

# Implementierung eines ESP in ein ferngesteuertes Modellauto

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Jennewein, Dipl.-Ing. Alexander Russ, Johannes Fuhs

Fahrerassistenzsysteme bieten heutzutage einen enormen Zugewinn an Sicherheit und Fahrkomfort. Besonders das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) hat die Fahrersicherheit deutlich erhöht und ist aus diesem Grund seit einigen Jahren verpflichtend bei Neufahrzeugen. Im Rahmen eines Ingenieur-Forschungsprojektes wurde dieses System an einem RC-Fahrzeug implementiert. Dazu wurden die nötigen Sensoren verbaut und die Regelung auf einem Arduino programmiert. Um das System zu validieren, wurde das Fahrzeug für den Betrieb abseits des Prüfstandes umgebaut und anschließend Fahrtests durchgeführt.

## Motivation

In vorangegangenen Forschungsprojekten wurden am Fahrzeug bereits ABS und ASR implementiert. Es wurden allerdings nur Versuche auf einem Rollenprüfstand durchgeführt, da im Fahrzeug noch kein Akku verbaut war und es keine Möglichkeit zur Datenaufzeichnung, für eine Auswertung des Fahrzeugverhaltens nach einer Testfahrt, gab. Da für ein ESP-System Fahrversuche zwingend nötig sind, wurde das Fahrzeug in einen fahrfähigen Zustand versetzt und alle für das ESP nötigen Komponenten verbaut. Bei der Programmierung wurde der Schwerpunkt auf das Einspurmodell und die dazu nötigen Kenngrößen gelegt und lediglich ein vereinfachter ESP-Eingriff implementiert.

## Funktionsweise und Aufbau des ESP

Ziel des ESP ist es, kritische Fahrzustände wie Unter- oder Übersteuern zu verhindern. Zu solchen Situationen kommt es häufig bei plötzlichen Ausweichmanövern oder extremen Fahrsituationen.

Ein ESP-System umfasst:

- Sensoren zur Erkennung des Fahrerwunsches sowie des Fahrzustandes,
- einen Regler zur Bewertung des Fahrzustandes und Bestimmung der notwendigen Korrektur und
- Aktoren zur Beeinflussung des Fahrzustandes.

In *Abbildung 1* ist das System vereinfacht dargestellt.

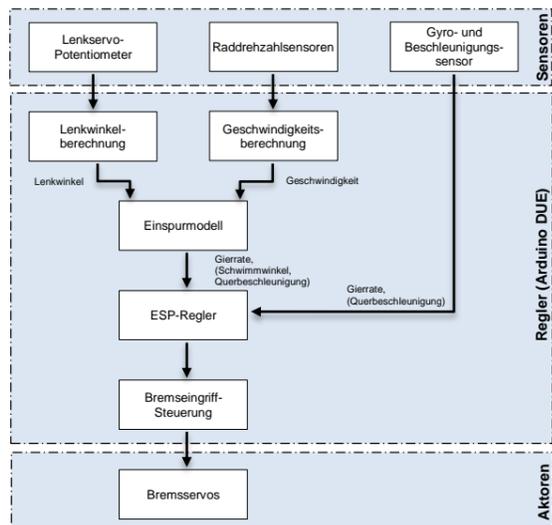


Abbildung 1: Blockschaltbild des ESP am Modellfahrzeug

## Einspurmodell

Wesentliches Element des ESP ist das Einspurmodell. Es dient dazu, aus den vom Fahrer vorgegebenen Kennwerten Lenkradstellung und Gas- bzw. Bremshebelstellung das Soll-Verhalten des Fahrzeugs zu bestimmen. Dies wird durch den Schwimmwinkel  $\beta$ , die Gierrate  $\dot{\psi}$  und die Querbeschleunigung  $a_y$  (siehe *Abbildung 2*) beschrieben. Seinen Namen erhält das Modell durch die wesentlich zur Grunde liegende Vereinfachung, dass beide Räder einer Achse zusammengefasst werden, so dass das Fahrzeug von zwei auf eine Spur reduziert wird.

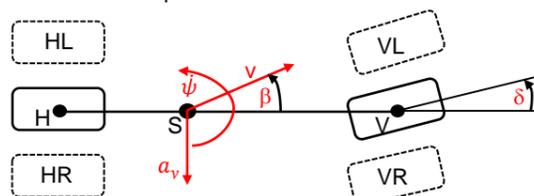


Abbildung 2: Einspurmodell

## Lenkwinkel- und Geschwindigkeitssignal

Für das Einspurmodell wird der Lenkwinkel des Fahrzeugs benötigt. Anders als im realen Fahrzeug besteht beim Modellauto keine direkte Verbindung zwischen Lenkrad (Fernsteuerung) und den Vorderrädern des Fahrzeugs, sondern ein Servomotor setzt die übertragenen Signale in eine Bewegung um. So kommt es zu einer Zeitverzögerung und Positionsabweichungen zwischen Soll- und Ist-Lenkswinkel. Um den tatsächlichen Lenkwinkel zu erhalten, wurde das Signal des sich im Lenkservo befindlichen Potentiometers abgegriffen. Die am Potentiometer abfallende Spannung ist dabei ein Maß für die Lenkservo-Stellung, mit der durch eine mittels Versuchen bestimmte Umrechnung der Lenkwinkel berechnet wird. Da der verbaute Analogservo allerdings sehr lange Stellzeiten und geringe Stellgenauigkeit zeigte, wurde dieser gegen einen deutlich leistungsstärkeren Digitalservo getauscht. Die Fahrzeuggeschwindigkeit wird mittels der durchschnittlichen Raddrehzahl der vier Räder, die kontinuierlich von Drehzahlsensoren gemessen wird, sowie deren Abrollumfang bestimmt.

## Bewegungssensor und Datenaufzeichnung

Um den Bewegungszustand des Fahrzeugs zu erkennen, werden Sensoren zur Messung von Querbewegung und Gierrate benötigt. Hierfür wurde ein Bewegungssensor auf einem sogenannten Shield verwendet. Ein Shield ist eine Platine, die direkt auf den Arduino aufgesteckt werden kann. Auf diesem sitzt im Falle des Bewegungssensors ein 3-Achsen Beschleunigungs- und Gyro-Sensor.

Anders als bei ASR und ABS beeinflusst ein ESP vor allem die Querdynamik des Fahrzeugs. Da diese auf einem Prüfstand kaum zu simulieren ist, sind Fahrversuche nötig. Um das Fahrzeugverhalten nach Fahrversuchen analysieren zu können, müssen alle relevanten Daten während der Fahrt aufgezeichnet werden. Hierfür wurde ein weiteres Shield verwendet. Auf diesem kann eine Speicherkarte eingesetzt werden, auf die vom Arduino aus Daten geschrieben werden können.

## Bestimmung der Schräglaufsteifigkeiten und Validierung des Einspurmodells

Für die Berechnung des Einspurmodells sind einige Fahrzeugkonstanten nötig. Anders als beispielsweise Masse oder Schwerpunkt, die am Fahrzeug gemessen werden können, müssen die Kennwerte der Schräglaufsteifigkeit der Räder an Vorder- und Hinterachse durch Fahrtests bestimmt werden. Dazu wurde in stationärer Kreisfahrt, also mit konstantem Lenkwinkel und konstanter Geschwindigkeit ohne Ausbrechen des Fahrzeugs, gefahren. Anschließend wurden die aufgezeichneten Werte für Lenkwinkel und Geschwindigkeit sowie Gierrate und Querbewegung in ein Matlab-Programm geladen. Aus Lenkwinkel und Geschwindigkeit wurde dort das Einspurmodell berechnet und die Werte der Schräglaufsteifigkeit im Programm iterativ angepasst, bis Gierrate und Querbewegung der Berechnung mit der Messung übereinstimmen. Es stellte sich heraus, dass für Schräglaufsteifigkeitswerte von  $500 \text{ N/mm}$  für die Reifen an Vorder- und Hinterachse die Berechnungen des Einspurmodells den Messwerten sehr nahe kamen. Die gefundenen Werte wurden anschließend ins Arduino-Programm übernommen und das nun fertige Einspurmodell in stabiler Slalomfahrt (*Diagramm 1*) durch die übereinstimmende Gierrate von Modell und Bewegungssensor bestätigt.



Diagramm 1: Slalomfahrt, stabil, ohne ESP

## ESP-Regler und Validierung des ESP-Eingriffs

Der hier programmierte ESP-Regler vergleicht kontinuierlich Soll- und Ist-Gierrate des Fahrzeugs. Die Ist-Gierrate wird vom Bewegungssensor gemessen, die Soll-Gierrate erhält man aus dem Einspurmodell, begrenzt durch eine vorgegebene maximale Querbewegung. Weicht die Ist-Gierrate um mehr als  $0,3 \text{ rad/s}$  (ohne weitere Versuche festgelegt) von der Soll-Gierrate ab, so wird dies als kritische Situation erkannt und das ESP greift ein.

Für den ESP-Eingriff wird eine Fallunterscheidung zwischen Unter- und Übersteuern sowie zwischen Links- und Rechtskurve vorgenommen. Danach wird entschieden, welches Rad abgebremst wird, um das Fahrzeug zu stabilisieren bzw. die Soll-Gierrate zu erreichen:

- Untersteuern: Kurveninneres Hinterrad bremsen
- Übersteuern: Kurvenäußeres Vorderrad bremsen

Ein untersteuernder Fahrzustand liegt vor, wenn die Gierrate kleiner als die Soll-Gierrate ist. Umgekehrt liegt ein übersteuernder Zustand vor, wenn die Gierrate größer als der Sollwert ist.

Die Unterscheidung der Kurvenrichtung wird durch das Vorzeichen der Gierrate vorgenommen. Dieses ist in Linkskurven positiv, in Rechtskurven negativ.

Die Bremsengriff-Steuerung erhält vom ESP-Regler die Information, welches Rad abgebremst werden soll, und steuert die Bremsservos entsprechend an.

Um den ESP-Eingriff zu validieren wurden Versuchsfahrten mit und ohne ESP-Eingriff durchgeführt.

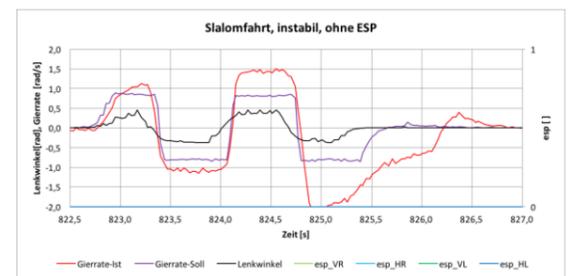


Diagramm 2: Slalomfahrt, instabil, ohne ESP

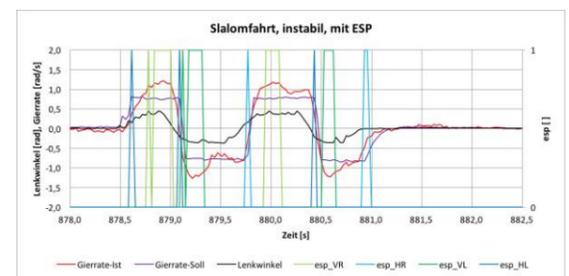


Diagramm 3: Slalomfahrt, instabil, mit ESP

Die Slalomfahrten in *Diagramm 2* und *3* wurden bei etwa konstanter Geschwindigkeit von  $5 \text{ m/s}$  durchgeführt. Ein ESP-Eingriff wird durch den Wert „1“ der jeweiligen ESP-Variablen dargestellt. Bei der Slalomfahrt ohne ESP (*Diagramm 2*) sieht man anhand der Gierrate, dass sich das Fahrzeug mit jedem Lastwechsel stärker aufschaukelte, bis es schließlich so stark übersteuerte, dass sich das Fahrzeug eindrehte. Anschließend wurde die Slalomfahrt mit gleichem Lenkwinkel- und Geschwindigkeitsprofil wiederholt, diesmal mit eingeschaltetem ESP (*Diagramm 3*). Sobald die Abweichung zwischen Ist- und Soll-Gierrate den zuvor eingestellten Grenzwert überschritt, griff das ESP ein. Dies ist am Verlauf von Ist- und Soll-Gierrate sehr gut erkennbar: Durch die stetigen ESP-Bremsengriffe wird die Gierrate an die Sollwerte angepasst und so ein unkontrolliertes Ausbrechen des Fahrzeugs erfolgreich verhindert.

## Ergebnisse und Ausblick

Durch die Anpassung der Schräglaufsteifigkeiten im Einspurmodell konnte der stabile Fahrzustand sehr gut abgebildet werden. Bereits ein vereinfachter ESP-Eingriff zeigte sehr gute Ergebnisse bei Versuchsfahrten und konnte das Fahrzeug wie beabsichtigt stabilisieren.

In der nächsten Ausbaustufe sollte die Verkabelung der Komponenten neu strukturiert werden. In Bezug auf das ESP-System ist der nächste Schritt ein verbessertes Eingriff-Verhalten (ESP-Regler und Bremsengriff-Steuerung) mit Eingriff in die Motorsteuerung.

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Jennewein  
Fachbereich Maschinenbau und Kunststofftechnik  
Schöfferstraße 3, 64295 Darmstadt  
E-Mail: dietmar.jennewein@h-da.de