

Elektronisches Stabilitätsprogramm ESP*



Ansprechpartner: Dipl.-Ing.(FH) Paul Balzer
E-Mail: balzer@htw-dresden.de
Telefon: 0351 462 2394

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	0
1.1 Funktionsweise	1
1.2 Fahrzustandsbeurteilung	1
1.3 Stabilisierung des Fahrzustandes	3
1.3.1 Untersteuernde kritische Fahrsituation	3
1.3.2 Übersteuernde kritische Fahrsituation	3
2 Versuchsdurchführung	3
2.1 Modellfahrzeug	3
2.2 Kritische Kurvenfahrt	5
3 Auswertung	5

1 Grundlagen

Aufgabe ESP dient der Unterstützung des (Normal-)Fahrers zur Wiederherstellung des sicheren Fahrzustandes

Die Entwicklung des elektronischen Stabilitätsprogrammes ist auf die verhältnismäßig hohe Unfallschwere zurückzuführen, die aus so genannten Schleuderunfällen resultiert. Schleudern liegt vor, wenn der Fahrzeugführer die Kontrolle über die Steuerung des Fahrzeuges verliert und die Fahrtrichtung nicht mehr mit dem Fahrerwunsch übereinstimmt. Dieser Seitenaufprall zieht teils verheerende Folgen für die Insassen nach sich. Um die Ursache dieser Schadensfälle wirkungsvoll zu unterbinden ist es notwendig, die Schleuderbewegungen von Fahrzeugen im Grenzbereich zu vermeiden.

*Die Abkürzung ESP ist ein eingetragenes Warenzeichen der Daimler AG, daher gibt es bei anderen Fahrzeugherstellern zum Teil andere Bezeichnungen.

1.1 Funktionsweise

Das ESP überwacht kontinuierlich den Fahrzustand und gleicht diesen mit dem theoretischen idealen Fahrzeugfahrverhalten ab. Wichtige Parameter dazu sind beispielsweise

1. Querbeschleunigung a_y
2. Lenkwinkel δ
3. Gierrate $\dot{\psi}$
4. Geschwindigkeit v

Die wichtigste Kenngröße zur Beurteilung der Fahrstabilität ist jedoch der Schwimmwinkel β . Er ist der Winkel zwischen Fahrzeuglängsachse und tatsächlicher Bewegungsrichtung des Fahrzeugschwerpunktes. Leider kann dieser nicht direkt gemessen werden.

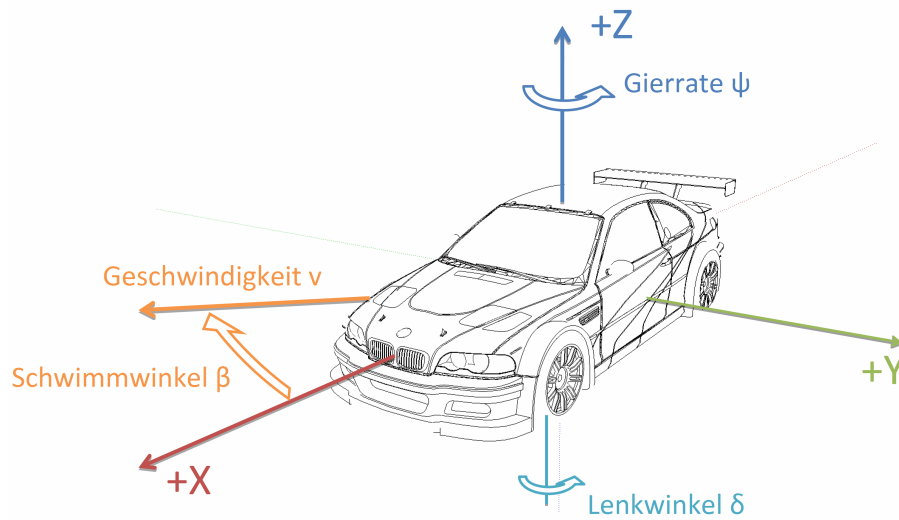


Abbildung 1.1: Fahrzeugkoordinatensystem nach DIN70000

1.2 Fahrzustandsbeurteilung

Eine sehr einfache Möglichkeit den Fahrzustand des Fahrzeugs zu berechnen und daraufhin eine kritische Situation zu erkennen, ist folgende: Auf dem ESP Steuergerät wird ständig Lenkwinkel, Fahrzeuggeschwindigkeit, Gierrate und Querbeschleunigung zusammengetragen (über den CAN-Bus) und damit das physikalisch vereinfachte Einspurmodell des Fahrzeugs gefüttert. Mit einigen Überlegungen zum Einspurmodell kann man z.B. eine Gierrate berechnen, welche bei **unkritischer** Kurvenfahrt zu erwarten ist.

Die Gierrate (oder auch Gierwinkelgeschwindigkeit) ist die Drehgeschwindigkeit um die Hochachse des Fahrzeugs. Die zu erwartende Gierrate $\dot{\psi}_{soll}$ wird zweifach berechnet. Zum einen aus der maximalen Querbeschleunigung (Gl. 1.3), welche für einen Normalfahrer noch einen annehmbaren sicheren Fahrzustand bedeutet und zum anderen aus dem Einspurmodell (Gl. 1.1).

$$\dot{\psi}_{soll,1} = \frac{\delta}{l} \cdot \frac{v}{1 + \frac{v^2}{v_{ch}^2}} \quad (1.1)$$

Die Größe v_{ch} stellt eine charakteristische Größe aus dem linearen Einspurmodell des (untersteuernden) Fahrzeugs dar und ist fahrzeugspezifisch, das heißt nur von Radstand

und Eigenlenkgradient abhängig. Sie gibt an, wann das Fahrzeug am heftigsten auf Lenkbewegungen reagiert.

$$v_{ch} = \sqrt{\frac{l}{EG}} \quad (1.2)$$

Üblich sind z.B. 70 km/h...120 km/h, das Fahrzeug reagiert bei diesen Geschwindigkeiten am empfindlichsten auf Lenkwinkeländerungen (Stichwort: Statische Gierverstärkung).

$$\dot{\psi}_{soll,2} = \frac{a_{y,max}}{v} \quad (1.3)$$

Dabei kann z.B. parametrisiert werden, dass die maximale Querbeschleunigung auf 3 m/s^2 begrenzt werden soll. Je nach Fahrzeughersteller sind dies Applikationsparameter des ESP.

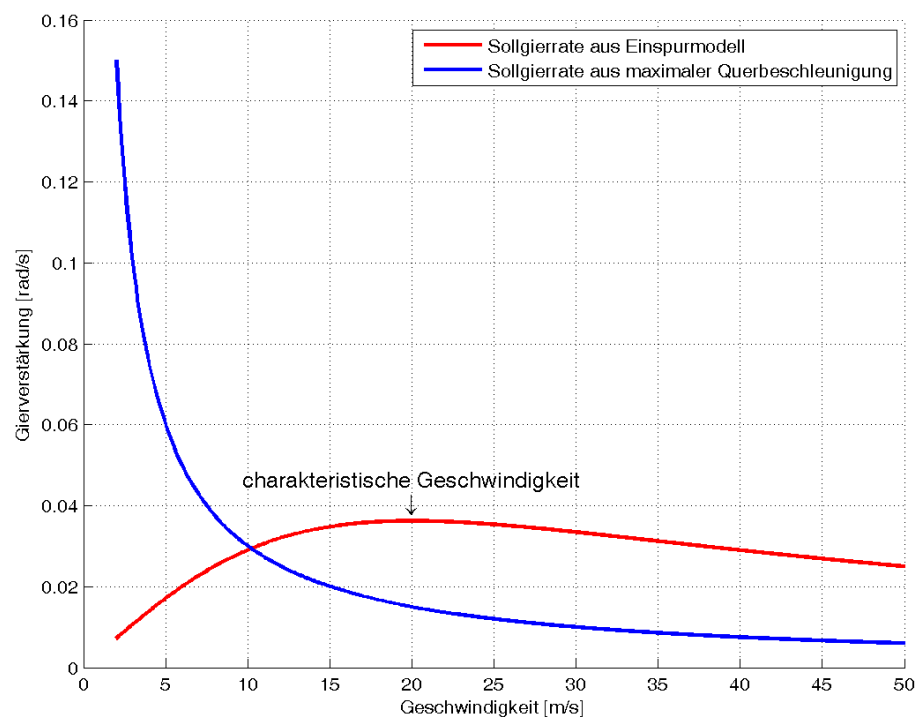


Abbildung 1.2: Sollgierraten für ein untersteuerndes Fahrzeug aus Bedingung (Gl. 1.1 und Gl. 1.3)

Die Hyperbel (blau) stellt die Bedingung aus der maximalen Querbeschleunigung dar, der rote Graph ist die Abhängigkeit aus dem Einspurmodell. Das Maximum dieser Funktion ist genau bei der charakteristischen Geschwindigkeit. In diesem Beispiel $20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$.

Aus beiden berechneten zu erwartenden Gierraten wird die minimale als Sollwert gewählt.

$$\dot{\psi}_{soll} = \min(\dot{\psi}_{soll,1}, \dot{\psi}_{soll,2}) \quad (1.4)$$

Das elektronische Stabilitätsprogramm ermittelt während der gesamten Fahrt die aktuelle Gierrate (Drehung des Fahrzeugs um die Hochachse) und berechnet, ob diese größer ist, als die mit aktuellem Lenkwinkel erwartete Gierrate. Sollte dies der Fall sein, so wird eine kritische Situation erkannt (Fahrzustandserkennung).

1.3 Stabilisierung des Fahrzustandes

Die Entscheidung, welches Rad abgebremst wird, um die Situation wieder zu stabilisieren, ergibt sich jedoch aus unzähligen Faktoren. Hauptsächlich ist entscheidend, ob das Fahrzeug über- oder untersteuert.

1.3.1 Untersteuernde kritische Fahr situation¹

Dabei schiebt das Fahrzeug trotz hohem Lenkwinkel über die Vorderräder und folgt nicht dem vorgegebenen Lenkeinschlag. Die Stabilisierung, welche in diesem Fall eine Unterstützung ist, bremst die hinteren Räder ab.

- In einer Linkskurve wird das hintere linke Rad abgebremst
- In einer Rechtskurve wird das hintere rechte Rad abgebremst

1.3.2 Übersteuernde kritische Fahr situation²

Dabei dreht das Fahrzeug weiter ein, als durch den Lenkwinkel vorgegeben. Dies ist eine sehr kritische Situation und muss unbedingt durch das Stabilitätsprogramm verhindert werden. Die Situation der übersteuernden kritischen Situation tritt vor allem bei Fahrzeugen mit Heckantrieb auf, wenn bei Kurvenfahrt die übertragbare Kraft (Stichwort: Kamm'scher Kreis) der hinteren Räder mit dem Antrieb aufgezehrt ist und eine ausreichende Querführungseigenschaft nicht mehr gewährleistet werden kann. Das Elektronische Stabilitätsprogramm erkennt die zu große Gierrate (der Schwimmwinkel $\beta > 2^\circ$) und bremst im Rahmen der physikalischen Möglichkeiten die Vorderräder ab.

- In einer Linkskurve das vordere rechte Rad
- In einer Rechtskurve das vordere linke Rad

Dadurch wird ein, der Drehung entgegenwirkendes, Giermoment aufgebaut, welches, im Rahmen der physikalischen Möglichkeiten, die Fahrt stabilisiert.

Das Modellfahrzeug bietet die Möglichkeit, diesen kritischen Fahrversuch nachzustellen. Reale Fahrzeuge sind nicht übersteuernd ausgelegt, sodass diese Art der Regelung kaum nachzustellen ist. Bei Fahrzeugen mit Heckantrieb wird zusätzlich das Antriebsmoment reduziert, um nicht noch weitere Antriebskräfte auf die überforderten Hinterreifen zu bringen.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Modellfahrzeug

Für die Messwertaufnahme steht ein Modellfahrzeug zur Verfügung, welches im Maßstab 1:5 ein reales Fahrzeug nachstellt. Es ist mit Fahrdynamiksensoren und einer Funkübertragung ausgestattet, sodass die Fahrversuche real durchgeführt und direkt am PC beobachtet/aufgezeichnet werden können.

¹Video eines solchen Fahrzeugs unter <http://youtu.be/ubUy2iNaLII>

²Video eines solchen Fahrzeugs unter <http://youtu.be/pWKCilzzkU>

TECHNISCHE DATEN

Maßstab	1:5
Geschwindigkeit	50 km/h
Leistung	2.5 PS
Masse	12 kg
Heckantrieb	elektrisch

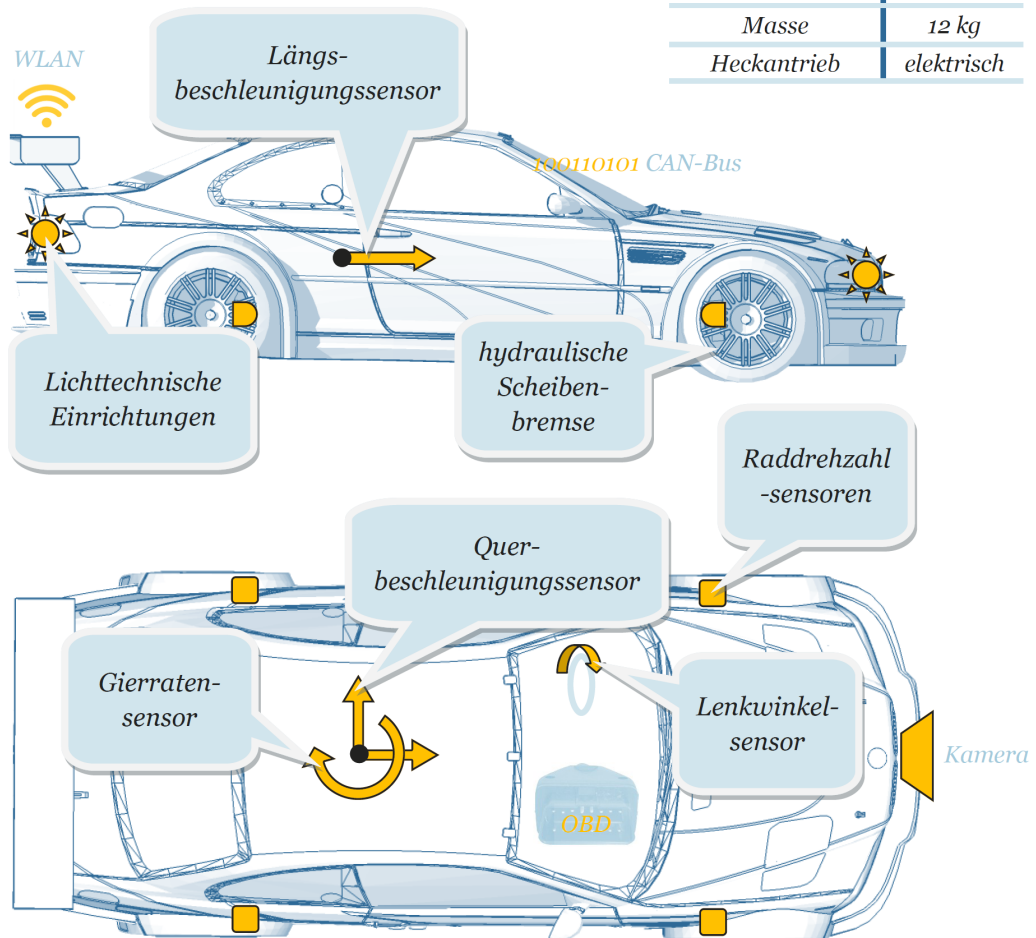


Abbildung 2.1: Modellfahrzeug mit Fahrdynamiksensoren

Sobald das Fahrzeug eingeschaltet ist, beginnt die Übertragung sämtlicher Fahndynamikdaten via WLAN. Diese können sie am PC mit CANalyzer ansehen/aufzeichnen.

Tabelle 1: Technische Daten des Modellfahrzeugs

Parameter	Wert	Formelzeichen	Einheit
Abstand Schwerpunkt von Vorderachse	0.3	l_v	m
Radstand	0.53	l	m
Spurweite Hinterachse	0.32	b	m
Gesamtmasse	12	m	kg

2.2 Kritische Kurvenfahrt

Ein Hochschulmitarbeiter wird Ihnen die kritische Kurvenfahrt vorführen. Die Daten der Fahrt können Sie entweder mittels Vector CANalyzer mitschneiden oder auf

<http://go.isupia.de/de/experiments/24>

anschauen und als Rohdaten downloaden.

3 Auswertung

1. Stellen sie relevante Fahrdynamikdaten dar (siehe 1.1).
2. Zeigen Sie anhand der Daten, dass eine kritische Kurvenfahrt vom Fahrzeug erkannt wurde.
3. Welche der beiden fahrdynamischen Schwellenwerte (Gl. 1.1 oder Gl. 1.3) wurde erreicht?
4. Weist die Reaktion des Fahrzeugs auf ein appliziertes ESP für ein über- oder untersteuerndes Fahrzeug hin?

Literatur

- [Trau09] Trautmann, T.: Grundlagen der Fahrzeugmechatronik: Eine praxisorientierte Einführung für Ingenieure, Physiker und Informatiker. Vieweg+Teubner, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009. <http://www.springerlink.de/content/978-3-8348-0387-0>
- [Riek40] Riekert, P. und Schunck, T.-E.: Zur Fahrdynamik des gummbereiften Kraftfahrzeuges. Ingenieur-Archiv, XI. Band, Heft 3, S. 210-224, Juni 1940.