

EREIGNISDISKRETE SYSTEME

## Praktikum Blatt 2 - Simulink

*Jan Kristel, Alexandra Moritz*

Aufsicht von Frau Rembold

17. Mai 2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
1.1	Welcher Übertragungstyp? . . . . .	2
	a) . . . . .	2
	b) . . . . .	2
	c) . . . . .	2
	d) . . . . .	2
1.2	Relevante Parameter . . . . .	2
	a) . . . . .	2
	b) . . . . .	2
	c) . . . . .	2
	d) . . . . .	3
1.3	Überprüfung durch Simulink . . . . .	4
	a) . . . . .	4
	b) . . . . .	4
	c) . . . . .	5
	d) . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Optimierung eines einfachen Regelkreises</b>	<b>6</b>
2.1	Übertragungsverhalten . . . . .	6
2.2	1.Näherung . . . . .	6
	a) Lageregelkreis in Simulink . . . . .	6
	b) Optimierung des Regelkreises - durch ausprobieren . . . .	7
	c) $K_{P,opt}$ . . . . .	11
2.3	Lageregelkreis als $PT_2$ -Glieder . . . . .	12
	a) Simulink . . . . .	12
	b) $K_P$ ermitteln durch probieren . . . . .	12
	c) . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Optimierung nach Zielger/Nichols</b>	<b>20</b>
3.1	. . . . .	20
3.2	Ziegler-Nichols-Einstellkriterium . . . . .	20
3.3	Blockschaltbild . . . . .	21
3.4	Unterschiede zwischen den Übertragungsfunktionen . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Regelverhalten von P-, I- und PID-Reglern</b>	<b>27</b>
4.1	P-Regler . . . . .	27
4.2	I-Regler . . . . .	28
4.3	PID-Regler . . . . .	29
4.4	Störübertragungsfunktionen . . . . .	30

# 1 Grundlagen

## 1.1 Welcher Übertragungstyp?

a)

$$h_1(t) = \frac{\frac{1}{4}}{s}$$

Es handelt sich um die Sprungfunktion eines I-Glied

b)

$$h_2(t) = \frac{s}{s+1}$$

Die Sprungfunktion ist von einem  $DT_1$ -Glieder.

c)

$$h_3(t) = \frac{2}{0,95s^2 + 0,19s + 1}$$

Das Bild zeigt die Sprungfunktion eines  $PT_2$ -Glieder an.

d)

$$h_4(t) = \frac{1}{s+1}$$

Hierbei sieht man den Graphen der Sprungfunktion eines verzögerten  $PT_1$ -Glieder.

## 1.2 Relevante Parameter

a)

- $K_I = \frac{1}{4} \rightarrow$  dient der Steigung. Dies lässt sich aus dem Bild/Graph ablesen.

b)

- $K_D = \frac{1}{1} = 1$ . Dies sorgt für ein bestehendes  $s$  im Zähler.
- $T_1 = 1$ , was für ein vorhandenes  $s$  im Nenner sorgt.

c)

- $K_P = 2$ , durch ablesen bestimmt.
- $T_2$  und  $T_1$  müssen berechnet werden:

$$\vartheta = \ln\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}\right) = \ln\left(\frac{1,5}{1}\right) = 0,3$$

→  $\Delta_1$  und  $\Delta_2$  sind die ersten beiden Schwingungen der Sprungfunktion, nachdem diese den  $K_P = 2$  gekreuzt haben.

$$d = \frac{\vartheta}{\sqrt{\pi^2 + \vartheta^2}} = \frac{0,3}{\sqrt{\pi^2 + 2}} = 0,098$$

$$\omega_e = \frac{2 \cdot \pi}{T_e} = \frac{2 \cdot \pi}{6} = 1,047$$

→  $T_e$  lässt sich aus dem Graphen abschätzen. Das ist die Dauer für die ersten vollständige Schwingung nachdem  $K_P$  erreicht wurde.

$$\omega_0 = \frac{\omega_e}{\sqrt{1 - d^2}} = \frac{1,047}{\sqrt{1 - 0,098^2}} = 1,052$$

$$T_2 = \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{1,052} = 0,95$$

$$T_1 = 2 \cdot d \cdot T_2 = 2 \cdot 0,098 \cdot 0,95 = 0,19$$

d)

- $K_P = \frac{1}{1} = 1$  Dies lässt sich wieder aus dem Graph ablesen.
- $T_1 = 1$
- $t = 1 \rightarrow$  die Verzögerung  $t$  lässt sich ablesen und in Simulink durch ein extra Verzögerungsglied einstellen.

### 1.3 Überprüfung durch Simulink

a)

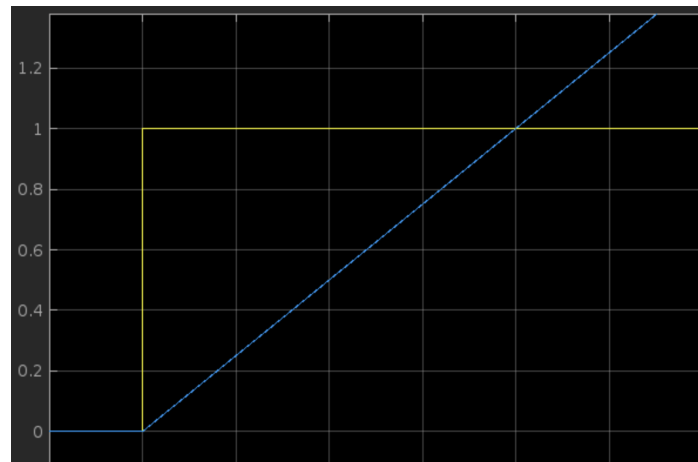


Abbildung 1: Graph einer Sprungfunktion eines I-Glieds.

b)

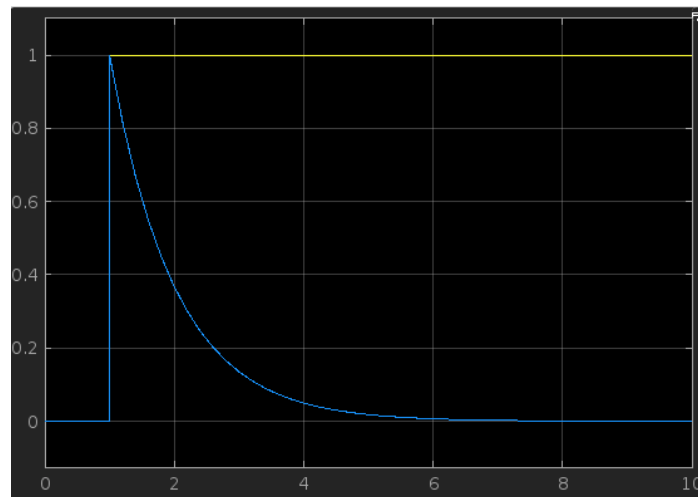


Abbildung 2: Graph einer Sprungfunktion eines  $DT_1$ -Glieds.

c)

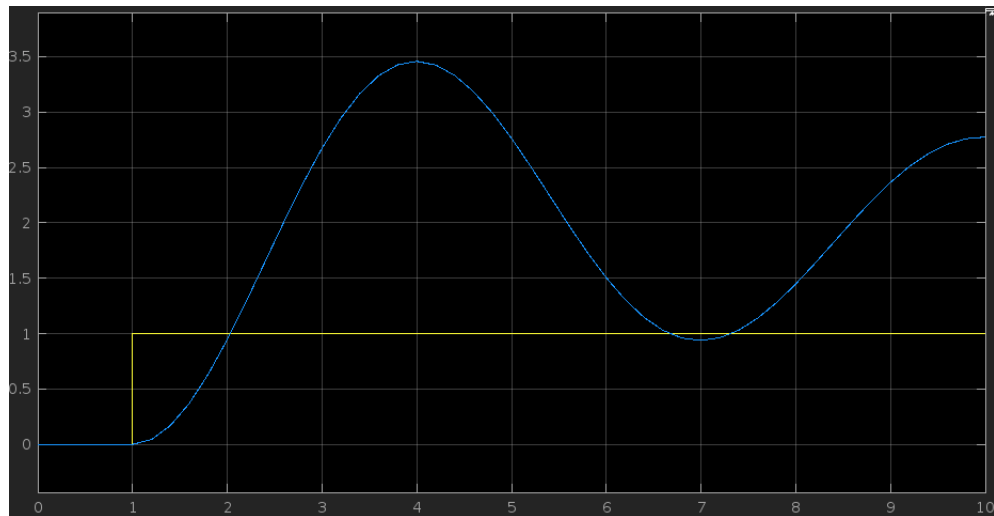


Abbildung 3: Graph einer Sprungfunktion eines  $PT_2$ -Glieds.

d)

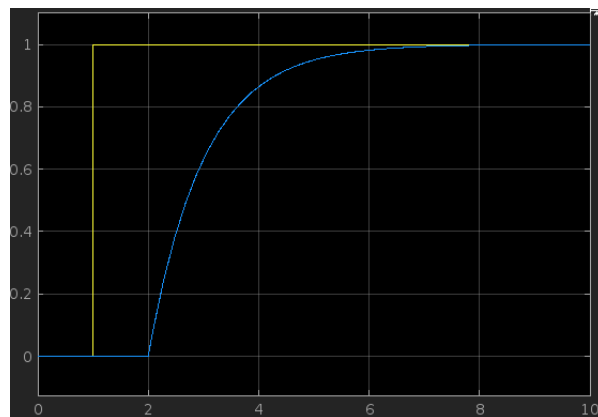


Abbildung 4: Graph einer Sprungfunktion eines um 1 Zeiteinheit verzögertes  $PT_1$ -Glieds.

## 2 Optimierung eines einfachen Regelkreises

### 2.1 Übertragungsverhalten

Die Übertragungsfunktion/Übertragungsverhalten für die Geschwindigkeit  $v_x(t)$  lautet:

$$G_u(s) = \frac{X(s)}{v_x(s)} = \frac{1}{s}$$

### 2.2 1.Näherung

#### a) Lageregelkreis in Simulink

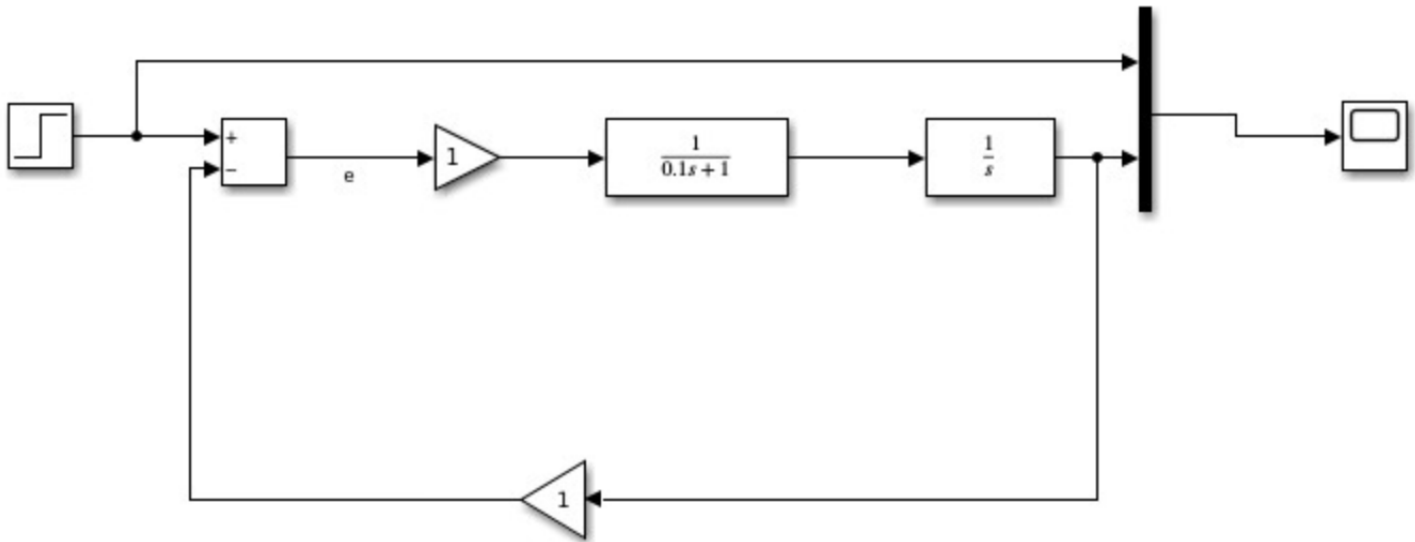


Abbildung 5: Aufbau des Regelkreises

b) Optimierung des Regelkreises - durch ausprobieren

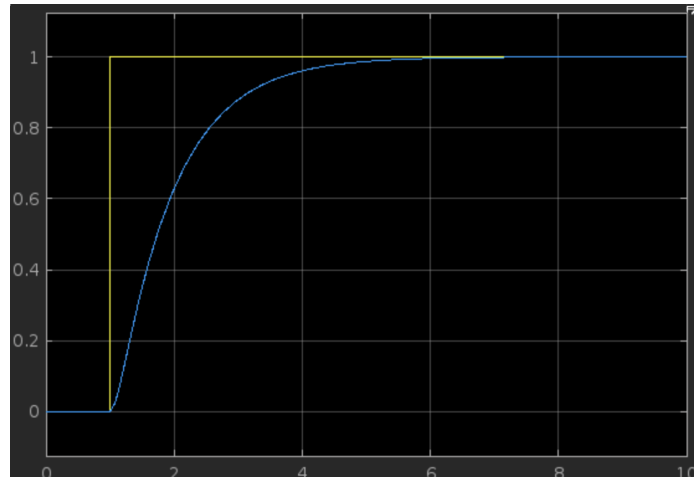


Abbildung 6:  $K_P = 1$

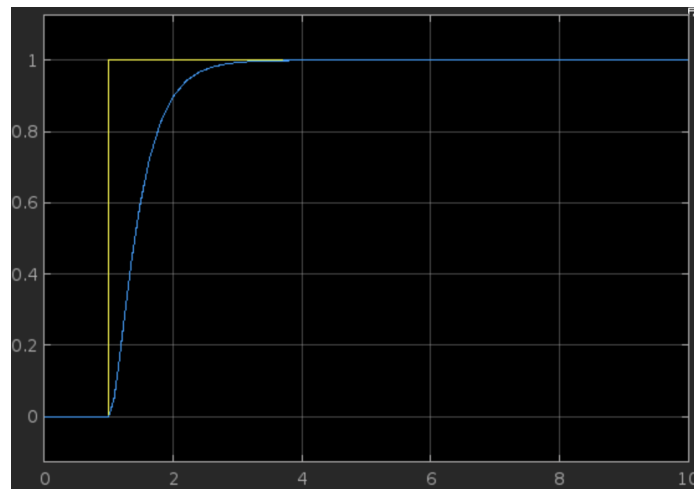


Abbildung 7:  $K_P = 2$



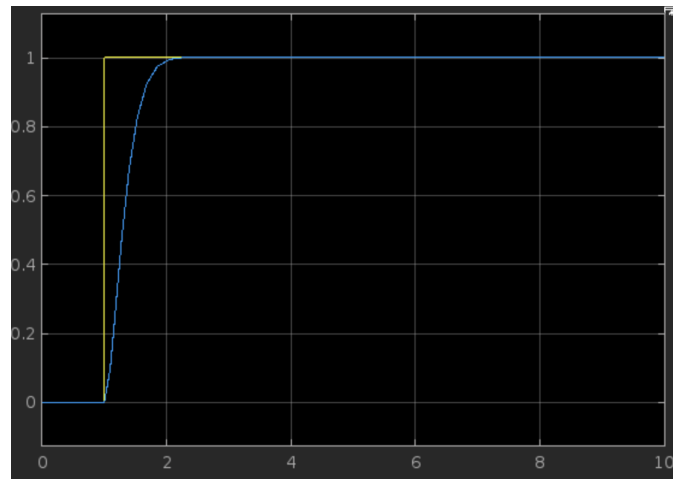


Abbildung 8:  $K_P = 3$

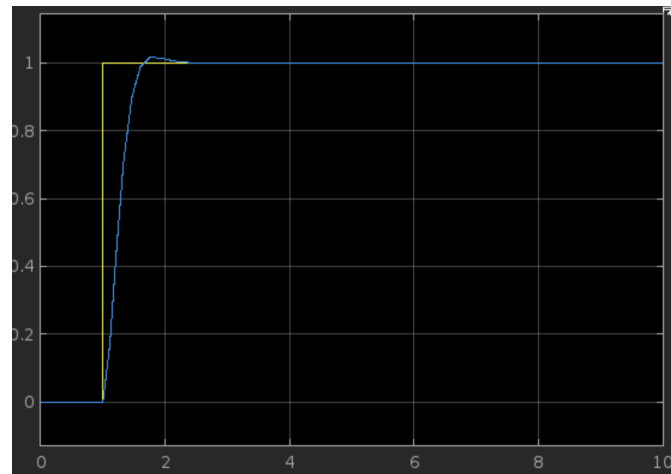


Abbildung 9:  $K_P = 4$

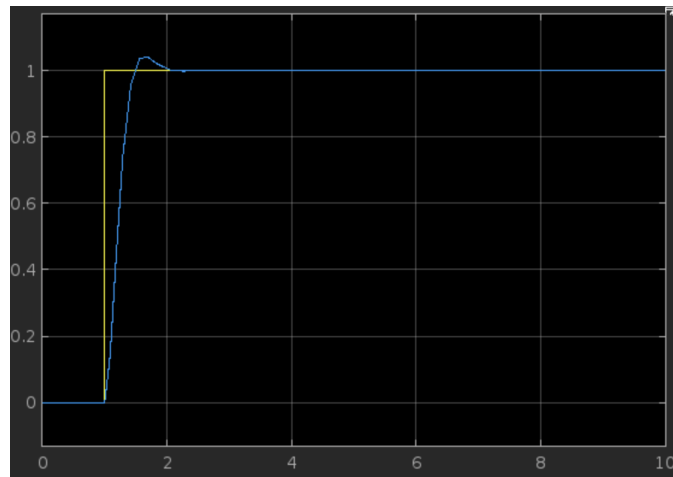


Abbildung 10:  $K_P = 5$

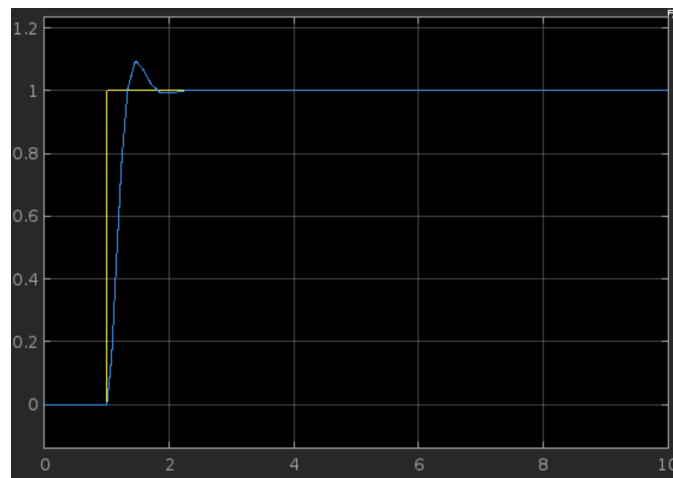


Abbildung 11:  $K_P = 7$

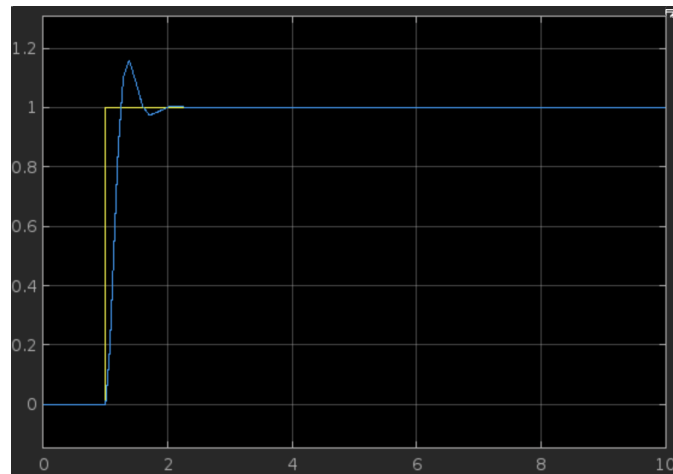


Abbildung 12:  $K_P = 10$

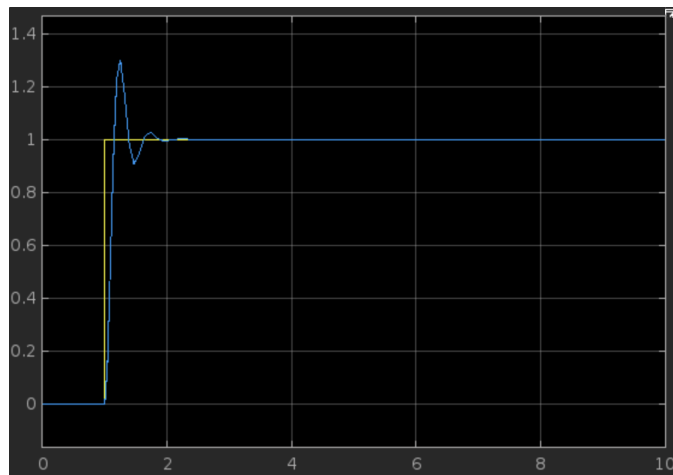


Abbildung 13:  $K_P = 20$

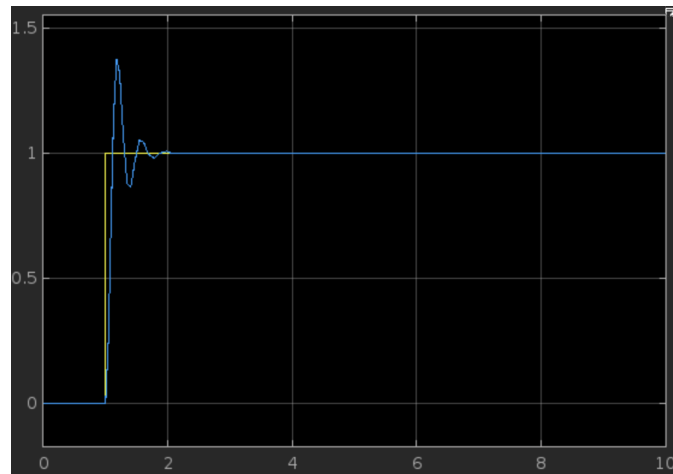


Abbildung 14:  $K_P = 30$

**c)**  $K_{P,opt}$

Bei  $K_{P,opt}$  handelt es sich um den optimalen Wert für den Faktor. Damit will man erreichen, dass das Signal ein minimales Überschwingen hat. Hier zu sehen in Abb. 4.

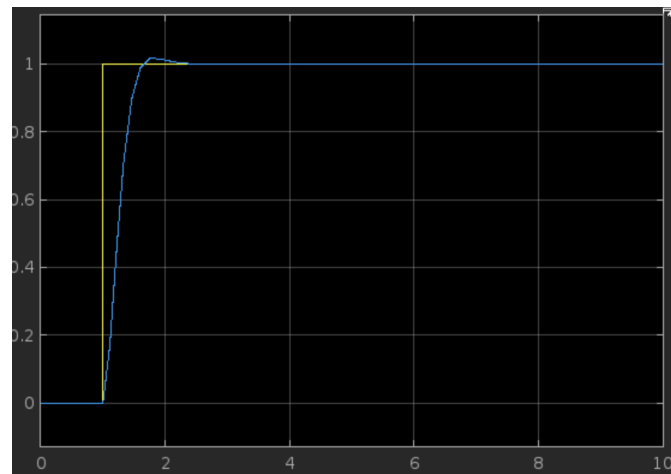


Abbildung 15:  $K_{P,opt} = 4$  mit einem minimalen Überschwingen

## 2.3 Lageregelkreis als $PT_2$ -Glieder

### a) Simulink

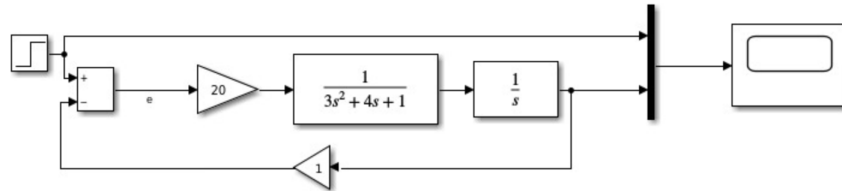


Abbildung 16: Lageregelkreis in Simulink als  $PT_2$ -Glieder

### b) $K_P$ ermitteln durch probieren

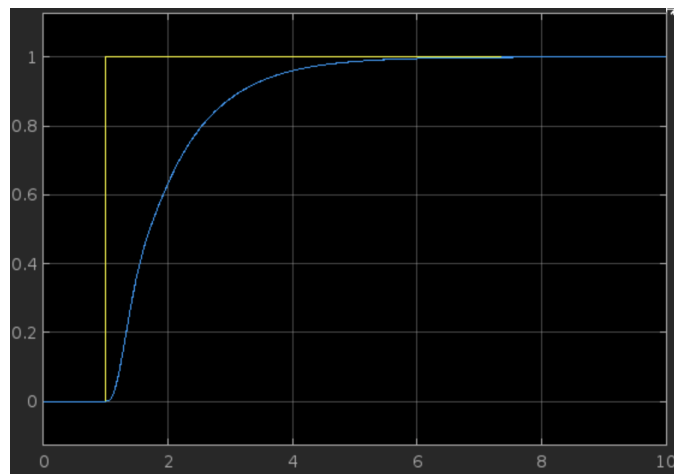


Abbildung 17:  $K_P = 1$

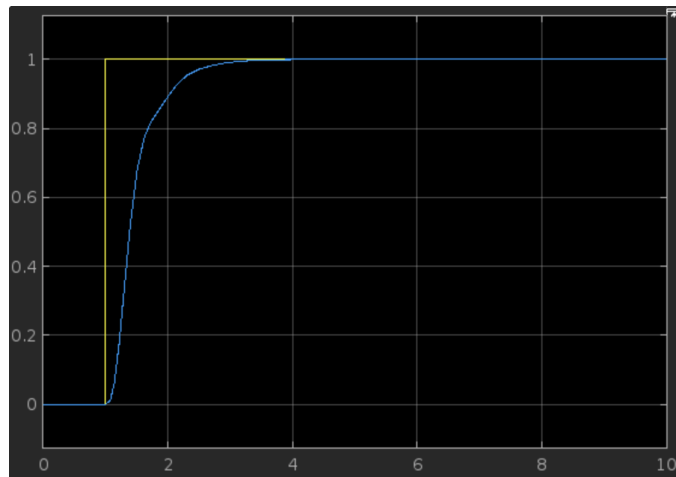


Abbildung 18:  $K_P = 2$

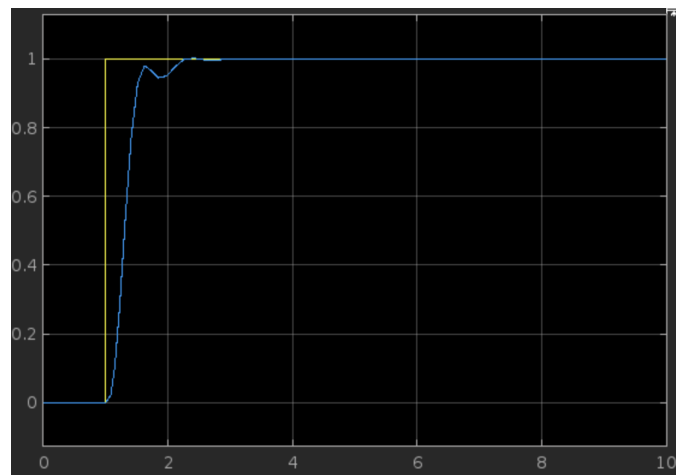


Abbildung 19:  $K_P = 3$

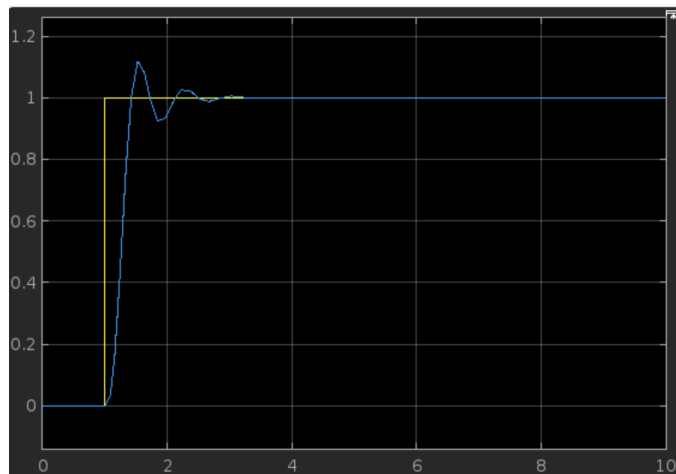


Abbildung 20:  $K_P = 4$

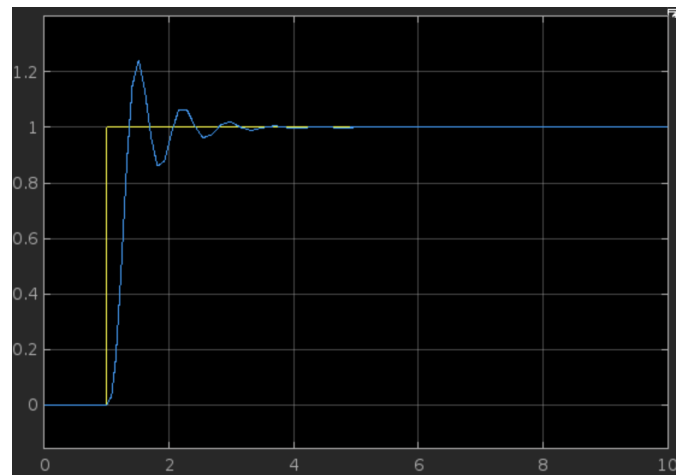


Abbildung 21:  $K_P = 5$

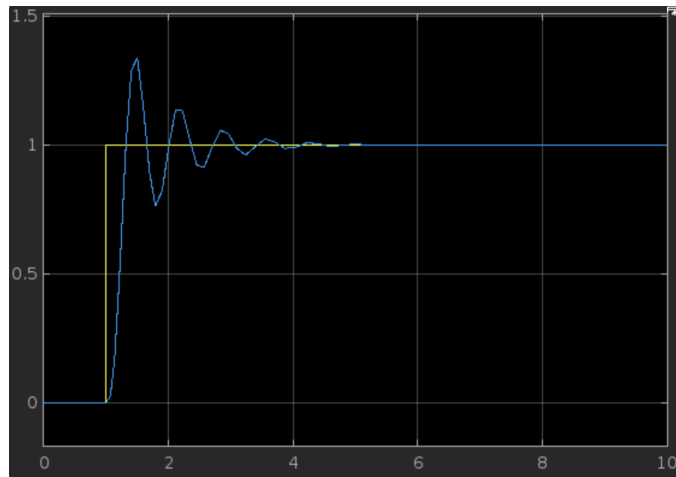


Abbildung 22:  $K_P = 6$

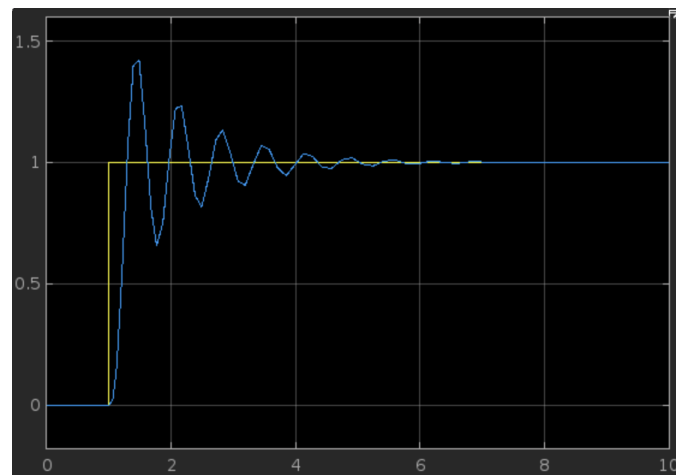


Abbildung 23:  $K_P = 7$



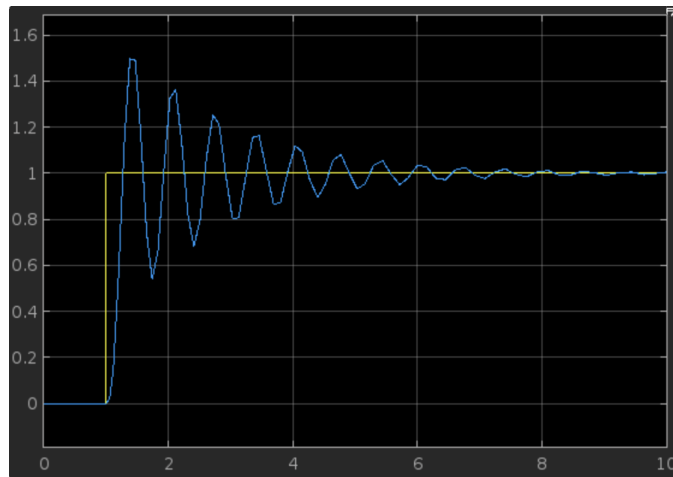


Abbildung 24:  $K_P = 8$

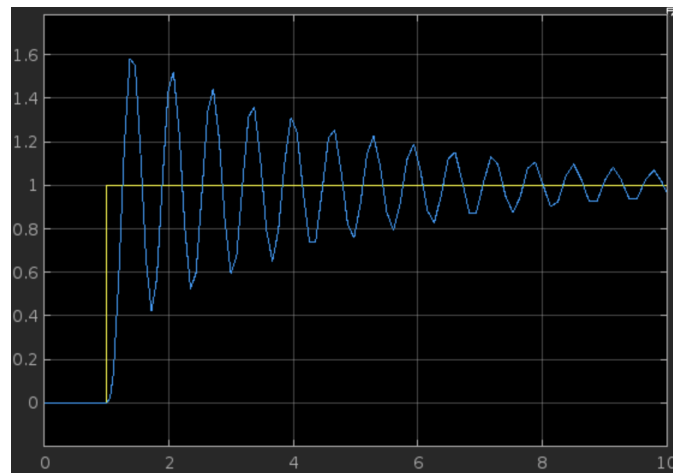


Abbildung 25:  $K_P = 9$

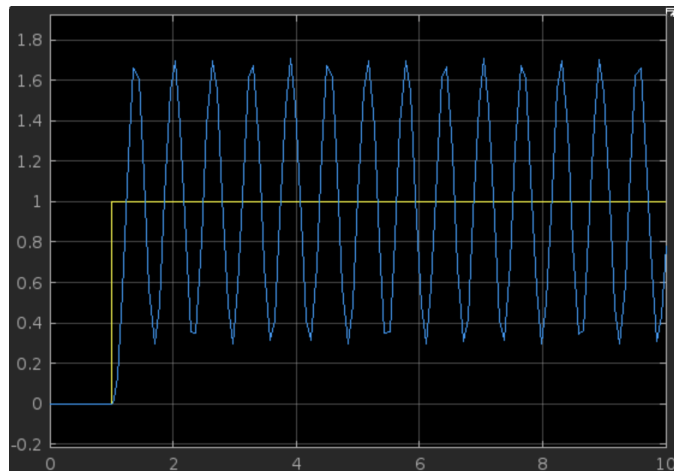


Abbildung 26:  $K_P = 10$

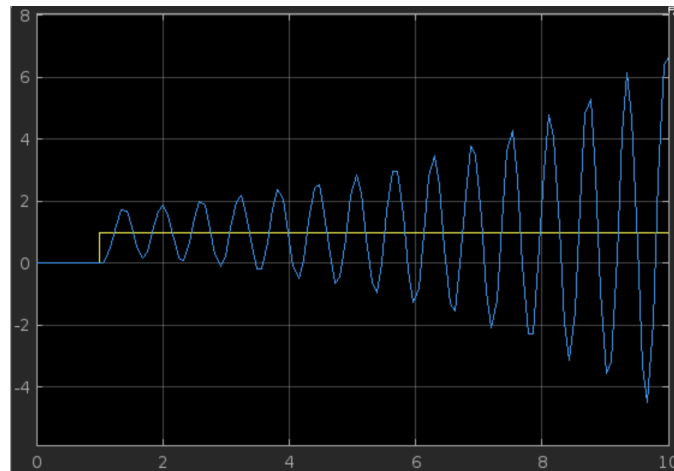


Abbildung 27:  $K_P = 11$

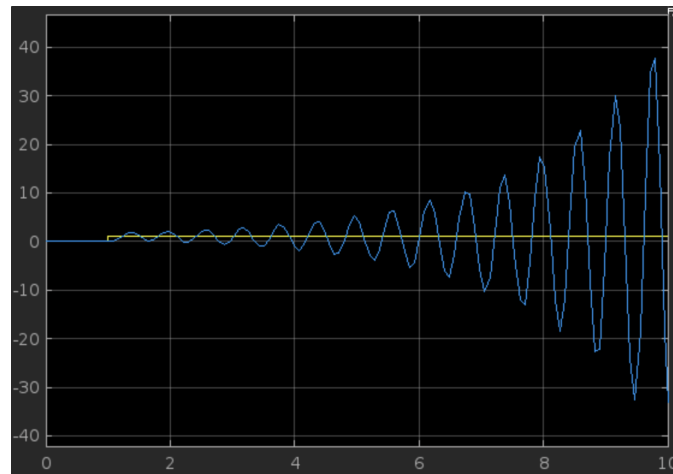


Abbildung 28:  $K_P = 12$

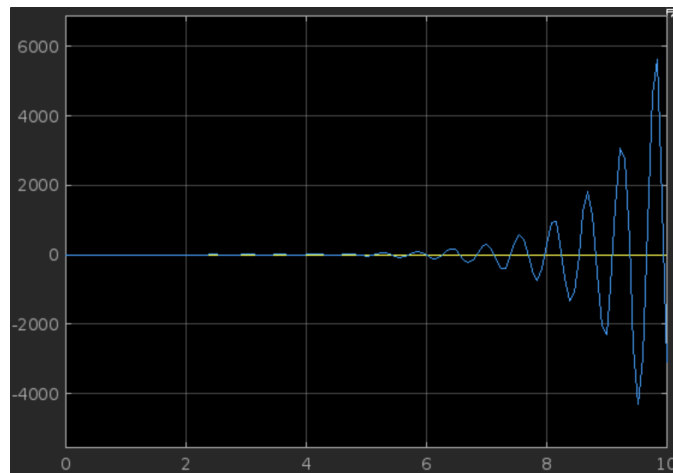


Abbildung 29:  $K_P = 15$

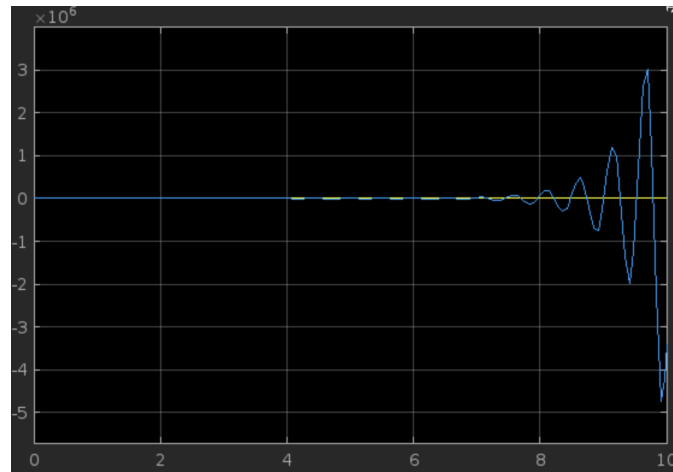


Abbildung 30:  $K_P = 20$

c)

$K_{P,krit}$  verhält sich folgender Maßen:

- bis  $K_P = 10$  nimmt das Schwingen ab, zu sehen in den Abb.25
- bei  $K_P = 10$  ist der optimale Wert erreicht. Das Signal schwingt gleichbleibend auf einer Höhe, zu sehen in Abb.27
- über  $K_P = 10$  nimmt das Schwingen, zu sehen in Abb.29

$$K_{P,opt} = \frac{K_{P,krit}}{2} = \frac{10}{2} = 5$$

$$K_{P,krit} = 2 \cdot K_{P,opt} = 2 \cdot 5 = 10$$

### 3 Optimierung nach Zielger/Nichols

#### 3.1

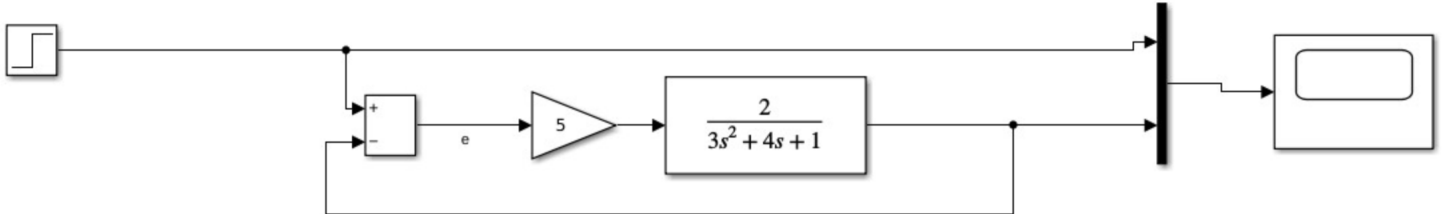


Abbildung 31: Regelkreis für die Sprungantwort

Graphische Ermittlung der Werte aus der gegebenen Grafik:

- $K_s = 2$
- $T_g = 5$
- $T_u = 0,5$

#### 3.2 Ziegler-Nichols-Einstellkriterium

Regler	$K_P$	$T_n$	$T_v$
P	$\frac{T_g}{(K_s \cdot T_u)}$		
PI	$0.9 \cdot \frac{T_g}{(K_s \cdot T_u)}$	$3.3 \cdot T_u$	
PID	$1.2 \cdot \frac{T_g}{(K_s \cdot T_u)}$	$2.0 \cdot T_u$	$0.5 \cdot T_u$

Mit den oben definierten Werten für  $K_s$ ,  $T_u$  und  $T_v$  bekommt man für die benötigten Zellen der Tabelle,  $P$  und  $PI$ , folgende Werte:

Regler	$K_P$	$T_n$	$T_v$
P	2,08		
PI	4,5	1,65	

### 3.3 Blockschaltbild

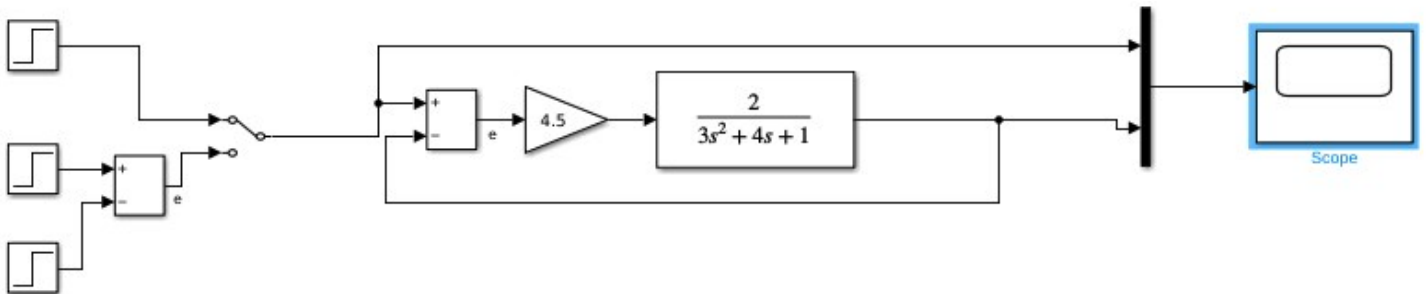


Abbildung 32: Schalter in Ausgangsposition.

Durch Ändern von  $K_P$  werden folgende Signalbilder erzeugt:

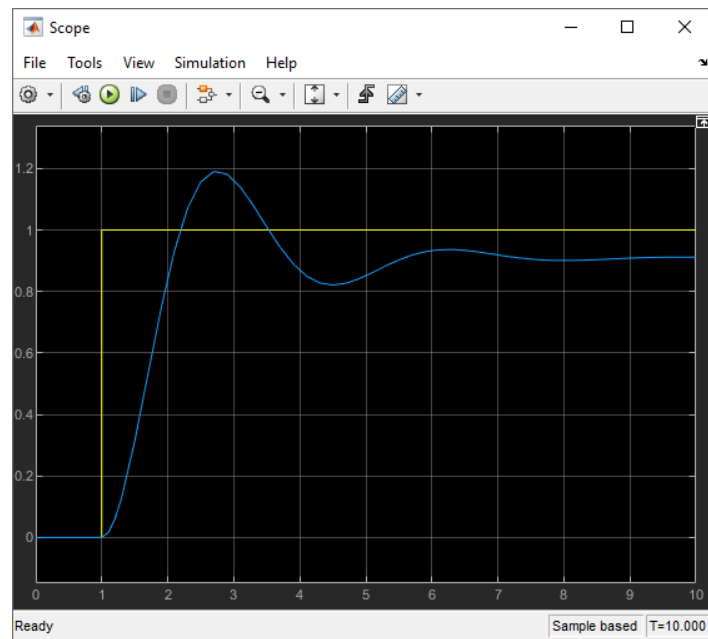
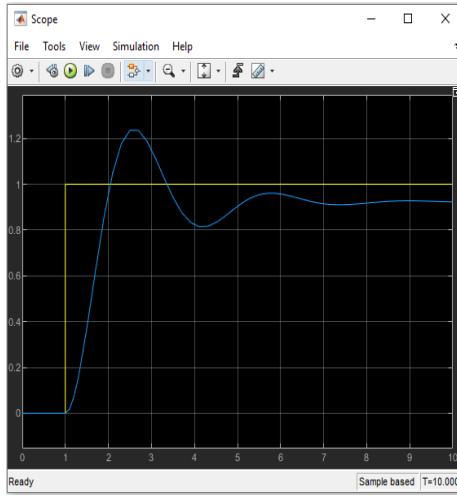
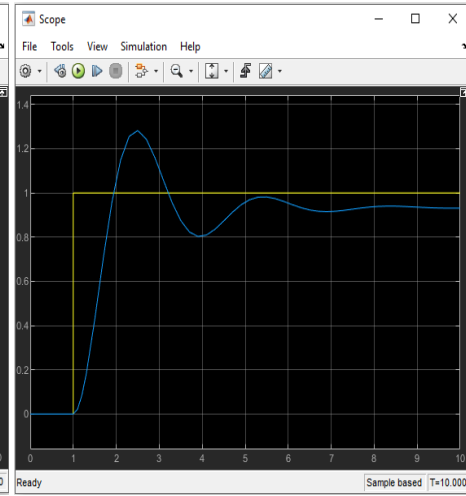


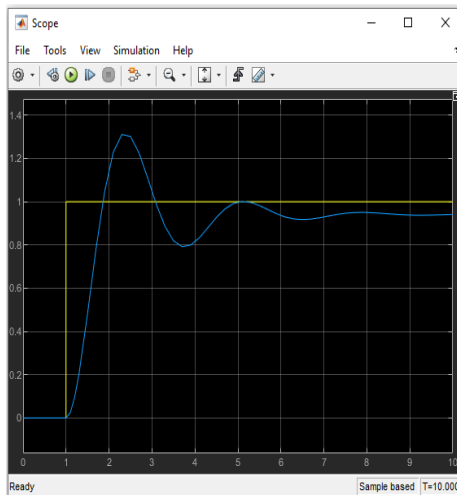
Abbildung 33:  $K_P = 5$



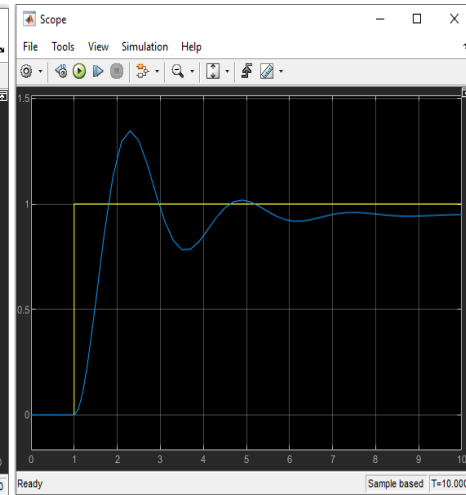
(a)  $K_P = 6$



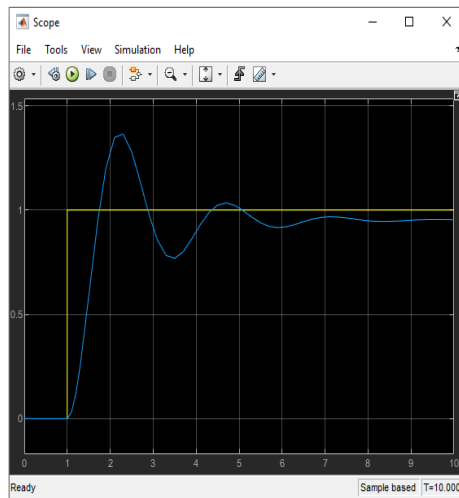
(b)  $K_P = 7$



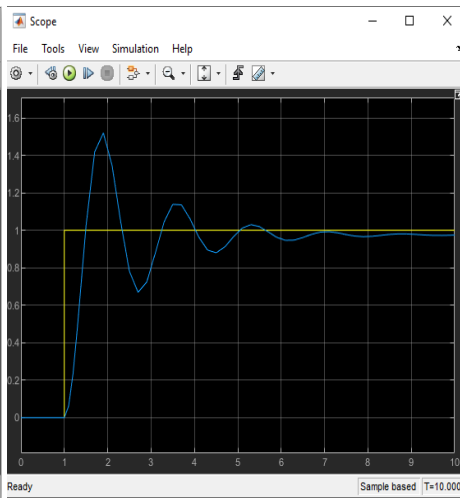
(c)  $K_P = 8$



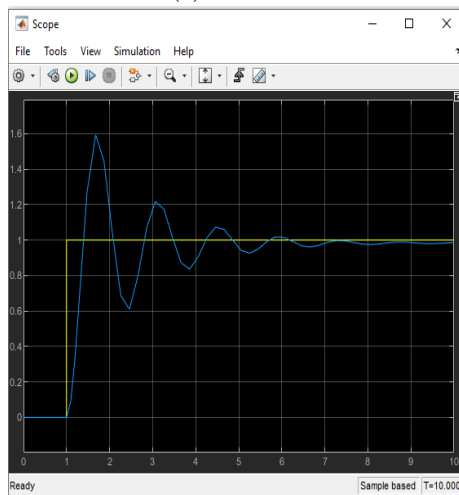
(d)  $K_P = 9$



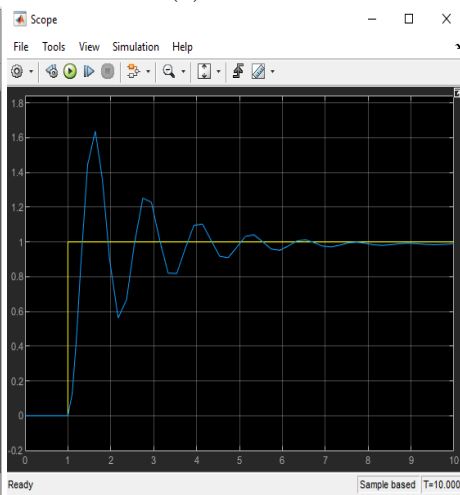
(a)  $K_P = 10$



(b)  $K_P = 20$



(c)  $K_P = 30$



(d)  $K_P = 40$



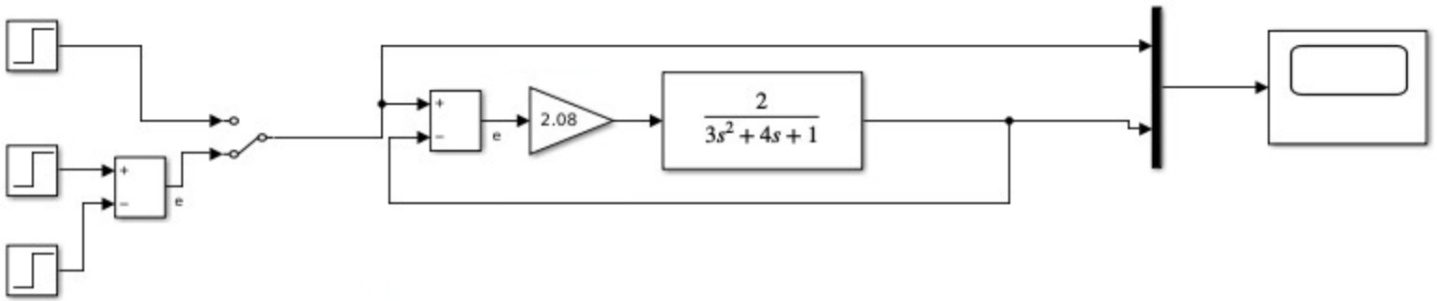


Abbildung 36: Blockschaltbild eines  $P$ -Regler

Durch Umlegen des Schalters lassen sich die Sprung-  $\epsilon(t)$  und Stoßanregung  $\delta(t)$  erzeugen:

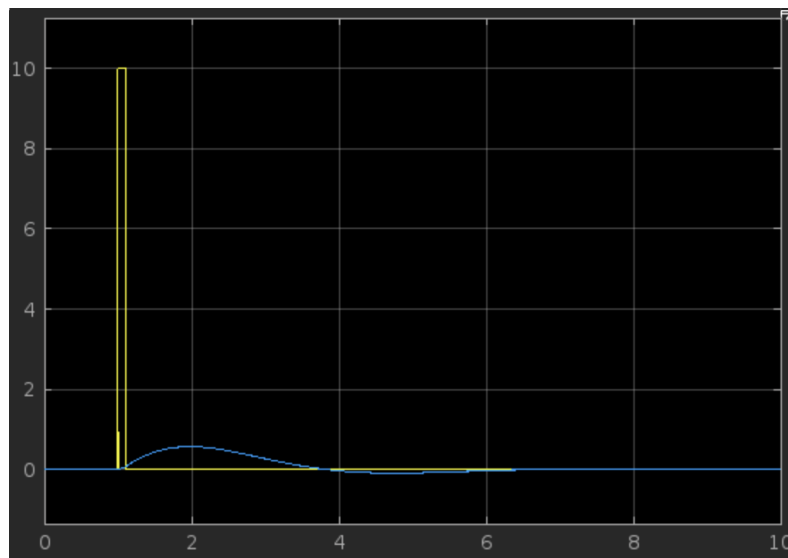


Abbildung 37: Sprung- in blau und Stoßanregung in gelb; mit dem errechneten  $K_P = 2.08$

Die Übertragungsfunktion lautet dafür dann:

$$h(t) = \frac{2.08 \cdot 2}{3s^2 + 4s + 1}$$

Die Gewichtsfunktion  $g(t)$  ist die rücktransformierte der Übertragungsfunktion. Diese lautet dann :

$$G(s) = \frac{2.453}{s + 0.33} - \frac{0.453}{s + 1}$$

$$g_1(t) = 2.453 \cdot e^{-0.33t}$$

$$g_2(t) = -0.453 \cdot e^{-t}$$

Die gesamte Rücktransformation lautet dann:

$$g(t) = g_1(t) + g_2(t) = 2.453 \cdot e^{-0.333t} - 0.453 \cdot e^{-t}$$

Für einen PI-Regler sieht das ganze folgender Maßen aus:

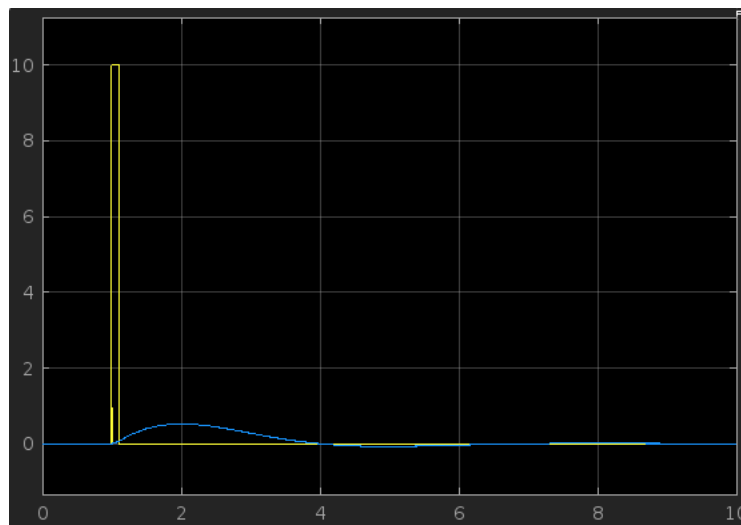


Abbildung 38: Sprung- in blau und Stoßanregung in gelb; mit dem errechneten  $K_P = 1.87$

### 3.4 Unterschiede zwischen den Übertragungsfunktionen

Ein P-Regler im Regelkreis sorgt für eine begrenzte Steuerungsgenauigkeit. Dabei kann es zu einem Überschwingen, einem langsamen Einschwingverhalten und einer Abweichung von der Sollwert-Position kommen. Ein PI-Regler kann

das System genauer regeln. Dadurch kann schneller auf Veränderungen reagiert werden, Überschwingen minimal halten und eine stabilere Regelung erreichen. Die Übergangsfunktion eines PI-Regler ist also schneller und stabiler als bei einem P-Regler.

## 4 Regelverhalten von P-, I- und PID-Reglern

### 4.1 P-Regler

Aus der Regelstrecke

$$G_S(s) = \frac{K_s}{(1 + T \cdot s)^4}$$

lässt sich dieser Regelkreis bilden: Der Graph/das Signal dazu hat folgende

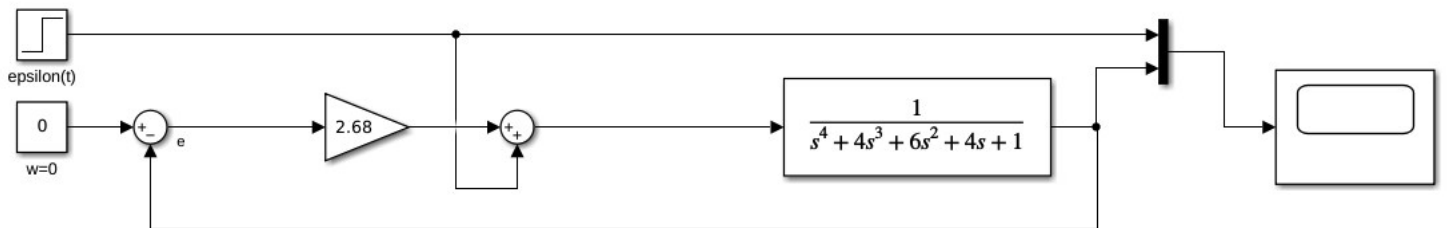


Abbildung 39: Regelkreis mit P-Regler

Form:

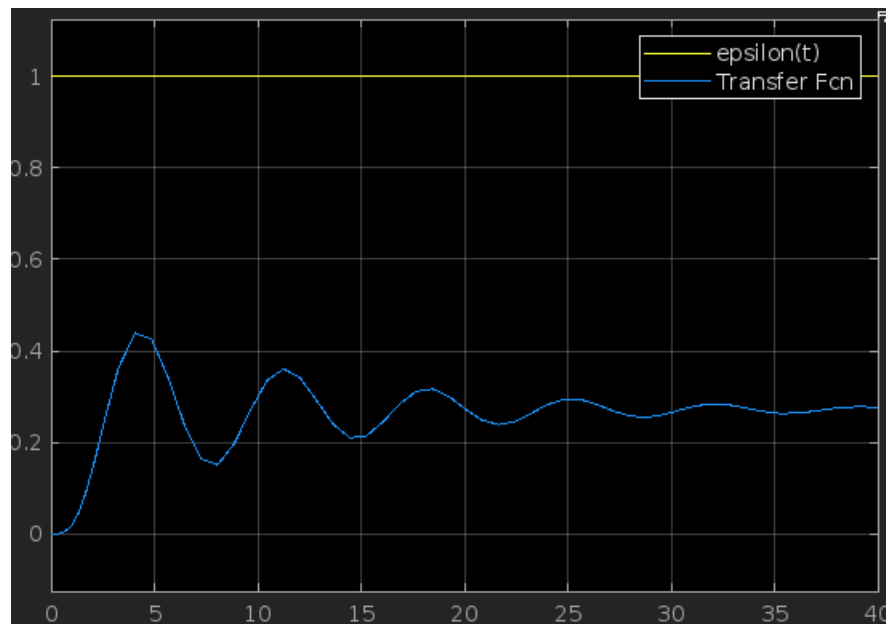


Abbildung 40: Das Signal zu oben angegebenen Regelkreis

## 4.2 I-Regler

Aus der Regelstrecke

$$G_S(s) = \frac{K_s}{(1 + T \cdot s)^4}$$

lässt sich dieser Regelkreis bilden: Der Graph/das Signal dazu hat folgende

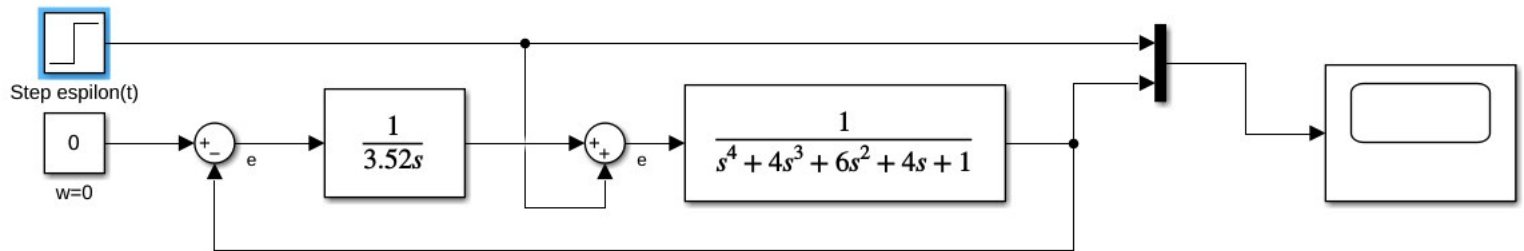


Abbildung 41: Regelkreis mit I-Regler

Form:

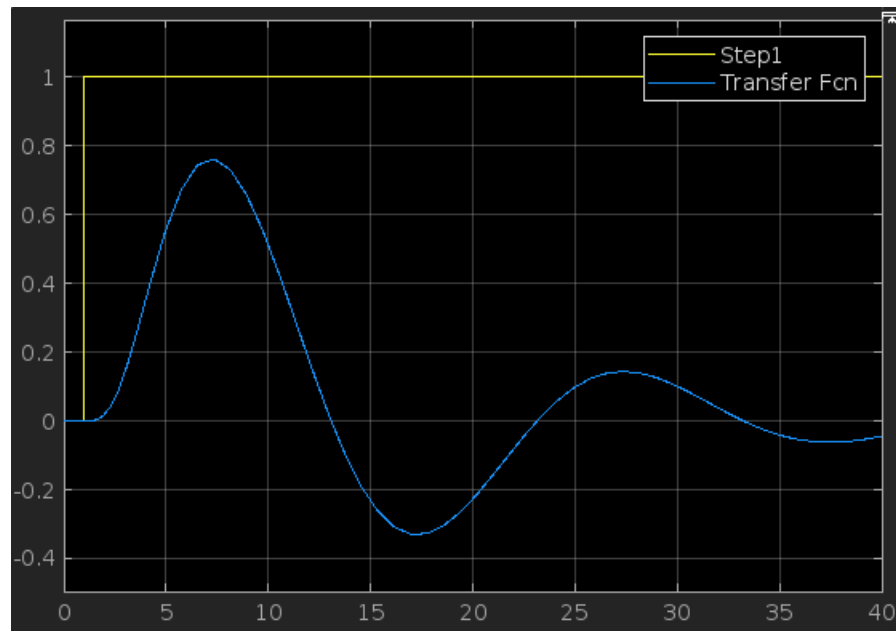


Abbildung 42: Das Signal zu oben angegebenen Regelkreis

### 4.3 PID-Regler

Aus der Regelstrecke

$$G_S(s) = \frac{K_s}{(1T \cdot S)^4}$$

lässt sich dieser Regelkreis bilden: Der Graph/das Signal dazu hat folgende

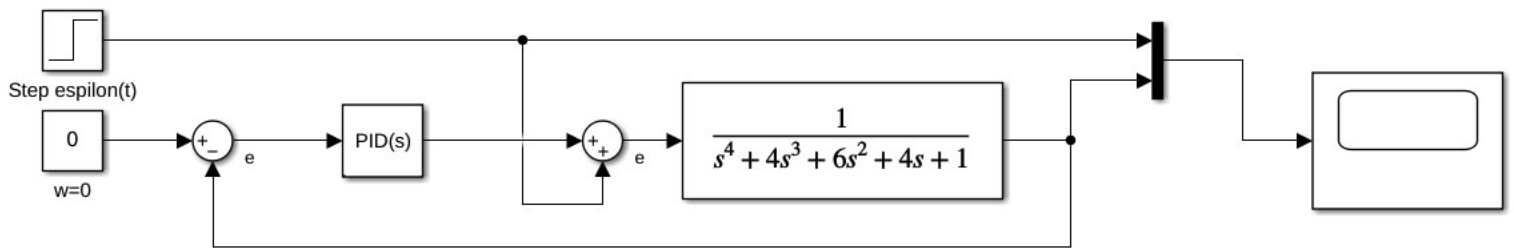


Abbildung 43: Regelkreis mit P-Regler

Form:

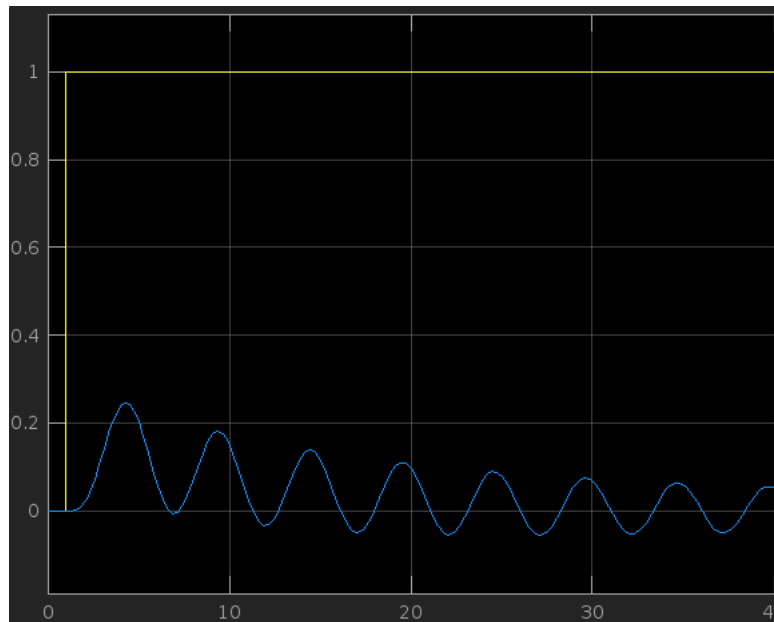


Abbildung 44: Das Signal zu oben angegebenen Regelkreis

## 4.4 Störübertragungsfunktionen

Der Zusammengeführte Regelkreis:

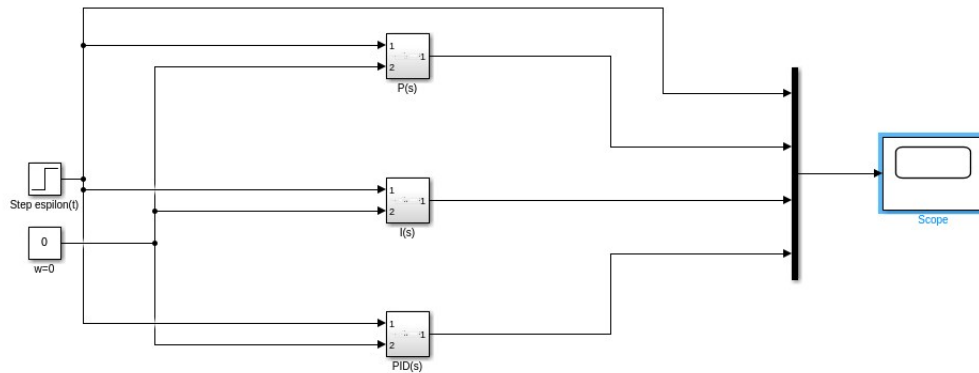


Abbildung 45: Regelkreis der Zusammengeführten Funktionen aus b), c) und d).

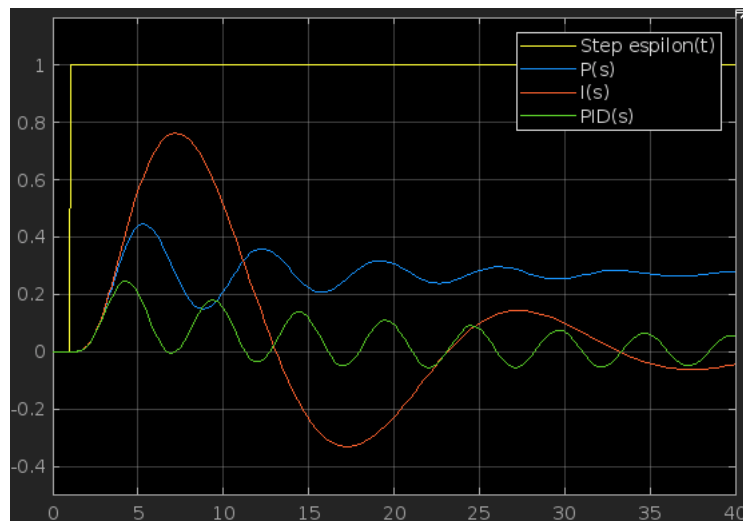


Abbildung 46: Alle Graphen zusammen in ein Bild.