

In den letzten Jahren wurden konkrete Schritte in der Forschungs- und Entwicklungsarbeit an elektrischen Fahrzeugen unternommen. Grundsätzlich ergibt sich mit diesen Fahrzeugen die Möglichkeit für neue Bauformen und veränderte Fahreigenschaften. Die in diesem Umfeld häufig eingesetzte In-Wheel-Antriebstechnologie erfordert dedizierte Regelalgorithmen für komfortables und effizientes Fahrverhalten.

Vorteile eines Elektrofahrzeugs

Aufgrund der globalen Erderwärmung und steigenden Energiekosten verstärkte sich die Konzentration diverser Forschungsprojekte in den letzten Jahren auf die Entwicklung von Elektrofahrzeugen. Die Vorteile eines Elektrofahrzeugs beschränken sich dabei nicht nur auf den

CO₂-Ausstoß. Auch aus Sicht der Bewegungsregelung hat ein Elektrofahrzeug wesentliche Vorteile:

- Sehr schnelle Reaktion auf Drehmomentanforderungen
- Exakte Bestimmung des generierten Drehmoments
- Kompakte, leichte Motoren sind in jedes Rad integrierbar, daher ist der Einzelradantrieb möglich





Japanisches Fujimoto Research Laboratory untersucht Algorithmen für die Bewegungsregelung von Elektrofahrzeugen

E-motion

Der Forschungsauftrag des Fujimoto Research Laboratorys

Das Fujimoto Research Laboratory in der japanischen Yokohama National University forscht im Bereich elektrischer Fahrzeuge und beschäftigt sich insbesondere mit den Methoden elektrischer Antriebstechnik. Das Labor arbeitet an Antrieben mit sogenannten In-Wheel-Motoren und betrachtet die Sicherheitsaspekte bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen auf rutschiger Fahrbahn. Dabei wird an Methoden zur Bewegungsrege-

lung geforscht, die das Giermoment zur Fahrzeugstabilisierung nutzen.

Entwicklungsziel: Das gierstabile Fahrzeug

Der Elektromotor entwickelt ab Drehzahl Null sofort sein maximales Drehmoment. Ungeregelte Drehmomentanforderungen können daher zum Abriss der Haftreibung führen, was bei extremen Kurvenfahrten zum Ausbrechen des Fahrzeugs führt. Um ein Ausbrechen im Ansatz zu erkennen, muss die Gierrate des

Fahrzeugs ermittelt werden. Die Gierrate bezeichnet die Winkelgeschwindigkeit der Drehung eines Fahrzeuges um die Hochachse. Ein gierstabile Fahrzeug nimmt im Idealfall erneut die Geradeausfahrt ohne Steuerhilfe auf, wenn es durch äußeren Einfluss vom Kurs abgebracht wurde.

Antrieb mit In-Wheel-Motor-Technologie

Im untersuchten Fall handelt es sich um ein Fahrzeug mit In-Wheel-Motor Technologie, das heißt konkret, dass

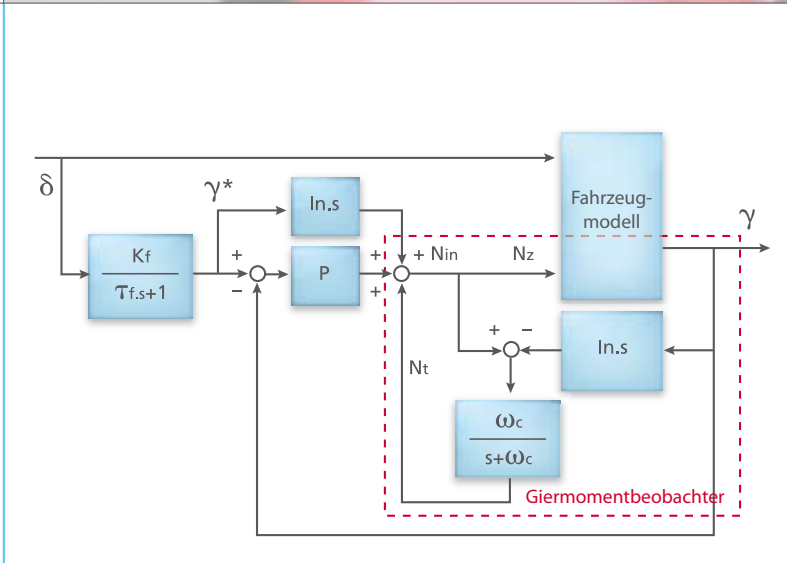


Abbildung 1: Blockdiagramm der Fahrzeugstabilisierungsregelung, basierend auf einem Gierratenbeobachter.

„Die dSPACE AutoBox ist ein sehr leicht zu handhabendes Regelsystem, da es eine hohe Schockfestigkeit hat und in Spannungsbereichen zwischen 8 und 60 V einsetzbar ist.“

Shinsuke Sato, Diplomand, Yokohama National University

in den einzelnen Rädern Elektromotoren verbaut sind und damit die Räder getrennt angetrieben werden können. Für diese besondere Antriebsform wurde eine neuartige Gierratenbeobachtung erforscht. Diese Antriebsform ermöglicht es, das Gierraten aus der Antriebskraftdifferenz zwischen rechtem und linkem Rad abzuleiten, um es als Sollgröße für die Stabilitätsregelung (direkte Gierratenregelung (Direct Yaw Control, DYC)) des Fahrzeugs zu verwenden. Die elektrischen Antriebe erfordern dedizierte Regelalgorithmen für eine komfortable und effiziente Bewegungsregelung.

Zweidimensionale Fahrzeugsteuerung

Um die Gierraten zu regeln, müssen die laterale Kraft und die Ist-Raddrehzahl bekannt sein. Da die laterale Kraft eine nicht lineare Variable ist, lässt sie sich schwer messen oder schätzen. Als Folge daraus können die Auswirkungen der lateralen Kraft als Störmoment bestimmt werden. Für Gierraten geregelte Fahr-

zeuge ergibt sich folgende Bewegungsgleichung:

$$I\dot{\gamma} = (2l_f Y_f - 2l_r Y_r) + N_z$$

Dabei ist $\dot{\gamma}$ die Gierrate, Y_f und Y_r die lateralen Kräfte und N_z das Gierratenmoment, das als Sollgröße für den Regler dient. Es wird von der Antriebskraftdifferenz zwischen den In-Wheel-Motoren des rechten und linken Vorderrads abgeleitet. Durch den Einsatz der vorgeschlagenen Regelmethode zur Auslegung eines Gierraten-

beobachters ist es möglich, eventuelle Störmomente zu unterdrücken und die Gierraten zu regeln. Simulationsergebnisse zeigen, dass das Fahrzeug ohne die Regelung bei extremer Kurvenfahrt beträchtlich ins Schleudern kommt (Abbildung 3) und instabiles Verhalten zeigt. Fahrzeuge mit Gierratenregelung sind dagegen stabil. Die Ergebnisse der Testdurchläufe zeigen auch, dass die Gierrate ohne die Regelung stark schwankt und das Fahrzeug instabil ist, sich mit der Regelung hingegen auf einem festen Wert einpendelt (Abbildung 2).

Anhand dieser Ergebnisse wird deutlich, dass die vorgeschlagene Regelmethode sehr effektiv auf rutschigen Fahrbahnoberflächen ist und die Fahrzeugsicherheit steigt.

Fahrversuch mit dSPACE AutoBox

Um die Regelalgorithmen im praktischen Fahrbetrieb zu testen, wurde das Testfahrzeug FPEV 2-Kanon mit einer dSPACE AutoBox ausgestattet, in der ein DS1103 Controller Board für die Berechnung der Algorithmen zuständig ist.

Ein mit MATLAB®/Simulink® modelliertes Regelsystem wurde auf die AutoBox geladen. Die elektrischen Motoren wurden über Umrichter von der AutoBox angetrieben. Die Winkelgeschwindigkeit, das Drehmoment, die Beschleunigung und die Gierrate stehen als analoge Signale zur Verfügung.

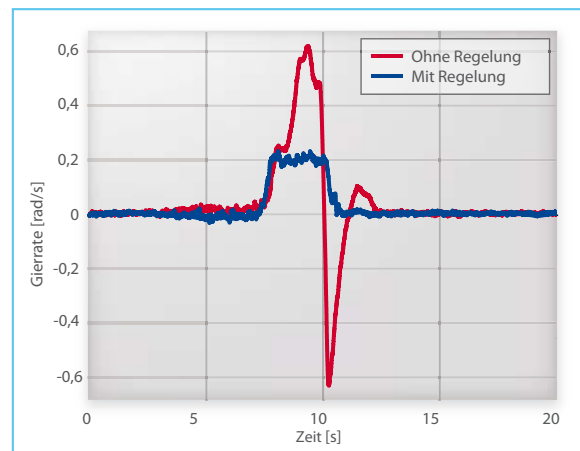
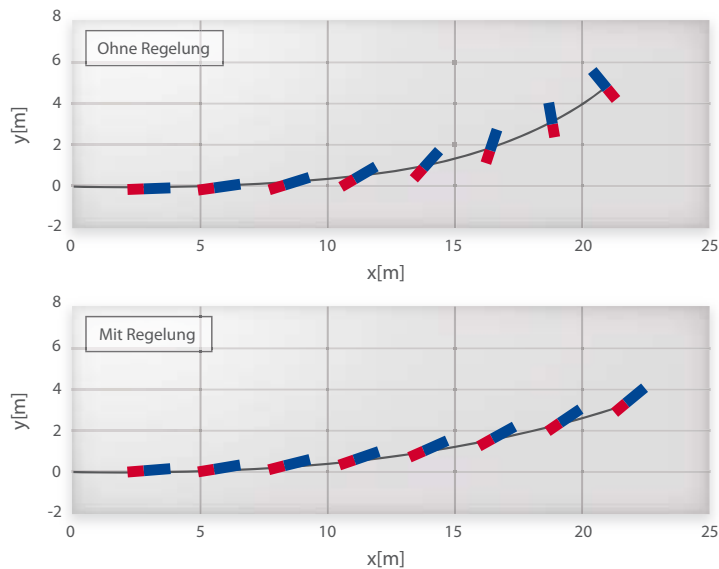


Abbildung 2: Testergebnisse der gemessenen Gierrate. Ohne Regelung schwankt die Gierrate stark (rot); mit Regelung pendelt sich die Gierrate auf einem festen Wert ein (blau).



Prof. Hiroshi Fujimoto im Entwicklungslabor.

Abbildung 3: Simulierte Fahrzeugtrajektorien eines Lenkmanövers auf einer rutschigen Oberfläche. Das Fahrzeug dreht sich um seine Gierachse (oben). Das Fahrzeug ist stabil und schlittert nicht (unten).

„Die zusammen mit unserem Entwicklungspartner durchgeführten Tests verliefen dank des eingesetzten dSPACE-Systems reibungslos. Auch bei sehr komfortablen Entwicklungswerkzeugen wie dem dSPACE-System bieten wir unseren Studenten Schulungen an, die sie in die Lage versetzen, Regelsysteme zu entwickeln.“

Prof. Hiroshi Fujimoto, Yokohama National University

Effektivität der dSPACE AutoBox

Um die Vorteile der schnell ansprechenden E-Motoren auszuschöpfen, müssen die Regelalgorithmen sehr schnell berechnet werden. Durch die kurze Abtastzeit des DS1103 Controller Boards und die niedrigen Latenzen während des I/O-Zugriffs ließen sich die Algorithmen in Echtzeit ausführen. Aufgrund der extrem schnellen Reaktionszeiten der Hardware verhielten sich die Algorithmen wie erwartet.

Fazit und Ausblick

Die Sicherheit eines Elektrofahrzeugs wird durch die entwickelten Regelmethode stark verbessert. Sie erlauben den Einsatz von Rädern mit niedrigem Reibungsverlust, ohne dabei Kompromisse in puncto Sicherheit einzugehen. Die im Fujimoto Research Laboratory entwickelten Methoden führen zu niedrigeren Stromkosten und längeren Fahrstrecken pro Batterieladung. Das Fujimoto Research Laboratory

ist derzeit aktiv an einer Forschungsgemeinschaft mit Automobilherstellern und Zulieferern beteiligt und wird weiterhin leistungsstarke, zuverlässige Bewegungsregelungen erforschen und unter Praxisbedingungen untersuchen. Ziel ist es, diese

Regelmethode dem freien Markt zugänglich zu machen. ■

Prof. Hiroshi Fujimoto
 Department of Electrical & Computer Engineering
 Yokohama National University
 Yokohama, Japan
<http://www.dnj.ynu.ac.jp/hflab/index.html>

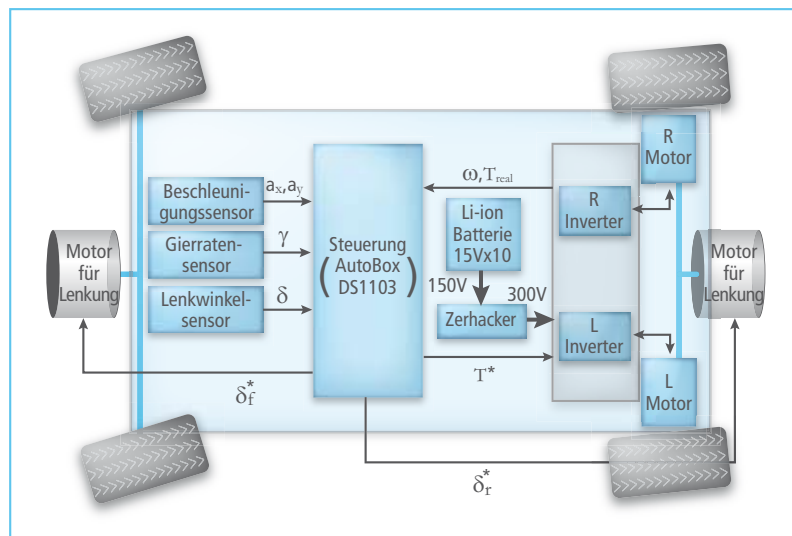


Abbildung 4: Konfiguration des Fahrzeugregelsystems.