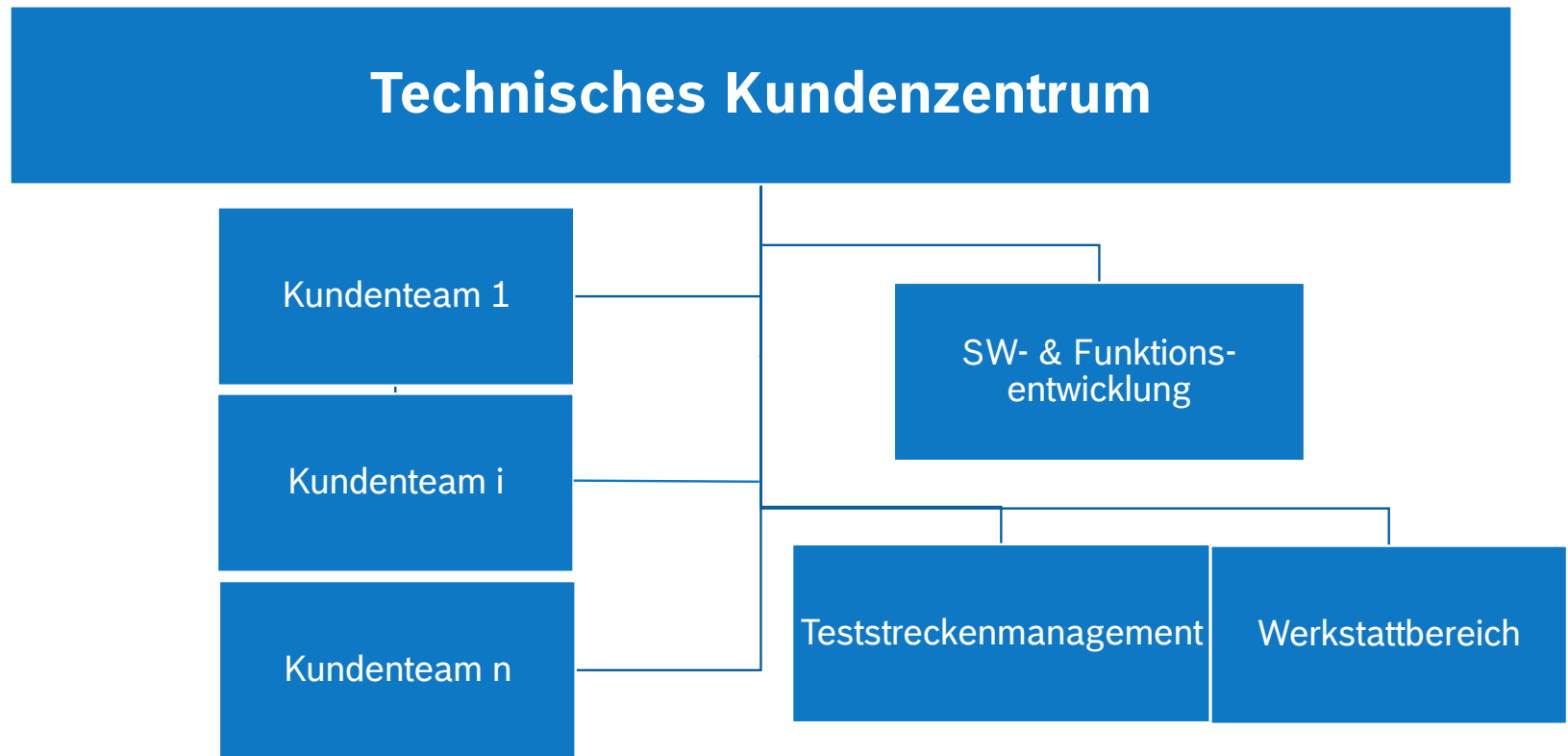
Fahrdynamikregelsysteme

Übersicht

- ▶ Aufgaben u. Organisation der Applikation
- ▶ Applikationsprozess
 - ▶ Projekt- & Systemdefinition
 - ▶ Systemauf und -einbau
 - ▶ Basisapplikation
 - ▶ Robustheits- und Performancetuning
 - ▶ Systemvalidierung u. Freigabe
 - ▶ Teststreckenmanagement
- ▶ Virtueller Fahrversuch (Simulation mit generischem Fzg- u. ESP®-Modell)
 - ▶ ESP® Funktions-Check
 - Bidirektionale Lenksprünge
 - ESP® aktiv/inaktiv
 - Variation Sollwert

Fahrdynamikregelsysteme

Applikation – Struktur & Aufgaben



Fahrdynamikregelsysteme

Applikation – Struktur & Aufgaben



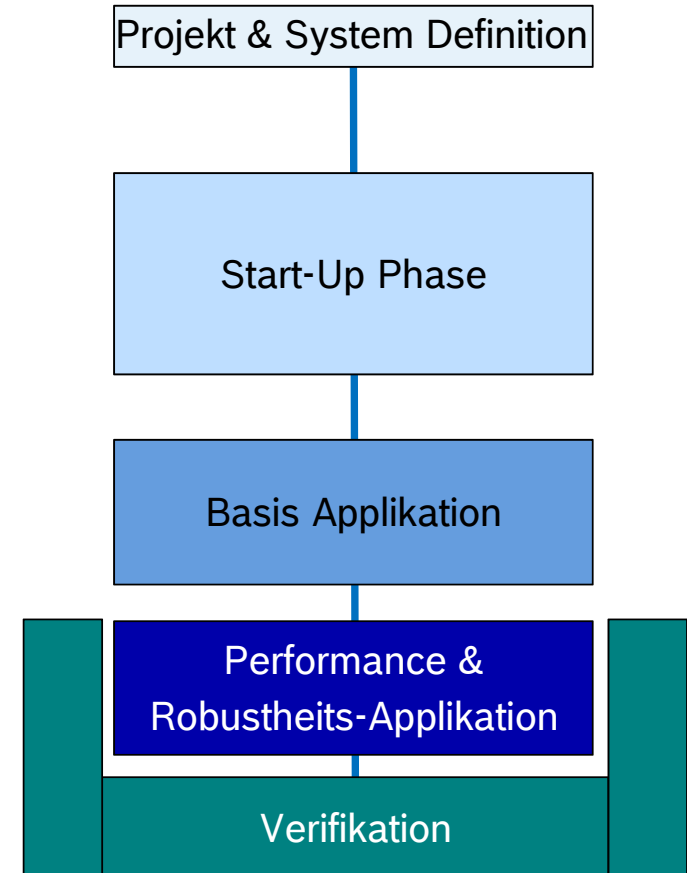
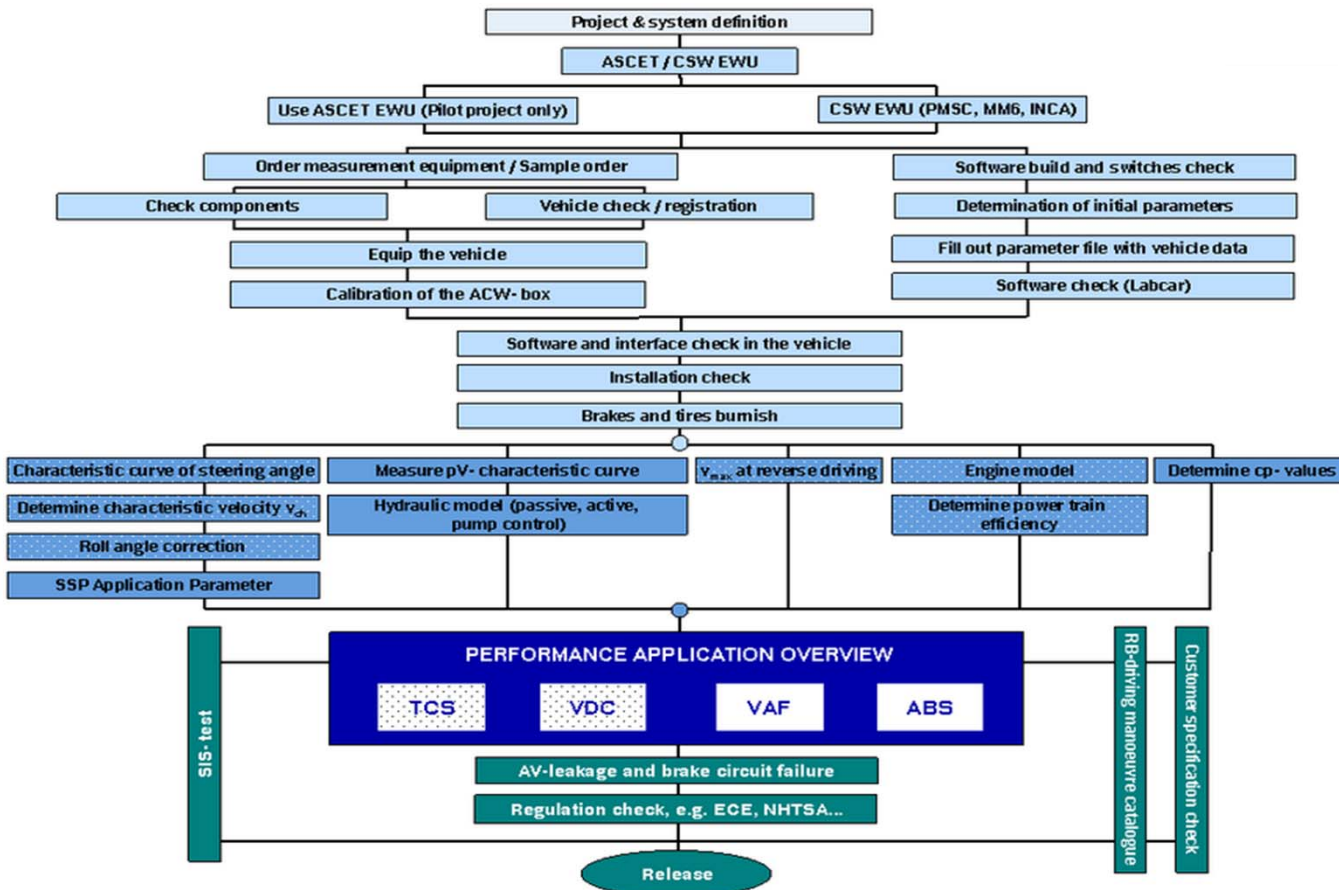
Aufgabe der Kundenteams:

- ▶ Technisches Projektmanagement
- ▶ SW Engineering in enger Kooperation mit Funktions-&SW-Entwicklern
- ▶ Koordination und Umsetzung der Systemanpassungen an die Kundenanforderungen
- ▶ Fahrzeugtest und Applikation
- ▶ Systemvalidierung auf Fahrzeugebene
- ▶ Unterstützung der Angebotserstellung und Studien



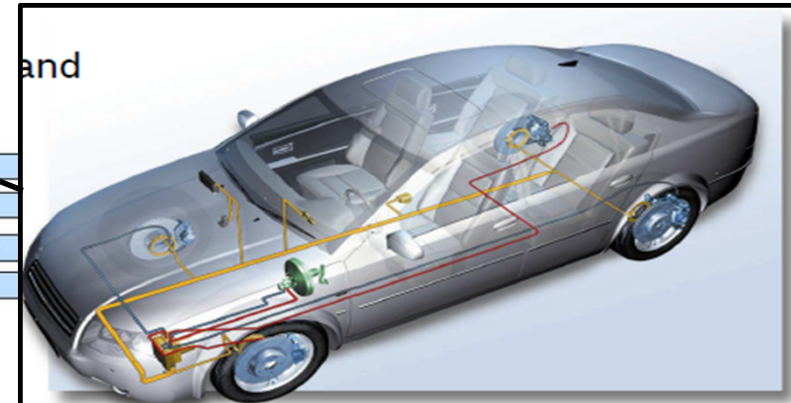
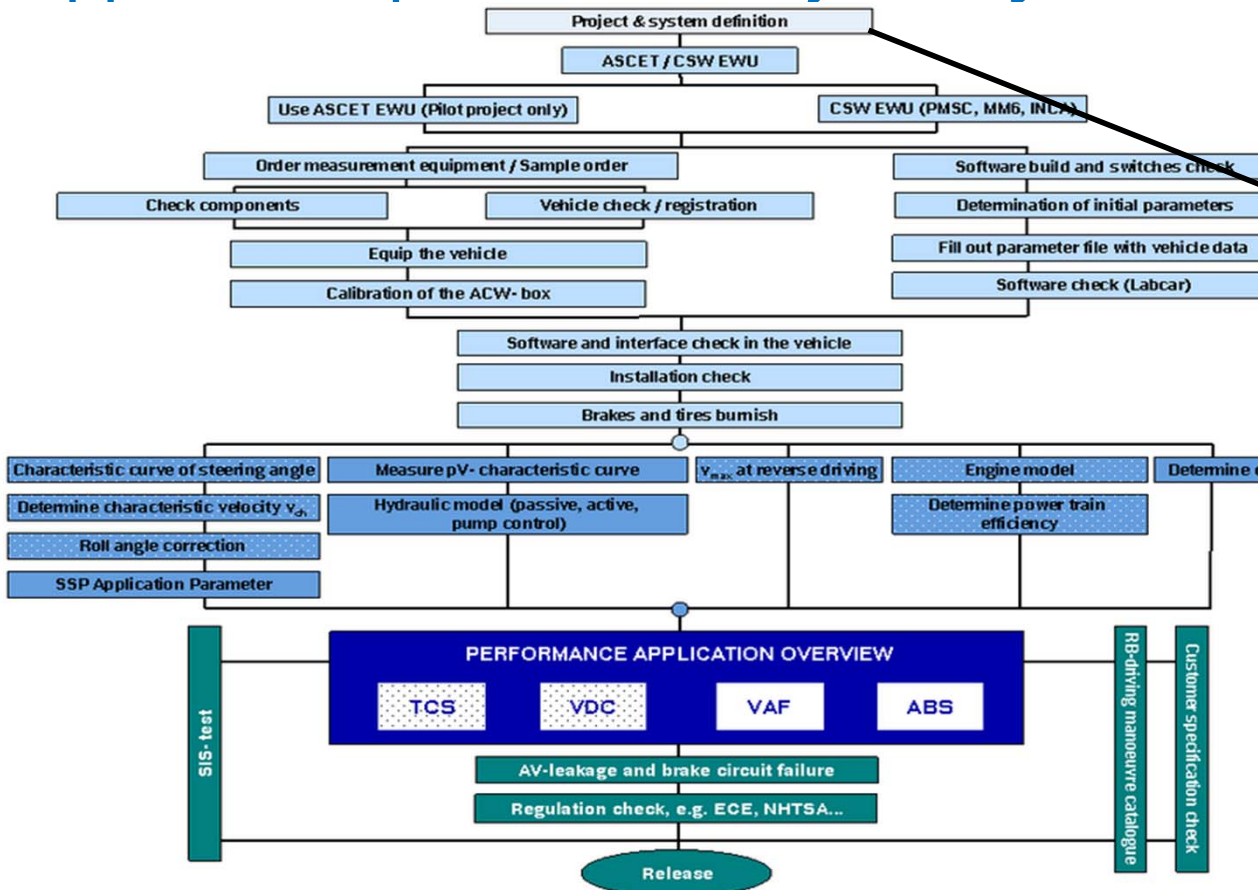
Fahrdynamikregelsysteme

Applikationsprozess



Fahrdynamikregelsysteme

Applikationsprozess – Projekt&Systemdefinition



Technisches Projektmanagement sowie Regelsystem- und Komponentendefinition

- Technische Schnittstelle zu Kunden und internen Abteilungen (System-, Komponentenentwicklung, ...)
- Projektplanung (Spezifikationen, Arbeitspakete, Zeitpläne, ...)
- Projektverantwortlichkeit – vom Start bis SOP
- Definition der Bremssystemkomponenten und deren Bestellung

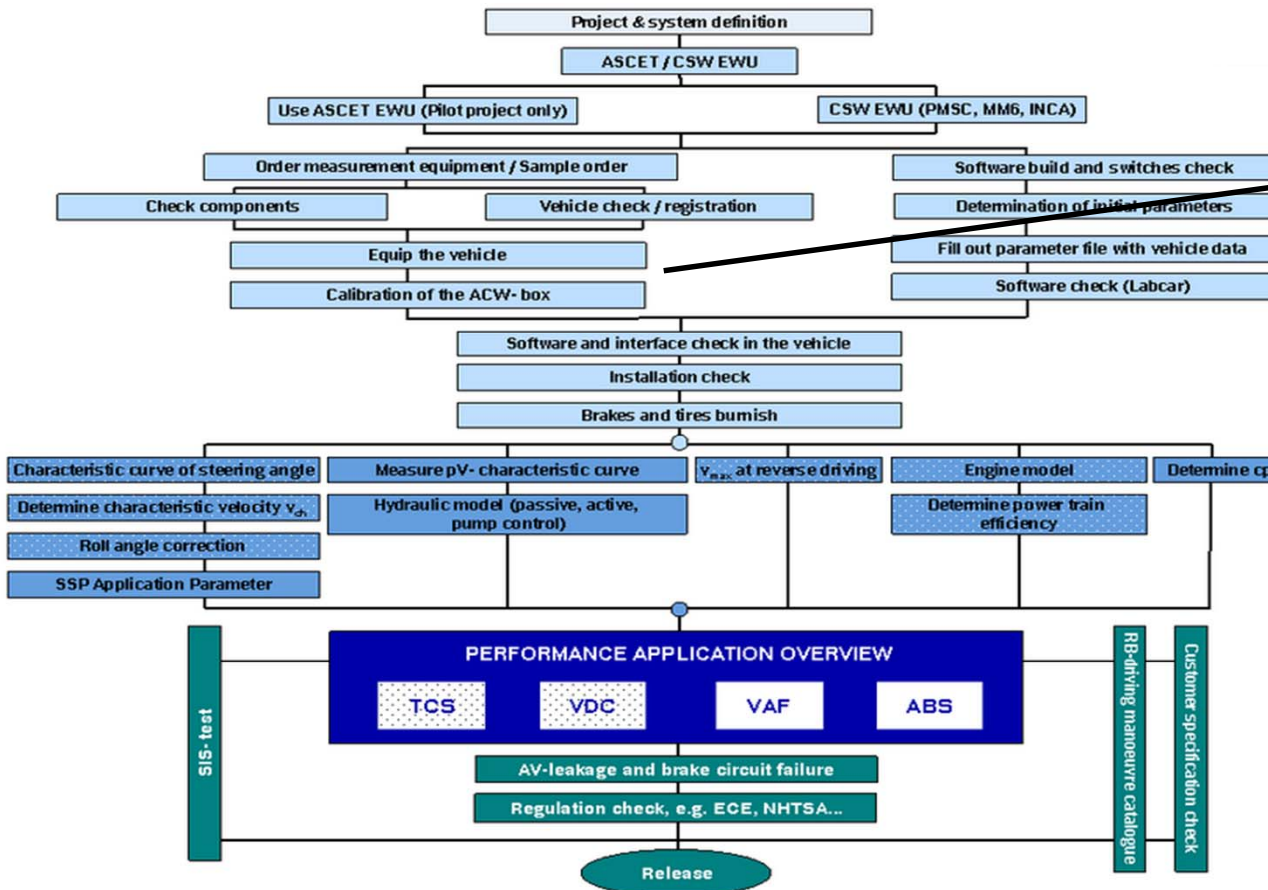
Fahrdynamikregelsysteme

Applikation – Struktur & Aufgaben

- ▶ Die Reglerkonfiguration (d.h. Regler- und Zusatzfunktionen) wird über SW-Schalter ausgewählt
- ▶ Anpassung des ESP® an das Fahrzeug
 - ▶ zunächst nur über Parametereinstellung
 - ▶ wenn nicht ausreichend, auch über SW-Anpassungen.
- ▶ Für jedes Fahrzeug wird eine Anzahl von Fahrmanöver aus einem Fahrmanöverkatalog (<500) gewählt
 - ▶ zur Bestimmung der Streuung der Ergebnisse, mehrmals absolviert werden.
 - ▶ open loop Manöver zur Beurteilung der Reglerleistung
 - ▶ closed loop Manöver zur Beurteilung des Systems im täglichen Gebrauch unter realen Bedingungen
- ▶ Großen Einfluss auf den Applikationsaufwand haben Änderungen in
 - ▶ Fahrwerk (Elastokinematik)
 - ▶ Bremshydraulik,
 - ▶ Räder/Reifen
 - ▶ Motor
- ▶ Das System muss auf Erfüllung der gesetzlichen Bestimmungen (ECE) geprüft werden

Fahrdynamikregelsysteme

Applikationsprozess – Fahrzeugausrüstung



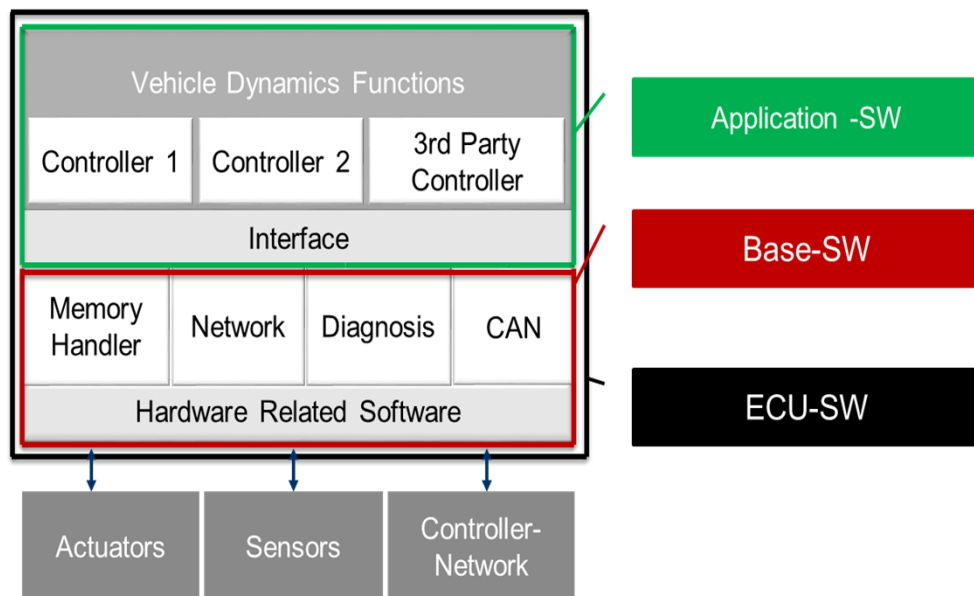
Systemeinbau und Fuhrparkmanagement

- Koordination der Verfügbarkeit und des Einsatzes von Prototypen
- Wartung und Update der Prototypen
- Einbau von Systemkomponenten und Messtechnik in Versuchsfahrzeuge

Fahrdynamikregelsysteme

Fzg-Ausrüstung – SW-Erstellung

Erstellen und Testen einer ersten ECU-SW gemäß Spezifikation



- ▶ SW-Build u. Check der SW-Schalter
 - ▶ ASW – Fahrdynamische Funktionen
 - ▶ ABS, ASR, VDC, VAFs
 - ▶ 3.-SW (APB, ...) von OEMs, Zulieferern
- ▶ PSW – Hardware nahe SW
 - ▶ EEPROM (Offsets, identifizierte Parameter, ...)
 - ▶ Diagnose
 - ▶ CAN/FlexRay
 - ▶ Treiber, Signalaufbereitung
- ▶ Initiale Parameter aus Vorgängerprojekt
- ▶ Projektspezifische Grundbedatung
- ▶ Freigabetests der ECU-SW per HiL-Simulation

Fahrdynamikregelsysteme

Fzg-Ausrüstung – SW-Erstellung

Projektspezifische Bedatung

Parameter Name	Unit	Description	Origin
Anhaengelast_ungebremst	kg	towing capacity for non-braked trailer	OEM
Fahrzeugmasse_EBD	kg	vehicle weight for EBD braking	OEM for startup, later application parameter
Jz_Vehicle	Nms ² or kg*m ²	inertia torque vehicle	OEM
lx_CenterOfGravity2FrontAxle	m	distance between front axle and center of gravity, x-direction	OEM
lx_CenterOfGravity2RearAxle	m	distance between rear axle and center of gravity, x-direction	OEM
lx_WheelBase	m	distance between front and rear axle	OEM
ly_WheelTrack_FA	m	distance between left and right wheel at front axle	OEM
ly_WheelTrack_RA	m	distance between left and right wheel at rear axle	OEM
lz_CenterOfGravity	m	center of gravity, z-direction	OEM
m_Vehicle	kg	vehicle mass	OEM or measure
v_VehicleCharacteristicLower	m/s	characteristic vehicle speed (vch), lower limit	measure or take over from previous model
v_VehicleCharacteristicUpper	m/s	characteristic vehicle speed (vch), upper limit	measure or take over from previous model
vGInMax	1/s	maximum yaw rate	measure or take over from previous model
WendeRadius?	m	turn radius	OEM
Wind	N/(m*s ²)	aerodynamic resistance (cw*A)	OEM
Zul_Achslast_HA	kg	maximum load of rear axle	OEM
Zul_Achslast_VA	kg	maximum load of rear axle	OEM

- Fahrzeug
- Bremsanlage
- Antriebsstrang
- Lenkung
- Räder
- Sensorposition

Fahrdynamikregelsysteme

Fzg-Ausrüstung Komponenteneinbau

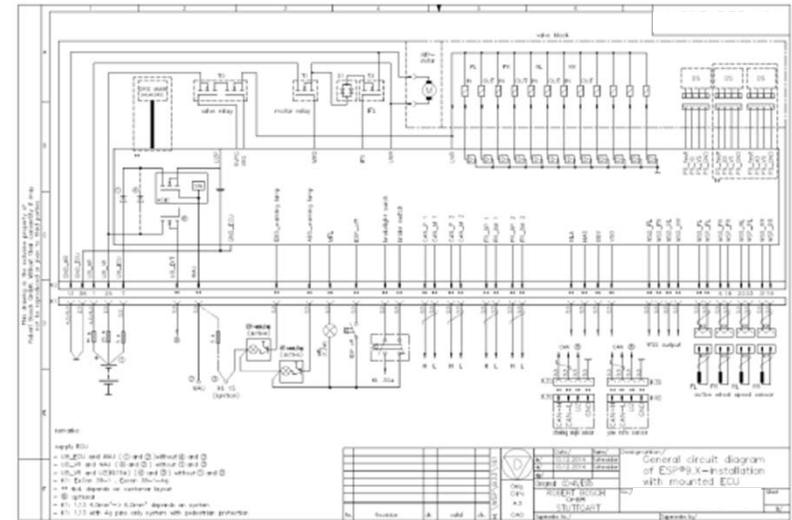
Komponenteneinbau gemäß Spezifikation

- ▶ hydraulische Einheit / elektronische Steuereinheit (HU/ECU)
- ▶ Sensoren (DF, LWS, **DRS**,...)*
 - HU/ECU, o.
 - Airbag-ECU
 - Fahrgastzelle
- ▶ Impulsräder
- ▶ Stecker (2-48 polig)
- ▶ Kabelbaum
- ▶ Sondermesstechnik →



Einbaubereiche:

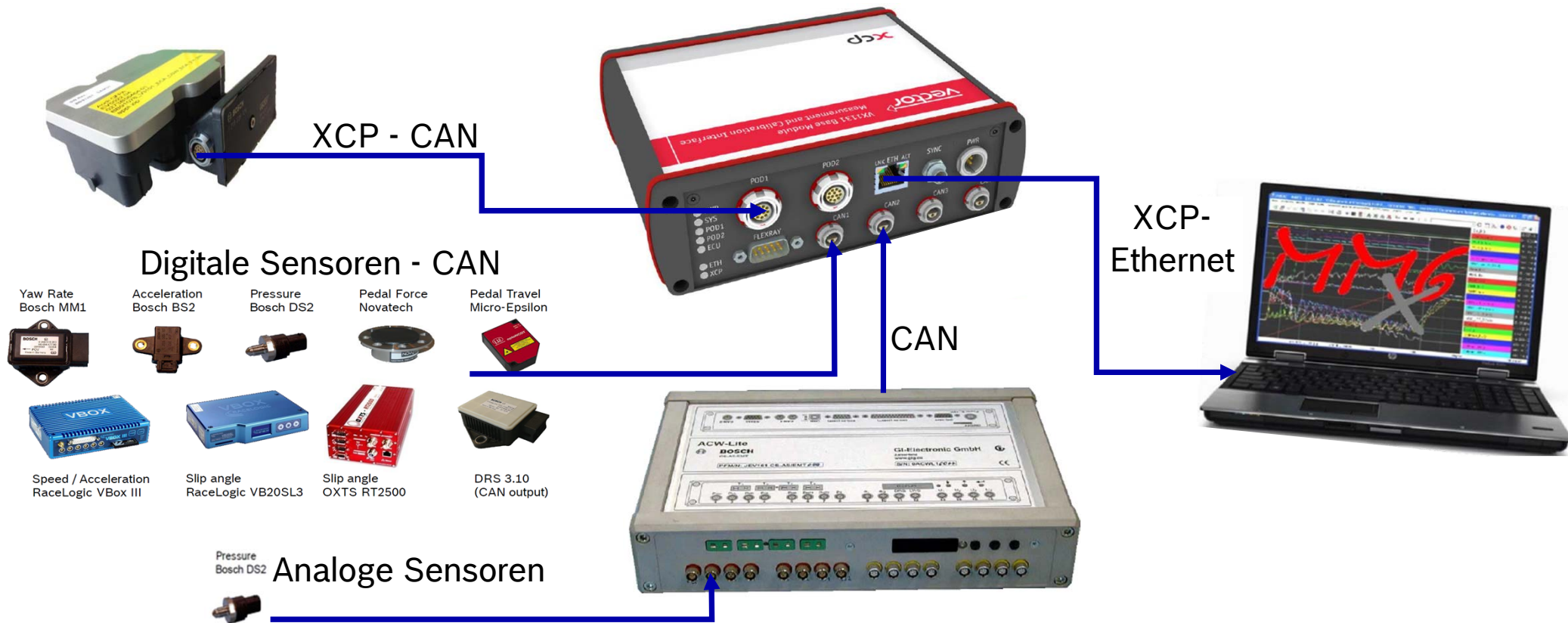
- ▶ Motorraum
- ▶ Fahrgastzelle
- ▶ Radhaus
- ▶ Achsschenkel / Achse



Wire / Conn. No	Wire		Designation	Current		permissible wire resistance R _L (mΩ)	min. leakage Resistance R _L (kΩ)
	from	to		max	min		
13	ground	K1/13	ground for pump motor	20...39A *	10A *	10	---
38	ground	K1/38	ground for solenoid valves and ECU	5...16A *	2.8A *	10	---
1	battery	K1/1	voltage supply for pump motor	20...39A *	10A *	10	200
25	battery	K1/25	voltage supply for solenoid valves	5...15A *	2A *	10	200
7	battery	K1/7	voltage supply for ECU	1A	800mA	60	200
35	WAU	K1/35	wake up function	100mA	50mA	150	200
32	K1/32	K35,K36**	voltage supply for SAS and YRS (by use of separate YRS)	300mA	150mA	100	200
** 6,20, 31	wheel sp. connector	K1/**, 6,20,31	signal wheel speed sensor FL,FR,RL,RR	16mA	6mA	250	200 to ground 1.5MΩ to battery
*** 18,33, 19	wheel sp. connector	K1/**, 18,33,19	voltage supply for active wheel speed sensor FL,FR,RL,RR	16mA	6mA	250	200 to ground 1.5MΩ to battery
**	other ECU	K1/**	wheel speed sensor output	20mA	10mA	250	200
**	other ECU	K1/**	vehicle speed output	50mA	30mA	250	200
**	EBD-warning lamp	K1/**	EBD warning lamp	30mA	5mA	250	200

Fahrdynamikregelsysteme

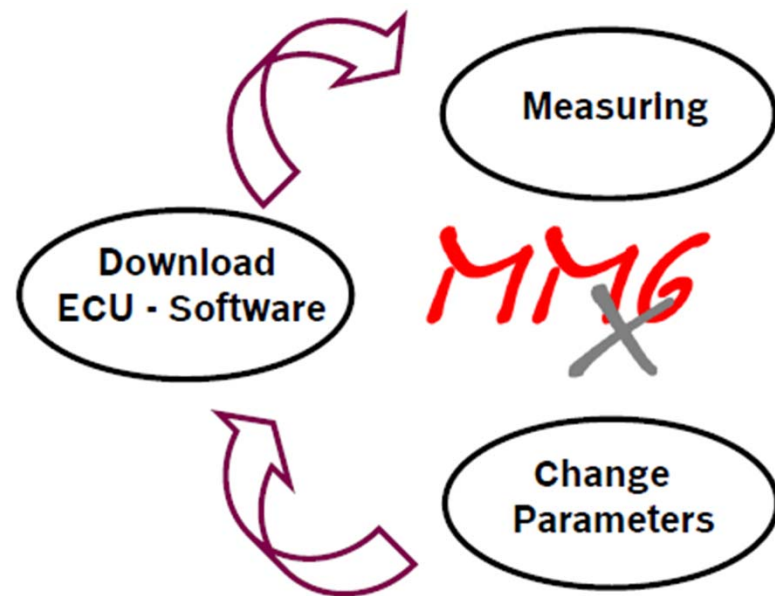
Fzg-Ausrüstung - Mess-&Kalibrierungstools



Fahrdynamikregelsysteme

Fzg-Ausrüstung – Mess-&Kalibrierungstools

Basic idea: “read + write access to ECU internal data by different physical layers”



- ▶ XCP = “Universal Measurement & Calibration Protocol”
 - ▶ “X” stands for variable transport layer

- ▶ physical transport layers:

- ▶ Ethernet (TCP/IP, UDP) >> “XCPonEthernet”
- ▶ CAN >> “XCPonCAN”
- ▶ Flexray >> “XCPonFlexray”

- ▶ Protocol definition by international ASAM working group (2003)
- ▶ standardized A2L files for ECU signal description
(*common A2L file for all physical layers*)
- ▶ XCP-Tools: Vector (Canape), ETAS (INCA), ...

Fahrdynamikregelsysteme

Fzg-Ausrüstung - Mess-&Kalibrierungstools

Kurze Historie:

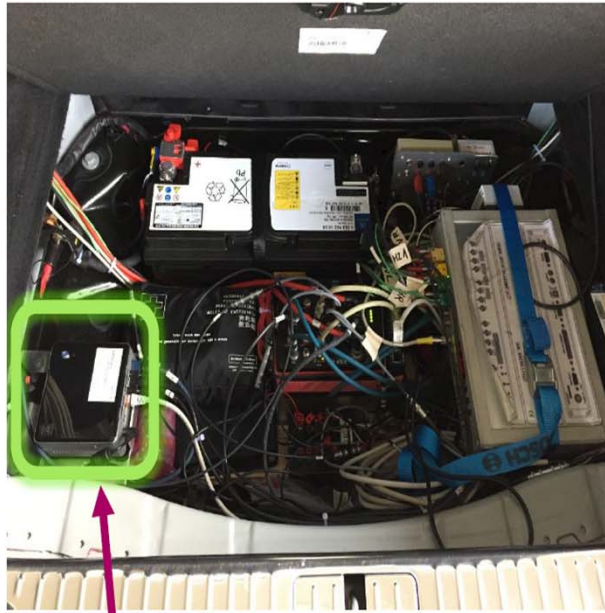
- ▶ **1982:** Honeywell analog recorder (ABS / ASR) >> **16 analog channels**
- ▶ **1986:** Kayser-Threde & HP1000 >> **48 analog channels & 16 digital channels**
- ▶ **1990:** MIIF/MIIF/IDA (KR card - intel 8096 ABS/ASR) >> **16 digital channels**
- ▶ **1997:** DASDA2 card (gen05 intel 8096 ESP®) >> **2 kB / 20 msec (100 kB/sec datarate)**
- ▶ **2003:** **XCP** on Ethernet (EKtronic XCP modules - TI ECU's) >> **500 kB/sec datarate (~ 3.000 sign.)**
- ▶ **2007:** **XCP** on Ethernet (Vector VX1121 Box – TI ECU's) >> **5 MB/sec specified datarate (~ 40.000 signals)**
- ▶ **2017ff:** **XCP** on Ethernet (Vector VX1135 Box – Renesas ECU's) >> **100 MB/sec specified datarate (> 100.000 signals)**

Fahrdynamikregelsysteme

Fzg-Ausrüstung - Mess-&Kalibrierungstools



Variables Messtechnikrack
Messtechnik für
Applikationsfahrzeug



Fahrzeugrechner

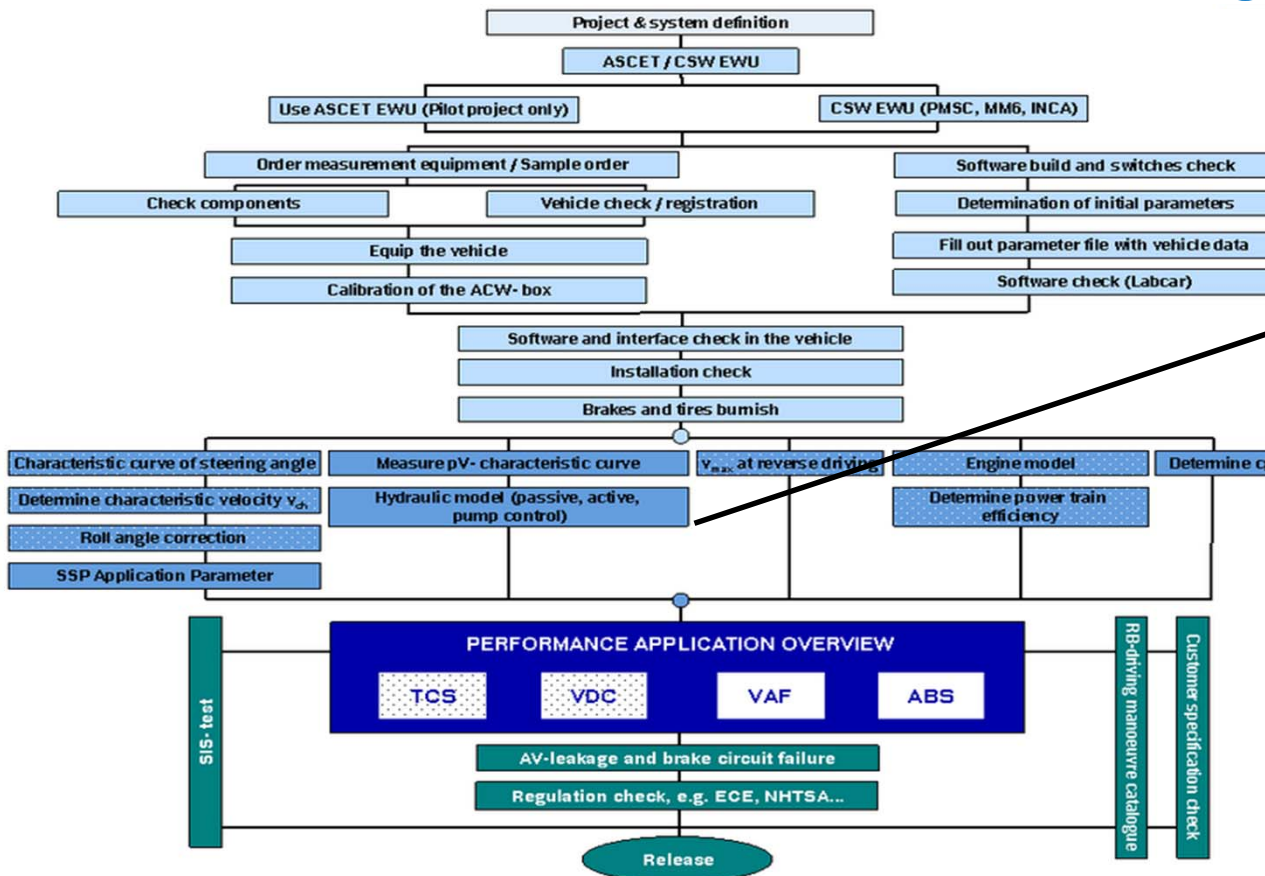
Messtechnik für Entwicklungsfahrzeug



Bedieneinheit

Fahrdynamikregelsysteme

Applikationsprozess – Parameter-Tuning u. Optimierung

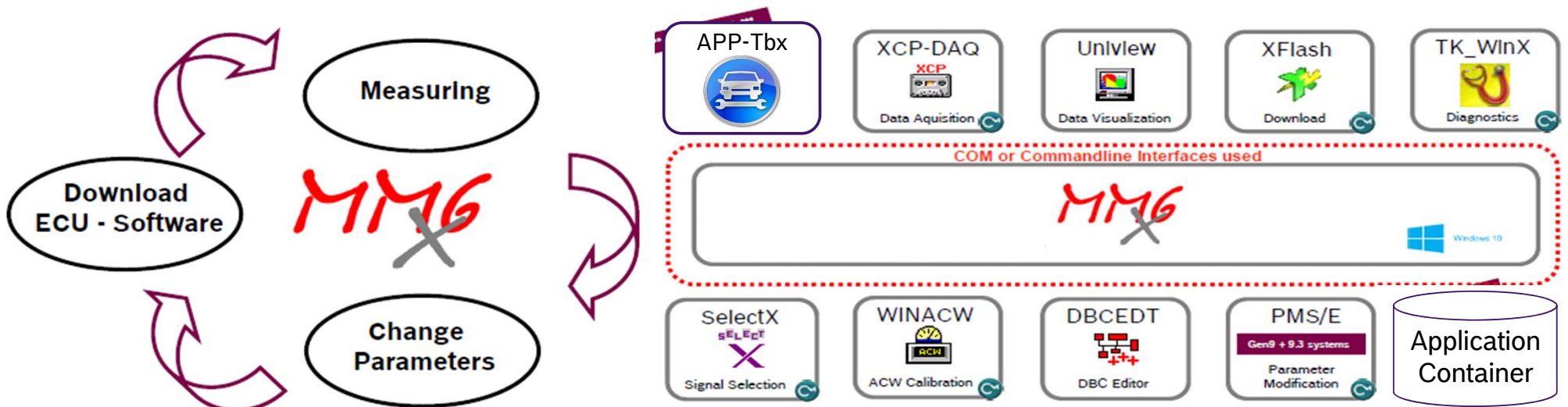


Parameter-Tuning und -Optimierung

- ▶ Durchführung von Fahrversuchen und Analyse der Ergebnisse
- ▶ Sicherstellung der Systemleistung u. SW-Reife
- ▶ Parametertuning
 - ▶ **Basis Applikation**
 - ▶ Robustheits- und Performance Tuning
- ▶ Optimierung der Systemleistung gemäss BOSCH/Kunden-Spezifikation

Fahrdynamikregelsysteme

Applikationsschritte u. -Tools



- ▶ ww einheitlicher Applikationsstandard
 - ▶ Manöver, Auswertung, Reporting, ...
- ▶ Sicherstellung, der erforderlichen Randbedingungen (linear, Signale, ...)
- ▶ Effizienzsteigerung
 - ▶ Automatisierung, Einheitliche Weiterentwicklung & Wartung & Dokumentation
 - ▶ Schnittstelle zum virtuellen Fahrversuch (aVTD)

Fahrdynamikregelsysteme

Basis-Applikation

- ▶ Ein erster Applikationsstand wird erreicht durch Eingabe von physikalischen Daten:
 - ▶ Gefederte/ungefederte Massen, Fahrwerk, Lenkung, Räder, Reifen, Bremsen, Motor, Antriebsstrang, Hydraulik, Sensoreinbaulagen.
- ▶ Ermittlung der Lenkwinkelkennlinie
- ▶ Ermittlung der charakteristischen Geschwindigkeit
 - ▶ V_{ch_U} u. davon abgeleitet V_{ch_O}
- ▶ Wankkompensation:
 - ▶ hohe Quereschleunigungen sind abhängig vom Wankwinkel zu kompensieren
- ▶ Charakteristik der Bremshydraulik
- ▶ Charakteristik von Motor und Antriebsstrang

Fahrdynamikregelsysteme

Basis-Applikation: S_{ch} – Steering Characteristic

Purpose

The steering angle characteristic curve provides both quantities for the steering angle at the wheels and for steering angle at the steering wheel. Thereby, differences between the curves-inner and the curves-outer wheel are to be considered. While the characteristic curve for the curves-outer wheel (LwKIA) behaves rather linear, the characteristic curve for the curves-inner wheel (LwKII) runs progressively for steering kinematics that are common today

Maneuvers

- Increasing the steering angle to maximum
- Free rolling with low speed / lat-acc
- Turn steering wheel slowly back to 0
- Do this for clock and counterclock wise turning

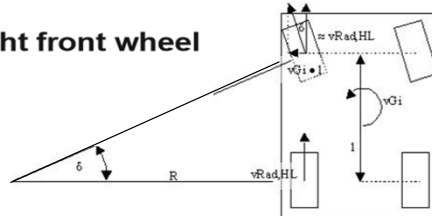
Determination

Calculation of steering angle at left front wheel

$$\delta_{VL} = \arctan\left(\frac{v_{Gi} \cdot l}{v_{RadHL}}\right)$$

Calculation of steering angle at right front wheel

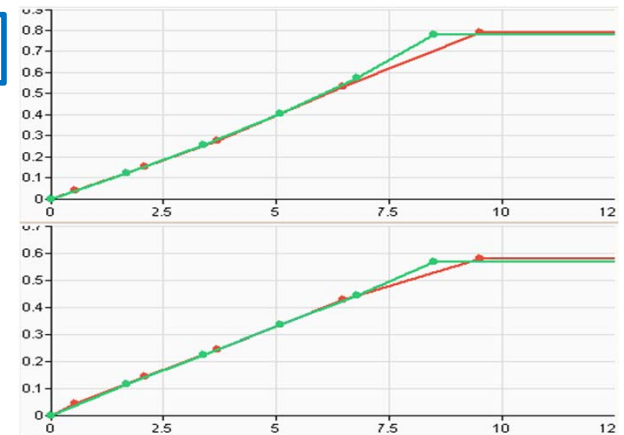
$$\delta_{VR} = \arctan\left(\frac{v_{Gi} \cdot l}{v_{RadHR}}\right)$$



Reporting

Inner
wheel

Outer
wheel



Fahrdynamikregelsysteme

Basis-Applikation: V_{ch} – Characteristic Speed

Purpose

The characteristic velocity (V_{ch}) is needed for the yaw-rate controller (VDC) as well as for model-supported sensor monitoring (SMO) for applying the Ackermann equation.

Maneuvers

Measurement (no.)	Speed (km/h)	Direction
1	90	Right-hand curve
2	90	Left-hand curve
3	100	Right-hand curve
4	100	Left-hand curve
5	110	Right-hand curve
6	110	Left-hand curve

- vFzRef_20
- ayToF_20
- axToF_20
- LwFine_20 (only for FZR)
- LwKorr_40 (only for SMO)
- LwInOfsFine_40 (Unit: [Grad_am_LR])
- vGiF_20
- GueltModb_40

Determination

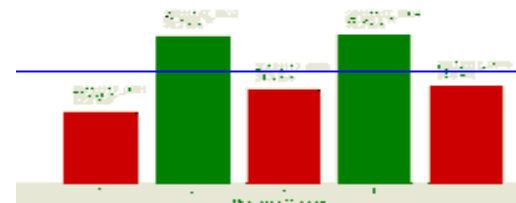
Ackermann equation

$$\dot{\psi} = \frac{v}{l \cdot \left(1 + \frac{v^2}{v_{ch}^2}\right)} \cdot \delta$$

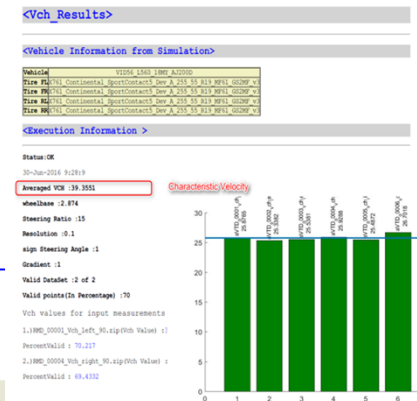
- $\dot{\psi}$ (DOT!) is the yaw rate of the vehicle
- v the velocity of the vehicle
- v_{ch} the characteristic velocity
- δ the steering angle
- l the wheelbase

Reporting

▼Range of v-values: 34 m/s

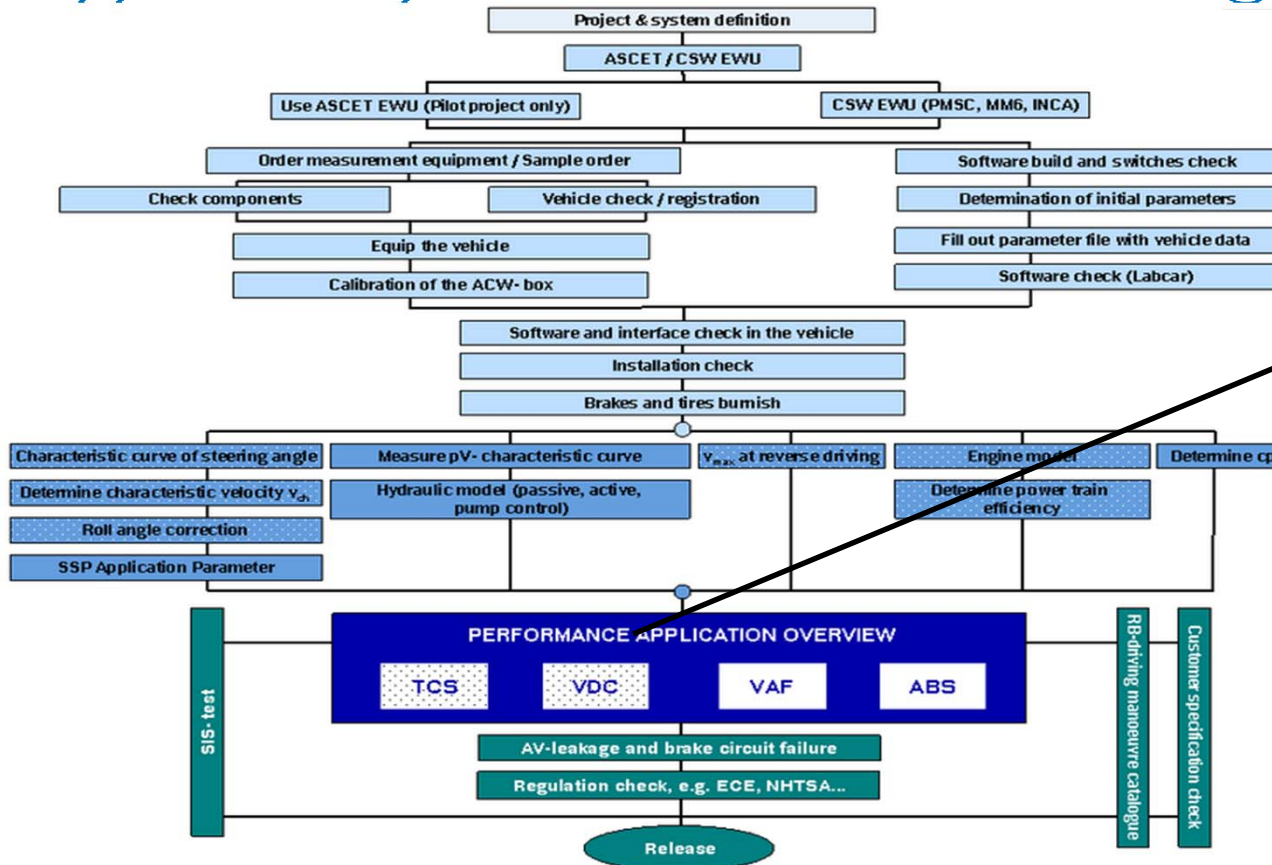


Simulation Result



Fahrdynamikregelsysteme

Applikationsprozess – Parameter-Tuning u. Optimierung



Parameter-Tuning und -Optimierung

- ▶ Durchführung von Fahrversuchen und Analyse der Ergebnisse
- ▶ Sicherstellung der Systemleistung u. SW-Reife
- ▶ Parametertuning
 - ▶ Basis Applikation
 - ▶ **Robustheits- und Performance Tuning**
- ▶ Optimierung der Systemleistung gemäss BOSCH/Kunden-Spezifikation

Chassis Systems Control | CC-AS/EYB7 Albert Lutz | 07.01.2021

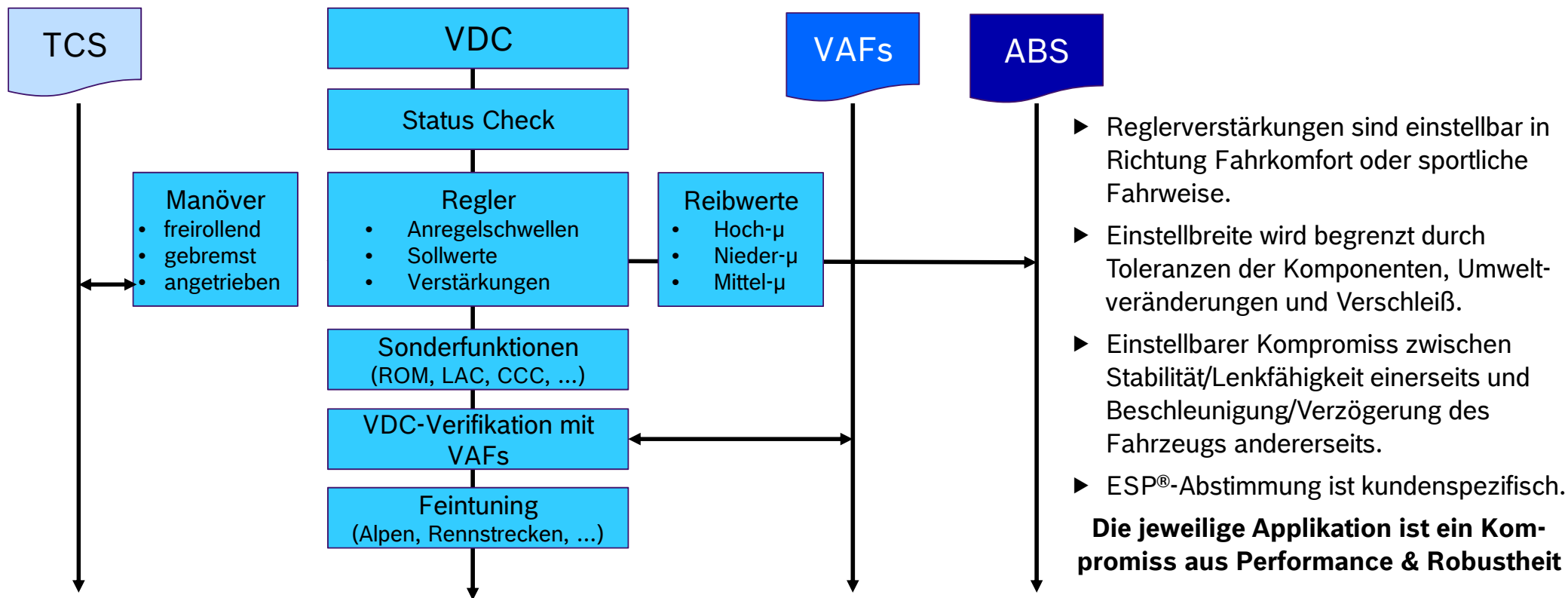
HS-Kempten / ADAS-Master / WS20/21

© Robert Bosch GmbH 2019. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



Fahrdynamikregelsysteme

Performance&Robustheits Applikation



Fahrdynamikregelsysteme

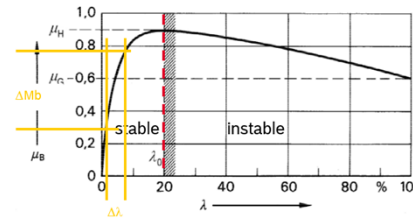
Performance & Robustheits Applikation

Initial:

- ▶ Applikation der unterlagerten Reglerteile (Hydraulikmodell, ABS, ASR, ...)
- ▶ Beim ASR der Zielschlupf für die Motorregelung als guter Kompromiss zwischen Traktion und Stabilität (Geradeaus/Kurven, high-/low- μ)
- ▶ VDC Überprüfung der Sollwertbildung der Giergeschwindigkeit

Einstellen der Reglerverstärkungen

- ▶ Beim VDC kann die Stärke der Eingriffe über die Reglerverstärkungen beeinflusst werden (Kompromiss zwischen Stabilisierungsgüte und Komfort).
- ▶ Harte Eingriffe geschehen mittels Schlupfvorgabe
- ▶ weichere Eingriffe mittels Momentvorgabe
- ▶ Reglerverstärkungen:
 - ▶ Falls zu groß, werden Schwingungen im Reglersystem erzeugt (z.B. ständiger Wechsel zwischen Über- und Untersteuern).
 - ▶ situationsspezifische Reglerverstärkungen und Sollwertbildungen erforderlich (z.B. bei Spurwechsel)



Fahrdynamikregelsysteme

Performance&Robustheits Applikation

Überprüfung von

► Sonderfällen wie

Bremskreisausfall, vertauschte/ausgefallene Radsensoren, Reifenpannen, Dachlast, zulässiges Gesamtgewicht, Systemübergänge, Ausfall CAN, Anhängerbetrieb, einseitig erhaltene Bremsen, etc.

► Sonderfahrbahnen wie

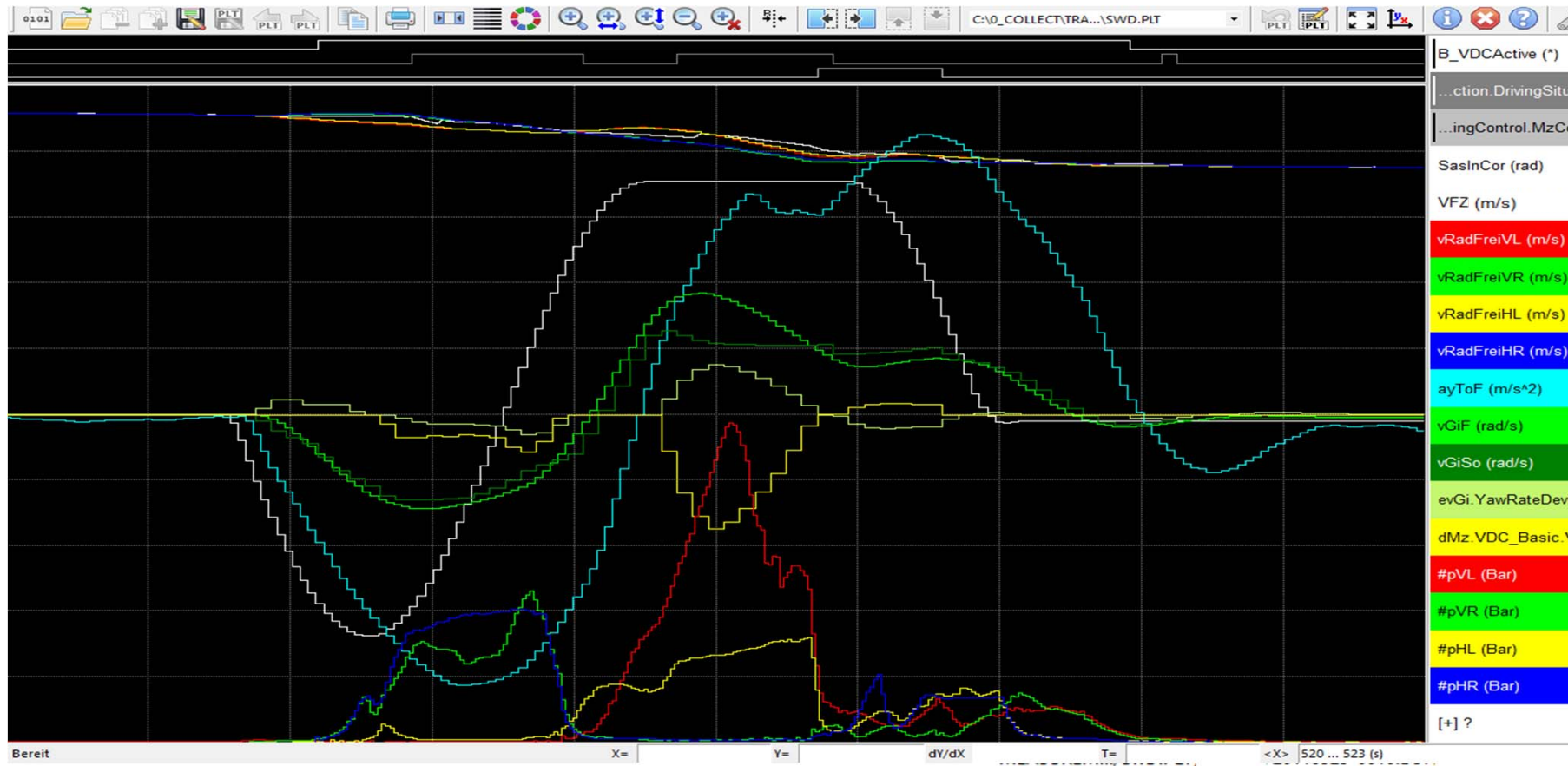
Schotter, Steilwand, Schlechtweg, Sprunghügel, Kanaldeckel, Querfugen, Aquaplaning, Spitzkehren, Spanische Schwellen, Bordsteinkante, Garageneinfahrt, etc.

► Fahrzeug- und Sensor- und Einbautoleranzen wie

(Bremsbelagreibwert, Fahrwerkverschleiß, geringe Fahrwerkänderungen durch Unfall, Reifentypen, Reifentoleranzen, Reifenluftdruck, Notrad, Mischbereifung, Bremsengeräusche, Sensorfehler, Fehler in der Sensorausrichtung, ...)

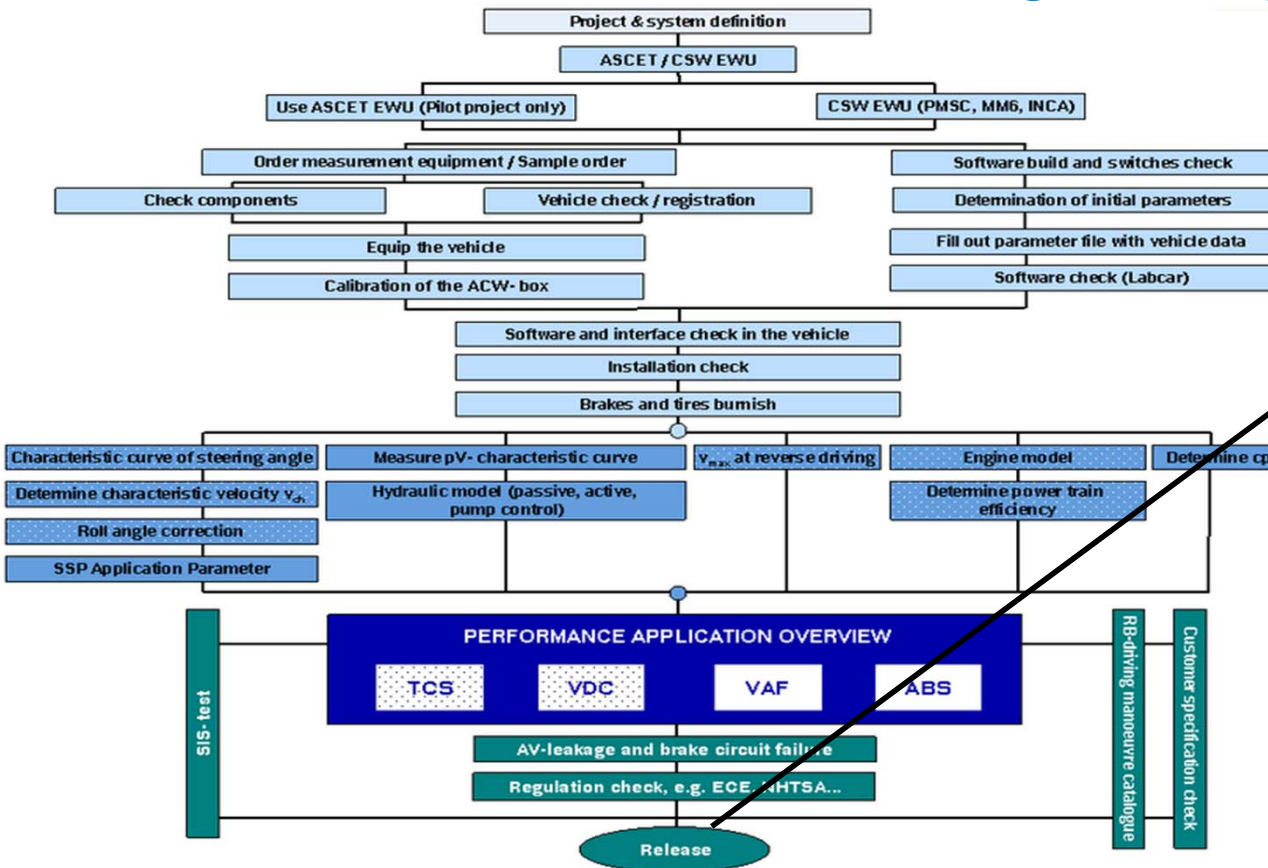
Fahrdynamikregelsysteme

Performance&Robustheits Applikation - Messung



Fahrdynamikregelsysteme

Applikationsprozess – Validierung & Freigabe



System-Performance und -Validierung

- ▶ Systemintegrationstests
- ▶ Performancetests (z.B. Bremsweg)
- ▶ Validierungstests
- ▶ Kundenspezifische Tests
- ▶ Finale System Freigabe
- ▶ Sicherstellung der BOSCH Qualitätsziele
- ▶ Vermeidung von Beschwerden aus dem Feld

Fahrdynamikregelsysteme

Freigabe: Kategorien

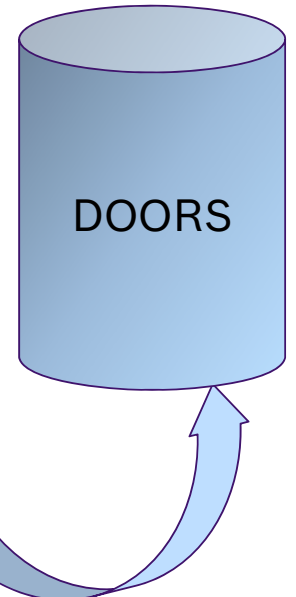
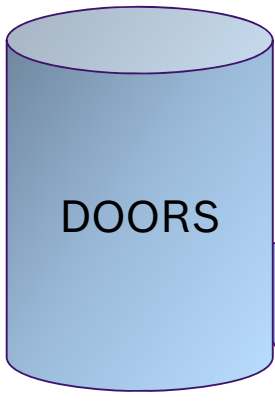
Kategorie	Kat 1 Lokal	Kat 2 Intern	Kat 3 Entwick- lungsstand	Kat 4 Funktions freigabe	Kat 5 Projektfrei- gabe
Verifikation	Lokaler Entwickler- stand	Basisfunktionen verifiziert	Funktionen qualitativ validiert	Funktionen validiert – Performance u. Komfort noch eingeschränkt	SW-Freigabe für Serienproduktion
Verfügbar für Kunde	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja
Nutzung außerhalb ESP®- Projektteam	Nein	Nein	Trainierte Fahrer	Ja	Ja
Straßenfreigabe	Nein	Nein	Trainierte Fahrer	Ja	Ja
Freigabe Serienproduktion	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja

Fahrdynamikregelsysteme

Freigabe: Fahrmanöverkatalog & Quality Center

A	B	C	D	E	F	G
1	Application:			Systemdevelopment:		
2	Person in charge:	Date:		Person in charge:		
3						
4	Proving ground:	Measurement directory:				
5						
6	Official Software ESP:					
7						
8	>> Add Measurement Names to Sheet <<		>> Start UNVIEW with specified Measurement		Remarks:	
9	Maneuver for Test SW Release (Category 5)		Front wheel			
10	No.	Description	Test of module group / function	Manual	Automatic	CVT
11	001	G: ABS-Bremmung auf $\mu = 1.0$ eingekuppelt bei v _{max} E: ABS spike brake apply on asphalt $\mu = 1.0$ in gear at maximum speed	ABS[F] REF[F] Backup-ABS[B]	OR / AND	--	OR / AND
12	002	G: ABS-Bremmung auf $\mu = 1.0$ eingekuppelt im 2. Gang bei hoher Motordrehzahl E: ABS spike brake apply on $\mu = 1.0$ in 2.gear at high engine speed	ABS[F] REF[F] Backup-ABS[B]	OR / AND	--	OR / AND
13	003	G: ABS-Bremmung auf $\mu = 1.0$ ausgekuppelt bei 80-100km/h E: ABS spike brake apply on $\mu = 1.0$ in neutral at 80-100km/h	ABS[F] EHB[EHB-ASG][E] Spare_Tire[T]	OR / OR	OR / OR	OR / OR
14	004	G: ABS-Bremmung auf nassem Asphalt eingekuppelt bei 80 - 100km/h E: ABS spike brake apply on wet 80-100km/h				
15	005	G: ABS-Bremmung auf Schlechtweg 50km/h. Mehrere Schlechtwegstreifen E: ABS spike brake apply in gear 50km/h. Various rough roads show				

TestSet	TestSet ID	TestSet Name	TestSet Description	TestSet Category	TestSet Status	TestSet Version	TestSet Author	TestSet Date	TestSet Location	TestSet Equipment	TestSet Software	TestSet Hardware	TestSet Configuration	TestSet Parameters	TestSet Results	TestSet Comments
1	1001	ABS-Bremmung auf $\mu = 1.0$ eingekuppelt bei v _{max}	ABS[F] REF[F] Backup-ABS[B]	OR / AND	--	OR / AND										
2	1002	ABS-Bremmung auf $\mu = 1.0$ eingekuppelt im 2. Gang bei hoher Motordrehzahl	ABS[F] REF[F] Backup-ABS[B]	OR / AND	--	OR / AND										
3	1003	ABS-Bremmung auf $\mu = 1.0$ ausgekuppelt bei 80-100km/h	ABS[F] EHB[EHB-ASG][E] Spare_Tire[T]	OR / OR	OR / OR	OR / OR										
4	1004	ABS-Bremmung auf nassem Asphalt eingekuppelt bei 80 - 100km/h														
5	1005	ABS-Bremmung auf Schlechtweg 50km/h. Mehrere Schlechtwegstreifen														



Fahrdynamikregelsysteme

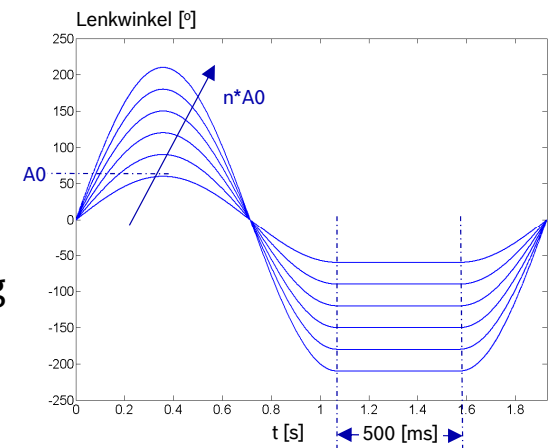
Freigabe: ESP®-Performance Check

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 ± 2 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 Lenkroboter

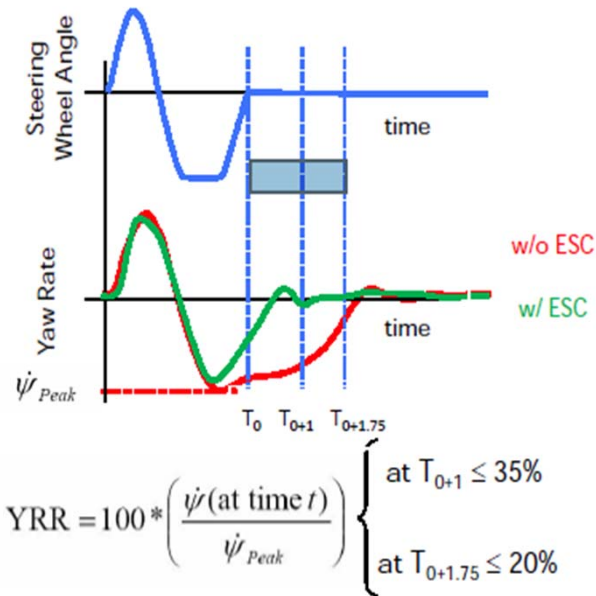


Fahrdynamikregelsysteme

Freigabe: ESP®-Performance Check

Kriterien:

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



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



<https://www.youtube.com/watch?v=BGIL7ux-Ozk>

Fahrdynamikregelsysteme

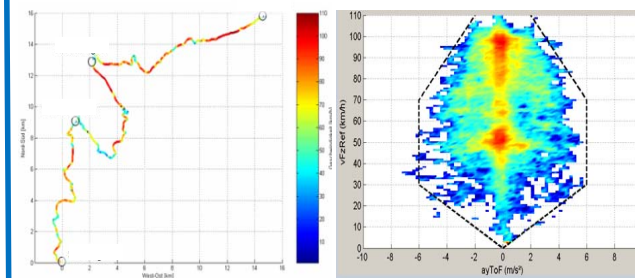
Freigabe: TC – Threshold Consumption (Robustheit)

Purpose

Monitoring the behaviour of the ESP® and vehicle under „normal“ conditions in over- and under steering situation on standardized roads by:

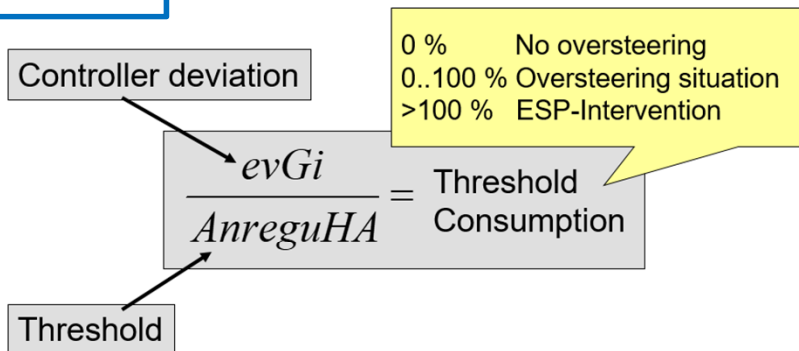
- ▶ a sportive driving style according to StVO
- ▶ on a crosscountry road with varying road conditions
- ▶ with no ESP®-interventions to be expected

Maneuvers



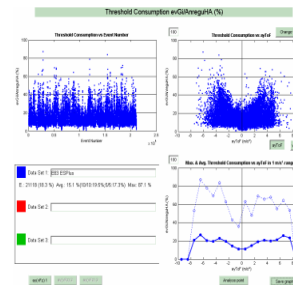
- $V_{\max}$: 100km/h
- Lat-ACC: $< \pm 6 \text{ m/s}^2$
- StVO to be considered
- Round trip

Determination



Reporting

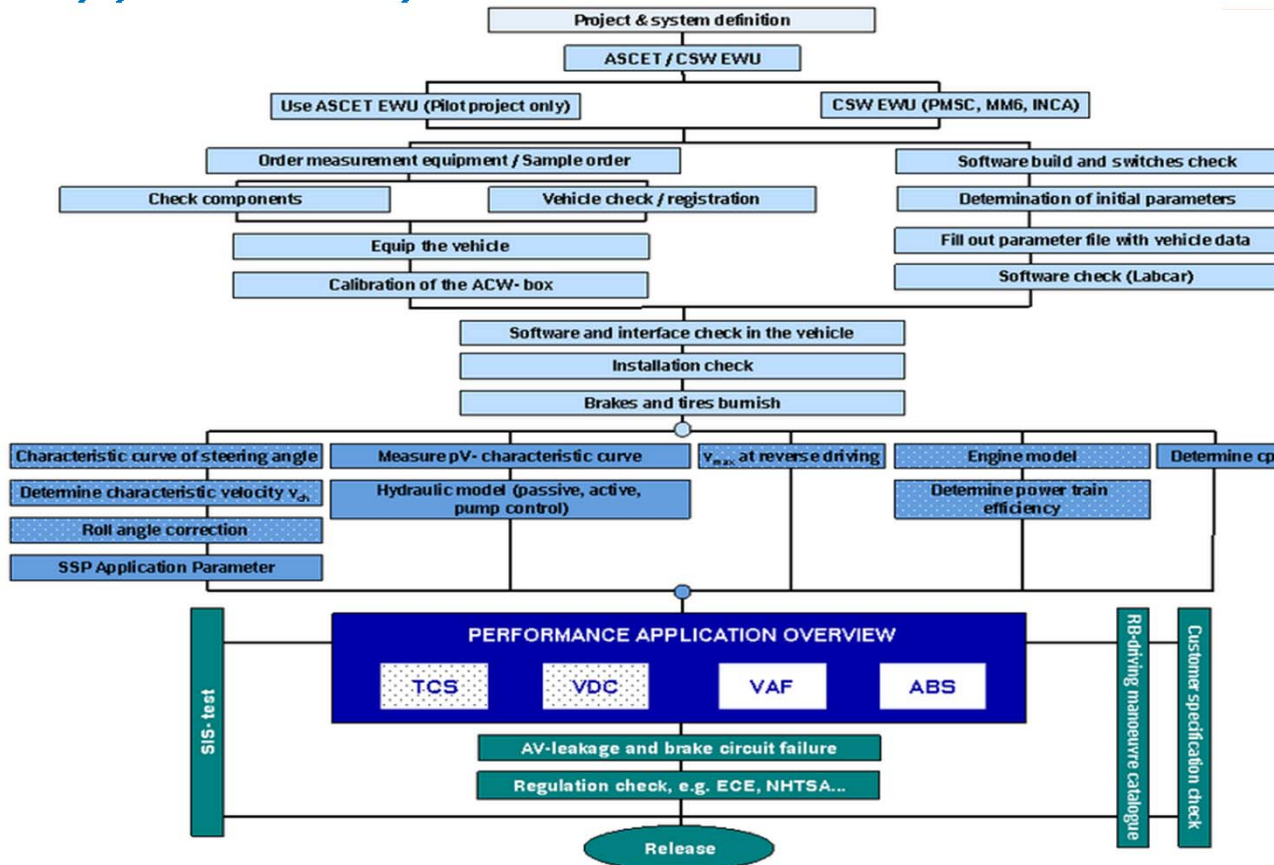
E.: 6011 (4.3%) Avg.: 14.9% (-6/0: 15.7%;0/6: 11.3%) Max: 73.4%



- Avg. < x%: Calibration ok
- x% < Avg. < y% : Calibration to be checked
- Avg. > y%: Re-Calibration needed

Fahrdynamikregelsysteme

Applikationsprozess – Teststrecken Management

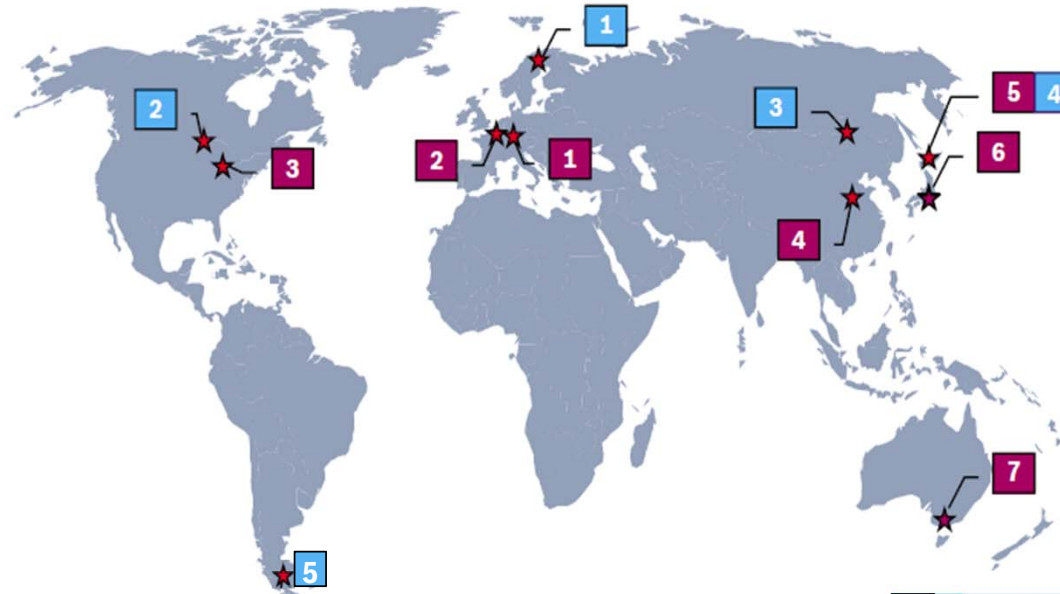


Teststrecken-Management

- Planung und Durchführung von Erprobungen auf eigenen, sowie mit Kunden auf deren Testgeländen
- Projektspezifische Erprobungen (z.B. Offroadtests, ...)
- Organisation der Wintererprobung

Fahrdynamikregelsysteme

CC – Testgelände ww



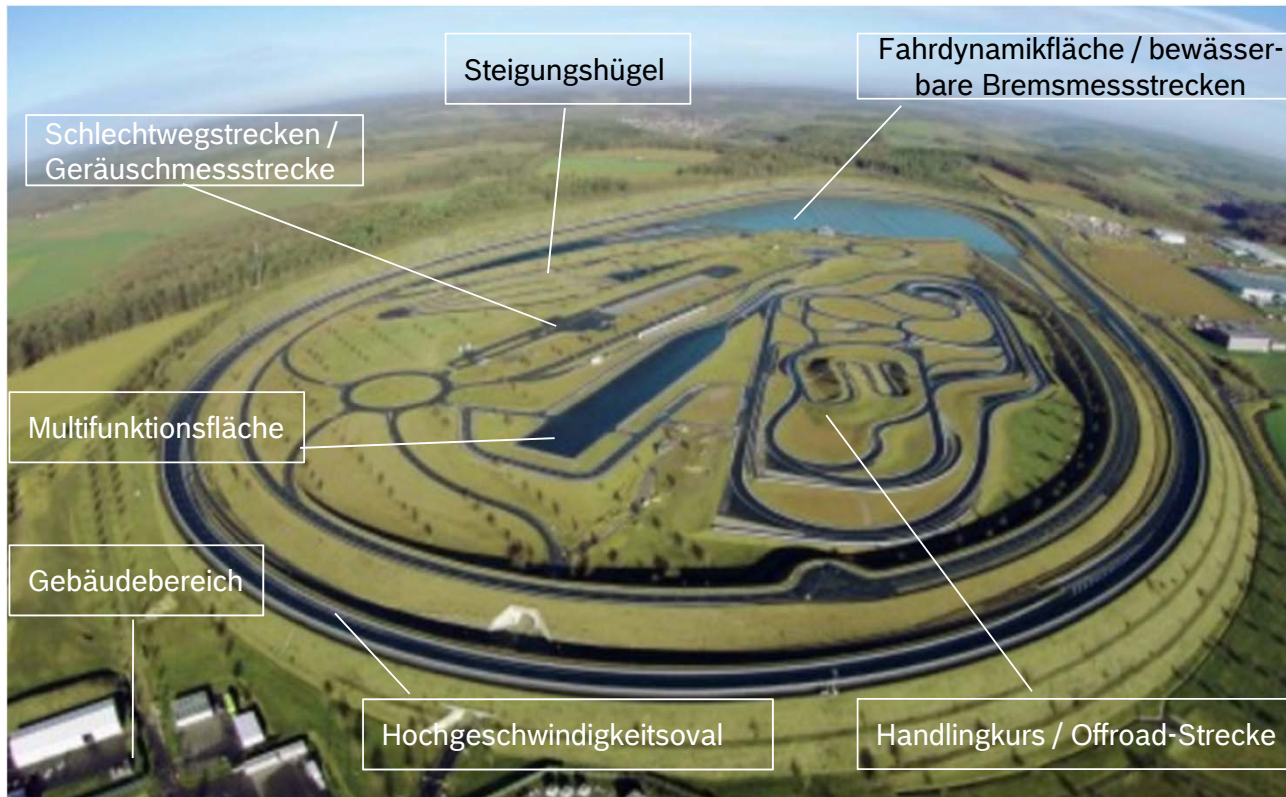
Verification Roads

- Abstatt, Germany
- Suzhou, China
- Campinas, Brazil
- Tolhuin, Argentina (Winter)



Fahrdynamikregelsysteme

Prüfzentrum Boxberg - PBx



über

15 km

Teststrecken stehen für Testfahrten und Systemerprobungen zur Verfügung.

effiziente

Erprobungen

dank umfangreicher Teststrecken, kompetenter Ansprechpartner und kurzer Wege zwischen Teststrecke und Hauptgebäude. Das spart Zeit im Ablauf.

mehr als

80

Entwicklungseinrichtungen aus dem Automobilbereich liegen im Umkreis von 120 km.

Anzahl Streckenteile

20

Die Vielfalt der Teststrecken bietet ideale Voraussetzungen für alle Kunden und jeden Fahrzeugtyp.

Fahrdynamikregelsysteme

Highlights des CC-Wintertestzentrums Vaitoudden

Handlingkurse
Land / See



Kreise versch.
Radien



Fahrdynamikregelsysteme ww Sonderstrecken

Straßenfreigabe: low-mue



Robustheit: Alpen, NNR



Offroad



Wüste/Sand



Seitenwind



Schlamm



Fels

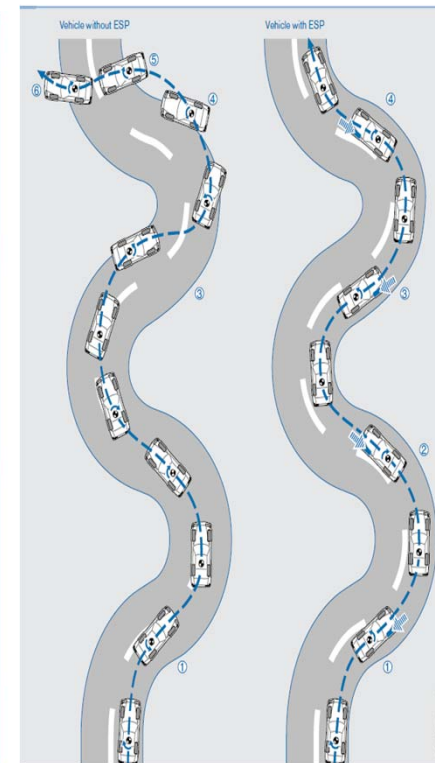
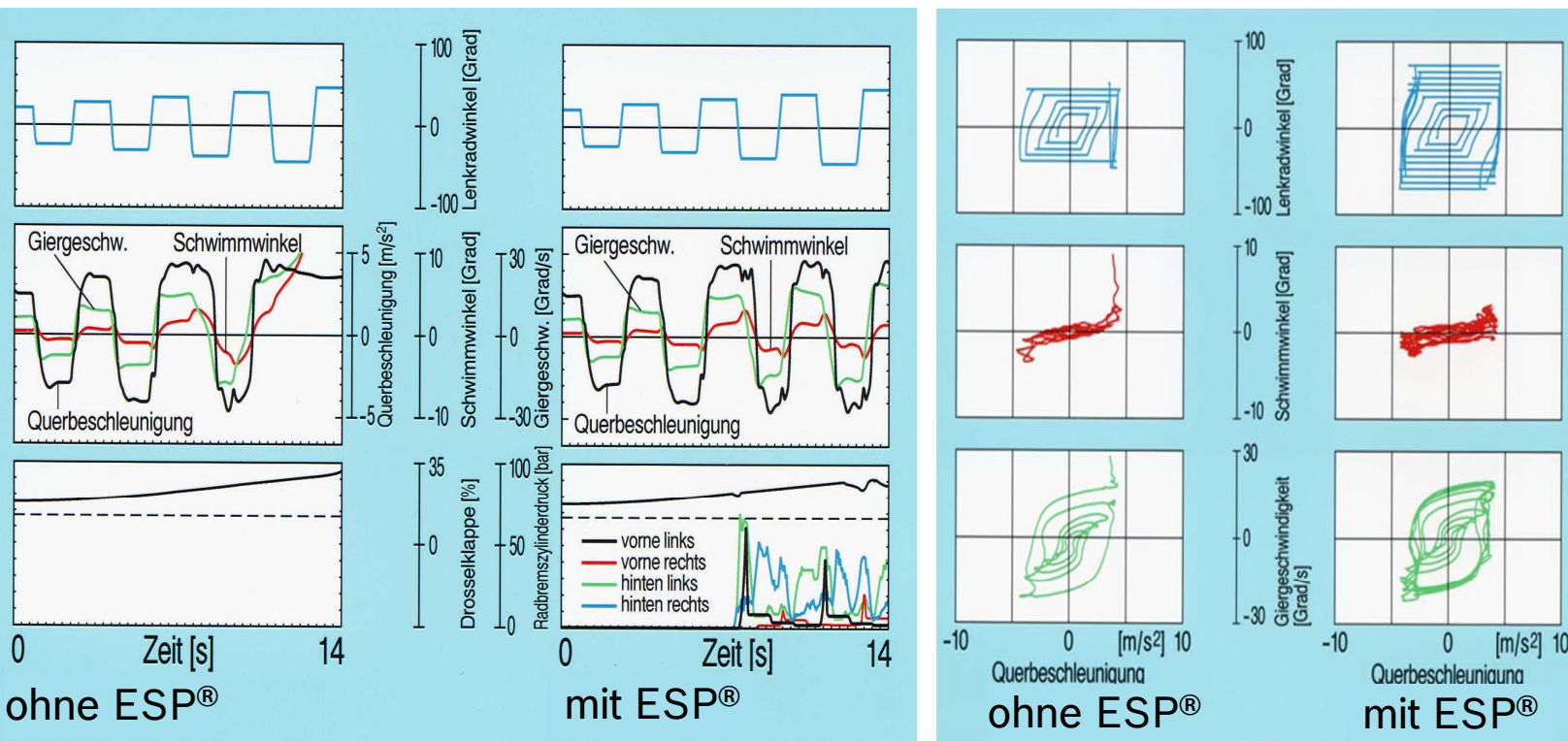
ROM/RMI



Fahrdynamikregelsysteme

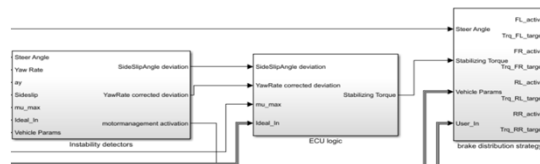
Übungen - Beispiel: Bidirektionale Lenkstufen

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



Fahrdynamikregelsysteme

Übungen – ESC_{IPG}-Struktur



Instability Detectors

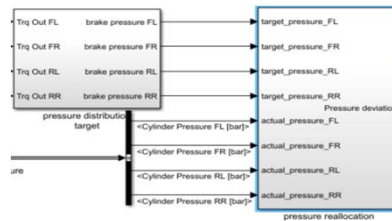
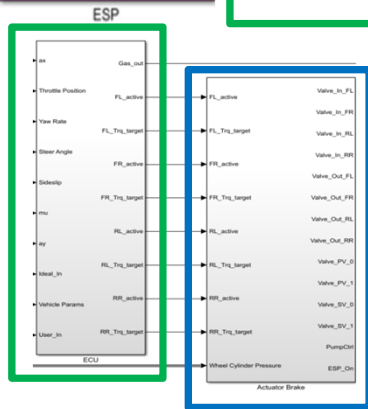
- Istwert gemessen
- Sollwerte trigonometr. Beziehung (Momentanpol) für Drehrate u. Schwimmwinkel

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

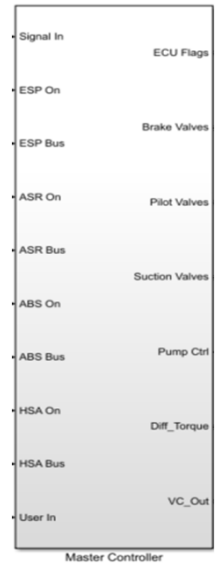


Pressure Distribution Target

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

Pressure Reallocation

- Regelung der Solldrücke durch Ansteuerung von Ventilen u. Pumpe



Master Controller

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

Fahrdynamikregelsysteme

Übungen - Beispiel: Bidirektionale Lenkstufen

► Modelle:

- SimuLink-Modell: HydBrakeCU_ESP.mdl/- .slx
- Fzg-Modell: DemoCar_HydBrakeCU_ESP
- Reifen: RT_195_65R15
- Road:
 - unendlich große Fahrdynamikfläche
 - $\mu = 0.3$

► Visualisierung:

- Window 0 – als Funktion der Zeit:
 - Diagramm 1: Lenkradwinkel u. ESP_aktiv
 - Diagramm 2: Drehrate, Schwimmwinkel, Querbeschl.
 - Diagramm 3: F_x an den Rädern
- Window 1 - Phasenplot:
 - Diagramm 1: Drehrate, Schwimmwinkel, Lenkradwinkel als Funktion der Querbeschleunigung

► Manöver:

- $V_0 = 0 \text{ km/h}$; Beschleunigen auf $= 72 \text{ km/h}$ und halten der Geschwindigkeit
- Lenksprünge mit:
 - Anfangslenkwinkel: $\text{Del}_0 = 0^\circ$
 - Lenkamplitudenzunahme: $\Delta \text{Del} = 5^\circ/\text{Sprung}$
 - Lenkwinkelgeschwindigkeit: $d\text{Del}/dt = 200^\circ/\text{s}$
 - Haltezeit: $t = 2 \text{ s}$
 - Max. Lenkwinkel: $\text{Del}_{\max} = 100^\circ$
- ESP®
 - aktiv / inaktiv
 - Parameter: ESP.User.ESP_off (Default=0, Off=1)
- Variationen
 - Solldrehrate $\pm 20\%$
 - Parameter: Gain YawRate_so_modif (Default=1)