

Technische Universität Berlin  
Institut für Land- und Seeverkehr  
Fachgebiet Kraftfahrzeuge  
Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller  
Andreas Hartmann, M. Sc.

Projektarbeit zur Vorlesung  
Fahrzeugregelung II

# Fahrzeugführungsregelung

Sommersemester 2019

In der Vorlesung Fahrzeugregelung II haben Sie verschiedene Teilsysteme eines modernen Fahrzeugs kennengelernt um Aufgaben in der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen zu bearbeiten. Als Fahrzeugentwickler arbeiten Sie bei der Zulieferfirma TUBCarDynamics, welche Fahrerassistenzsysteme entwickelt. Ein namhafter Fahrzeughersteller beauftragt Ihre Firma mit der Entwicklung einer Regelung zur automatisierten Fahrzeugquerführung. Die Geschäftsführung vergibt diesen Auftrag an Ihr Projektteam. Zusammen mit Ihrem Team sollen Sie innerhalb kurzer Zeit mit Hilfe einer Simulation in Matlab/Simulink nachweisen, dass Ihre Regelung diese Aufgabe erfüllt.

Hierzu soll ein Regelstreckenmodell in Matlab/Simulink implementiert, um einen Querregler erweitert und für unterschiedliche Fahrszenarien getestet werden.

## Organisation

**Bearbeitung:** Die Aufgabenstellung muss in der Ihnen zugeordneten Gruppe bearbeitet werden. Der Umfang der Aufgabenteile sollen auf die Gruppenmitglieder gleich verteilt werden. Als Software zum Reglerentwurf und der Systemsimulation soll Matlab/Simulink eingesetzt werden.

**Sprechstunde:** Zur Klärung auftretender Fragen finden am 18.06 und 25.06 zur üblichen Vorlesungs- und Übungszeit Rücksprachen mit dem Betreuer in Raum 346a statt. Abweichungen davon werden in ISIS vermerkt.

**Einreichung der Ergebnisse und Rücksprache:** Die Ergebnisse der Projektaufgabe müssen bis zum **02.07.2019 (10:00 Uhr)** in ISIS hochgeladen werden. Laden Sie pro Gruppe eine \*.zip-Datei hoch, welche die Dokumentation Ihrer Ergebnisse (PDF) sowie das fertige Simulationsmodell inklusive Parameterdateien beinhaltet. Der Dateiname soll dabei der folgenden Form entsprechen: X\_FARE2\_SS19.zip wobei X für die Gruppennummer steht. Die Vorlagen wurden mit MATLAB **R2015b** erstellt. Sollten Sie eine neuere Version nutzen, speichern Sie bitte das abzugebende Simulationsmodell als \*.slx (**R2015b**) ab (File/Export Model to/Previous Version...). Die mündlichen Rücksprachen zu den Projektergebnissen finden am 09.07 statt. Die Uhrzeiten werden in ISIS rechtzeitig bekanntgegeben.

**Bewertung:** Die Bewertung setzt sich aus der Lösung der Projektaufgabe und der Rücksprache zusammen. Das Bestehen der Projektaufgabe ist die Voraussetzung für die Teilnahme an der mündlichen Prüfung.

**Vorlagen:** Alle nötigen Fahrzeug- und Umweltparameter werden Ihnen in ISIS als Matlab m-file zur Verfügung gestellt. Diese sollten nicht verändert werden, da die Auswertung Ihrer Ergebnisse anhand dieser Parameter stattfindet. Als weitere Vorlage erhalten Sie ein Simulink Modell, welches eine vorgegebene Grundstruktur der physikalischen Systeme enthält. Da alle Aufgaben aufeinander aufbauen, empfiehlt es

sich, diese Grundstruktur nicht zu verändern. Machen Sie sich vor Beginn der Bearbeitung mit der Struktur des Modells vertraut. Verwenden Sie eindeutige Parameter- und Signalnamen, um eine eventuelle Fehlersuche zu erleichtern.

Weitere Informationen zum Modell, dessen Nutzung sowie eine Tabelle der Formelzeichen finden Sie im Anhang.

## Modellierung

In Abbildung 2 ist die Gesamtstruktur des Regelkreises abgebildet. Der Block *Manöver* berechnet auf Grundlage der aktuellen Fahrzeugposition sowie dem zuvor definierten Manöver die für die Querregelung des Fahrzeuges notwendigen Größen. Diese sollten Ihnen aus dem Vorlesungsteil Fahrzeugführungsregelung bekannt sein. Verändern Sie den Block *Manöver* nach Möglichkeit nicht.

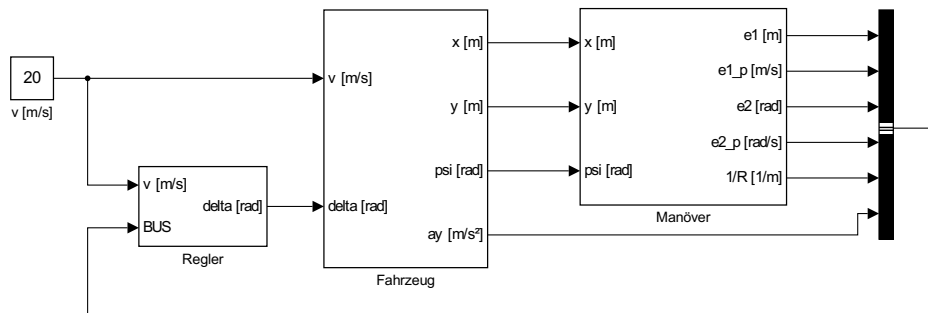


Abbildung 2: Querdynamischer Regelkreis

**Aufgabe 1:** Implementieren Sie die Gleichungen 1 bis 9 des nichtlinearen Einspurmodells in das Subsystem *Fahrzeug*. Verwenden Sie dazu die in Abbildung 3 dargestellte Struktur.

$$mv(\dot{\psi} + \dot{\beta})\cos\beta = \cos\delta F_{sv} + F_{sh} \quad (1)$$

$$T_z\ddot{\psi} = F_{sv}l_v\cos\delta - F_{sh}l_h \quad (2)$$

$$F_{sv} = D_v\sin[Catan(B_v\alpha_v - E(B_v\alpha_v - atan(B_v\alpha_v)))] \quad (3)$$

$$F_{sh} = D_h\sin[Catan(B_h\alpha_h - E(B_h\alpha_h - atan(B_h\alpha_h)))] \quad (4)$$

$$\alpha_v = \delta - \beta - l_v\frac{\dot{\psi}}{v} \quad (5)$$

$$\alpha_h = -\beta + l_h\frac{\dot{\psi}}{v} \quad (6)$$

$$a_y = v(\dot{\psi} + \dot{\beta}) \cos \beta \quad (7)$$

Berechnung der xy-Koordinaten des Fahrzeuges:

$$x = \int v(\cos(\beta + \psi)) dt \quad (8)$$

$$y = \int v(\sin(\beta + \psi)) dt \quad (9)$$

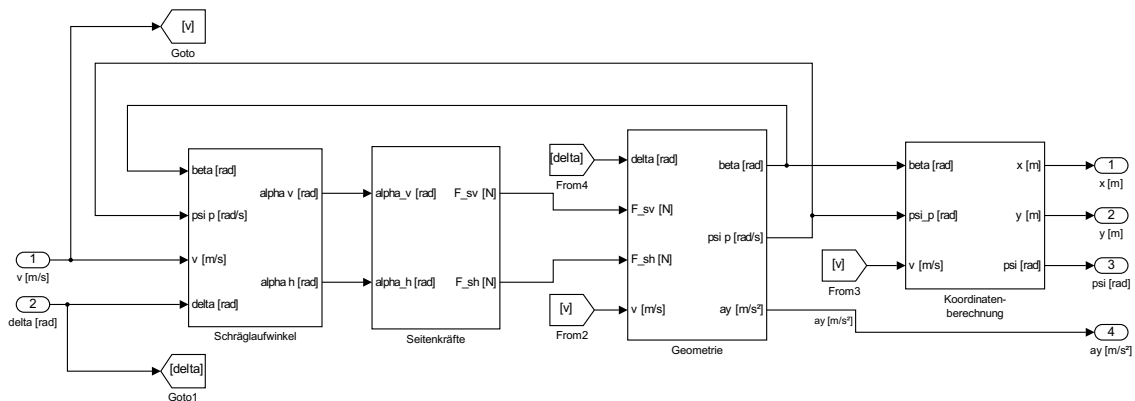


Abbildung 3: Fahrzeug

**Aufgabe 2:** Zur Plausibilisierung des Fahrzeugmodells soll der Eigenlenkgradient simulativ bestimmt werden. Verwenden Sie dafür eine Kreisfahrt mit konstanter Geschwindigkeit von  $v = 20 \text{ m/s}$  und veränderlichem Radius durch Variation des Radlenkwinkels. Plotten Sie die Funktionen  $\delta(a_y)$  und  $\delta_A(a_y)$  und beachten Sie die Beziehung:

$$EG = \frac{d\delta}{da_y} - \frac{d\delta_A}{da_y} \quad (10)$$

Liegt der Eigenlenkgradient in einem plausiblen Bereich und wenn ja, warum?

## Reglerentwurf

Nach der Modellierung des Fahrzeuges beschließt Ihr Team entsprechend der Vorlesungsunterlagen Fahrzeugregelung II einen Zustandsregler zur autonomen Querführung des Fahrzeuges zu entwickeln. Vom Auftraggeber erhalten sie die in Abbildung 4 dargestellten Manöver, anhand derer Sie die Funktionsfähigkeit Ihres Reglers nachweisen sollen.

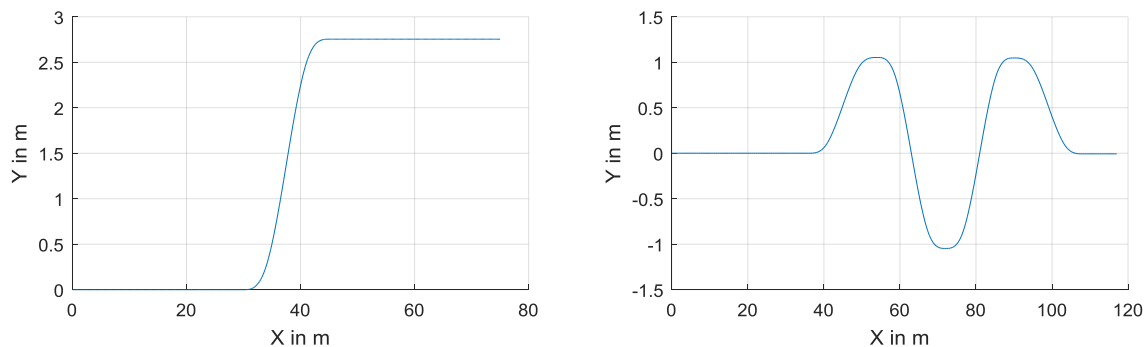


Abbildung 4: Spurwechsel und Slalom Manöver

**Aufgabe 1:** Stellen Sie die lineare Zustandsraumdarstellung (Zustände  $\mathbf{x} = (e_1, \dot{e}_1, e_2, \dot{e}_2)$ ) der Regelstrecke auf und analysieren Sie das Systemverhalten anhand der Eigenwerte in einem Geschwindigkeitsbereich von  $5 \text{ m/s}$  bis  $20 \text{ m/s}$ . Verwenden Sie für die linearisierten Schräglaufsteifigkeiten die im Parameterfile angegebenen Werte.

**Aufgabe 2:** Der Regelkreis soll durch die Rückführung der Zustände mit dem Regelgesetz  $\delta = -Kx$  geschlossen werden. Platzieren Sie dazu die Eigenwerte des geschlossenen Regelkreises mithilfe des Befehls `place` in einen geeigneten Bereich der linken komplexen Halbebene und analysieren Sie das Führungsverhalten des Regelkreises für die gegebenen Manöver bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von  $20 \text{ m/s}$ . Platzieren Sie die Pole so, dass starkes Überschwingen beim Einregelvorgang vermieden wird und Stellgrößen von maximal  $\delta_{\max} = 40^\circ$  auftreten.

**Aufgabe 3:** Berechnen Sie den stationären Fehler der Querabweichung ( $e_{1,ss}$ ) bei einer Geschwindigkeit von  $20 \text{ m/s}$  und einem Radius von  $100 \text{ m}$ . Durch welche Maßnahme kann der stationäre Fehler auf 0 minimiert werden? Ergänzen Sie den Regler um die entsprechende Maßnahme und vergleichen Sie die Simulationsergebnisse mit denen aus Aufgabenteil 2.

**Aufgabe 4:** Der Regler soll so angepasst werden, dass das Slalom Manöver aus Abbildung 4 auch mit variabler Geschwindigkeit ( $10 \text{ m/s} - 20 \text{ m/s}$ ) durchfahren werden kann. Berechnen Sie dazu analog zu Aufgabe 2 die Rückführmatrix  $K(10)$  für  $v = 10 \text{ m/s}$  und implementieren Sie eine geschwindigkeitsabhängige Adaptierung  $K(v)$  entsprechend folgender linearer Beziehung:

$$K(v) = \frac{K(20) - K(10)}{10}(v - 10) + K(10) \quad (11)$$

Erhöhen Sie die Geschwindigkeit während des Slalom Manövers mithilfe eines Signal Builder Blocks von  $v = 10 \text{ m/s}$  bis  $v = 20 \text{ m/s}$ . Vergleichen Sie die Simulationsergebnisse für die Fälle das die Reglerparametrierung konstant ist und entsprechend Formel 11 mit der Geschwindigkeit verändert wird.

## Anhang

**OpenCRG:** Um die Simulation zu starten, muss der Ordner OpenCRG.1.0.6.zip entpackt und der Pfad ... \OpenCRG.1.0.6 \matlab \lib dem Suchpfad hinzugefügt werden. Das Skript `init.m` enthält dazu einen entsprechenden Eintrag der angepasst werden muss. Matlab/Simulink stehen dadurch Funktionen zur Verfügung, mit dessen Hilfe Manöver definiert, visualisiert und für Regelungszwecke charakteristische Größen (Querabweichung, Kurswinkelfehler...) berechnet werden können.

Für Ihre Simulationen stehen Ihnen die vordefinierten Manöver (Spurwechsel und Slalom) als \*.crg Datei zur Verfügung. Diese werden mittels dem Befehl `crg_read` eingelesen und anschließend mittels `crg_show_refline_map` visualisiert. Die eingelesene data Struktur wird im Matlab/Simulink Modell genutzt, um alle für die Trajektorienfolgeerregung erforderlichen Größen zu berechnen.

Nach dem Ende jeder Simulation wird der gefahrene Pfad mittels `StopFcn` geplottet. Löschen sie deshalb die im Modell enthaltenen beiden Scope Blöcke, welche die Positionen abgreifen, nach Möglichkeit nicht.

Tabelle 1: Parametertabelle

Parametername	Bezeichnung
$m$	Fahrzeugmasse
$\beta$	Schwimmwinkel
$\psi$	Gierwinkel
$F_{sv}$	Radseitenkraft vorne
$F_{sh}$	Radseitenkraft hinten
$\delta$	Radlenkwinkel (Vorderachse)
$\delta_A$	Ackermannlenkwinkel
$T_z$	Trägheitsmoment um z-Achse des Schwerpunkt
$L$	Radstand
$l_v$	Abstand VA zu Schwerpunkt
$l_h$	Abstand HA zu Schwerpunkt
$\alpha_h$	Schräglaufwinkel hinten
$\alpha_v$	Schräglaufwinkel vorne
$a_y$	Querbeschleunigung
$R$	Krümmungsradius
$A - D$	Parameter Magic Formula
$e_1$	Querabweichung zwischen Fahrzeugschwerpunkt und Sollpfad
$e_2$	Gierwinkelfehler zwischen Fahrzeug und Sollpfad