



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche

TRAVAIL DE CANDIDATURE

Fahrstabilisierungssysteme im Automobil

Der Unterzeichnende versichert hiermit, die vorliegende Arbeit selbst und eigenständig angefertigt zu haben.

Die in der Arbeit benutzten Unterlagen, sind vollständig im Literaturnachweis angegeben.

Mersch, den 28. Juni 2012

GINTER Marc

GINTER Marc
Candidat professeur ingénieur en mécanique
Lycée technique du centre

Fahrstabilisierungs- systeme im Automobil

Praxisorientierte Einführung



Année 2012

Zusammenfassung

Diese Arbeit handelt von den Fahrstabilisationssystemen im Automobil. Diese haben in den letzten zehn Jahren verstärkt Einzug in unser bevorzugtes Verkehrsmittel gehalten und tragen zur Verkehrssicherheit bei indem sie den Fahrer unterstützen.

Die Kenntnis über die Arbeitsweise dieser Systeme und deren Prüfung wird durch die Verwendung des Funktionsstandes ABS/EDS/ASR/ESP der Firma Thepra den Schülern nähergebracht.

Die Arbeit kann dem Lehrer als Unterrichtsgrundlage zur Einführung der Fahrstabilisierungssysteme dienen, wie sie z.B. im Fach CHACA auf der T3MA (Technikerausbildung im Kraftfahrzeug-Bereich) und 01MA (Mechanikerausbildung ABS/ASR) behandelt wird.

Die Arbeit enthält sowohl Arbeitsblätter für die Schüler als auch die Musterlösungen für Lehrer und Schüler.

Im theoretischen Teil für die Lehrer wird die fachspezifische Theorie der Fahrstabilisierungssysteme tiefgreifend zusammengefasst. Für die Schüler wird der theoretische Teil in einfacherer Form in den Arbeitsblättern dargelegt.

In dieser Arbeit werden folgende Themengebiete behandelt:

- Einführung in die Arbeitsweise der Fahrstabilisierungssysteme
- Grundlagen des ABS (Antiblockiersystem)
- Funktion des EDS (Elektronische Differentialsperre)
- Funktion des ASR (Antischlupfregelung)
- Funktion des ESP (Elektronische Stabilitätskontrolle)

Die Themengebiete werden anhand der Arbeitsblätter und durch praktische Aufgaben ergänzt. Der Einstieg wird durch ausführliche Erklärungen zum didaktischen Material vereinfacht und somit der Einstieg in die Thematik erleichtert.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort:.....	7
1. Fahrstabilisierungssysteme	9
1.1 Definition	9
1.2 Geschichte der Fahrstabilisierungssysteme.....	9
1.3 Meilensteine der Entwicklung der Fahrdynamikregelungen.....	9
2. Theoretischer Teil (Lehrer Hintergrundwissen)	14
2.1 Anforderungen an das Elektronisches Stabilitäts-Programm	14
2.2 Regelkonzept des ESP	15
2.3 Führungsfähigkeit eines Durchschnittsfahrers	16
2.4 Prioritäten für Vollbremsung bei hohen Fahrgeschwindigkeiten:	18
2.5 Struktur des ESP-Reglers	19
2.6 Komponenten des ESP	20
2.7 Fahrdynamikregler	21
2.8 Beobachter.....	21
2.9 Bremsschlupfregler	28
2.10 Antriebsschlupfregler	31
2.11 Überwachung des ESP-Systems.....	31
2.12 Anforderungen an die Sicherheit.....	32
2.13 Wiedergutprüfung nach Systemabschaltung.....	34
3. Lehrerinformationen	36
3.1 Grundlagen der Fahrdynamik:	36
3.2 Thepra Lehrgerät – Lehrerinformationen	38
3.3 Aufbau des ESP Lehrstandes	39
3.3.1 Außenansicht der Anlage.....	39
3.3.3 Der Antrieb:.....	43

3.3.4 Die Regelung:	44
3.3.5. Digitale Anzeigen:	45
3.3.6. Das Motorsteuergerät und der Drosselklappensteller:	46
3.3.7 Das ESP Steuergerät:	47
3.3.8 Die Sensoren des ESP	48
3.3.9 Die Datenerfassungshardware	54
3.4 Voreinstellungen bei Versuchsdurchführung.....	55
3.5 Messergebnisse.....	56
3.6 Die Thepra Messergebnis-Software.....	56
3.6.1 Anzeige gespeicherter Dateien.....	59
3.6.2 Übersicht der angezeigten Daten	60
3.6.3 Aufbau der Ausgabedatei	61
3.7 Schülermessplätze.....	63
4. Arbeitsblätter Musterlösungen.....	69
5. Arbeitsblätter Schülerversion	159
6. Anhang.....	233
6.1 Literaturverzeichnis	233
6.1 Information Funktionsmodellwand	235

Vorwort:

Die vorliegende Arbeit ist vor allem für den Lehrplan einer aktuellen Technikerklasse der Automobiltechnik im dritten Lehrjahr (T3MA) vorgesehen. Nach dem für diese Klasse noch gültigen Lehrplan sind etwa 14 Doppelstunden für dieses Thema vorgesehen.

Auf dem Lehrplan der Klasse 01MA ist eine Einführung zu ABS und ASR vorgesehen mit etwa 5 Doppelstunden vorgesehen.

Es wurde Wert darauf gelegt, dass diese Arbeit so einfach wie möglich in den neuen Lehrplan der Reform der professionellen Berufe, für beide Klassen, eingegliedert werden kann. Da dieser Lehrplan für das zweite und dritte Lehrjahr jedoch noch nicht veröffentlicht ist, wurde nach bestem Wissen vorgegangen.

1

Geschichte der Fahrstabilisierungssysteme

1. Fahrstabilisierungssysteme

1.1 Definition

Unter Fahrstabilisierungssystemen versteht man eine Vielzahl von Systemen, welche den Fahrer aktiv unterstützen um Grenzsituationen zu meistern.

1.2 Geschichte der Fahrstabilisierungssysteme

Das erste „Elektronische Stabilitätsprogramm“ (ESP) wurde im Jahre 1995 durch Mercedes in Zusammenarbeit mit Bosch eingeführt. Die Abkürzung ESP ist ein eingetragenes Warenzeichen der Daimler AG. Von anderen Herstellern werden zum Teil andere Bezeichnungen verwendet. (z. B: DSC Dynamic Stability Control, PSM Porsche Stability Management, VSC Vehicle stability program, usw.). (Isermann, 2006)

1.3 Meilensteine der Entwicklung der Fahrdynamikregelungen

- 1979** Geschwindigkeitsregelung mittels Geschwindigkeitssensor und elektromotorischem Seilzug-Aktuator.

- 1979** Antiblockiersystem zur Blockierverhinderung einzelner Räder beim Bremsen, besonders um die Lenkfähigkeit durch Erhalt von Seitenkräften zu ermöglichen..

- 1986** Antischlupfregelung der Antriebsräder, um das Einseitige und zweiseitige Durchdrehen durch Bremsen eines Rades und/oder Reduzierung des Motordrehmomentes zu vermeiden..

- 1995** Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) um die Schleuderbewegungen durch Giermomentenerzeugung über das Bremsen einzelner Räder zu dämpfen und damit das Fahrzeug auf Kurs zu halten.

- 1998** Elektronisch stellbare Luftfedern (EAS), um sowohl die Federsteifigkeit als auch die Fahrzeughöhe(Nicken, Wanken) zu beeinflussen.

- 1999** Adaptive Cruise Control (ACC) mit Radarsensorik zur Abstands- und Geschwindigkeitsregelung

- 2003** Active front steering (AFS) durch elektromotorische Überlagerung. Hierbei werden durch Beibehaltung des mechanischen Durchgriffs Zusatzlenkwinkel erzeugt, die eine variable Lenkübersetzung erlauben, noch schneller im Sinne des ESP eingreifen und z. B. Seitenwindeffekte ausregeln.

- 2003** Dynamic Drive Control (DDC) oder Wankregelung über aktive Stabilisatoren, um das Neigen bei Kurvenfahrt zu mindern.

(Isermann, 2006)

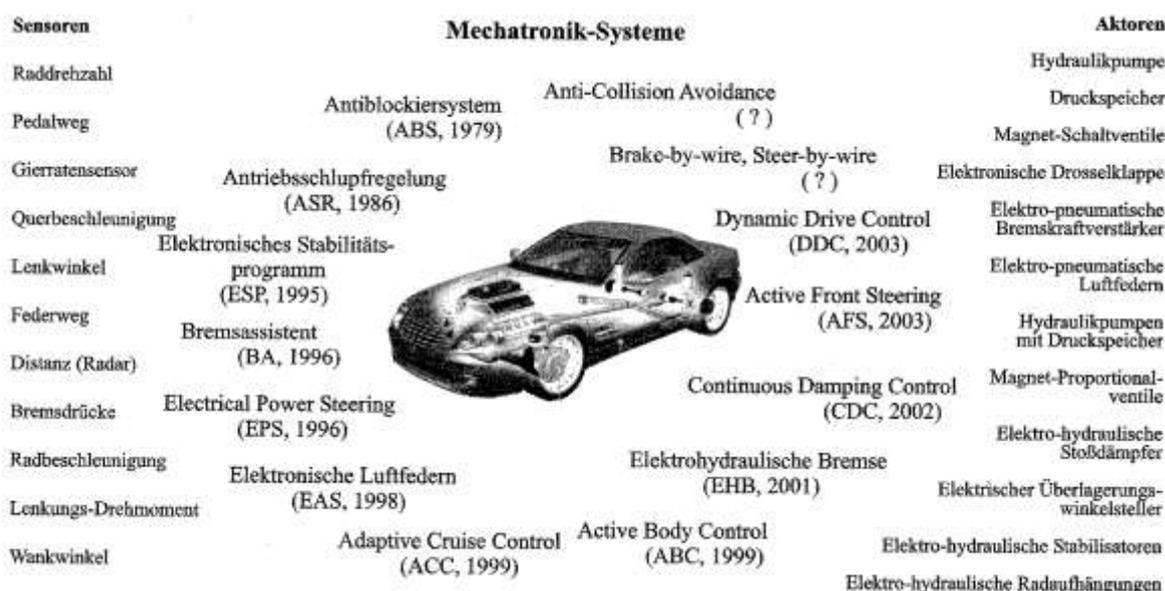


Abbildung 1: Übersicht der Mechatronik-Systeme

(Bierschenk, 2008)

Beschreibung der angebotenen Fahrdynamiksysteme

Andere und neuere Systeme welche die Fahrdynamik aktiv beeinflussen jedoch nicht in dieser Arbeit behandelt werden können.

Bremsassistent (Panikbremsung)

Der Bremsassistent unterstützt den Fahrer bei einer Not- oder Panikbremsung. Er erkennt anhand der Betätigungsgeschwindigkeit des Bremspedals, ob der Fahrer eine Vollbremsung wünscht und erhöht den Bremsdruck automatisch bis in den ABS-Regelbereich, solange der Fahrer das Bremspedal durchtritt. Bei nachlassender Bremsdruckvorgabe durch den Fahrer verringert das System den Bremsdruck wieder auf den Vorgabewert.

Mit dem Bremsassistenten kann der Anhalteweg stark verkürzt werden. Das System arbeitet kaum spürbar für den Fahrer.

Anfahrassistent am Berg

Beim Erkennen einer Anfahrssituation am Berg, wird der Bremsdruck aufrecht erhalten um ein zurückrollen des PKW zu verhindern. Falls der Fahrer das Gaspedal betätigt wird diese Funktion beendet.

Aktive Stabilisator Beeinflussung

Ein Rollen um die Längsachse wird durch ein Verdrehen der Stabilisatoren verhindert oder vermindert. Dies ergibt ein fast rollfreies Fahrzeug in Kurven.

Aktiver Lenkwinkleingriff

Der aktive Lenkeinfluss kann benutzt werden um ein Fahrzeug welches droht außer Kontrolle zu geraten, durch gezielte Lenkeinwirkung ohne Zutun des Fahrers zu stabilisieren. Das Fahrzeug wird, über eine selbsttätige Korrektur des Lenkwinkels, bei einer beginnenden Schleuderbewegung (unter- oder übersteuern) durch kontrolliertes gegensteuern am ausbrechen gehindert. (Volkswagen, 2012) (Bosch, 2012)

Spurhaltesystem

Warnt den Fahrer durch vibrieren des Lenkrades und/oder Warnton vor dem Verlassen der aktuellen Fahrspur. Ein Lenkeingriff kann automatisch erfolgen.

Abstandswarner und -regler

Die vorausfahrenden Fahrzeuge werden durch Radar erfasst und der Abstand sowie die Differenzgeschwindigkeit berechnet. Eine akustische Warnung und eine Bremsung werden bei einer drohenden Kollision eingeleitet.

Beim Einsatz eines geregelten Systems kann eine Kolonnenfahrt (z.B.: beim Stau) automatisch ausgeführt werden.

Roll stability control

Verhindert ein überschlagen des Fahrzeugs durch Gaswegnehmen und Abbremsen einzelner Räder.

Anhängerstabilisierung (TSA Trailer Stability Assist)

Sie verhindert ein Aufschaukeln bzw. Schleudern des Gespanns durch gezieltes Abbremsen einzelner Räder des Zugwagens.

2

Theoretischer Teil (für Lehrer)

Phasendiagramm dargestellt. Bei größeren Störungen divergieren die Trajektorien, der Nullpunkt stellt sich nicht mehr ein und das Fahrzeug ist instabil. Die instabilen

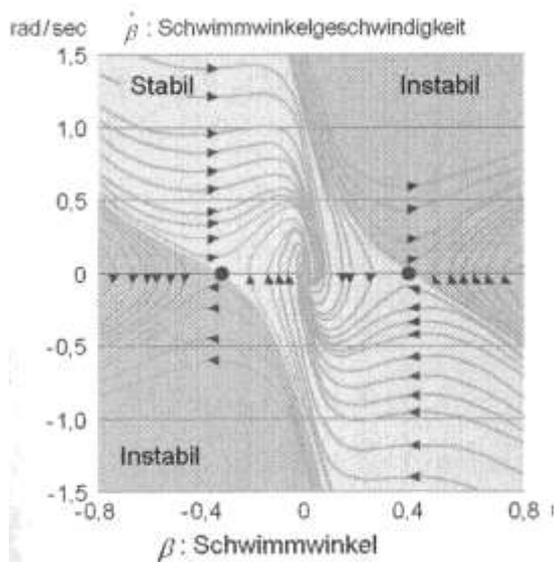


Abbildung 2.1.1

Trajektorie im Phasendiagramm des Schwimmwinkels und der Schwimmwinkelgeschwindigkeit beim einem Lenkwinkel von $4,6^\circ$

Bereiche werden mit zunehmendem Lenkwinkel größer und bei großen Lenkwinkeln kann der stabile Bereich sogar ganz verschwinden, und der Fahrer hat die größte Mühe, das instabile Fahrzeug noch unter Kontrolle zu halten. (Zanten, 2006)

2.2 Regelkonzept des ESP

ESP hat sich auf der Basis von ABS (Antiblockiersystem) und ASR (Anti-Schlupf-System) entwickelt, mit denen die Radbremsdrücke und das Motormoment

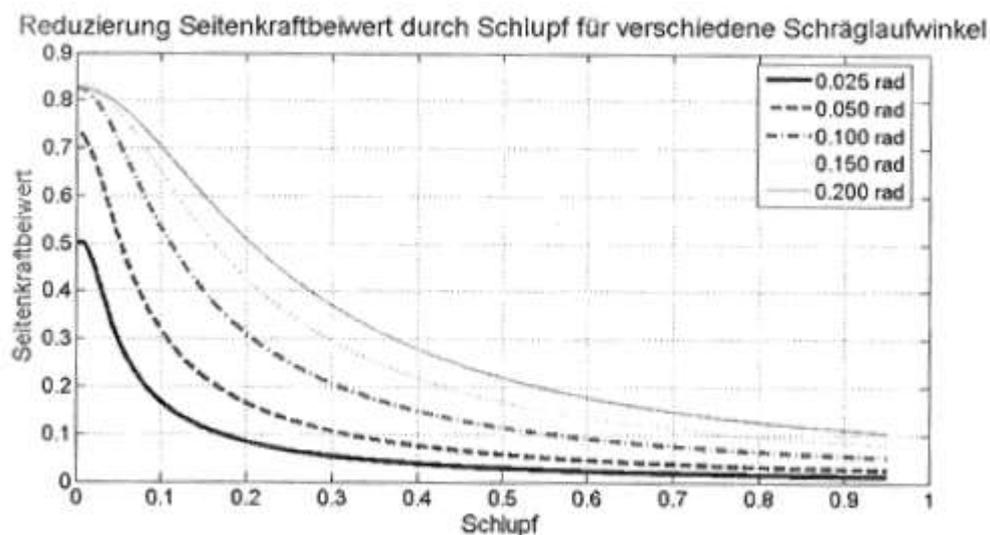


Abbildung 2.2.1: Einfluss des Schlupfes auf den Seitenkraftbeiwert des Reifens

individuell moduliert werden können. Das Konzept des ESP baut auf die Eigenschaft des Reifens, dass der Seitenkraftbeiwert über den Schlupf verändert werden kann. (Abbildung 2.2.1).

Damit ist auch die Querdynamik des Fahrzeugs über die Reifenschlupfwerte beeinflussbar. Aus diesem Grund wurde beim ESP der Schlupf als fahrdynamische Regelgröße gewählt. Im Allgemeinen lässt sich das Giermoment auf das Fahrzeug über die Schlupfwerte der vier Reifen beeinflussen. Allerdings bedeutet eine Schlupfänderung an einem Reifen im Allgemeinen auch eine Änderung in der Längskraft am Reifen und damit eine zunächst nicht beabsichtigte Änderung in der Fahrzeugbeschleunigung.

Aus dem Wunsch nach einer hierarchischen Reglerstruktur und bei der Bedingung, dass der Reifenschlupf als fahrdynamische Regelgröße zu verwenden ist, entstand die Forderung nach einem unterlagerten Regler, der den Reifenschlupf einstellen kann. Dieser Regler muss sowohl die ABS-Funktion als auch die ASR-Funktion enthalten. Da das serienmäßige ASR bereits ein Schlupfregler ist, waren nur geringe Modifikationen des Serienreglers notwendig. Da das serienmäßige ABS aber ein Beschleunigungsregler ist, musste zunächst ein schlupfbasiertes ABS als unterlagerter Regler entwickelt werden. Es gibt aber auch ESP-Realisierungen, bei denen die hierarchische Reglerstruktur nicht im Vordergrund steht, und die das serienmäßige ABS als Beschleunigungsregler nach wie vor im ESP einsetzen.

2.3 Führungsfähigkeit eines Durchschnittsfahrers

Bevor auf die Anforderungen an das ESP eingegangen wird, soll hier noch stichwortartig die Führungsfähigkeit eines Durchschnittsfahrers (der Normalfahrer) im Außerortsverkehr beschrieben werden.

- Normalfahrer bremsen mit Bremsdrücken, die fast immer unterhalb von 40 bar liegen(entspricht eine Fahrzeugverzögerung von ca. 0,4 g).
- Normalfahrer lenken nicht mehr als mit 90° Lenkradwinkel und so, dass die Quereschleunigung kleiner als 0,2 g bleibt.
- Normalfahrer fahren mit Schwimmwinkeln kleiner als 2°.

- Normalfahrer reagieren auf die Fahrzeugbewegung erst nach ca. 1 s. Bis dahin bestimmt das Gesamtsystem Fahrzeug-ESP den Bewegungsablauf.
- Normalfahrer fahren deshalb fast immer im linearen Bereich der Schlupf- und Schräglauflkurven.
- Normalfahrer haben deshalb auch keine Erfahrung im nichtlinearen Bereich der Schlupf- und Schräglauflkurven.
- Normalfahrer haben keine Ahnung vom momentanen Reibwert der Fahrbahn und von der momentanen Stabilitätsreserve des Fahrzeugs in Längs- und Querrichtung.
- Wenn Normalfahrer in den nichtlinearen Bereichen der Reifen geraten, sind sie oft überrascht vom grundlegend verschiedenen Fahrverhalten, geraten in Panik und handeln unüberlegt (lenken zu viel etc.).
- Bei der Auslegung von Sicherheitssystemen darf deshalb nicht von überlegtem Handeln des Fahrers in Paniksituationen ausgegangen werden.
- Die Anforderungen an ABS und ASR gelten auch für ESP. Weitergehende Anforderungen an ESP sind, wie oben erläutert, eher beschreibender Natur, und beziehen sich auch auf diese Kompromisse:
- ESP muss den Fahrer in allen Fahrsituationen unterstützen (beim Bremsen und Beschleunigen, bei Konstantfahrt, Spurwechsel, ...).
- ESP muss den Lenkaufwand des Fahrers reduzieren.
- Der Fahrer muss sich bzgl. des Verhaltens des Fahrzeugs immer sicher fühlen (Nachvollziehbarkeit der ESP-Eingriffe).
- Der Fahrer darf nicht den Eindruck haben, dass das Fahrzeug mit ESP langsamer fährt als das ohne ESP.
- Die Fahrervorgaben dürfen nicht zur Instabilität des ESP führen.
- Das Fahrzeug muss prompt auf die Lenkvorgabe des Fahrers reagieren.
- ESP muss sofort die Rückkehr zu einer stabilen Fahrsituation erkennen.
- ESP muss die kinematischen Bedingungen und Toleranzen im Lenkstrang berücksichtigen
- ESP darf in Steilkurven auf öffentlichen Straßen nicht unnötigerweise eingreifen (Fahrbahnquerneigung $< 20^\circ$).
- ESP darf die Fahrsituation unter keinen Umständen verschlechtern (defekte Stoßdämpfer, Anhänger, Reifenplatzen, ...).

- ESP muss im Gebirge bis zu einer Höhe von 2500 m ü.M. voll leistungsfähig sein.

(Isermann, 2006)

2.4 Prioritäten für Vollbremsung bei hohen Fahrgeschwindigkeiten:

1. Fahrzeugstabilität (Schwimmwinkel $< 5^\circ$)
2. Der Bremsweg darf durch die Stabilisierung nicht größer werden.
3. Komfort (Geräusch, Pedalpulsieren)

Bei Open-Loop-Lenkwinkelsprüngen bei Vollbremsung (ABS) darf der Schwimmwinkel in den ersten 3 Sekunden den Wert von 6° nicht überschreiten.

Teilbremsung

- a. Die Fahrzeugverzögerung muss dem Hauptbremszylinderdruck folgen
- b. Die Bremskraftverteilung muss so geregelt werden, dass sich ein Minimum an ESP-Regeleingriffen ergibt.

Prioritäten im Fahrverhalten bei Antrieb (ASR) bei hohen Fahrgeschwindigkeiten:

1. Fahrzeugstabilität.
2. Der Schwimmwinkel darf den Wert von 6° nicht überschreiten.
3. Komfort (Geräusch, Fahrzeugschaukeln)
4. Die unterlagerte ASR muss so eingestellt werden, dass ESP-Bremseingriffe an den nicht angetriebenen Rädern minimal und möglichst nicht notwendig sind.

Sonstige Anforderungen:

- Bei Open-Loop-Kurvenfahrt darf die Querverschiebung des Fahrzeugs 0,5 m nicht überschreiten (relativ zur Fahrspurmitte).
- Closed-loop-Spurwechsel bei Konstantfahrt

- Schwimmwinkel $< 5^\circ$,
- Lenkradwinkelgeschwindigkeit:
 - bei niedrig Reibwert $\mu: < 300^\circ/s$,
 - bei hohem Reibwert $\mu: < 400^\circ/s$
- Der Elch-Test (VDA Test) muss erfolgreich abgeschlossen werden.

2.5 Struktur des ESP-Reglers

Kennzeichnend für ESP ist die sogenannte Fahrdynamikregelung, welche die Fahrzeugbewegung mittels über- und unterlagerten Reglern regelt. Wichtiger

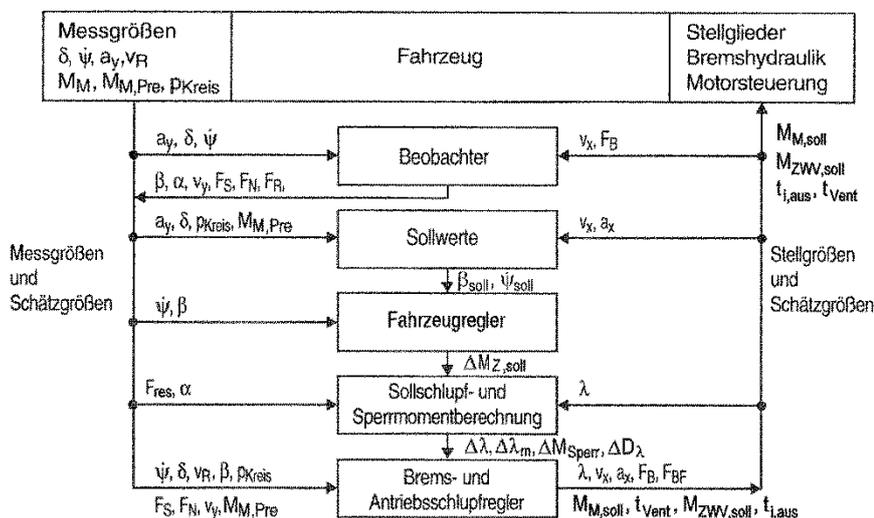


Abbildung 2.4.1 Vereinfachtes Blockschaftbild des ESP Reglers mit Ein- und Ausgangsgrößen

Bestandteil des Fahrdynamikreglers ist ein Beobachter, in dem die Fahrzeugbewegung analysiert und geschätzt wird. Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Fahrzeugbewegung analysiert und geschätzt wird. Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist die Sollwertbestimmung, bei der aus den Fahrervorgaben, Lenkradwinkel, Bremsdruck und Gaspedalstellung, unter anderem die Sollgiertgeschwindigkeit bestimmt wird. Im Fahrzeugregler wird die erforderliche Giermomentänderung bestimmt. Auch die Verteilung der Giermomentänderung auf die Räder zur optimalen Einstellung des Giermoments ist ein wesentlicher Bestandteil des Fahrdynamikreglers. Die Einstellung der Schlupfwerte geschieht mit Hilfe von Schlupfreglern. Somit ist das ESP mit einem überlagerten

Fahrdynamikregler, der in jeder Fahrsituation und für jeden Fahrzustand die Sollschlupfwerte für jedes Rad individuell vorgibt, und mit unterlagerten Reglern, welche die Sollschlupfwerte einstellen, hierarchisch gegliedert.

(Zanten, 2006)

2.6 Komponenten des ESP

Zur Erfassung des Fahrzustands werden kostengünstige, fahrzeugtaugliche Sensoren eingesetzt. Diese sind ein Drehratensensor zur Erfassung der Giergeschwindigkeit und ein Beschleunigungssensor zur Erfassung der Querbeschleunigung. Zur Prüfung, ob der Fahrzustand zum Fahrerwunsch passt, werden bei ESP ein Winkelsensor zur Erfassung des Lenkradwinkels und ein Drucksensor zur Erfassung des Bremsdrucks im Hauptbremszylinder eingesetzt. Weiter werden die für ABS und ASR üblichen Radsensoren zur Erfassung der Drehgeschwindigkeiten der Räder verwendet. Ebenso wird ein für ESP-Belange erweitertes ASR-Hydroaggregat zur Schlupfregelung eingesetzt. (Bosch, 2004)



Abbildung 2.6.1 ESP-Komponenten der 8-er Generation von Bosch

2.7 Fahrdynamikregler

Aufgabe des Fahrdynamikreglers ist es, Instabilitäten im querdynamischen Grenzbereich zu vermeiden und das Fahrverhalten dem Verhalten im Erfahrungsbereich des Fahrers bestmöglich anzugleichen. Dazu kann der Regler, wie bereits dargestellt, durch Sollschlupfänderungen, die von den unterlagerten Brems- und Antriebsschlupfreglern eingestellt werden müssen, Längskräfte und damit auch indirekt die Seitenkräfte an jedem Rad ändern. Die Eingriffe erfolgen nur in dem Maß, wie es die Aufrechterhaltung des vom Automobilhersteller beabsichtigten Fahrverhaltens und die Sicherstellung der Beherrschbarkeit im fahrdynamischen Grenzbereich erfordert.

2.8 Beobachter

Im Beobachter werden modellgestützt aus den Messgrößen Giergeschwindigkeit, Lenkradwinkel und Quereschleunigung sowie aus den Schätzgrößen Fahrgeschwindigkeit und Brems- bzw. Antriebskräften, die Schräglaufwinkel der Räder, der Schwimmwinkel und die Fahrzeugquergeschwindigkeit geschätzt. Weiter werden noch die Seiten- und Normalkräfte geschätzt und die resultierenden Kräfte der Räder berechnet. Dazu wird ein Zweispurmodell verwendet, bei dem das Übertragungsverhalten des Automobils sowie Sondersituationen, wie geneigte Fahrbahn oder μ -Split, berücksichtigt sind. Für große Werte der Verzögerung a_x wird ein Kalman-Filter als Beobachter für die Querdynamik verwendet. Ausgangsgleichungen für den Kalman-Filter sind die Differentialgleichungen der Quer- und Giergeschwindigkeit des Zweispurmodells wobei statt der Schwimmwinkel die Quergeschwindigkeit des Fahrzeugs geschätzt und danach der Schwimmwinkel berechnet wird. Dabei werden die Fahrbahnsteigung und der Windwiderstand vernachlässigt. Als Messgröße für den Kalman-Filter wird die Giergeschwindigkeit verwendet.

Im Bild 2.8.1 ist der geschätzte Schwimmwinkel an der Vorder- (Bild 2.8.1a) und an der Hinterachse (Bild 2.8.1b) verglichen mit den gemessenen Verläufe für einen doppelten Spurwechsel während einer ABS-Bremmung auf Glatteis. Wichtig bei der

Schätzung des Schwimmwinkels sind die Nulldurchgänge, da die Eingriffsstrategie auf das Vorzeichen des Schwimmwinkels beruht.

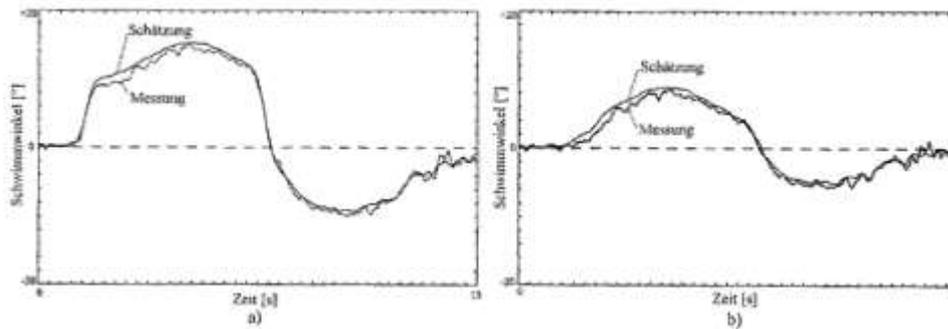


Abbildung 2.8.1 Vergleich Messung und Schätzung des Schwimmwinkels an der Vorderachse (a) und an der Hinterachse (b) bei einem doppelten Spurwechsel während einer ABS-Bremung auf Glatteis

Die Schätzung des Schwimmwinkels mit dem Kalman Filter bzgl. Reifenänderungen ist robust, denn das Verhältnis der Reifensteifigkeiten in Längs- und Querrichtung ändert sich kaum, z.B. bei Reifenverschleiß und beim Wechsel von Sommer- zu Winterreifen. Beim frei rollenden Fahrzeug ist der Schlupf an den Reifen null und damit kann der Kalman Filter nicht angewandt werden. Weitere Schätzungen welche im Beobachter verwendet werden benutzen einfache Zusammenhänge. So wird z.B. die Radlastsänderung aus der Fahrbeschleunigung in Längs- und Querrichtung geschätzt.

Sollwerte

Für den Sollwert der Giergeschwindigkeit wird ein lineares Einspurmodell im eingeschwungenen Zustand verwendet, bei dem die Reifenseitenkräfte proportional zu den Schräglaufwinkeln sind. Es folgt, dass das lineare Einspurmodell nicht direkt verwendet werden kann, sondern erweitert werden muss, um diesen wichtigen Bereich, wo sich die Fahrzeugbewegung dem physikalischen Grenzbereich nähert, richtig abzubilden. Sonst werden „zu frühe Regeleingriffe“ vom Fahrer moniert, ein häufiges Problem bei der Applikation des ESP. Die Sollgiergeschwindigkeit aus dem erweiterten Einspurmodell kann so noch nicht direkt im Regelalgorithmus für den Fahrzeugregler verwendet werden. Es müssen noch weitere Effekte berücksichtigt werden. Fährt das Fahrzeug durch eine Steilkurve (quergeneigte Fahrbahn in einer

Kurve), so muss die Erdbeschleunigung, die sich in der gemessenen Querbeschleunigung bemerkbar macht, berücksichtigt werden, denn sonst könnte ein wegen zu geringer Querbeschleunigung unberechtigter ESP-Eingriff erfolgen.

Dies geschieht durch eine Steilkurvenkorrektur in der Soll-Giergeschwindigkeit, und in der Querbeschleunigung.

Da die Fahrbahn-Querneigung nicht gemessen wird, muss zuerst auf eine Steilkurve erkannt werden. Dazu wird das Fahrerverhalten in einem Plausibilitätstest herangezogen. Liegt ein Schleuderverdacht bei kleiner Querbeschleunigung vor, so wird geprüft, ob der Fahrer gegenlenkt. Ist das der Fall, dann wird darauf geschlossen, dass das Fahrzeug auf glatter Fahrbahn auszubrechen droht, es erfolgt ein ESP-Eingriff und die Steilkurvenkorrektur wird nicht durchgeführt. Ist das nicht der Fall, d.h. der Fahrer macht keine Gegenlenkung, dann liegt eine Steilkurve vor, und die Steilkurvenkorrektur kann durchgeführt werden. Im realen Fahrzeug

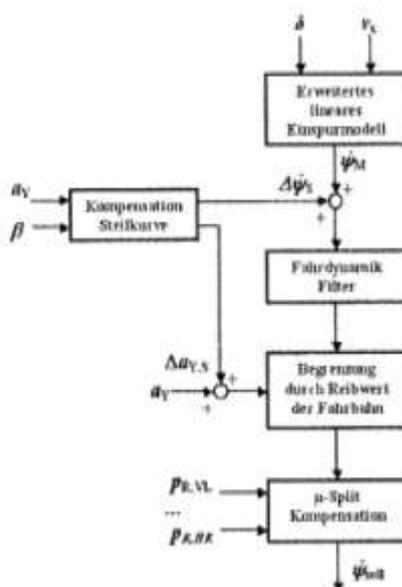


Abbildung 2.8.2 Blockschaubild der Sollwertbestimmung für die Giergeschwindigkeit

folgt die Giergeschwindigkeit der Lenkung mit einer Zeitverzögerung (siehe Bild 3.8.2). Diese Zeitverzögerung wird durch einen einfachen Tiefpassfilter (Fahrdynamikfilter) nachgebildet. Wie bereits erwähnt, wird die Soll-Giergeschwindigkeit im nächsten Block von dem Fahrbahnreibwert begrenzt. Im letzten Block findet eine Berücksichtigung der Fahrbahnbeschaffenheit statt. Als Beispiel wird hier eine geregelte μ -Split Bremsung (unterschiedliche Griffigkeiten der

Fahrbahn auf der linken und rechten Seite des Fahrzeugs) herangezogen. Bei dieser Bremsung sind die Bremskräfte auf der linken Fahrzeugseite unterschiedlich zur rechten Fahrzeugseite. Die Folge ist, dass ein Giermoment auf das Fahrzeug ausgeübt wird, und das Fahrzeug anfängt, in Richtung der griffigen Fahrbahnseite zu drehen. Dagegen muss der Fahrer gegenlenken. Nun darf dieses Gegenlenken nicht als Richtungswunsch des Fahrers verstanden werden. Es werden deshalb bei ESP die geregelten Bremsdrücke an den Rädern ausgewertet und es wird ein Kompensationslenkwinkel berechnet, der notwendig ist, um das Giermoment durch Gegenlenken zu kompensieren. Dieser Kompensationslenkwinkel wird als Nullpunktskorrektur (Offset) verwendet, um damit den Lenkwinkel für die Soll-Giergeschwindigkeitsberechnung zu kompensieren. Die so erhaltene Soll-Giergeschwindigkeit wird in den Fahrzeugregler zur Berechnung der Giermomentänderung herangezogen. Allerdings ist noch Vorsicht geboten, denn bei der Soll-Giergeschwindigkeitsberechnung wird von bekannten Schräglaufigkeiten der Reifen ausgegangen. Diese ändern sich aber mit dem Reifentyp (z.B.

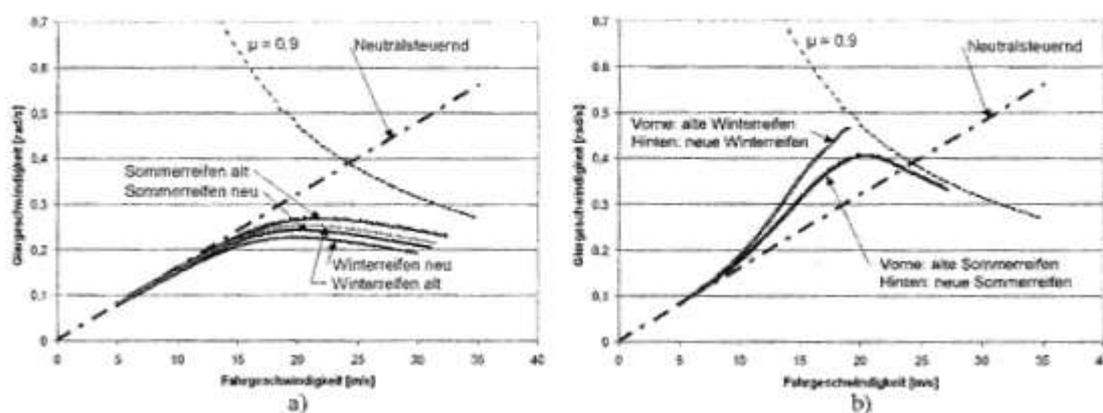


Abbildung 2.2.3 Abhängigkeit der Giergeschwindigkeit vom Reifentyp und vom Reifenzustand bei ei-nem Lenkwinkel von 45° („alt“ bedeutet abgefahrenes Profil)

Sommer- und Winterreifen) und mit dem Reifenzustand (z.B. neues oder abgefahrenes Profil). Den Einfluss auf die Sollgiergeschwindigkeit zeigt Bild 2.8.3a)

Noch drastischer ändert sich das Eigenlenkverhalten, wenn unterschiedliche Reifenzustände an den Achsen vorliegen. Bild 2.8.3b) zeigt für Sommer- und Winterreifen, wie das Eigenlenkverhalten sich ändert, wenn das Profil an der Vorderachse abgefahren und an der Hinterachse neu ist. Das Eigenlenkverhalten wird übersteuernd und es können ESP-Eingriffe stattfinden, bereits deutlich bevor

die Fahrzeug-Querbeschleunigung den Maximalwert des Seitenkraftbeiwerts des Fahrzeugs erreicht hat. Die Folge sind Beanstandungen des Fahrers. Diese Eingriffe lassen sich nur durch eine unempfindliche Einstellung des Fahrzeugreglers, bzw. durch eine Anhebung der Sollgiergeschwindigkeiten bei höheren Querbeschleunigungen, vermeiden. Die Frage ist aber, ob die Eingriffe nicht zugelassen werden sollten, da das Fahrzeug sich ja (gefährlich) übersteuernd verhält und das Eigenlenkverhalten deutlich von dem des vom Automobilhersteller beabsichtigten Fahrverhaltens abweicht

Fahrzeugregler

Beim Fahrzeugregler muss zwischen Vollbremsung, Teilbremsung, Lastwechsel, Konstantfahrt und Beschleunigung unterschieden werden. Bei der Teilbremsung und beim Lastwechsel tendiert das Fahrzeug in Richtung übersteuern und dies könnte einen ESP-Eingriff provozieren, deutlich bevor die Fahrzeug-Querbeschleunigung den Maximalwert des Seitenkraftbeiwerts des Fahrzeugs erreicht hat. Dies muss aber unbedingt vermieden werden und die Bremsingriffe müssen deshalb zurückhaltend gehandhabt werden. Problematisch dabei ist, dass die Berechnung einer Soll-Giergeschwindigkeit nicht mehr anhand des erweiterten linearen Einspurmodells erfolgen kann, zumal das Eigenlenkverhalten auch noch von der Bremskraftverteilung, vom Motorschleppmoment und von der wirksamen Getriebeübersetzung der angetriebenen Rädern abhängig ist. Bei der Vollbremsung werden bereits alle Räder geregelt, so dass die Fahrzeugregler-Eingriffe nicht negativ auffallen, und die Giergeschwindigkeitsregelung kann entsprechend der berechneten Soll-Giergeschwindigkeit erfolgen. Bei der Beschleunigung werden zunächst nur die geregelten angetriebenen Räder durch den Fahrzeugregler beeinflusst, so dass auch hier die Fahrzeugregler-Eingriffe zunächst nicht negativ auffallen. Die Fahrzeugregler-Bremsingriffe an die nicht angetriebenen Räder müssen jedoch wohl zurückhaltend gehandhabt werden (aus Komfortgründen und wegen Einbrüchen in der Fahrzeugbeschleunigung). Der Fahrzeugregler wird nun für die Konstantfahrt, erläutert. Kernstück des Reglers ist ein PID-Regler, wo die Regelabweichung in der Giergeschwindigkeit Eingang findet und der Schwimmwinkel über eine Erhöhung der Verstärkung des P-Anteils berücksichtigt wird. Die Verstärkungsfaktoren für die P-, I- und D-Anteile des Reglers (K_p bzw. K_i

und K_d) werden dem Fahrbahnreibwert und der Fahrgeschwindigkeit angepasst. Ausgang des Reglers ist die erforderliche Giermomentänderung, $M_{Z,soll}$. Kleine Giermomentänderungen werden dabei mittels einer toten Zone ausgeblendet. Die verbleibende Giermomentänderung, M_Z , muss nun auf die einzelnen Räder entsprechend verteilt werden. Dazu müssen die Brems- und Seitenkraftgradienten bekannt sein. Diese werden berechnet mit Hilfe der Annahme, dass die Reifenbremskraft F_B , und die –Seitenkraft F_S , unter Berücksichtigung des „Kamm’schen Reibungskreises“ nach folgendem Blockschaubild berechnet werden können.

Hierin ist μ_{res} der geschätzte maximale Kraftschlussbeiwert zwischen Reifen und Fahrbahn. Die berechneten Schlupfänderungen werden nun im unterlagerten Bremsschlupfregler für jedes Rad individuell eingestellt. Liegt jedoch der Reifenschlupf instabilen, linearen Bereich der Schlupfkurve, so werden die Schlupfänderungen in Bremsdruckänderungen umgerechnet, und die Bremsdruckänderung wird im unterlagerten Regler (oder besser Steuerung, wenn die Bremsdrücke nicht gemessen werden) direkt eingestellt. Der Grund dafür ist, dass bei dem steilen Anstieg der Schlupfkurve im linearen Bereich kleine Fehler in

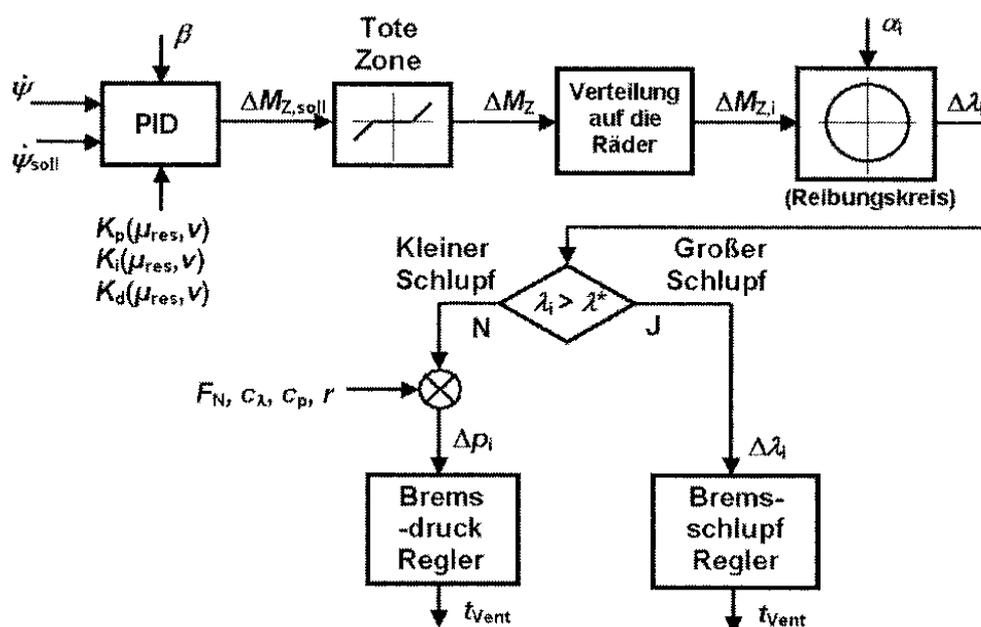


Abbildung 2.8.1 Blockschaubild desFahrzeugreglers (oberer Teil des Bildes)

der Schlupfberechnung große Fehler in den Druckänderungen hervorrufen. Die direkte Druckeinstellung ist genauer und somit viel komfortabler als die

Schlupfeinstellung. Ausgang der unterlagerten Regler sind die Ventilansteuerungszeiten, t_{vent} , des ESP-Hydroaggregats. Beim Antrieb werden die ESP-Eingriffe an den angetriebenen Räder anders definiert, da der unterlagerte Antriebsschlupfregler den Schlupf nicht individuell regelt. Stattdessen werden ein „symmetrischer“ Antriebsschlupf (gleiche Schlupfwertanteile am linken und rechten Rad) und ein „asymmetrischer“ Antriebsschlupf, (unterschiedliche Schlupfwertanteile am linken und rechten Rad) der angetriebenen Räder geregelt. Steuergröße des symmetrischen Schlupfs der angetriebenen Rädern ist das Motormoment und der symmetrische Bremsengriff (links und rechts gleiche Bremsmomentanteile), und Steuergröße des asymmetrischen Schlupfs der angetriebenen Rädern ist das Brems-Sperrmoment als asymmetrischer Bremsengriff (links und rechts unterschiedliche Bremsmomentanteile). Die ESP-Eingriffe an den Rädern werden deshalb verteilt auf eine symmetrische Sollschlupfänderung, und eine (komfortable) asymmetrische Bremsmomentänderung, M_{Sperr} . Das Motormoment wird als ESP-Eingriff nach oben begrenzt. Die Obergrenze bildet das Fahrerwunschkmoment, welches aus der Stellung des Gaspedals abgeleitet wird. Dies geschieht durch eine Absenkung des symmetrischen Antriebsschlupfs. Zur Berechnung der symmetrischen Schlupfabsenkung wird in Abhängigkeit von einem Instabilitätsfaktor, der aus den Regelabweichungen der Giergeschwindigkeit und des Schwimmwinkels berechnet wird, zwischen einem Maximalwert, und einem Minimalwert, interpoliert. Der Maximalwert wird im unterlagerten Antriebsschlupfregler berechnet. Der Minimalwert wird im Fahrversuch festgelegt und zwar so, dass eine maximale Spurstabilität bei noch akzeptablem Antriebsmoment erreicht wird. Dieser Motoreingriff kann bei Bedarf noch um einen symmetrischen Bremsengriff erweitert werden, um damit die symmetrische Schlupfabsenkung zu beschleunigen. Weiter wird, in Abhängigkeit von der Regelabweichung, auch das asymmetrische Bremsmomentum M_{Sperr} reduziert. Eine der Anforderungen an das ESP ist, dass die Fahrervorgaben nicht zur Instabilität des ESP führen dürfen. Da die Fahrereingabe Lenkradwinkel von der Übertragungsfunktion der Giergeschwindigkeit gefiltert wird, wirken sich hohe Frequenzen in der Fahrervorgabe in der Giergeschwindigkeit nicht aus. Damit ESP die Giergeschwindigkeitsschwingung nicht aufschaukelt, muss die Eigenfrequenz des ESP-Systems deutlich größer sein als die Eigenfrequenz der Giergeschwindigkeitsübertragungsfunktion.

Es zeigt sich, dass die Dämpfung mit der Fahrgeschwindigkeit abnimmt. Weiter zeigt es sich, dass die Giergeschwindigkeit unterhalb einer fahrzeugabhängigen Fahrgeschwindigkeit nicht schwingt und dass die Frequenz der Schwingung bei hohen Fahrgeschwindigkeiten kaum noch zunimmt. Es reicht deshalb, die Eigenfrequenz des ESP-Systems an die Frequenz der Giergeschwindigkeitsschwingung bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (ca. 0,6 Hz) anzupassen. Liegt bereits Bremsdruck im Radbremszylinder vor, so kann eine aktive Druckdifferenz von 50 bar in ca. 200 ms aufgebaut und in ca. 100 ms abgebaut werden. Bei einer Druckamplitude von 25 bar entspricht dies eine Druckänderungsfrequenz von ca. 3,5 Hz. Bei kleineren Druckamplituden sind die Änderungsfrequenzen entsprechend höher und diese Frequenzen sind hoch genug um die Gierschwingungen von 0,6 Hz mittels aktiver Eingriffe schnell ausdämpfen zu können. Liegt jedoch noch kein Bremsdruck im Radbremszylinder vor, so vergeht eine Totzeit von ca. 250 ms, bis der Druck im Radbremszylinder mit dem hohen Druckgradienten aufgebaut werden kann. Diese Totzeit ist konstruktionsbedingt: zuerst müssen die Bremsbeläge zur Bremsscheibe verschoben werden und erst wenn die Bremsbeläge anliegen, kann der Bremsdruck schnell ansteigen. Regelungstechnisch ist deshalb der Anfang des aktiven Druckaufbaus am schwierigsten. Aus diesem Grund wird am Rad an dem nächst ein Bremsingriff erwartet wird, ein aktiver Druckaufbau bereits eingeleitet, bevor der Eingriff dann erfolgt. Auf diese Weise kann die anfängliche Totzeit reduziert oder gar eliminiert werden. Wenn die Erwartung nicht bestätigt wird, ist der Eingriff nicht notwendig und aus diesem Grund muss der Voreingriff auf kleine Werte (2–3 bar) begrenzt werden.

2.9 Bremsschlupfregler

Der Bremsschlupfregler dient einerseits zur Sicherstellung der ABS-Funktion und andererseits zur Einstellung der vom Fahrzeugregler vorgegebenen Bremsschlupfänderungen. Zur Vereinheitlichung der beiden Aufgaben wird ein vom Serien-ABS abweichender Regler erstellt, bei dem die ABS-Funktion durch Schlupfregelung realisiert wird. Der für die ABS-Funktion einzustellende Schlupf wird Zielschlupf Z genannt, und wird im Schlupfregler mitbestimmt. Für die Regelung des Radschlupfes auf einen vorgegebenen Sollwert, muss der Schlupf hinreichend

bekannt sein. Da die Längsgeschwindigkeit des Automobils nicht gemessen wird, wird diese aus den Radgeschwindigkeiten bestimmt. Dazu werden während einer ABS-Regelung auf den Sollschlupfwert einzelne Räder kurz „unterbremst“, das heißt, die Schlupfregelung wird unterbrochen und das aktuelle Radbremsmoment definiert abgesenkt und kurze Zeit konstant gehalten (Anpassungsphase). Unter der Annahme, dass das Rad während dieser Zeit stabil läuft (Punkt A), kann aus der momentanen Bremskraft $F_{B,A}$ und der Reifensteifigkeit c die frei rollende (ungebremste) Rad-(umfangs)-geschwindigkeit

$v_{R, frei, A}$ bestimmt werden, wobei der Index A einen Zeitpunkt während der Anpassungsphase angibt, und c die Steigung der μ -Schlupfcurve bei Schlupf= 0 ist, und v_R die Rad-(umfangs)-geschwindigkeit ist. Die im Radkoordinatensystem bestimmte freirollende Radgeschwindigkeit, $v_{R frei A}$, wird über die Giergeschwindigkeit, den Lenkwinkel, die Quergeschwindigkeit und die Fahrzeuggeometrie in den Schwerpunkt transformiert und generiert den „Messwert“ für die Schätzung der Schwerpunktsgeschwindigkeit in Längsrichtung mittels einem Kalman Filter. Anschließend wird die gefilterte Schwerpunktsgeschwindigkeit in Längsrichtung auf die vier Radmittelpunkte zurücktransformiert, um die freirollenden Radgeschwindigkeiten aller vier Räder zu erhalten. Somit kann auch für die verbleibenden drei geregelten Rädern der Schlupf berechnet werden.

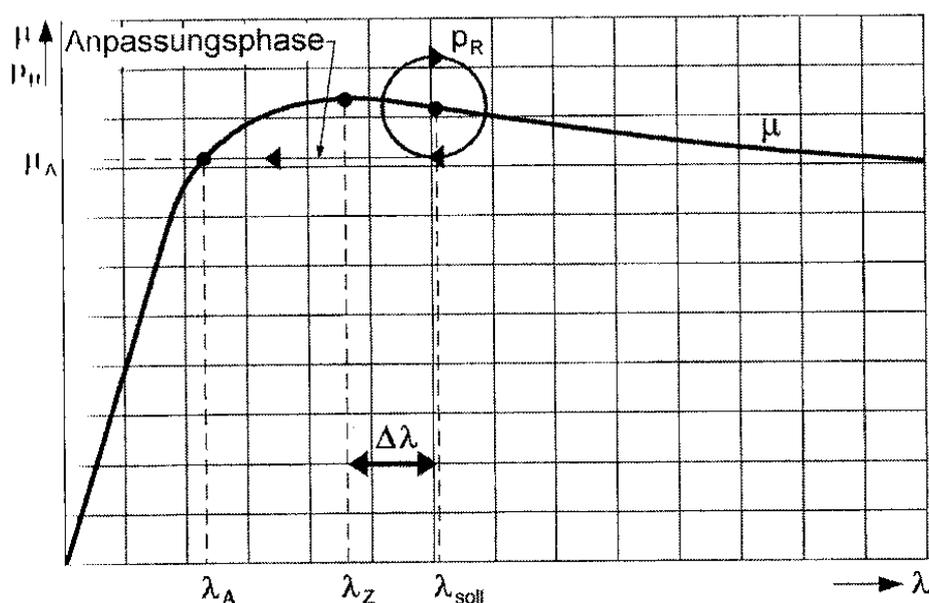


Abbildung 2.9.1 Anpassungsphase während einer Bremsschlupfregelung zur Bestimmung der frei rollenden Radgeschwindigkeit.

(der Kreis p_R deutet symbolisch die Bremsdruckmodulation der Schlupfregelung an)

Für eine gute Fahrzeuggeschwindigkeitsschätzung ist es notwendig, dass während der ABS-Regelung ständig ein Rad in der Anpassungsphase ist. Wo dies nicht der Fall ist, wird die Fahrzeuggeschwindigkeit linear extrapoliert. Für die Anpassungsphasen werden vorzugsweise die Hinterräder herangezogen, denn dadurch wird die Fahrzeugstabilität verbessert. Weiter trägt die Hinterachse vor allem auf griffigen Fahrbahnen nicht so viel zur Fahrzeugabbremung bei wie die Vorderachse, so dass die Bremswegverlängerung so klein wie möglich ist.

Für die angetriebenen Räder kann das Radsollmoment teilweise oder im ungebremsten Fall vollständig vom Motor eingestellt werden, um eine Motorschleppmomentregelung zu realisieren. Das Antriebsrad mit dem kleineren Radsollmoment wird in den erlaubten Grenzen mit dem Motoreingriff geregelt

Die Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit mit Hilfe der Anpassungsphasen wird während der ABS-Regelung und während der ASR-Regelung bei Allradantrieb verwendet. Läuft ein Rad oder laufen mehrere Räder frei, so kann der „Messwert für die Schwerpunktgeschwindigkeit in Fahrzeuginnenrichtung“ ohne Extrapolation

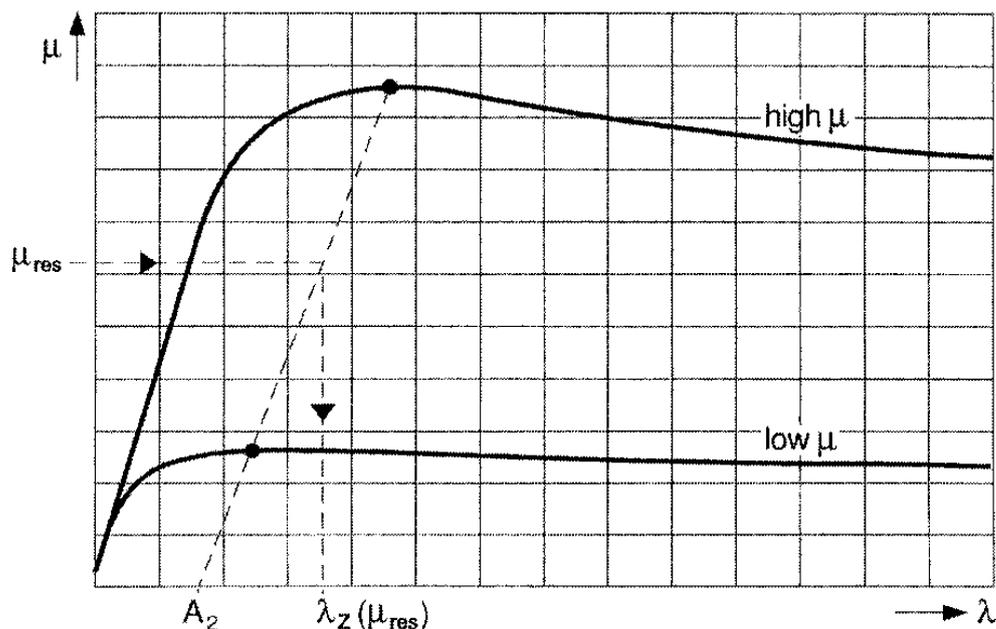


Abbildung 2.9.2 Bestimmung des Zielschlupfes in Abhängigkeit des geschätzten Haftbeiwertes der Fahrbahn

bestimmt werden. Läuft ein Rad oder laufen mehrere Räder mit stabilem Schlupf, so kann der „Messwert“ ohne Anpassungsphasen aber mittels einer Extrapolation für die entsprechenden Rädern bestimmt werden. Auf diese Weise kann es zu jedem Zeitpunkt ein bis vier „Messwerte“ geben. Zur Verbesserung des „Messwerts“ wird ein gewichteter Mittelwert dieser „Messwerte“ gebildet. (Bild 2.9.1) Die Gewichte sind abhängig von der zugehörigen Radgeschwindigkeit und deren ersten und zweiten Ableitungen.

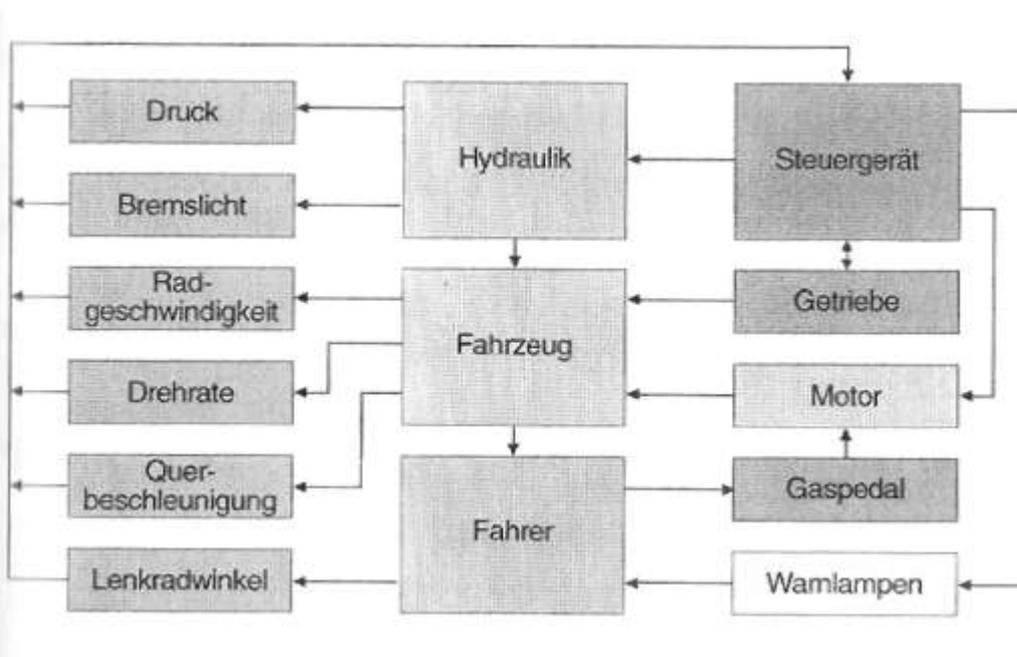
2.10 Antriebsschlupfregler

Der Antriebsschlupfregler wird nur zur Schlupfregelung der angetriebenen Räder im Antriebsfall eingesetzt. Aktiveingriffe an den anderen Rädern werden über den Bremsschlupfregler direkt angesteuert. Im Folgenden wird die Antriebsschlupfregelung für einen Hecktriebler beschrieben. Fährt das Fahrzeug in einer Kurve, so ist bei gleichem Antriebsmoment an den angetriebenen Rädern, wegen der Radlastverschiebung, der Antriebsschlupf des kurveninneren Rades größer als der des kurvenäußeren Rades. Damit der Differenzdrehzahlregler nicht bei jeder normalen Kurvenfahrt eingreift und diese Schlupfdifferenz reduziert, wird das Schlupftoleranzband, in der Kurve entsprechend auf geweitet. Der Antriebsschlupfregler berechnet die Sollbremsmomente für die beiden Antriebsräder, das Sollmotormoment für den Drosselklappeneingriff, den Sollwert für die Motormomentreduzierung durch die Zündwinkelverstellung sowie optional die Anzahl der Zylinder und Zeitdauer für welche die Kraftstoffeinspritzung ausgeblendet werden soll.

2.11 Überwachung des ESP-Systems

ESP ist ein komplexes mechatronisches System, mit dem die Sicherheitseinrichtung „Bremse“ des Fahrzeugs beeinflusst wird. An dem System werden deshalb sehr hohe Anforderungen an Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit gestellt. Zusammen mit der Forderung nach minimalen Kosten des Systems, bei dem es auch darum geht Komponenten einzusparen, stellt die Sicherheit eine sehr hohe Anforderung an die

Zuverlässigkeit und an die Überwachung der verwendeten Komponenten. Wenn das Thema „Sicherheit“ hier angesprochen wird, geht es dabei nicht um die Verbesserung der Fahrzeugsicherheit durch ESP, sondern um die Fahrzeugsicherheit bei Ausfall einer ESP-Komponente. Abbildung 2.11.1 zeigt das



betrachtete Gesamtsystem Fahrer-Fahrzeug-ESP.

3.12 Anforderungen an die Sicherheit

Es gibt nur wenig formulierte Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit bei Komponentenausfall. Die bekanntesten Anforderungen sind hier aufgelistet:

- Das Fahrverhalten mit ESP darf im Vergleich zu dem ohne ESP keine Verschlechterung aufweisen, d.h. Fehler im System dürfen das Fahrzeug nicht unsicher machen.
- Systemfehler müssen so schnell erkannt werden, dass die Sicherheit für die

Abbildung 2.11.1 Gesamtsystem Fahrer-Fahrzeug-ESP für die Systemsicherheit

Insassen und die weiteren Verkehrsteilnehmer nicht beeinträchtigt wird.

- Zur Beeinflussung des querdynamischen Fahrverhaltens darf immer nur ein einzelnes Vorderrad auf sehr hohem Schlupf herunter gebremst werden. Hierdurch wird sichergestellt, dass dem Fahrer im Notfall ein Minimum an Manövrierbarkeit erhalten bleibt. Ausnahme: Gelände-ABS.
- Es wird akzeptiert, dass in seltenen Sonderfällen der Bremsweg mit ESP etwas länger ist als ohne, wenn dafür die Stabilität und die Lenkbarkeit erhalten bleiben (z.B. bei Tiefschnee oder bei Schotter).
- Bei Systemfehler muss die aus Kundensicht „bestmögliche“ Abschaltstrategie eingeleitet werden. Wird ein Fehler während der Regelung erkannt, muss versucht werden, die Regelung bis zum Ende der Fahrsituation mit einer Notfunktion am Leben zu halten.
- Das Fahrdynamikregelsystem muss über eine Rückfallebene verfügen: Es muss dafür gesorgt werden, dass die ABS-Funktion so lange wie möglich am Leben bleibt, am besten auf Basis von nur 4 Radgeschwindigkeitssensoren.
- Bei Fehlern von sehr kurzer Dauer, z.B. EMV-Einstreuungen, kann auf eine Abschaltung verzichtet werden, vorausgesetzt alle stabilisierende Funktionen stehen dem Fahrer weiterhin in vertretbarer Qualität zur Verfügung. Ist damit zu rechnen, dass die Regelgüte für längere Zeit oder durch große Wiederholhäufigkeit verschlechtert sein wird, muss das System abgeschaltet werden.
- Die Vermeidung von fehlerbedingten ESP-Eingriffen hat eine höhere Priorität als die Durchführung von berechtigten ESP-Eingriffen.
- Erst wenn die Sicherheitssoftware das System freigegeben hat, darf die Regelung aktiviert werden.

Basiselemente des ESP-Sicherheitskonzepts.

- Fehlervermeidung
- Systemüberwachung/Fehlerentdeckung Basisüberwachungen Eigensicherheit,
- Selbsttests und aktive Tests
- Modellgestützte Sensorüberwachungs-Maßnahmen im Fall eines Fehlerverdachts
- Begrenzung der Auswirkungen im Fall unentdeckter Fehler
- Maßnahmen im Fall entdeckter Fehler Rückfallebenen
- Abschaltkonzept
- Fahrerinformation über den Systemstatus

2.13 Wiedergutprüfung nach Systemabschaltung

- Wird das System auf Grund eines Sensorausfalls abgeschaltet, so wird eine Fehlermeldung im EEPROM des Steuergeräts eingetragen.
- Nach „Zündung Ein“ wird diese Meldung aus dem EEPROM ausgelesen.
- Das System wird nicht freigegeben bevor ein Test, in welchem dieser Ausfall geprüft wird, bestanden wird.
- Nachdem der Test erfolgreich abgeschlossen wurde, wird das System freigegeben.
- Wenn der Test nicht positiv abgeschlossen werden kann, so wird ein neuer Fehlereintrag in das EEPROM geschrieben (Zanten, 2006)

(Bosch, 2004) (Lehrmittel, 2008) (Reif, 2009) (Konrad Reif (Hrsg), 2011)

3

Funktionsmodellwand

Lehrerinformationen

3. Lehrerinformationen

3.1 Grundlagen der Fahrdynamik:

Bei Messungen an Reifen wurde festgestellt, dass bei blockierenden Reifen nicht die höchstmögliche Bremskraft erzielt wird. Die höchste Bremskraft wird, je nach Reifen und Fahrbahnbeschaffenheit, bei 8 bis 35% Reifenschlupf erreicht. (Reifen mit vollem Profil).

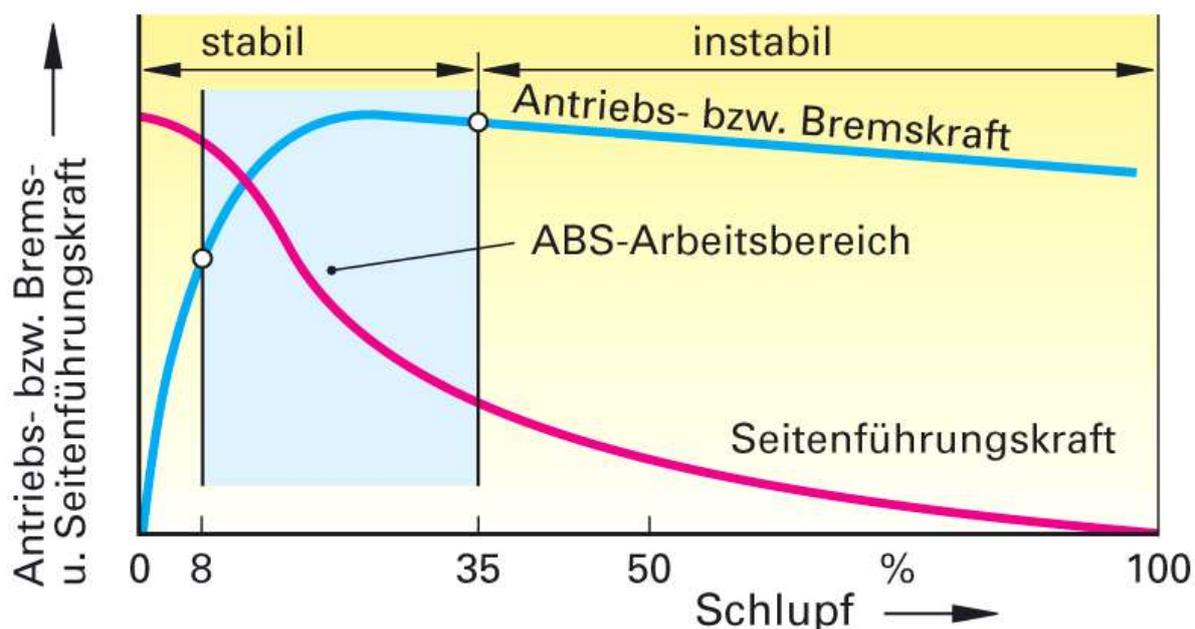


Abbildung 3.1.1: Reifenschlupf am gebremsten Rad

(Lehrmittel, 2009)

Ein kürzerer Bremsweg kann dadurch erreicht werden, dass die Reifen in dem Bereich mit höherer Bremskraft betrieben werden. Dies erfordert eine Bremskraftregelung welche im Jahre 1978 von Mercedes erstmals in einem Serienfahrzeug eingeführt (W116) wurde.

Weitere Messungen der Reifeneigenschaften zeigen, dass der Reifen noch Seitenkräfte übertragen kann solange er nicht vollständig blockiert wird. Dies hat zur Folge, dass ein Fahrzeug trotz Ausnutzung der größtmöglichen Bremskraft noch lenkbar bleibt. Es ist dem Fahrer somit möglich ein Hindernis trotz Bremsung zu umfahren.

Diese Reifeneigenschaften sind in der Abb. 3.1.2 zu erkennen. Reifen sind in der Lage Brems- und Führungskräfte (seitliche Kräfte) zu übertragen bis ihre Vektorsumme an die reibungsbedingte Haftgrenze stößt. Diese Haftgrenze nennt man den Kamm'schen Reibungskreis. Sie ist abhängig von der Reifenkonstruktion und der Fahrbahnoberfläche.

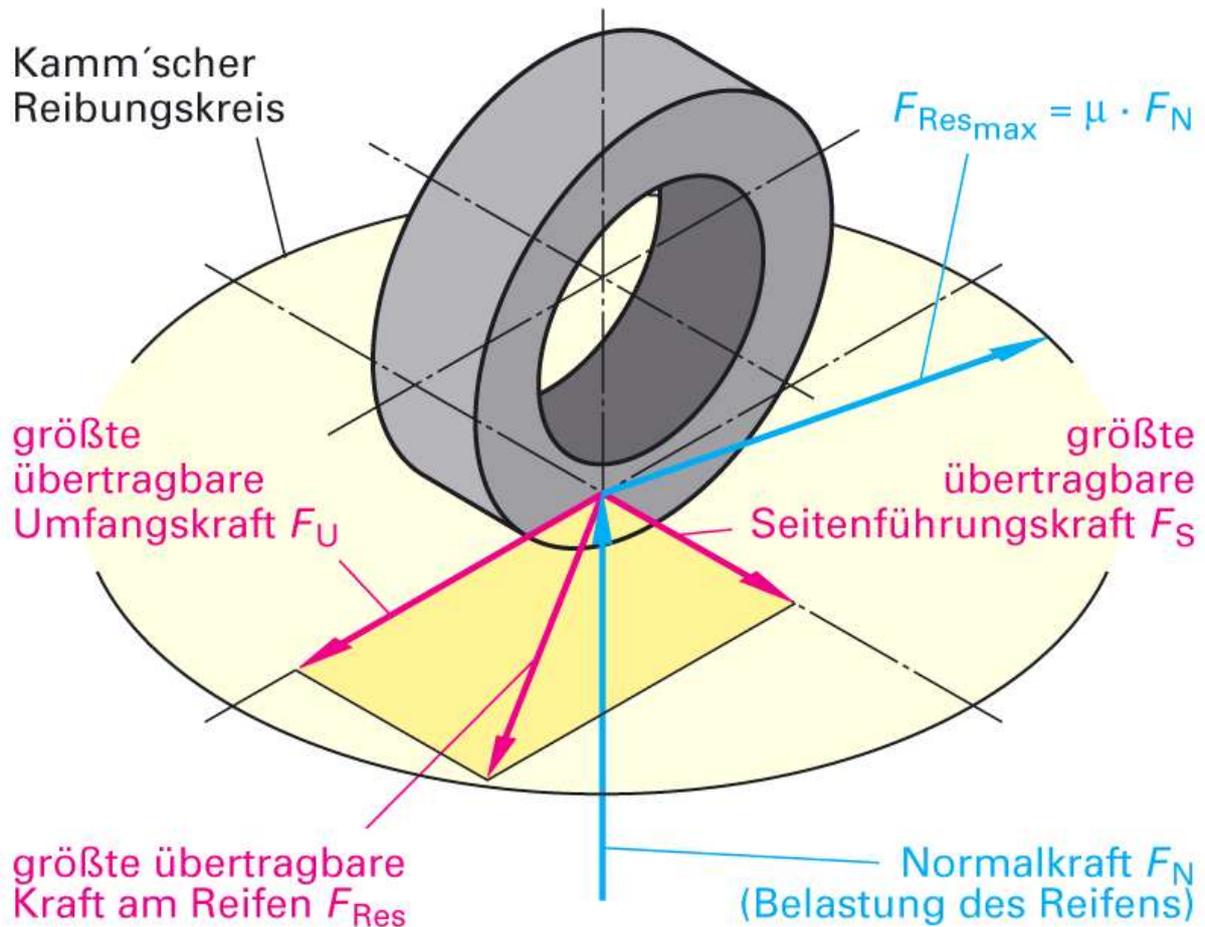


Abbildung 3.1.2: Kräfte am Rad. Kamm'scher Reibungskreis

(Lehrmittel, 2009)

3.2 Thepra Lehrgerät – Lehrerinformationen

Das Lehrgerät der Firma Thepra, welches für diese Arbeit benutzt wird, ist mit Bauteilen des Passat Synchron MK:B4 (März 2002) bestückt. Diese Ausführung erlaubt es jedes Rad einzeln Abzubremsen und ist somit immer noch sehr nah an den heutigen Ausführungen dieser Systeme.



Abbildung 3.2.3 Thepra ESP Lehrstand



Abbildung 3.2.2 ESP Steuergerät im Lehrstand

Durchführbare Versuche:

ABS Anti – Blockiersystem

EDS Elektronische - Differentialsperre

ASR Antriebsschlupfregelung

ESP Elektronisches Stabilitätsprogramm

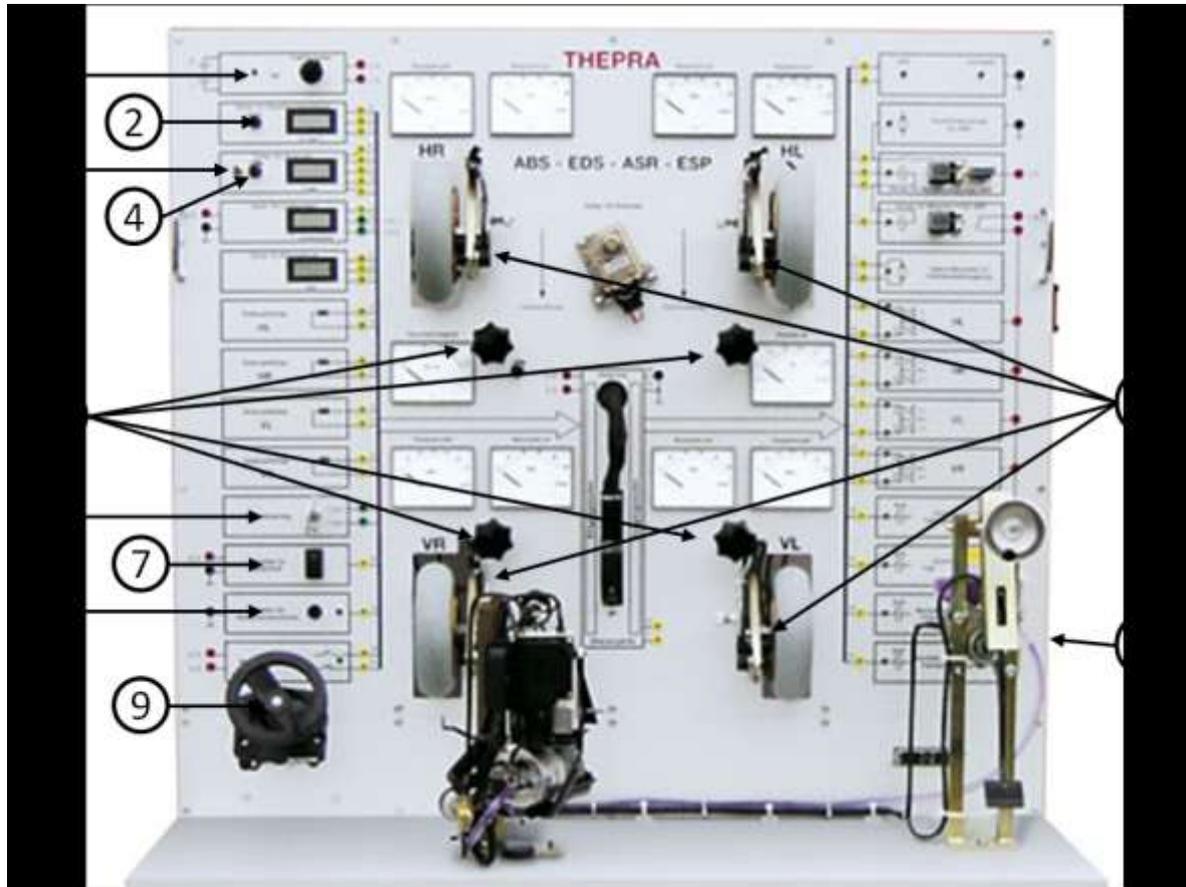
- Untersteuern: Lenkeinschlag bei Geradeausfahrt des Fahrzeugs
- Übersteuern: Lenkeinschlag mit verstärkter Drehrate des Fahrzeuges
- Gegenschleudern: Lenkeinschlag mit verstärkter Drehrate des Fahrzeuges
- Lenkeinschlag mit/ohne verstärkter Drehrate und Querbewegung

3.3 Aufbau des ESP Lehrstandes

3.3.1 Außenansicht der Anlage

Die Versuche werden am Thepra Lehr- und Funktionsstand für ABS / EDS /ASR / ESP durchgeführt. Er bietet gute Voraussetzung zur praxisorientierten Einführung in die Fahrzeugstabilisierungssysteme.

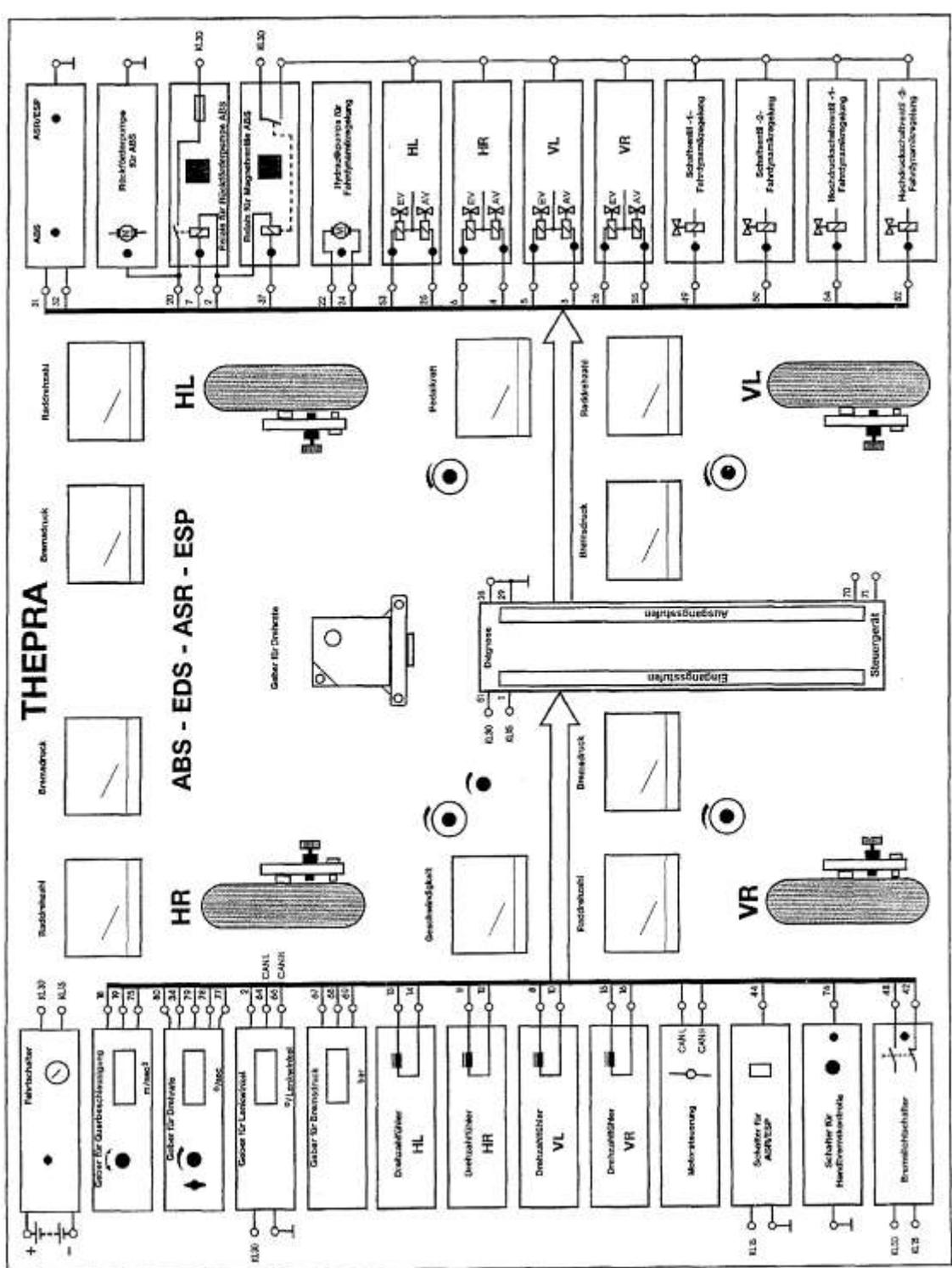




Bedienelemente am Lehrgerät

1	Zündschalter
2	Querbeschleunigung
3	Umschalter Drehrichtung Drehrate
4	Änderung der Drehrate
5	Drehgriff zur Radgeschwindigkeitsänderung VL, VR, HL, HR
6	Drosselklappe mit Drosselklappenstutzen
7	Schalter für ABS / ESP
8	Tastschalter für Handbramskontrolle
9	Lenkrad mit Geber für Lenkwinkel
10	Absperrventil zum deaktivieren der Radbremszylinder
11	Bremspedal mit Feststellspindel

Anordnung der Sensoren und Aktuatoren in Feldern mit Meßbuchsen im E-V-A – Prinzip und Anordnung der Anzeigeräte auf der Frontplatte.



3.3.2 Innenansicht der Anlage

Das Innenleben des ESP Lehrstandes beinhaltet den Antrieb, die Regelung und die Datenerfassung.

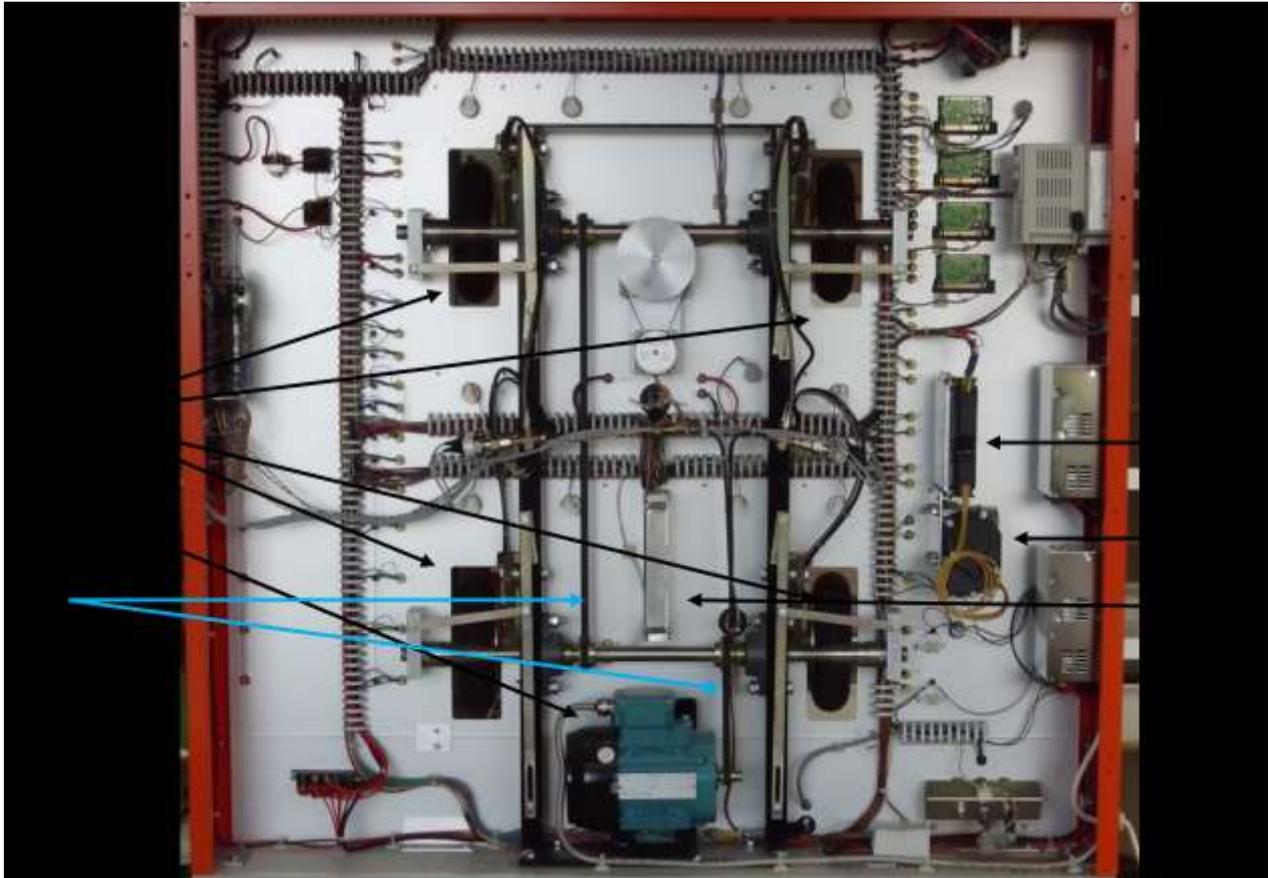


Abbildung 3.3.2.1 Innenansicht des ESP Lehrstandes

Bauteile im Lehrgerät	
1	Räder
2	Antriebsmotor
3	Zahnriemen zum Antrieb der Räder
4	Motorsteuergerät
5	Drosselklappensteller
6	ESP-Steuergerät

3.3.3 Der Antrieb:

Der Antrieb erfolgt über einen drehzahlgesteuerten Elektromotor. Dieser treibt über zwei Zahnriemen zwei Wellen an, jeweils eine für die Vorderräder und einen für die Hinterräder. Die vier Räder sind mit ihrer Kontaktfläche in Berührung mit verschiebbaren Rohren mit konischem Außendurchmesser. Diese Rohren sind axial

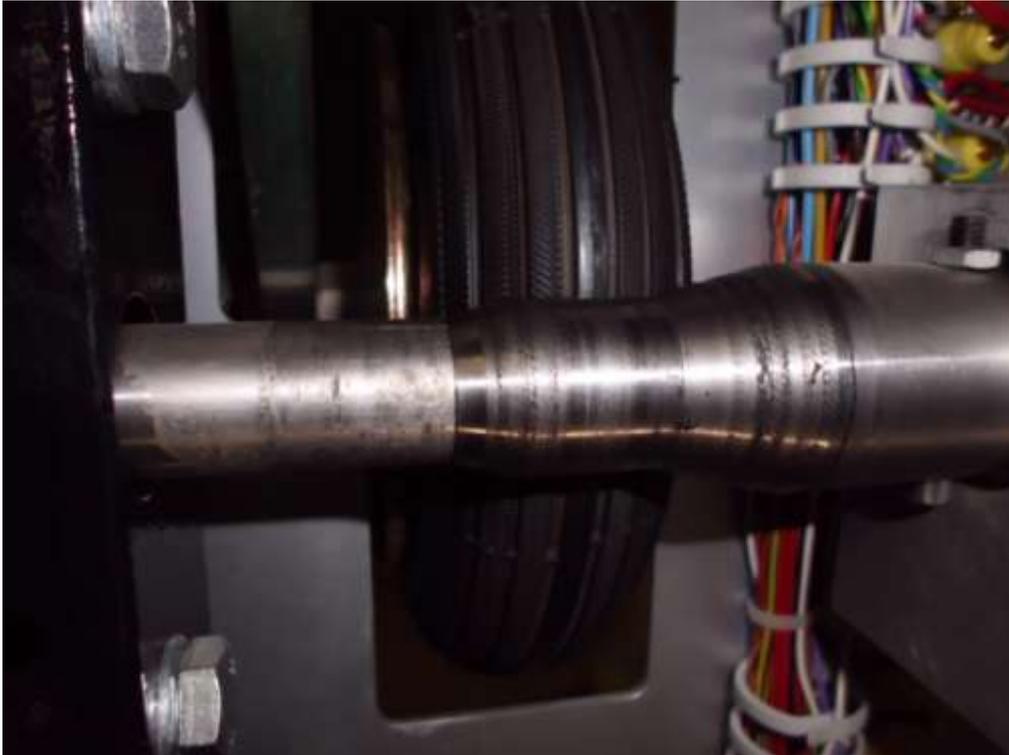


Abbildung 3.3.3.1 Antrieb eines Rades

verschiebbar und befinden sich paarweise (Vorderräder oder Hinterräder) auf einer gemeinsamen Welle. Der Antrieb erfolgt durch einen geregelten Elektromotor über einen Zahnriementrieb. Somit können an den Rädern gegenüber der Grunddrehzahl, welche durch den Elektromotor vorgegeben wird, eine jeweils höhere oder niedrigere Raddrehzahl erreicht werden. Dieser Raddrehzahlunterschied reicht aus um ein Durchdrehen oder Abbremsen einzelner Räder zu simulieren.

3.3.4 Die Regelung:

Die Geschwindigkeitsregelung erfolgt über den geregelten Elektromotor welcher unten rechts im Gehäuse eingebaut ist. Er wird über den Stecker mit 230V versorgt.



Abbildung 3.3.4.1. Antriebsmotor

Die Geschwindigkeitsregelung erfolgt über einen Drehsteller an der Front des Lehrstandes. Dieser gibt die gewünschte Drehzahl an einen Toshiba Drehzahlregler im Innern des Lehrstandes weiter.



Abbildung 3.3.4.2
Geschwindigkeitsregelung



Abbildung 3.3.4.3. Motorsteuerung

3.3.5. Digitale Anzeigen:

Folgende digitalen Anzeigen befinden sich an der rechten Seite innen im Gehäuse:

- Querbeschleunigung,
- Drehrate,
- Lenkwinkel,
- hydraulischer Systemdruck



Abbildung 3.3.5.1:
Innenansicht der digitalen
Anzeige

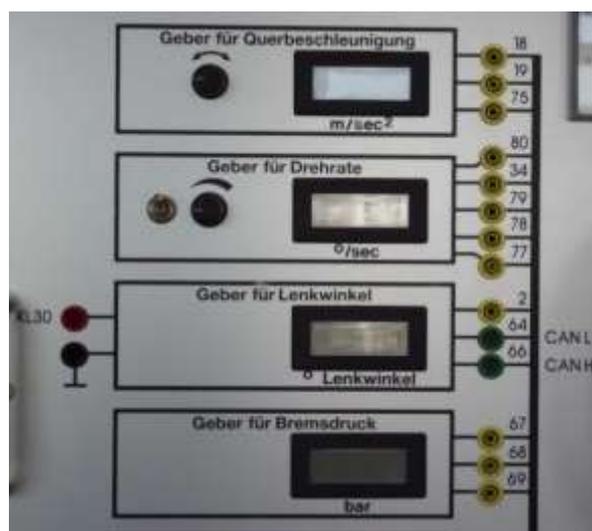


Abbildung 3.3.5.2:
Anzeige der Querbeschleunigung, der
Drehrate des Lenkwinkels und des
Bremsdrucks

3.3.6. Das Motorsteuergerät und der Drosselklappensteller:

Ein Motorsteuergerät aus einem Passat wird benutzt um die Stellung der Drosselklappe feststellen zu können. Es befindet sich an der rechten Seite im Gehäuse des Lehrstandes zusammen mit dem Drosselklappensteller.

Abbildung 3.3.6.1
Motorsteuergerät zur
Feststellung der
Drosselklappenstellung



Abbildung 3.3.6.2
Drosselklappensteller



3.3.7 Das ESP Steuergerät:

Der Anschluss für das ESP-Steuergerät befindet sich außen am Versuchsstand während das Gehäuse selbst sich im Innern befindet.

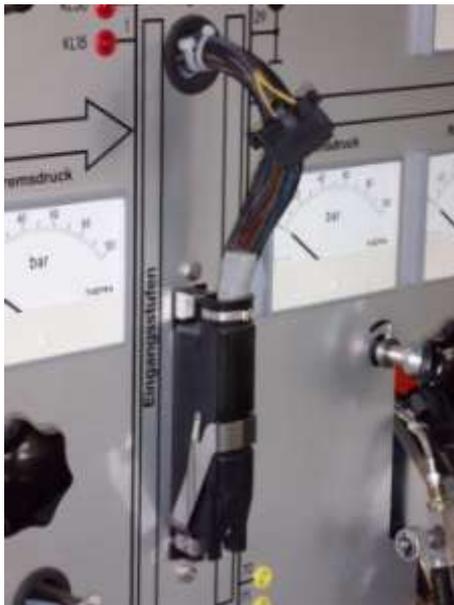


Abbildung 3.3.7.1
ESP-Steuergerätestecker außen am
Versuchsstand



Abbildung 3.3.7.2
Das ESP-Steuergerät im Inneren des
Versuchsstands

Das Lehrgerät der Firma Thepra, welches für diese Arbeit benutzt wird, ist mit Bauteilen des Passat Synchron MK:B4 (März 2002) bestückt. Dieses ESP Steuergerät ist baugleich zu Audi A6 4B und A4 8D B4. Diese Ausführung erlaubt es jedes Rad einzeln Abzubremsen und ist somit immer noch sehr nah an den heutigen Ausführungen dieser Systeme.

3.3.8 Die Sensoren des ESP

Da das Steuergerät die Plausibilität der Werte vom Lenkwinkel, der Gierrate und der Querschleunigung vornimmt sind diese Werte jeweils mit Vorsicht einzustellen da sonst das ESP-Steuergerät sich nach einiger Zeit, wegen nicht plausibler Werte, abschaltet.

Das ESP-Steuergerät schaltet sich ebenfalls ab falls es nicht in der Lage ist den gewünschten Effekt zu erzielen. (z. B.: das Fahrzeug zu stabilisieren)

3.3.8.1 Der Drehratengeber G202

Der Drehratengeber befindet sich vorne zentral am Versuchsstand. Er wird zur visuellen Anzeige der Drehbewegung des Automobils von einem Schrittmotor gedreht. Dies ermöglicht die Drehung des Wagens um die Hochachse bei Kurvenfahrt, sowie bei der Korrektur des Unter- und Übersteuerns durch das ESP, anzuzeigen. Wichtig: Der Drehratengeber muss vor jedem (ESP-) Versuch in die Ausgangslage für Geradeausfahrt gebracht werden. Die Ausgangsstellung ist erreicht wenn der Kabelstecker genau oben steht.

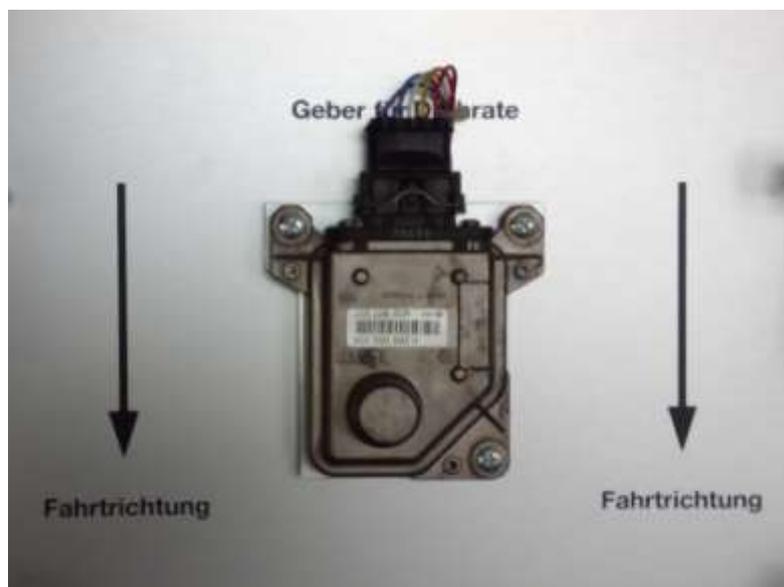


Abbildung 3.3.8.1.1
Geber für Drehrate in Ausgangsstellung

Drehrichtung der Drehrate:

Da der Lehrstand sich nicht bewegen kann wie ein Fahrzeug auf der Straße, können die Reaktionen des Fahrzeugs simuliert werden. Der Geber für die Drehrate ist am Lehrgerät mit dem Lenkwinkelgeber gekoppelt d. h. der Drehrategeber folgt dem Lenkrad. Dafür gibt es einen Drehknopf am Lehrstand, mit dem das Ausmaß der Reaktion des Fahrzeugs auf die Lenkbewegung eingestellt werden kann. Hiermit können verschiedene Fahrzeugtypen simuliert werden welche eine träge, eine normale oder eine sportliche direkte Auslegung der Lenkung und der Radaufhängung haben. Für die ersten Versuche sollte man die den Drehknopf bis zum Anschlag nach links drehen. In dieser Stellung ist die Reaktion auf eine Lenkraddrehung am kleinsten.

Da die Drehrichtung um die Hochachse jedoch nicht immer mit der Lenkraddrehrichtung übereinstimmt (Gegensteuern) kann diese Situation mit Hilfe eines Schalters simuliert werden, welcher dann die Bewegung des Fahrzeugs um die Hochachse in Gegenrichtung zur Lenkraddrehung bringt. Es wird empfohlen dieses Gegensteuern erst dann am Lehrstand auszuführen, wenn man alle anderen Versuche durchgeführt hat und so mit den Reaktionen am Lehrstand vertraut ist.

Zuerst sollte man den Schalter am Gierratensensor in der unteren Position belassen. In dieser Position ändert sich die Gierrate synchron zur Lenkraddrehrichtung.

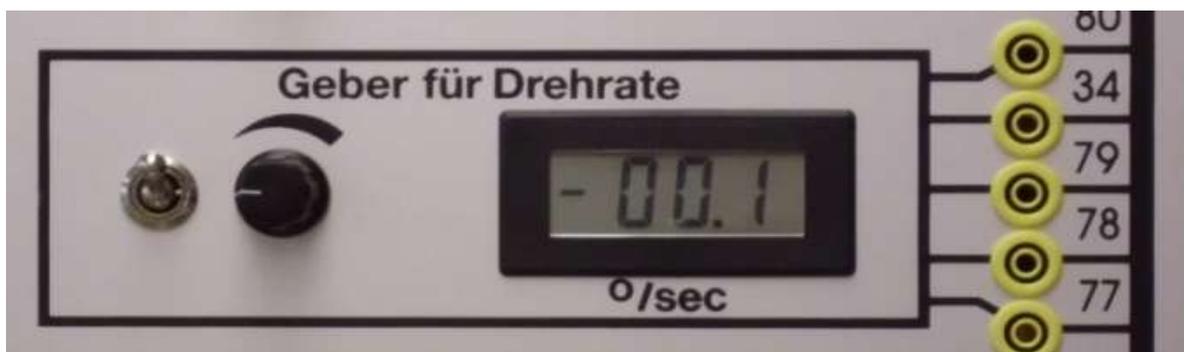


Abbildung 3.3.8.1.2
Anzeige für die Drehrate mit Drehknopf für die Drehratenverstärkung
und dem Schalter für die Drehrichtung

Visuelle Anzeige für das Drehen des Fahrzeugs um die Hochachse (Gierachse)

Um die Drehung des Fahrzeugs visuell anzuzeigen wurde der Drehratengeber an einer drehbaren Achse befestigt welche mit einem Schrittmotor im Innern des Lehrstandes verbunden ist. Der Schrittmotor dreht den Geber und zeigt so die Änderung der Fahrzeughochachse an.



Abbildung 3.3.8.1.2
Schrittmotor zum Drehen des Gebers
für die Drehrate

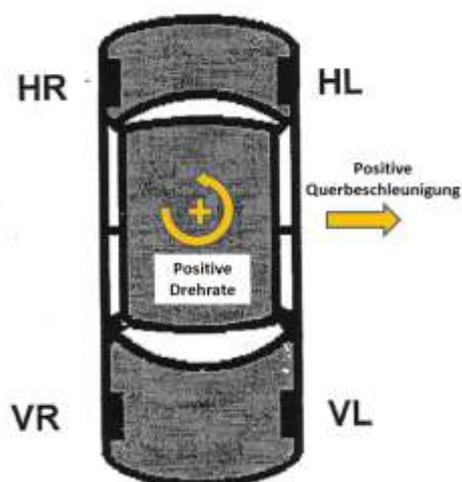


Abbildung 3.3.8.1.2
Koordinaten der Drehachse und der
Querbeschleunigung

3.3.8.2 Der Geber für Querschleunigung (G200)

Am Lehrgerät wurde dieser Geber durch eine elektronische Schaltung ersetzt, da man am Lehrstand keine reale Querschleunigung erzeugen kann.

Im Fahrzeug sollte dieser Sensor aus physikalischen Gründen möglichst dicht am Schwerpunkt des Fahrzeugs liegen. Er befindet sich deshalb oft zwischen den Vordersitzen oder im Fußraum unter dem Fahrersitz.

Der Geber für die Querschleunigung ermittelt, ob und wie stark seitliche Kräfte auftreten. Ohne die Messung der Querschleunigung kann das Steuergerät den Ist-Zustand nicht berechnen. Die ESP-Funktion fällt aus.



Im ESP-Lehrstand wird der Wert für die Querschleunigung manuell eingegeben. Da das Steuergerät die Plausibilität der Werte vom Lenkwinkel, der Gierrate und der Querschleunigung vornimmt, sind diese Werte jeweils mit Vorsicht einzustellen, da sich sonst das ESP-Steuergerät nach einiger Zeit wegen nicht plausibler Werte abschaltet.

Bei Kurvenfahrt ist es wichtig einen sinnvollen Wert für die Querschleunigung anzugeben. Beim Durchfahren einer Rechtskurve wird ein positiver Wert für die Querschleunigung erwartet, entsprechend wird bei einer Linkskurve ein negativer Wert vom ESP-Steuergerät erwartet.

3.3.8.3 Der Lenkwinkelgeber (G85):

Der Lenkwinkelgeber übergibt den Winkel des Lenkradeinschlages an das ESP Steuergerät. Es wird ein Winkel von +/- 720° erfasst, das heißt vier volle Lenkradumdrehungen.



Abbildung 3.3.8.3.1 Anzeigegerät für den Lenkwinkel

Ohne die Information des Lenkwinkelsensors erhält das ESP kein Signal für die gewünschte Fahrtrichtung. Ein Vergleich zwischen der tatsächlichen und der gewünschten Richtung kann nicht erfolgen. Die ESP Funktion fällt aus.

Der Geber für den Lenkwinkel ist der einzige Sensor des ESP-Systems der seine Informationen direkt über den CAN-Bus an das Steuergerät übermittelt



Abbildung 3.3.8.3.2 Geber für Lenkwinkel (G85)

Mögliche Kombinationen des Lenkwinkels, der Gierrate und der Querbeschleunigung

Achtung: Die Definition der positiven Richtung der Drehrate ist bei Bosch anders als im Lehrbuch „Europa Lehrmittel“ definiert.

	Lenkradwinkel nach		Querbeschleunigung		Drehrate			
	Links	Rechts	rechts	links	Schalter unten normal		Schalter oben Gegensteuern	
Sensorsignal	positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ	positiv	negativ
Linkskurve	x			x	x			x
Rechtskurve		x	x			x	x	

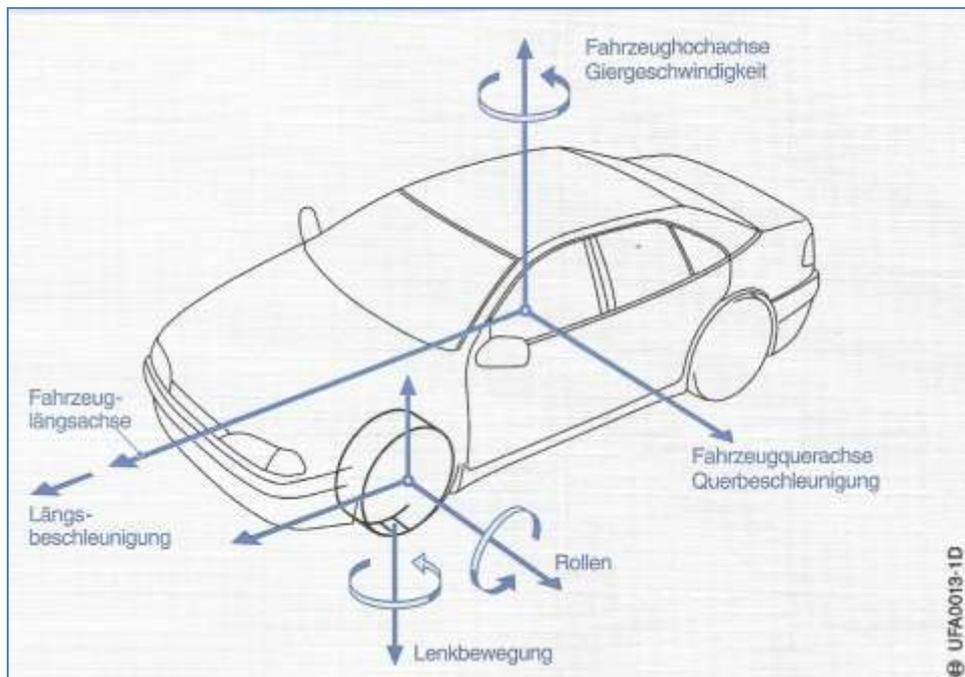


Abbildung 3.3.8.3
Definition der positiven Achsen für das ESP-System (Bosch)

3.3.9 Die Datenerfassungshardware

Die Datenerfassungssoftware der Firma Thepra ist auf einem externen PC untergebracht. Die Verbindung erfolgt mittels speziellen Kabels an einem Stecker welcher an der rechten äußeren Wand des Lehrgerätes angebracht ist.

Die Datenerzusammenführungsplatine ist links im Gehäuse des Lehrstandes untergebracht.



Abbildung 3.3.9.1:
Datenzusammenführungsplatine



Abbildung 3.3.9.2:
Anschlüsse für externe Geräte wie
Datenerfassungs-PC und
Schülermeßstellen.

3.4 Voreinstellungen bei Versuchsdurchführung

Da es sich um einen komplexen Prüfstand handelt, müssen vor der Durchführung der einzelnen Versuche die benötigten Voreinstellungen strikt beachtet werden.

Inbetriebnahme

Es sind 17 Schritte bei der Inbetriebnahme des Versuchsstandes zu berücksichtigen.

→ Thepra Bedienungsanleitung S. 10 + 11

Versuchsdurchführung:

Für jede Versuchsreihe sind verschiedene weitere Schritte zum erfolgreichen

Durchführen der Versuche zu beachten:

- Versuchsreihe ABS:

Punkte 13 bis 24 Seite 12 (Thepra Bedienungsanleitung)

- Versuchsreihe ASR/EDS:

Punkte 13 bis 33 Seite 13+14 (Thepra Bedienungsanleitung)

- Versuchsreihe ESP (Lenkeinschlag aus der Geradeausfahrt):

Punkte 13 bis 19 Seite 15 (Thepra Bedienungsanleitung)

- Versuchsreihe ESP übersteuern oder gegensteuern

(Lenkeinschlag mit verstärkter Drehrate des Fahrzeugs)::

Punkte 13 bis 22 Seite 16 (Thepra Bedienungsanleitung)

- Versuchsreihe ESP mit Querschleunigung

Lenkeinschlag mit/ohne verstärkter Drehrate des Fahrzeugs und Querschleunigung):

Punkte 13 bis 22 Seite 16 (Thepra Bedienungsanleitung)

(Thepra, 2004)

3.5 Messergebnisse

Ein PC mit der Thepra Messsoftware kann über eine Centronics Buchse mit dem PC verbunden werden.

Die Messergebnisse werden während der Messung am Bildschirm angezeigt und können in einer Textdatei gespeichert werden. Diese Datei kann später mit Excel geöffnet und die einzelnen Kanäle angezeigt werden.

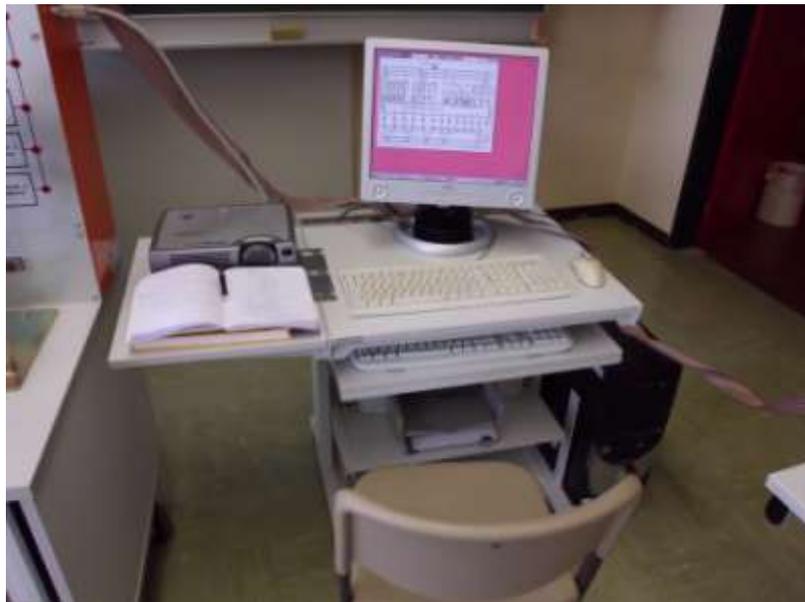
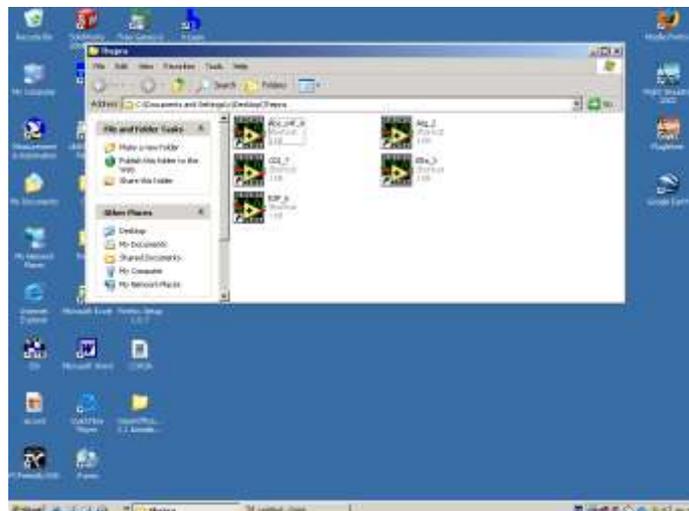


Abbildung 3.5.1 PC-Messplatz

3.6 Die Thepra Messergebnis-Software

Alle Thepra Funktionsstände können über den Ordner THEPRA erreicht werden:

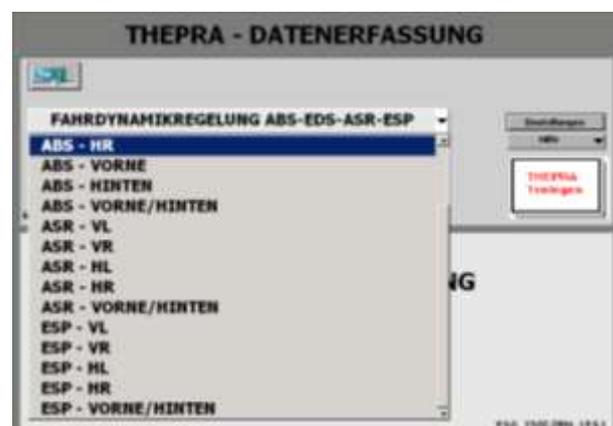
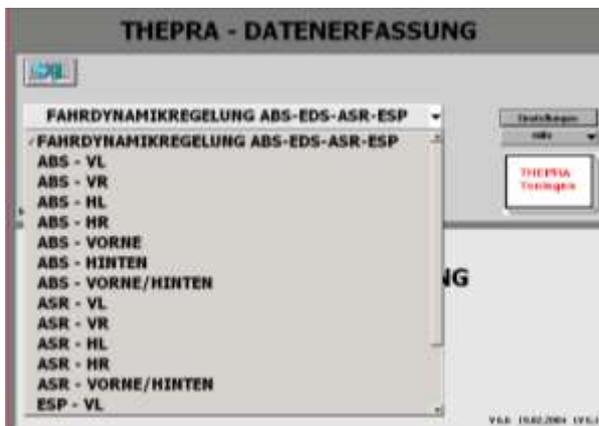


Das Startmenü für den ESP Funktionsstand wird durch einen Mausklick auf ESP_6 gezeigt.



Die Daten können je nach Versuch auf 17 verschiedene Arten dargestellt werden:

- ABS 7 Möglichkeiten
- ASR 5 Möglichkeiten
- ESP 5 Möglichkeiten
- ADS keine spezielle Möglichkeit

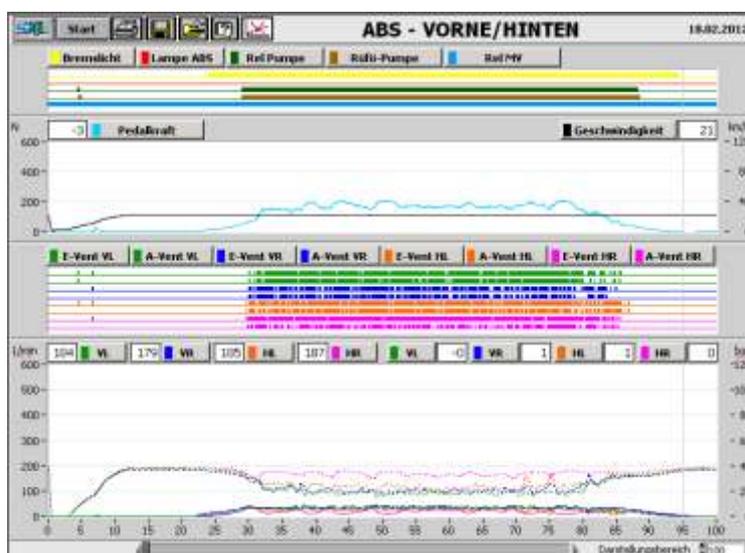


Außerdem gibt es noch drei verschiedene Darstellungsmöglichkeiten:

- Schaltplan mit Messwerten
- Balkendiagramme
- Kurvendiagramme

Das Kurvendiagramm:

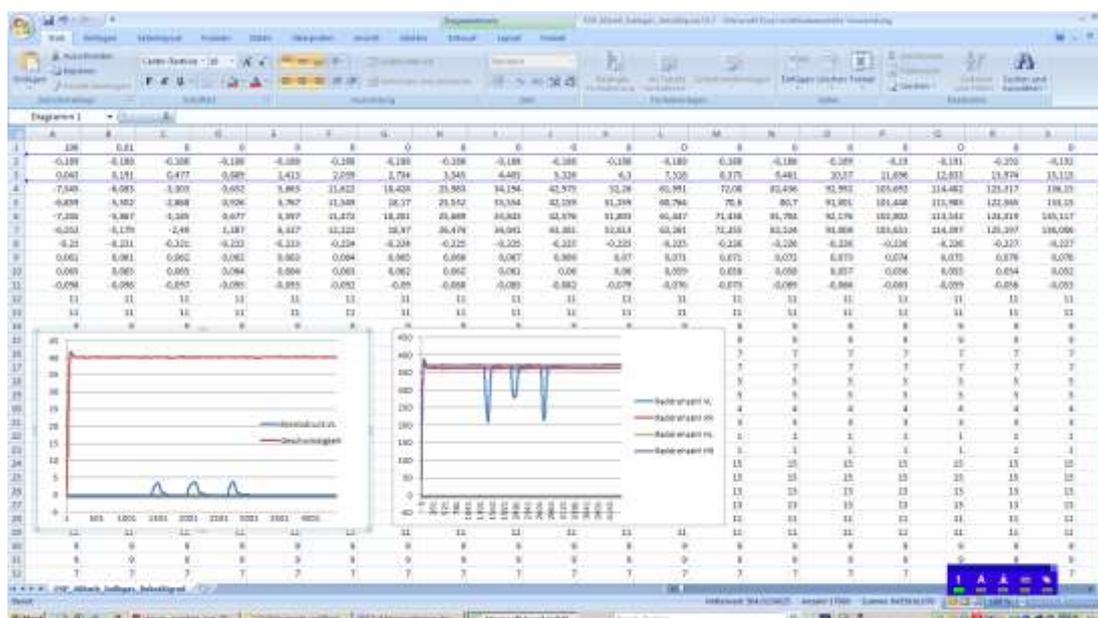
Das Kurvendiagramm ist die gebräuchlichste Darstellungsart, da es die Beobachtung des zeitlichen Ablaufs während der Messung erlaubt.



3.6.1 Anzeige gespeicherter Dateien.

Die gespeicherten Dateien sind im ASCII Format und können von Excel oder anderen Programmen eingelesen und angezeigt werden.

Beispiel für eine Excel Darstellung:



3.6.3 Aufbau der Ausgabedatei

Die Daten können am Computer mit dem Datenerfassungssystem von Thepra angesehen und gespeichert werden. Das Speichern der Daten liefert eine Datei mit den Daten im ASCII Format. Diese Daten können anschließend von einem anderen Program (z. B.: EXCEL) gelesen, dargestellt und verarbeitet werden.

Die Struktur des Datensatzes sieht wie folgt aus:

1. Zeile: Aufnahmefrequenz in Hz, Zeitintervall (meistens 100Hz, 0,01s)

2. Zeile bis x-Zeile Analoge Daten

Unterschiedliche Anzahl der Zeilen ob eine ABS, ASR, EDS oder ESP Auswertung gewählt wurde.

X+1. Zeile bis Ende der Datei: Digitale Daten bei einer um den Faktor 100 reduzierten Aufnahmefrequenz

Allgemeines

Die Länge der Zeilen ist abhängig von der Aufzeichnungsdauer. Damit genug Zeit zum Verstellen der Eingabeparameter verbleibt, hat sich eine Aufzeichnungsdauer von 100 Sekunden bewährt.

Der Versuchsleiter kann aus einer Anzahl angebotener Auswertungen die für seinen Versuch wichtigen Daten aufzeichnen lassen. Die Dateien sind mit verschiedenen Dateinamen-Endungen gekennzeichnet. Bsp.: xxxx.D1 oder yyy.D13

Bei einem ESP Versuch ist dies die Erweiterung D17. Sie bezeichnet einen Versuch in dem relevante Daten wie das Öffnen und Schließen der Magnetventile und der Druckverlauf an den einzelnen Bremszylindern aufgezeichnet werden.

Anzahl der Kanäle in den einzelnen Dateien:

In den Dateien werden mehr Kanäle gespeichert als in der Thepra Darstellungssoftware angezeigt werden. Diese Daten könnten für eine tiefere Analyse z. Bsp. mit Excel angezeigt werden.

Test	Datei	Anzahl der Daten-Kanäle		
		Analog	Digital	Gesamt
ABS	D1	5	14	19
	D2	5	14	19
	D3	5	14	19
	D4	5	14	19
	D5	7	18	25
	D6	7	18	25
	D7	11	26	37
ASR	D8	5	24	39
	D9	5	24	39
	D10	5	24	39
	D11	5	24	39
	D12	1	36	47
ESP	D13	6	24	30
	D14	6	24	30
	D15	6	24	30
	D16	6	24	30
	D17	12	36	48

3.7 Schülmessplätze

Damit die Schüler aktiv am Unterricht teilnehmen können hat man die Möglichkeit Schülmessplätze einzurichten. Dazu wird ein Entkoppler über einen dafür vorgesehenen Anschluss mit dem Lehrgerät verbunden. An diesem Entkoppler werden die Schülmessplätze angeschlossen.

Der Entkoppler

Der Messwertentkopplung verhindert Rückwirkungen auf die Anlage. Alle Ausgänge zu den Schülmessplätzen sind kurzschlußfest. Eine Beeinflussung der Anlage vom Schülermeßplatz aus ist nicht möglich.



Abbildung 3.7.1 Schülermeßplatz mit Entkoppler und Oszilloskop

Fehlerschaltgerät:

Das Fehlerschaltgerät wird anstelle des Brückensteckers am Lehrstand eingesteckt.

Die Umschalter auf der Grundplatte beeinflussen nur die Leitungen welche auf der Fehlerschaltmaske eine rote Umrandung besitzen.

Mit den Umschaltern können **drei Positionen** geschaltet werden:

1. Schalterstellung = Normalbetrieb
2. Schalterstellung = Unterbrechung
3. Schalterstellung = Nebenschluss (300 Ohm parallel)

Es werden hauptsächlich Leitungen geschaltet, die keine großen Ströme führen.

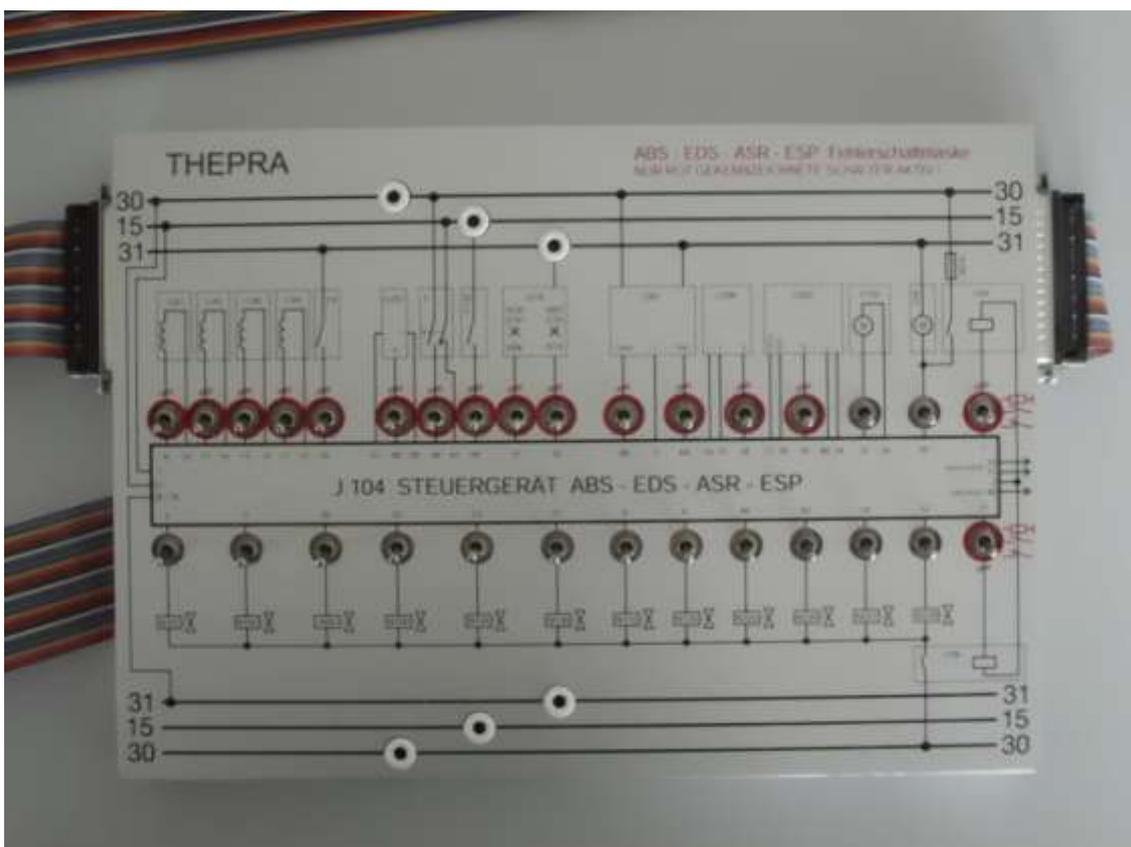


Abbildung 3.7.2: Fehlerschaltmaske

Anschlüsse am Lehrgerät:

Folgende Anschlüsse sind vorhanden:

1. Ein- und Ausgang für das Fehlerschaltgerät
2. Ein Ausgang für den Entkoppler (zu den Schülermessplätzen)
3. Ein Ausgang zum PC-Messplatz



Abbildung

Alle Anschlüsse zum Lehrgerät



Abbildung

**Anschluß für den Entkoppler (unten)
und Fehlerschalter (hier mit
Brückenstecker)**

4

Arbeitsblätter

Musterlösung

Aufbau des Kursus mithilfe der Arbeitsblätter.

Der Lehrer kann aus den folgenden Arbeitsblättern seinen Unterricht je nach Klasse und Lehrplan aufbauen. Da die Vorbereitung dieser Stunden mit dem Aufbau des Lehrstandes aufwendig ist, sind die Arbeitsblätter so aufgebaut, dass für jedes Arbeitsblatt jeweils eine Doppelstunde vorzusehen ist. Der modulare Aufbau mithilfe der Arbeitsblätter ermöglicht auch andere Zusammensetzungen welche womöglich mit der „Reform der berufsbildenden Schulen“ erforderlich werden.

Für die 11^{te} Klasse (bis jetzt 01MA) stehen ABS und ASR auf dem Lehrplan. Hier sind etwa zehn Doppelstunden vorgesehen.

Vorschlag für die 11^{te} Klasse Mécatroniciens automobiles.

Mit dieser Klasse kann zuerst eine allgemeine Einführung in die Arbeitsweise des ABS mit den dazugehörigen Übungen erfolgen. Die nächste Doppelstunde ist eine Einführung am Lehrstand mit einer ersten Aufgabe vorgesehen. Anschließend werden eigenständig Messung an den für das ABS benötigten Sensoren und Aktoren vorgenommen. Es folgen praktische ABS- Lerneinheiten von jeweils einer Doppelstunde.

Anschließend wird die Fehlersuche für ABS und ASR eingeführt. Mit dem Fehlerschaltgerät werden einfache oder zusammenhängende Fehler erzeugt welche die Schüler durch Messungen finden sollen. Zum Messen können die Schüler ihr eigenes Multimeter nehmen. Bei einigen Signalen wird ihnen ein Oszilloskop zur Verfügung gestellt. Zur Kontrolle werden die Fehler, welche die Schüler gefunden haben, am Fehlerschaltgerät beseitigt und durch Neustarten der Anlage geprüft ob alle Fehler gefunden wurden.

Als nächstes wird die Arbeitsweise des ASR eingeführt. Es folgen praktische Lerneinheiten am Lehrstand mit anschließendem Auswerten der Beobachtungen und Beschreiben der Arbeitsweise der ASR

Vorschlag der Vorgehensweise für die T3MA

Zusätzlich zu ABS und ASR steht das ESP auf dem Lehrplan der T3MA mit etwa 14 Doppelstunden. Für diese Klasse ist der erste Teil des Programms gleich dem der 01MA. Hier kann jedoch schneller vorgegangen werden, da die Schüler den theoretischen Teil normalerweise besser verstehen und aufgrund ihrer längeren schulischen Praxis das Messen besser beherrschen.

Diese Klasse wird nach einer Einführung in die Theorie des ESP anhand der Arbeitsblätter praktische Erfahrung mit den zusätzlichen Sensoren für das ESP sammeln können und die Arbeitsweise des ESP durch praktische Beispiele erlernen. Zusätzlich erfahren sie die gegebenen Grenzen des ESP.

Allgemeine Hinweise zur Durchführung der Lehreinheiten.

Die Vorbereitung der Lehreinheiten erfordert einen Zeitaufwand von jeweils einer halben Stunde für den Aufbau und einen Probelauf im Klassenzimmer.

Der Aufbau beinhaltet den Transport des Lehrstandes vom Aufbewahrungsraum zum Klassenzimmer. Es muss darauf geachtet werden dass der Lehrstand nicht während dem Transport durch anstoßen an anderen Lehrständen im engen Aufbewahrungsraum oder durch Türpfosten beschädigt werden.

Beim Aufbau im Klassenzimmer ist darauf zu achten dass die Stromanschlüsse nicht zu Fußangeln werden können. Sie dürfen nicht die normalen Durchgänge behindern. Beim Gebrauch der Schülermessplätze ist darauf zu achten dass die Verbindungen von einem Messtand zum nächsten außen an der Wand des Klassenzimmers zu verlegen sind, so dass sie nicht den normalen Umgang mit den Schülermeßplätzen stören.

Anschließend sollte ein Probelauf der ganzen Anlage durchgeführt werden damit kleinere Verbindungsprobleme noch gelöst werden können.

Für manche Messungen werden Oszilloskope oder Werkstatttester benötigt. Diese sind zusätzlich im Unterrichtsraum unterzubringen.

Durch den größeren Platzbedarf erscheint es sinnvoll die Klasse auf acht Schüler zu begrenzen.

4. Arbeitsblätter Musterlösungen

Vorschlag für die 11^{te} Klasse 01MA und die T3MA.

- 4.1 Fahrstabilisierungssysteme
- 4.2 Antiblockiersystem ABS
- 4.3 Lehrstand ABS/EDS/ASR/ESP
- 4.4 Bremsen mit und ohne ABS
- 4.5 Schülermeßplätze
- 4.6 Messung der Sensoren und Aktoren des ABS
 - 4.6.1 Messung der Sensoren für ABS
 - 4.6.2 Messung der Aktoren für ABS
- 4.7 Fehlersuche
 - 4.7.1 Einführung Fehlersuche
 - 4.7.2 Arbeitsblätter Fehlersuche
- 4.8 Antischlupfregelung ASR

Zusätzlich für die T3MA

- 4.9 EDS Elektronische Differentialsperre
- 4.10 Elektronisches Stabilitätsprogramm ESP
 - 4.10.1. Einführung ESP
 - 4.10.2. Die Sensoren des ESP
 - 4.10.3. ESP Aufgabe 1
 - 4.10.4. ESP Aufgabe 2

5

Arbeitsblätter

Schülerversion

5. Arbeitsblätter Schülerversion

Die Schülerversion beinhaltet die Arbeitsblätter ohne Musterlösungen. Die Schüler sollen die Aufgabenblätter ausfüllen, ihre Namen eintragen und die Arbeitsblätter dem Lehrer geben. Nach der Korrektur durch den Lehrer werden die Schülerarbeitsblätter und die Musterlösungen den Schülern ausgehändigt und erklärt.

Deshalb tragen die Arbeitsblätter für die Schüler die gleiche Nummerierung wie die Arbeitsblätter der Lehrerversion.

6

Anhang

6. Anhang

6.1 Literaturverzeichnis

Antonini, Ivo, et al. 2007. Kraftfahrzeugmechatronik. *PKW-Technik Lernfelder 5-14*. Braunschweig : Westermann, 2007,.

Bierschenk, Klaus. 2008. Kraftfahrzeugmechatronik. *Vernetzte Systeme*. Troisdorf : Bildungsverlag EINS, 2008,

Bosch. 2004. *Fahrstabilisierungssysteme Bosch Fachwissen Kfz-Technik*. 2004, , S. 29, 77, 81, 90 91.

Bosch,2012,http://www.boschkraftfahrzeugtechnik.de/de/de/driving_safety/driving_safety_systems_for_passenger_cars_1/vehicles_dynamics_management/vehicles_dynamics_management_1.html. [Online] Bosch, 2012.

Bosch, Robert. 2007. Autoelektrik Autoelektronik. *Syteme und Komponenten 5. Auflage*. Wiesbaden : Vieweg, 2007,

Bruhn D, Danner D, Gerigk P, Göbert J, Grinus C, Kruse D, Schopf R., 2010. Kraftfahrzeugtechnik. *Gesamtband 7. Auflage*. Braunschweig : Westermann, 2010, S. 467, 569, 572..

Isermann, Rolf. 2006. *Fahrdynamikregelung, Modellbildung, Fahrerassistenzsysteme, Mechatronik*. Wiesbaden : ATZ/MTZ-Fachbuch Viewg & Sohn Verlag, 2006. 3-8348-0109-7. S. 171, 174, 184, 185, 193, 196, 202,

Konrad Reif (Hrgeb,). 2011. *Bosch Autoelektrik und Autoelektronik*. Wiesbaden : Vieweg+Teubner.Bosch , 2011. 978-3-8348-1274-2.

Lehrmittel, Europa. 2008. (2008 9.Auflage) *Rechenbuch Kraftfahrzeugtechnik (9.Auflage)*. D-42781 Haan-Gruiten : Verlag Europa Lehrmittel, 2008. 978-3-8085-2039-0.

Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik (29. Auflage). Haan-Gruiten : Verlag Europa Lehrmittel , 2009. 987-8085-2239.

Reif, Konrad. 2009. *Automobilelektronik. Vieweg+Teubner und ATZ.* s.l. : Vieweg+Teubner und ATZ, 2009. 978-3-8348-0446-4.

Thepra, Lehrmittel GMBH & CO. KG. 2004. *Bedienungsanleitung.* D-79331 Teningen : Thepra Lehrmittel, 2004. Bestellnr. 36 034 000.

Westermann. 2009. *Kraftfahrzeugtechnik Gesamtband.* Vechelde : Bildungshaus Schulbuchverlage, 2009. ISBN 978-3-14-23 1800-4.

Wikipedia. [Online]

Zanten, Anton van. 2006. *8 Elektronisches Stabilitätsprogramm.* Wiesbaden : Vieweg Verlag, 2006. 3-8348-0109-7.

6.1 Information Funktionsmodellwand