

# **Praktiukumsarbeit zum Praktikum Regelungstechnik**

Christian Küllmer, Jonas Kallweidt, Leon Blum

August 1, 2019, Kassel

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Rechnerteil Aufgaben aus Kapitel 9.3. des Praktikumsskripts</b>	<b>3</b>
1.1	Wichtiger Hinweis: . . . . .	3
1.2	Aufgabe a) Gebautes Simulink Modell . . . . .	3
1.3	Aufgabe b) . . . . .	4
1.4	Aufgabe c) . . . . .	5
1.5	Aufgabe d) . . . . .	5
1.6	Aufgabe e) . . . . .	6
1.7	Aufgabe f) . . . . .	7
1.8	Aufgabe g) . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Versuch Antrieb</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Versuch Schwebekörper</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Versuch Kran</b>	<b>9</b>
4.1	Vorbereitungsaufgaben . . . . .	9
4.2	Regelung der Wagenposition $y_w$ . . . . .	9
4.3	Zusätzliche regelung des Winkels $\alpha$ . . . . .	9
4.4	Digitale PD-Regelung von $y_w$ und $\alpha$ . . . . .	9
4.5	Regelung mit zusätzlicher Stellgrößenbeschränkung . . . . .	9
4.5.1	Einfluss der Abtastzeit . . . . .	9
4.6	Regelung der x- und y- Achse . . . . .	11

# 1 Rechnerteil Aufgaben aus Kapitel 9.3. des Praktikumsskrips

In diesem Anteil geht es um die in Aufgabe 9.3a. Dieser bezeichnet das Aufstellen der Gleichungen aus den gegebenen Gleichungen. Die Gleichungen sind gegen als Blockschaltbild gegeben. Diese werden jetzt übersetzt in Mathlab Simulink.

## 1.1 Wichtiger Hinweis:

Für alle in diesem Bereich folgenden Auswertungen gibt folgende Farbkonvention

- Die rote Kurve entspricht dem Winkel  $\varphi$
- Die blaue Kurve entspricht dann der Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\varphi}$
- Die grüne Kurve entspricht der Winkelbeschleunigung  $\ddot{\varphi}$

## 1.2 Aufgabe a) Gebautes Simulink Modell

Teil/SimulinkModell.jpeg

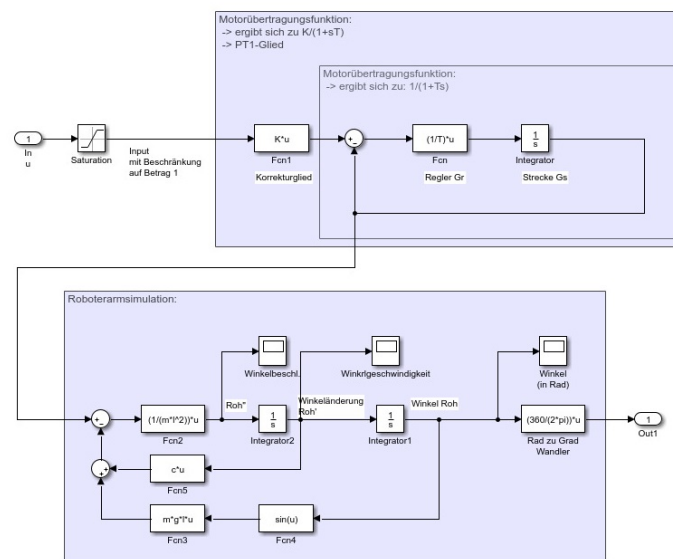


Figure 1: In Simulink gebautes Modell des Systems des Roboterarms

### 1.3 Aufgabe b)

Das System wird simuliert und die Zustandsgrößen werden über einen Zeitverlauf dargestellt. Dabei entstehen folgende Diagramme:

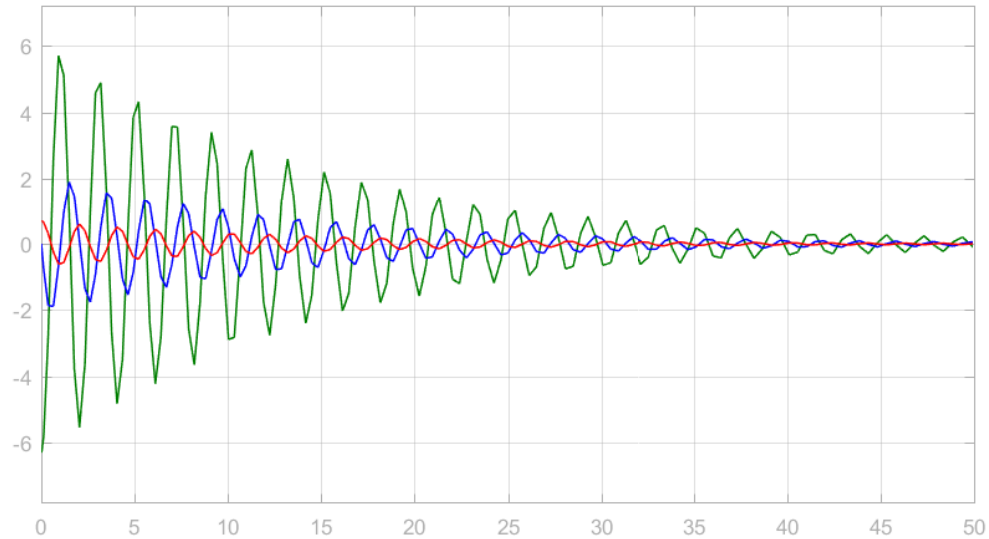


Figure 2: Darstellung des Winkels für eine anfängliche Auslenkung von 40 Grad.

Aus dem Diagramm Figure 4 geht hervor, dass das System ein stabiles System darstellt, solange keine Stellgröße eingeprägt wird und dabei für gewöhnlich eine Ruhelage bei  $0^\circ$  annehmen kann, wenn vorher keine Auslenkung vorgenommen wurde. Hier geht die Auslenkung auf keinen stationären Endwert, da die Exponentialfunktion zur Beschreibung der Dämpfung niemals null wird. In einem Realen System wird hier aber wahrscheinlich ein Stillstand nach beliebig langer Wartezeit eintreten, wenn der Roboterarm die Haftreibung nicht mehr Überwinden kann und die Bewegung im Aperiodischen Grenzfall endet.

### 1.4 Aufgabe c)

Es soll eine Simulation angezeigt werden, die die Startwerte

$$\varphi(0) = 0 \quad (1)$$

$$\dot{\varphi}(0) = 0 \quad (2)$$

$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 1 \\ 0.17 & \text{für } t \geq 1 \end{cases} \quad (3)$$

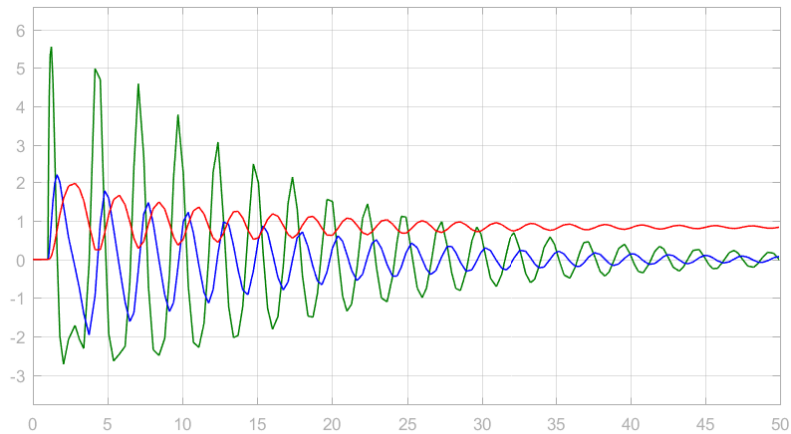


Figure 3: Darstellung des Winkels für eine anfängliche Auslenkung von 40 Grad.

Das System befindet sich zunächst in Ruhelage zum Zeitpunkt  $t=1$  wird ein Drehmoment vom Motor aufgebaut, das den Roboterarm nach Durchlaufen eines Einschwingvorgangs um die neue Ruhelage in eben diese auslenkt. Diese neue Ruhelage hängt von dem Eingangsdrehmoment ab. Der Einschwingvorgang hat dabei ein gleiches Verhalten, wie der Einschwingvorgang von Aufgabe 9.3.b).

### 1.5 Aufgabe d)

$$\varphi(0) = 0 \quad (4)$$

$$\dot{\varphi}(0) = 0 \quad (5)$$

$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 1 \\ 0.18 & \text{für } t \geq 1 \end{cases} \quad (6)$$

Teil/Aufgabe9c.png

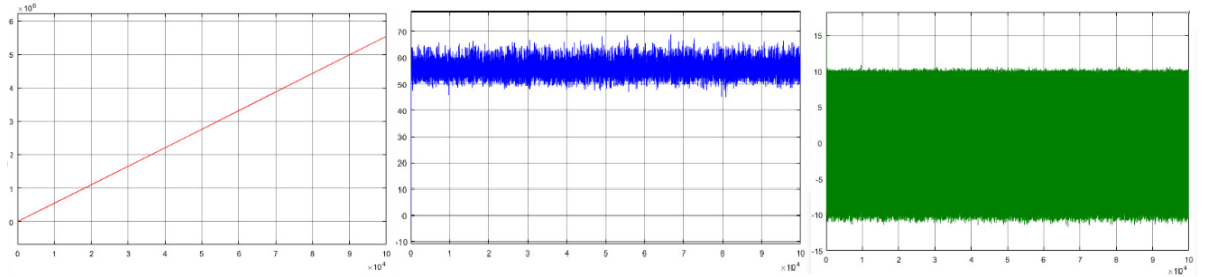


Figure 4: Darstellung des Winkels für eine anfängliche Auslenkung von 40 Grad.

Anders als im Versuch 9.3c befindet sich der Roboterarm nun zum Zeitpunkt  $t = 0$  nicht mehr in der Ruhelage bei einem Winkel von  $0^\circ$ , sondern in einem Winkel von  $40^\circ$ . Dies hat zur Folge, dass der Arm zunächst in der Zeit bis  $t = 1\text{s}$  sowie in der darauffolgenden Sättigungszeit des PT1-Gliedes, das den Motor beschreibt, zurückschwingen kann. Sobald das Drehmoment des Motors aufgebaut ist legt der Roboterarm an Geschwindigkeit zu und überschreitet dabei sogar die kritische  $180^\circ$  Marke, ab der der Arm nicht mehr zurückschwingt, sondern einen Überschlag vollführt und weiter an Geschwindigkeit gewinnt. Da es sich bei dem betrachteten Roboterarm um ein gedämpftes Modell handelt, geht die Geschwindigkeit in eine Sättigung über, bis diese um einen konstanten Wert fluktuiert.

## 1.6 Aufgabe e)

Um zu überprüfen, ob der Motor bei einem Arm bei einem Eingangssignal von einer Ruhelage bei  $40^\circ$  zur Einstellung bringt. Wird dies in Mathlab mit folgendem Eingangssignal geprüft:

$$u_0 = \frac{m * g * l * \sin(\varphi(0))}{300} = 0,1471 \quad (7)$$

Dies entspricht einem Drehmoment von 44,1402 Nm. Dieses Drehmoment wird im Modell als Konstante Eingangsgröße eingegeben. Der resultierende Winkel wird dann in Grad angegeben und sollte entsprechend der Erwartung einen Winkel von  $40^\circ$  entsprechen.

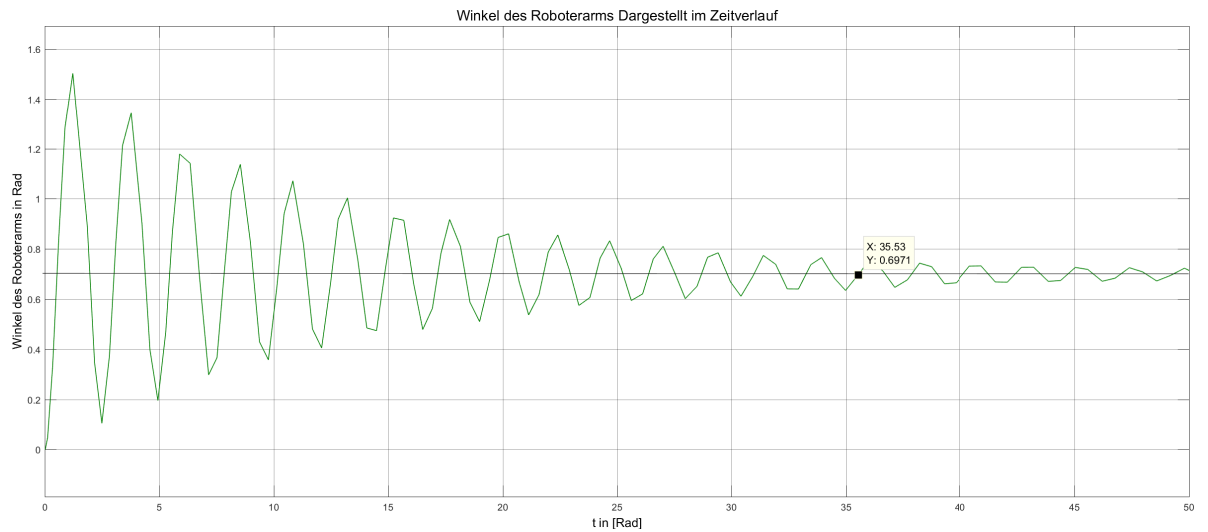


Figure 5: Darstellung des Winkelgraphen bei einem gegebenen Drehmoment

An dem Diagramm ist explizit zu sehen, dass es sich bei der Auslenkung durch das Drehmoment  $u_0$  einstellt. Diese Auslenkung entspricht im Mittel einem Wert von 0,6971 Rad. Daraus ergibt sich eine neue Auslenkung von  $40^\circ$ . Damit wird die Angabe aus dem Aufgabenscript bestätigt.

### 1.7 Aufgabe f)

Bei der Linearisierung durch Softwarenutzung von Matlab ergibt folgendes Ergebnis im Bogenmaß:

$$G_s = \frac{428.6}{(s^3 + 10.14 * s^2 + 8.944 * s + 75.15)} \quad (8)$$

Die Abweichung in der dritten Nachkommastelle des Zählers lässt sich dabei auf ein veränderten Rundungsalgorithmus im Programm verweisen. Die Ergebnisse stimmen also überein wodurch  $G_s$  von nun an unsere Funktion der Strecke beschreibt.

### 1.8 Aufgabe g)

Um einen Regler zu finden, der die Stabilitätskriterien einhält stellen wir zunächst die originale Wurzelortskurve dar.

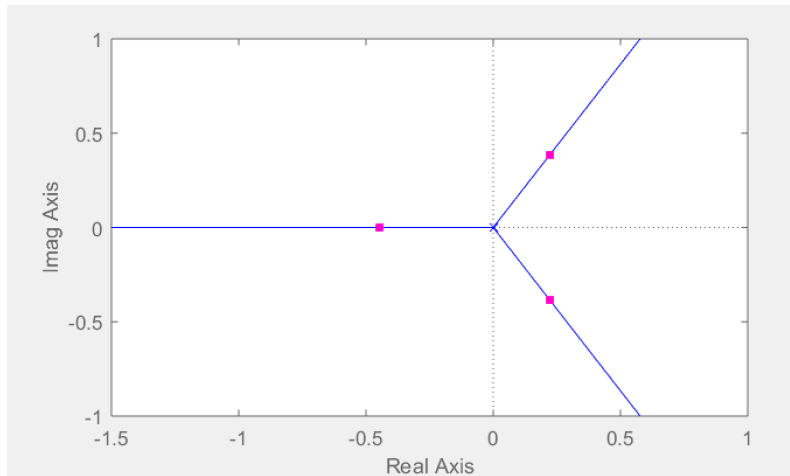


Figure 6: Wurzelortskurve des Systems  $G_s$

In der Wurzelortskurve kann man direkt sehen, dass zwei Nullstellen in Richtung der zwei Nullstellen im positiven Bereich einen guten Regler darstellen würden. Diese müssen dabei nicht die die Polstellen kompensieren, sondern lediglich im Imaginären Anteil des Wurzel Ortskurve liegen um dort den die Zerphilien Anteile der Wurzelortskurve anzuziehen. Es entsteht folgende Ausgabe.

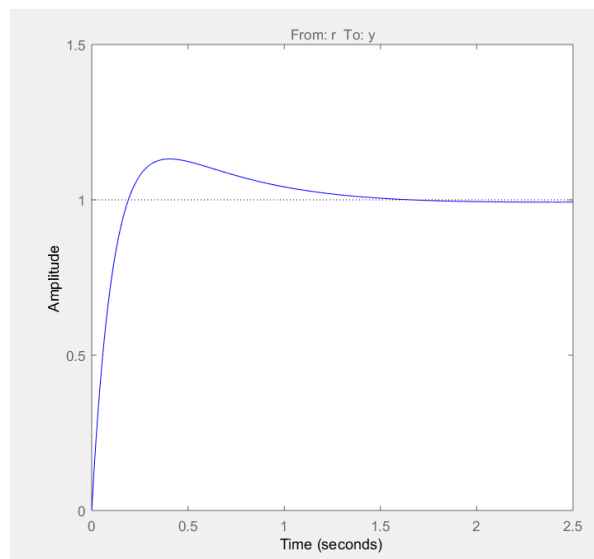


Figure 7: Anzeige des Ausgangswertes



Die sich damit realisierende Ausgabe wurde von dieser Wurzelortskurve erzeugt.

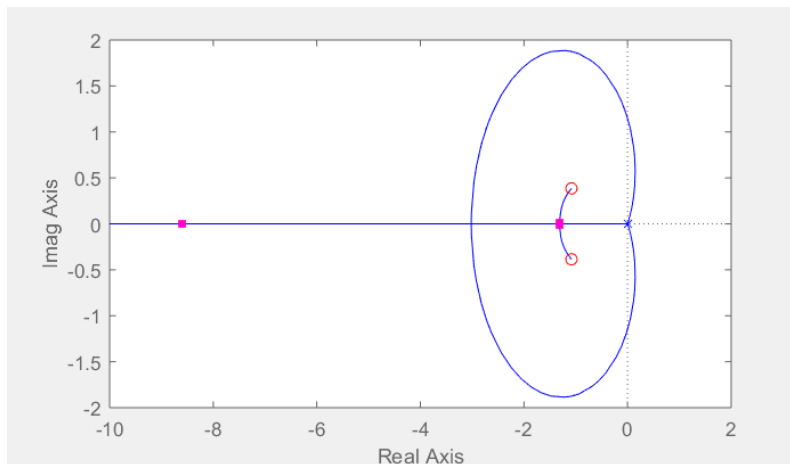


Figure 8: Wurzelortskurve des Systems  $G_s$  mit der Anpassung zweier Nullstellen

## 2 Versuch Antrieb

## 3 Versuch Schwebekörper

## 4 Versuch Kran

### 4.1 Vorbereitungsaufgaben

### 4.2 Regelung der Wagenposition $y_w$

### 4.3 Zusätzliche regelung des Winkels $\alpha$

### 4.4 Digitale PD-Regelung von $y_w$ und $\alpha$

### 4.5 Regelung mit zusätzlicher Stellgrößenbeschränkung

#### 4.5.1 Einfluss der Abtastzeit

In diesem Versuch wird der Einfluss der Abtastzeit auf das Ergebnis der Regelung genommen. Da wir die Regelfunktion des PD-Regler diskretisiert haben und danach sich das Ergebnis im  $k$  Bereich befindet, muss dieses Ergebnis dann noch in die

Bildebene Z gebracht werden.

$$G_R(s) = K_P + K_D s = K_P * s + K_D * \Delta(1 + s * T_D) \quad (9)$$

$$y_k = K_P * k + \frac{K_D}{T_D} * (k - 1) \quad (10)$$

$$G_R(z) = K_P * z + \frac{K_D}{T_D * T} * \frac{z - 1}{z} \quad (11)$$

Was dabei einkalkuliert wurde, ist, dass T direkt die Abtastzeit des Reglers Berücksichtigt und daraus sich der Regelkreis beeinflussen lässt.

1. Die Abtastzeit wird auf  $t =$  festgelegt.

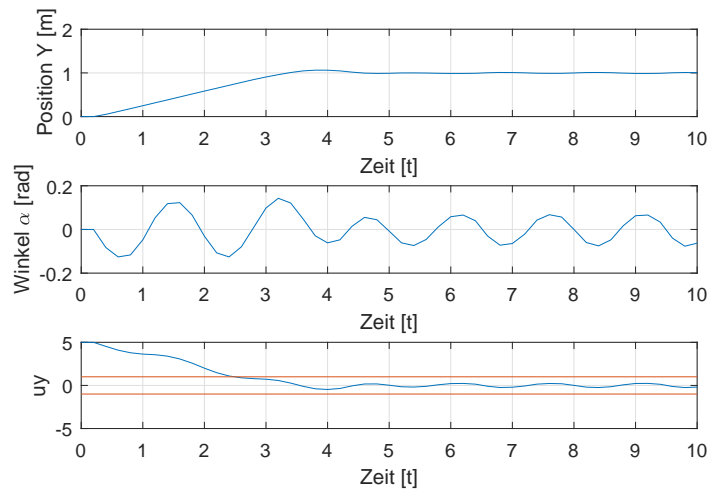


Figure 9: Verlauf des Experimentes mit einer Abtastzeit von 1ms

Beobachtung: Bei der Abtastzeit im oberen Grenzbereich schaukelt sich die eigentliche Grundbewegung auf und die Pendelbewegung wird eher verstärkt als gedämpft. Das sorgt für eine stärkere Pendelbewegung als die unregelte Bewegung.

2. Die Abtastzeit wird auf  $t = 1$  ms festgelegt.

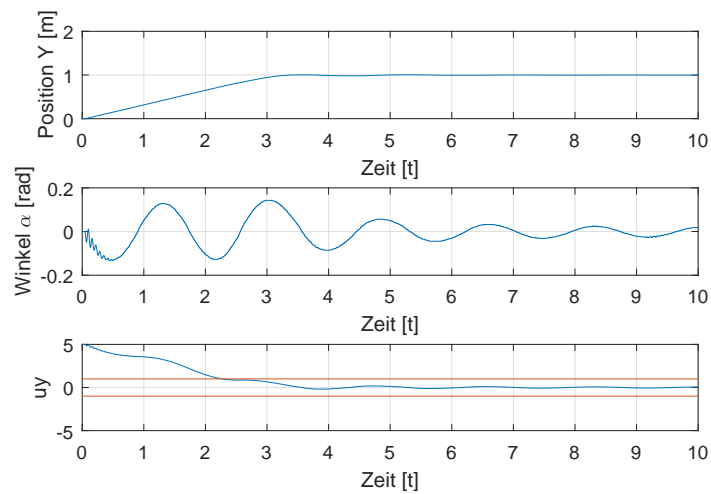


Figure 10: Verlauf des Experimentes mit einer Abtastzeit von 1ms

Beobachtung: Bei dieser kleineren Abtastzeit arbeitet der Regler so, dass das Schwingen des Seils stark vermieden wird. Es sorgt dafür, dass die Auslenkung des Seils verringert wird.

Fazit: Das Fazit, was aus diesem Versuch gezogen werden muss ist, dass die diskretisierung einer Messung und die diskretisierung eines Reglers in ausreichender Genauigkeit vorgenommen werden muss.

## 4.6 Regelung der x- und y- Achse