



## Interdisziplinäres Teamprojekt

# Parameterschätzung und Entwurf einer Modellprädiktiven Regelung eines autonomen Modellfahrzeuges

von

Hannes Heinemann  
Matrikelnummer: 184102

André Pieper  
Matrikelnummer: 184960

20. Februar 2015

Betreuer:

M. Sc. Juan Pablo Zometa \*

M. Sc. Michael Maiworm \*

## Kurzdarstellung

In diesem Bericht werden Werkzeuge und Verfahren aufgezeigt, um ein autonomes Modellauto im Maßstab 1:10 einer Fahrspur folgen und eine voreingestellte Distanz fahren zu lassen. Diese Arbeit wurde unter der Berücksichtigung der Teilnahme an dem internationalen studentischen Wettbewerbs Carolo-Cup [2], ausgetragen von der Technischen Universität Braunschweig, entworfen. Das studentische Teamprojekt der OvGU, welches am Carolo-Cup teilnimmt, fährt unter dem Namen oTTocar, an dem Studenten verschiedenster Fachrichtungen mitwirken. Die Betreuung und Zusammenarbeit erfolgt dabei durch die Fakultäten für Informatik, für Elektrotechnik und Informationstechnik und für Maschinenbau. Die Vorbereitung dieser Arbeit ist maßgeblich an das Teamprojekt [5] von Viktoria Wiedmeyer und Andreas Himmel geknüpft, auf das sich das verwendete Modell hauptsächlich bezieht.

---

\*Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Elektro- und Informationstechnik, Institut für Automatisierungstechnik - IFAT, Lehrstuhl für Systemtheorie und Regelungstechnik, Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Parameterschätzung</b>	<b>3</b>
2.1	Messbare Parametern . . . . .	3
2.2	Bestimmung von Parametern mithilfe von Schätzverfahren . . . . .	4
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>A</b>	<b>Zeugs</b>	<b>5</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>6</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	
1	Parameter, welche direkt bestimmt werden können. . . . .	4
2	Ergebnisse der geschätzten Parameter. . . . .	5
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	
1	Messng der Relation PWM-Stufe Servo zu Einschlagswinkel Räder . . . . .	4

## 1 Einleitung

Im Zuge der „digitalen Revolution“ (Fußnote), die durch das mooresche Gesetz(Fußnote) beschrieben wird und durch die fortschreitende Miniaturisierung, können immer komplexere und vielseitigere Aufgaben von Kleinstrechnern bearbeitet werden. Diese ermöglichen es uns eine Logik und Kombinatorik in kleinen, mobilen Geräten aufzubauen, die Menschen in ihrem Verhalten ähnelt und sie im Alltäglichen Verwendung findet. Dies können wir wiederum nutzen, um unsere Aufgaben auf die Maschinen zu verteilen und den Menschen zu entlasten. Eine Aufgabe ist dabei das Führen eines Fahrzeuges ohne menschliche Eingabe. Das autonome Fahren ist hierbei keine Fiktion mehr, wie in Film wie iRobot (Fußnote), oder Demolition Man(Fußnote) suggeriert wird, sondern der Prozess ist schon soweit fortgeschritten, dass er in unserer Gesellschaft angekommen ist. Dafür spricht zum einen, dass schon die ersten autonome Fahrzeuge des „EUREKA-PROMETHEUS-Projekts“ (Fußnote) vor gut 20 Jahren weit mehr als 1758 Km auf öffentlichen Straßen zurück gelegt haben. Und zum anderen, dass in den USA und Europa erste autonome Fahrzeuge für den Straßenverkehr zugelassen(Fußnote-das mit Nevada und der A9) und neue Gesetze dafür entworfen werden(Fußnote-das mit Dobrindt). Somit stellt sich nur noch die Frage, wann der Straßenverkehr auf autonome Fahrzeuge umgestellt und wie es am Ende realisiert wird.

Vor diesem Hintergrund findet der Carolo-Cup in Braunschweig seit nun mehr acht Jahren statt, welcher studentische Teams aller Fachrichtungen und Universitäten in einem Wettbewerb gegeneinander antreten lässt, um das beste Konzept und die beste Umsetzung eines autonomen Fahrzeuges zu präsentieren. Die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg beteiligt sich ebenfalls an diesem Wettbewerb mit dem Projekt „oTToCAR“. Die einzelnen Disziplinen sind Einpark-, Spurverfolgungs- und Fahrspurwechselszenarien, wofür neben der Hardware- und Software-Entwicklung auch ein Regelungskonzept entwickelt werden muss. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einer modellbasierenden Regelung für alle Szenarien und das dafür benötigte Modell mit der nötigen Parameterschätzung. In einer vorangegangenen Arbeit [5] wurde bereits ein Modell entwickelt, deren Parameter jedoch aufgrund eines fehlenden realen Fahrzeuges nie bestimmt werden konnten. Die jetzige Arbeit ist zeitlich später einzuordnen, in der ein fertiger Prototyp bereits zur Verfügung stand und die Parameterschätzung vollendet werden konnte.

## 2 Parameterschätzung

Um die unbekannten Parameter eines Modells schätzen zu können, wird zunächst ein valides Modell und einen Experimentierstand benötigt. Das Modell wird dem Bericht oTToCAR [5, Seite 12] entnommen, welches dort auch schon auf seine grundlegende physikalische Korrektheit mit Simulationen überprüft wurde. Das gegebene Modell besitzt dabei zwei Arten von Parametern. Zum einen sind es direkt bestimmbare Parameter, zum anderen sind es Parameter die nur durch modellbasierte Schätzverfahren ermittelt werden können. Um die Simulation mit dem realen Fahrzeug in seinem Verhalten vergleichen zu können, werden dabei Messungen von allen Zuständen benötigt. Da diese Experimente jedoch nicht immer einfach zu realisieren sind und um den technischen Aufwand der Messungen so gering wie möglich zu halten, sollten die zu messenden Zustände beschränkt und so gewählt werden, dass:

- sie charakteristisch für das Verhalten sind
- durch sie andere Zustände bestimmt werden können
- die wichtigsten Regelgrößen auch direkt gemessen werden

### 2.1 Messbare Parametern

Die direkte Bestimmung von Parametern erfolgt weitgehend durch die Messung der selbigen, oder deren Berechnung durch weiteren messbaren Größen. Im Falle der Eingangsgröße  $u_1$ , dem Einschlagswinkel der Räder, musste zum Beispiel das Ansteuerungssignal des Servomotors in einen Winkel für die Räder umgerechnet werden. Das Ansteuerungssignal ist hierbei ein 256-stufiges PWM-Signal, welches in eine Winkelangabe umgerechnet werden muss. Für die Versuchsanordnung wurde das Fahrzeug zuerst so erhöht, dass die Räder nicht mehr auf dem Boden auflagen. Diese Vorgehensweise war nötig, da bei Kontakt der Räder mit dem Boden bei einem stehenden Fahrzeug der Haftwiderstand so hoch ist, dass sich eine kleinere Winkeländerung ergeben und die Messung verfälschen würde. Denn bei schneller Fahrt verringert sich dieser Widerstand auf nahezu

Null und kann vernachlässigt werden. Für die Messung wurde längs an das linke Vorderrad eine Verlängerung befestigt und für jede Servoeinstellung eine Winkelauslenkung gemessen und die Kalibrierung des Servomotors vorgenommen.

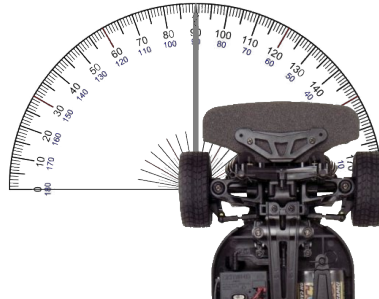


Abbildung 1: Messung der Relation PWM-Stufe Servo zu Einschlagswinkel Räder (aus [3] und [1])

Als Ergebnis dieses Experimentes kam heraus, dass die Erhöhung um eine PWM-Stufe des Servomotors konstant eine Drehung der Räder um  $0.0028 \text{ rad}$  entspricht. In der Tabelle ?? aufgeführten Größen wurden hingegen direkt am oTToCAR gemessen, bzw. das Trägheitsmoment aus einem CAD-Modell [4] berechnet.

Physikalische Größe	Exakter Wert	Einheit
Dichte der Luft	$\rho_L = 1,204$	$[\text{kg s}^{-1}]$
Erdbeschleunigung	$g = 9,806$	$[\text{m s}^{-2}]$
Masse	$m = 2,8$	$[\text{kg}]$
Radabstand	$l = 0,257$	$[\text{m}]$
Radius des Rades	$r = 0,0335$	$[\text{m}]$
Übersetzungsfaktor Drehzahl Motor $\rightarrow$ Räder	$\varepsilon = 5,52$	$[-]$

Tabelle 1: Parameter, welche direkt bestimmt werden können.

## 2.2 Bestimmung von Parametern mithilfe von Schätzverfahren

Die verbliebenen zu ermittelnden Parameter erfordern weit umfangreichere Messungen, wie zum Beispiel die Parameter für den Rollwiderstand und die Schräglauflübersetzung der Räder, die sich auch nicht direkt messen lassen. Für die Suche nach geeigneten Parametersätzen wird dabei ein Schätzverfahren benötigt, das anhand von anderen direkt messbaren Größen, die von den gesuchten Parametern abhängig sind, die zu bestimmenden Parameter indirekt ermitteln kann.

### 2.2.1 Aufbau der Experimente

Die wohl charakteristischsten Messgrößen des Fahrzeuges sind seine Position und Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsmessung ist vom Fahrzeug gegeben. Sie wird ähnlich realisiert, wie die an einem Fahrrad. Durch auf den Rädern befestigte Neodymmagneten wird ein Magnetfeld aufgebaut, das durch Hall-Sensoren gemessen werden kann. Das Magnetfeld am Hall-Sensor ändert sich, sobald die Räder anfangen zu rollen. Die Änderung des Magnetfeldes über die Zeit kann direkt in eine Geschwindigkeit umgerechnet werden. Eine Erhöhung der Anzahl von Magneten ermöglicht dabei eine beliebig hohe Auflösung der Geschwindigkeitsmessung.

## 2.2.2 Synchronisierung der Messdaten mit deren Messzeiten

## 2.2.3 Anwendung von Schätzverfahren

Die zur Schätzung benötigten Messwerte ...Die Benutzung von Schätzverfahren erfolgt mithilfe von zwei Optimierungsverfahren, inklusive einer für beide Verfahren einheitliche Kostenfunktion, zur redundanten Validierung eines gefundenen Satz von Parametern.

## 2.2.4 Ergebnisse

Durch die Anwendung der Schätzverfahren mussten einige der Annahmen aus [5] revidiert und teilweise neue getroffen werden. Zum Beispiel wurde die Annahme getroffen, dass die Schräglauflübersetzung  $C_\alpha$  von Vorder- und Hinterräder gleich ist. Jedoch ergaben sich bei einer Trennung der Schräglauflübersetzung von Vorder- und Hinterräder eindeutig bessere Ergebnisse. Zudem musste ein weiterer Parameter  $\eta_M$  eingeführt werden, um den Wirkungsgrad des Drehmomentes, welches vom Motor erzeugt auf die Räder geleitet wird, zu beschreiben. Somit ergaben sich folgende Parameter, die das Modell mit einer ausreichenden Genauigkeit beschreiben:

Physikalische Größe	Exakter Wert	Einheit
Kraftverteilung Vorder- zu Hinterrad	$\gamma = 0,5$	[-]
Reibungskoeffizient	$f_R = 1,857$	[-]
Schräglauflübersetzung hinten	$C_{h,\alpha} = 0,93$	[-]
Schräglauflübersetzung vorn	$C_{v,\alpha} = 1,1$	[-]
Wirkungsgrad Drehmoment Motor $\rightarrow$ Räder	$\eta_M = 0,55$	[-]
Zeitl. Verzögerung von $u_1$	$T_V = 0,1$	[s]

Tabelle 2: Ergebnisse der geschätzten Parameter.

## Literatur

- [1] Winkelmesser. [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Protractor\\_Rapporteur\\_Degree\\_V1.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Protractor_Rapporteur_Degree_V1.jpg). Version: Juni 2010
- [2] Carolo-Cup Regelwerk 2015. Version: Juni 2014. <https://wiki.ifr-ing.tu-bs.de/carolocup/system/files/Hauptwettbewerb2015.pdf>. – Homepage Carolo-Cup: [www.carolo-cup.de](http://www.carolo-cup.de)
- [3] Tamiya TT-01 Type-E (TT-01E) Chassis. <http://www.rcscrapyard.net/de/tamiya-tt-01-type-e.htm>. Version: Februar 2015
- [4] TIM ROSE, Marcus T.: Entwicklung einer Karosserie für das oTToCar. In: Studienarbeit (2014), November
- [5] VIKTORIA WIEDMEIER, Andreas H.: oTToCAR, Interdisziplinäres Teamprojekt. (2013), November

## A Zeugs

Anhang.

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich,

.....  
(Name, Vorname) (Matrikel-Nr.)

dass ich die vorliegende Projektarbeit mit dem Thema:

.....  
.....  
.....

selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe. Alle verwendeten Hilfsmittel und Quellen sind im Literaturverzeichnis vollständig aufgeführt und die aus den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift