



# Labor Regelungstechnik

Geprüft von:  
M.Eng. J-H. Aschen  
Prof. Dr.-Ing. B. Lichte

[REDACTED]

[REDACTED]

Durchgeführt am:  
2. Mai 2022



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>II</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>II</b>
<b>1 PT 3 -Strecke mit P-Regler .....</b>	<b>1</b>
1.1 Bode-Diagramm des offenen Regelkreises .....	1
1.2 Ermittlung der Stabilitätsgrenze .....	5
1.3 Bleibende Regeldifferenz für das Führungsgrößenverhalten.....	5
1.4 Stationärer Endwert für das Störgrößenverhalten.....	7
<b>2 PT 3 -Strecke mit PI-Regler .....</b>	<b>9</b>
2.1 Bleibende Regeldifferenz für das Führungsgrößenverhalten.....	9
2.2 Vergleich des Führungsgrößenverhaltens .....	10
2.3 Vergleich des Störgrößenverhaltens .....	11
<b>3 PT 3 -Strecke mit PID-Regler .....</b>	<b>12</b>
3.1 Vergleich des Führungsgrößenverhaltens .....	12
3.2 Vergleich des Störgrößenverhaltens.....	12
3.3 Kompensation der Streckenpole .....	13
<b>Tabelle mit Simulationsergebnissen .....</b>	<b>III</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Bode-Diagramm .....	4
------------------------------------	---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Amplitudengang.....	3
Tabelle 1-2: Phasengang .....	3
Tabelle 2-1: Vergleich Führungsgrößenverhalten .....	10
Tabelle 2-2: Vergleich Störgrößenverhalten .....	11
Tabelle 3-1: Vergleich Führungsgrößenverhalten .....	12
Tabelle 3-2: Vergleich Störgrößenverhalten .....	12

## 1 PT 3 -Strecke mit P-Regler

### 1.1 Bode-Diagramm des offenen Regelkreises

#### Aufgabenstellung:

Zeichnen Sie das Bode-Diagramm (Seite 2) des offenen Regelkreises  $G_O(j\omega)$  bei  $K_R = 1$  auf.

Gegeben ist zunächst eine PT3-Regelstrecke  $G_S(s)$  mit den Parametern  $K_S=5$ ,  $T_1=4$ ,  $T_2=0,5$  und  $T_3=2$  sowie ein P-Regler  $G_R(s)$  mit  $K_R = 1$ .

$$G_R(s) = K_R$$

$$G_S(s) = \frac{K_S}{(1 + T_1 s) \cdot (1 + T_2 s) \cdot (1 + T_3 s)}$$

Der offene Regelkreis errechnet sich aus dem Produkt der Übertragungsfunktionen des P-Reglers und der PT3-Regelstrecke.

$$\begin{aligned} G_O(s) &= G_R(s) \cdot G_S(s) \\ &= \frac{K_R \cdot K_S}{(1 + T_1 s) \cdot (1 + T_2 s) \cdot (1 + T_3 s)} \\ &= \frac{5}{(1 + 4s) \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)} \end{aligned}$$

Die Knickfrequenzen entsprechen den Beträgen der Nullstellen des Nenner Polynoms bzw. der Polstellen. Somit existiert für jedes PT1-Glied die Knickfrequenz  $\omega_n = |1/T_n|$ .

$$\omega_1 = \frac{1}{4} \text{ rad/s}$$

$$\omega_2 = 2 \text{ rad/s}$$

$$\omega_3 = \frac{1}{2} \text{ rad/s}$$

Den Frequenzgang ergibt sich aus Übertragungsfunktion  $G(s)$  indem  $s \rightarrow j\omega$  gesetzt wird.

$$G(j\omega) = \frac{5}{(1 + j4\omega) \cdot (1 + j0,5\omega) \cdot (1 + j2\omega)}$$

Für das Bode-Diagramm werden Betrag und Phase des Frequenzgangs benötigt. Für den Betrag des Frequenzgangs wird der jeweilige Betrag jedes Produktes benötigt. Da hierbei komplexe Zahlen vorkommen muss der Betrag des Frequenzgangs wie folgt dargestellt werden.

$$|G(j\omega)| = \frac{5}{\sqrt{1 + (j4\omega)^2} \cdot \sqrt{1 + (j0,5\omega)^2} \cdot \sqrt{1 + (j2\omega)^2}}$$

Die Darstellung des Betrags im Bode-Diagramm erfolgt doppelt logarithmisch, weshalb der Betrag noch in Dezibel umgerechnet werden muss. Hierbei sind die Rechengesetze für den Logarithmus zu beachten.

$$\begin{aligned} |G(j\omega)|_{dB} &= 20\log\left(\frac{5}{\sqrt{1 + (4\omega)^2} \cdot \sqrt{1 + (0,5\omega)^2} \cdot \sqrt{1 + (2\omega)^2}}\right) \\ &= 20\log(5) - 20\log\sqrt{1 + (4\omega)^2} - 20\log\sqrt{1 + (0,5\omega)^2} - 20\log\sqrt{1 + (2\omega)^2} \end{aligned}$$

Mithilfe der entstandenen Gleichung für den Betrag des Frequenzgangs in Dezibel kann der Verlauf des Betrags im Bode-Diagramm begründet werden. Hierfür werden im Folgenden verschieden Abschnitte betrachtet, mit denen sich der Verlauf des Betrags, mithilfe der Änderung der Steigung nach jeder Knickfrequenz, begründen lässt.

Für  $\omega \ll \omega_1$  gilt:

$$|G(j\omega)|_{dB} \approx 20\log(5) \approx 14$$

Die Kurve hat in diesem Abschnitt mit 14 dB somit einen konstanten Verlauf.

Für  $\omega_1 \ll \omega \ll \omega_3$  gilt:

$$|G(j\omega)|_{dB} \approx 20\log(5) - 20\log(4\omega)$$

Die Kurve fällt in diesem Abschnitt somit um etwa 20 dB/Dekade.

Für  $\omega_1 \ll \omega \ll \omega_2$  gilt:

$$|G(j\omega)|_{dB} \approx 20\log(5) - 20\log(4\omega) - 20\log(2\omega)$$

Die Kurve fällt in diesem Abschnitt somit um  $40 \text{ dB/Dekade}$ .

Für  $\omega_2 \ll \omega$  gilt:

$$|G(j\omega)|_{dB} \approx 20\log(5) - 20\log(4\omega) - 20\log(2\omega) - 20\log(0,5\omega)$$

Die Kurve fällt in diesem Abschnitt somit um etwa  $60 \text{ dB/Dekade}$ .

Alternativ können mithilfe der hergeleiteten Formel für den Amplitudengang in Dezibel, präzisere Werte der Kurve berechnet werden indem beliebige Frequenzen eingesetzt werden. Beide Varianten können dann verwendet werden, um den Amplitudengang graphisch darzustellen.

$$|G(j\omega)|_{dB} = 20\log(5) - 20\log\sqrt{1 + (4\omega)^2} - 20\log\sqrt{1 + (0,5\omega)^2} - 20\log\sqrt{1 + (2\omega)^2}$$

**Tabelle 1-1: Amplitudengang**

$\omega$ in rad/s	0	0,25	0,5	2	10
$ G(j\omega) $ in dB	13,98	9,93	3,72	-19,46	-58,24

Für den Phasengang wird die Phasenverschiebung des Frequenzgangs benötigt. Diese entspricht den aufsummierten Phasenverschiebungen jedes Produktes im Frequenzgang. Die Phasenverschiebung entspricht hierbei dem Arkustangens der Division des Imaginärteils durch den Realteil eines jeden Produkts.

$$\angle Go(j\omega) = \arctan\left(\frac{0}{5}\right) - \arctan\left(\frac{4}{1}\omega\right) - \arctan\left(\frac{0,5}{1}\omega\right) - \arctan\left(\frac{2}{1}\omega\right)$$

**Tabelle 1-2: Phasengang**

$\omega$ in rad/s	0,01	0,1	0,25	0,5	2	10	100
$\angle Go(j\omega)$ in °	-3,72	-35,97	-78,69	-122,47	-203,83	-254,50	-268,42

Mithilfe der beiden Tabellen für den Amplituden- und Phasengang kann nun das Bode-Diagramm (siehe Abb. 1-1) gezeichnet werden.

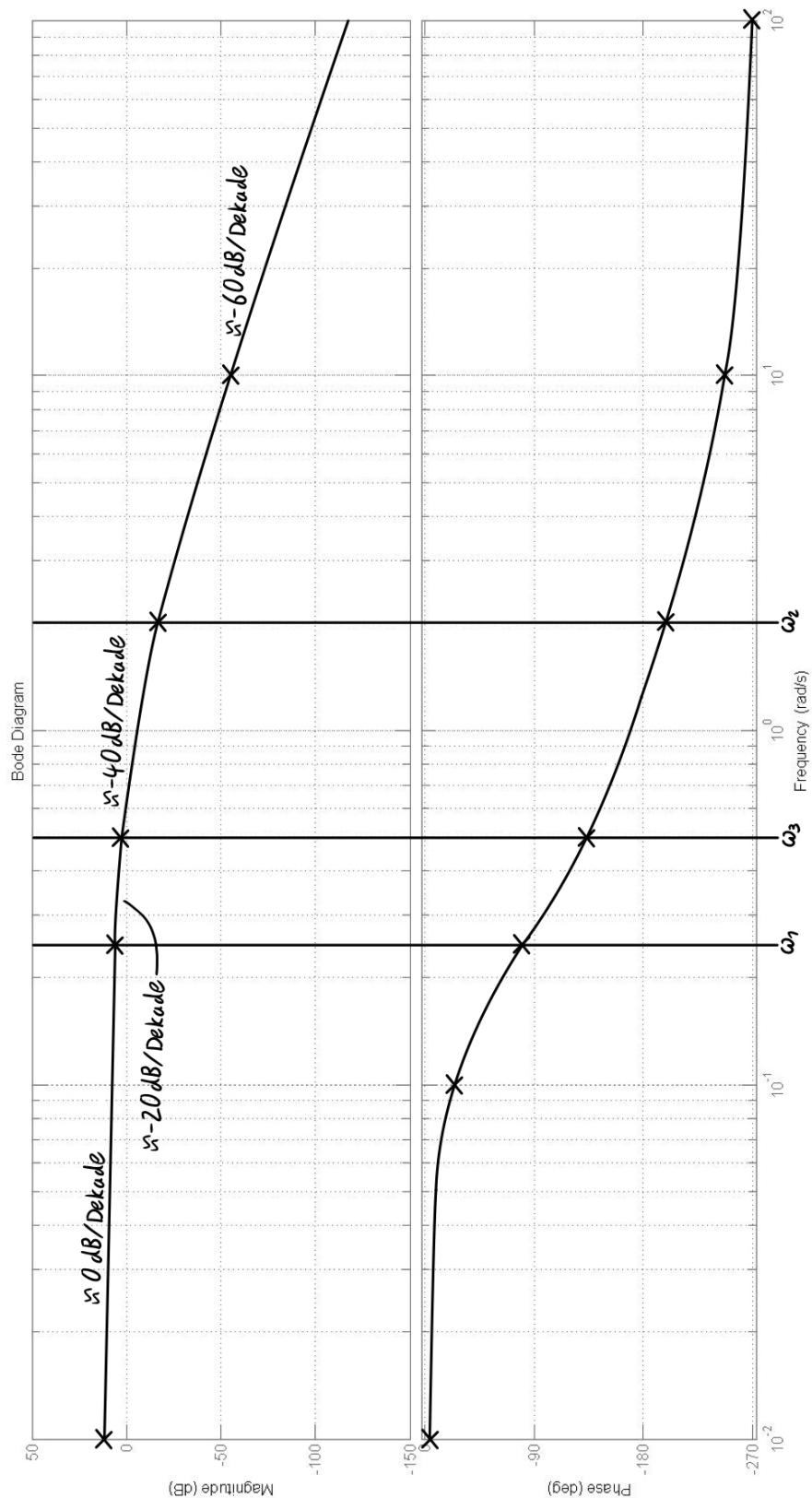


Abbildung 1-1: Bode-Diagramm

## 1.2 Ermittlung der Stabilitätsgrenze

### Aufgabenstellung:

Ermitteln Sie mithilfe des Bode-Diagramms die Größe von  $K_R$  für die Stabilitätsgrenze und die Phasenreserve  $\varphi_R = 60^\circ$ .

Der lineare Wert der Größe von  $K_R$  kann mithilfe der folgenden Formel aus dem logarithmischen Wert, welcher dem obigen Diagramm entnommen wird, berechnet werden.

$$K_R = xdB \Rightarrow K_R = 10^{\left(-\frac{xdB}{20dB}\right)}$$

Die Amplitude für die Stabilitätsgrenze bzw. einer Phasenreserve von  $\varphi_R = 0^\circ$  entspricht etwa  $|G(j\omega)|_{dB} \approx -10,6dB$ . Aus diesem Wert kann die Größe von  $K_R$  für die Stabilitätsgrenze berechnet werden.

$$K_R = 10^{\left(-\frac{-10,6dB}{20dB}\right)} = 3,38$$

Die Amplitude für eine Phasenreserve  $\varphi_R = 40^\circ$  entspricht etwa  $|G(j\omega)|_{dB} \approx 0,18dB$ . Aus diesem Wert kann die Größe von  $K_R$  für die Phasenreserve  $\varphi_R = 40^\circ$  berechnet werden.

$$K_R = 10^{\left(-\frac{0,18dB}{20dB}\right)} = 0,98$$

Die Amplitude für eine Phasenreserve  $\varphi_R = 60^\circ$  entspricht etwa  $|G(j\omega)|_{dB} \approx 4dB$ . Aus diesem Wert kann die Größe von  $K_R$  für die Phasenreserve  $\varphi_R = 60^\circ$  berechnet werden.

$$K_R = 10^{\left(-\frac{4dB}{20dB}\right)} = 0,63$$

## 1.3 Bleibende Regeldifferenz für das Führungsgrößenverhalten

### Aufgabenstellung:

Berechnen Sie für das Führungsgrößenverhalten die bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$ , im Fall  $\varphi_R = 40^\circ$  und  $\varphi_R = 60^\circ$  und vergleichen Sie die berechneten Werte mit Ihren Laborergebnissen.

Um die Regeldifferenz  $E(s) = W(s) - X(s)$  zu erhalten, wird folgende Gleichung gebildet.

$$\begin{aligned} E(s) &= W(s) - X(s) \\ &= W(s) - W(s) \cdot G_w(s) \\ &= W(s) \cdot \left(1 - \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)}\right) \\ &= W(s) \cdot \frac{1}{1 + G_o(s)} \end{aligned}$$

Die Führungsgröße entspricht hierbei einem Einheitssprung bzw.  $W(s) = 1/s$ . Mithilfe der Übertragungsfunktion für den offenen Regelkreis  $G_o(s) = G_r(s) \cdot G_s(s)$  kann die Gleichung dann folgendermaßen umgestellt werden.

$$\begin{aligned} E(s) &= \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K_R \cdot 5}{(1 + 4s) \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)}} \\ &= \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{\frac{(1 + 4s) \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s) + (K_R \cdot 5)}{(1 + 4s) \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)}} \\ &= \frac{1}{s} \cdot \frac{(1 + 4s) \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)}{(1 + 4s) \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s) + (K_R \cdot 5)} \end{aligned}$$

Mithilfe des Endwertsatzes der Laplace-Transformation kann die bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$  berechnet werden.

$$\begin{aligned} e(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) &= \frac{s}{s} \cdot \frac{(1 + 4s) \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)}{(1 + 4s) \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s) + (K_R \cdot 5)} \\ &= \frac{1}{1 + K_R \cdot 5} \end{aligned}$$

Die in der vorherigen Aufgabe berechneten Werte für  $K_R$  für eine Phasenreserve von  $\varphi_R = 40^\circ$  und  $\varphi_R = 60^\circ$  in die mit dem Endwertsatz der Laplace-Transformation hergeleiteten Formel, liefert die bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$ .



Für eine Phasenreserve von  $\varphi_R = 40^\circ$  und  $K_R = 0,98$  ergibt sich folgende bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$ .

$$e(\infty) = \frac{1}{1 + 0,98 \cdot 5} = 0,17$$

Für eine Phasenreserve von  $\varphi_R = 60^\circ$  und  $K_R = 0,63$  ergibt sich folgende bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$ .

$$e(\infty) = \frac{1}{1 + 0,63 \cdot 5} = 0,24$$

Die errechneten bleibenden Regeldifferenzen  $e(\infty)$  stimmen bis zur zweiten Nachkommastelle mit den im Labor ermittelten Ergebnissen überein.

#### 1.4 Stationärer Endwert für das Störgrößenverhalten

##### Aufgabenstellung:

Berechnen Sie für das Störgrößenverhalten den stationären Endwert  $x(\infty)$  im Fall  $\varphi_R = 40^\circ$  und  $\varphi_R = 60^\circ$  und vergleichen Sie die berechneten Werte mit Ihren Laborergebnissen. (Hinweis: Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises für das Störgrößenverhalten)

Für die Berechnung des stationären Endwerts  $x(\infty)$  für das Störgrößenverhalten ist folgende Störübertragungsfunktion notwendig.

$$G_Z(s) = \frac{X(s)}{Z(s)} = \frac{G_3(s)}{(1 + G_O(s))}$$

Die Störgröße entspricht hierbei einem Einheitssprung bzw.  $Z(s) = 1/s$ . Mithilfe der Übertragungsfunktion für den offenen Regelkreis  $G_O(s) = G_r(s) \cdot G_s(s)$  und dem Streckengleich  $G_3(s)$  kann die Gleichung dann folgendermaßen umgestellt werden.

$$G_3(s) = \frac{5}{1 + 2s}$$

$$\begin{aligned}
 X(s) &= \frac{1}{s} \cdot \frac{5}{1+2s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K_R \cdot 5}{(1+4s) \cdot (1+0,5s) \cdot (1+2s)}} \\
 &= \frac{1}{s} \cdot \frac{5}{1+2s} \cdot \frac{1}{\frac{(1+4s) \cdot (1+0,5s) \cdot (1+2s) + (K_R \cdot 5)}{(1+4s) \cdot (1+0,5s) \cdot (1+2s)}} \\
 &= \frac{1}{s} \cdot \frac{5}{1+2s} \cdot \frac{(1+4s) \cdot (1+0,5s) \cdot (1+2s)}{(1+4s) \cdot (1+0,5s) \cdot (1+2s) + (K_R \cdot 5)}
 \end{aligned}$$

Mithilfe des Endwertsatzes der Laplace-Transformation können die stationären Endwerte  $x(\infty)$  berechnet werden.

$$\begin{aligned}
 x(\infty) &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot X(s) = \frac{s}{s} \cdot \frac{5}{1+2s} \cdot \frac{(1+4s) \cdot (1+0,5s) \cdot (1+2s)}{(1+4s) \cdot (1+0,5s) \cdot (1+2s) + (K_R \cdot 5)} \\
 &= \frac{5}{1+K_R \cdot 5}
 \end{aligned}$$

Die in der vorherigen Aufgabe berechneten Werte für  $K_R$  für eine Phasenreserve von  $\varphi_R = 40^\circ$  und  $\varphi_R = 60^\circ$  in die mit dem Endwertsatz der Laplace-Transformation hergeleiteten Formel, liefert die stationären Endwerte  $x(\infty)$ .

Für eine eine Phasenreserve von  $\varphi_R = 40^\circ$  und  $K_R = 0,98$  ergibt der Folgende stationäre Endwerte  $x(\infty)$ .

$$x(\infty) = \frac{5}{1 + 0,98 \cdot 5} = 0,85$$

Für eine eine Phasenreserve von  $\varphi_R = 60^\circ$  und  $K_R = 0,63$  ergibt der Folgende stationäre Endwerte  $x(\infty)$ .

$$x(\infty) = \frac{5}{1 + 0,63 \cdot 5} = 1,20$$

Die errechneten stationären Endwerte  $x(\infty)$  stimmen bis zur ersten Nachkommastelle mit den im Labor ermittelten Ergebnissen überein.

## 2 PT 3 -Strecke mit PI-Regler

### 2.1 Bleibende Regeldifferenz für das Führungsgrößenverhalten

#### Aufgabenstellung:

Berechnen Sie für das Führungsgrößenverhalten die bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$  im Fall  $\varphi_R = 40^\circ$  und vergleichen Sie die berechneten Werte mit Ihren Laborergebnissen.

Die Übertragungsfunktion eines idealen PI-Reglers ergibt sich folgendermaßen. Zu Verbesserung der Schnelligkeit der Regelung wird die größte Zeitkonstante der PT-3 Strecke mit der Nachstellzeit  $T_n$  des PI-Regler kompensiert. Somit ergibt sich  $T_n = T_1 = 4s$ .

$$\begin{aligned} G(s) &= K_R \cdot \left(1 + \frac{1}{s \cdot T_n}\right) \\ &= K_R \cdot \frac{1 + s \cdot T_n}{s \cdot T_n} \end{aligned}$$

Um die Regeldifferenz  $E(s) = W(s) - X(s)$  zu erhalten wird die in Aufgabe 1.3 hergeleitete Formel verwendet.

$$E(s) = W(s) \cdot \frac{1}{1 + G_o(s)}$$

Die Führungsgröße entspricht hierbei einem Einheitssprung bzw.  $W(s) = 1/s$ . Mithilfe der Übertragungsfunktion für den offenen Regelkreis  $G_o(s) = G_r(s) \cdot G_s(s)$  kann die Gleichung dann folgendermaßen umgestellt werden.

$$\begin{aligned} E(s) &= \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K_R \cdot 5}{4s \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)}} \\ &= \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{\frac{4s \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s) + (K_R \cdot 5)}{4s \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)}} \end{aligned}$$



$$= \frac{1}{s} \cdot \frac{4s \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)}{4s \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s) + (K_R \cdot 5)}$$

Mithilfe des Endwertsatzes der Laplace-Transformation kann die bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$  berechnet werden.

$$\begin{aligned} e(\infty) &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) = \frac{s}{s} \cdot \frac{4s \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s)}{4s \cdot (1 + 0,5s) \cdot (1 + 2s) + (K_R \cdot 5)} \\ &= \frac{0}{K_R \cdot 5} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Wie mithilfe des Endwertsatzes der Laplace-Transformation zu erkennen ist die bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$ , unabhängig von dem Wert für  $K_R$  einer jeweiligen Phasenreserve, immer gleich Null. Diesen Effekt bringt der I-Anteil des verwendeten Reglers mit sich.

Die errechneten bleibenden Regeldifferenzen  $e(\infty)$  stimmen mit den im Labor ermittelten Ergebnissen überein.

## 2.2 Vergleich des Führungsgrößenverhaltens

### Aufgabenstellung:

Vergleichen Sie das Führungsgrößenverhalten des Regelkreises mit einem PI- bzw. P-Regler bezüglich bleibender Regeldifferenz  $e(\infty)$  und der Ausregelzeit.

**Tabelle 2-1: Vergleich Führungsgrößenverhalten**

	Phasenreserve $\varphi = 40^\circ$		
	$K_R$	$T_e$	$e(\infty)$
<b>P-Regler</b>	0,978	13,8	0,17
<b>PI-Regler</b>	0,42	16,4	0

Die bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$  des PI-Reglers ist wie in Aufgabe 2.1 hergeleitet immer gleich Null. Die bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$  mit P-Regler, wird durch die in Aufgabe 1.3 hergeleitete Gleichung beschrieben.

$$e(\infty) = \frac{1}{1 + K_R \cdot 5}$$

Der Wert für  $K_R$  müsste gegen Unendlich gehen, um auch mit dem P-Regler eine bleibende Regeldifferenz  $e(\infty)$  von Null zu erhalten. Dies ist praktisch jedoch nicht umsetzbar, weshalb der PI-Regler im Vergleich zum P-Regler in diesem Punkt bessere Eigenschaften aufweist.

Jedoch wird bei der Betrachtung der Laborergebnisse deutlich das die Ausregelzeit des P-Reglers geringer ist im Vergleich zu der des PI-Reglers. Dies gilt für die  $K_R$  Werte bei einer Phasenreserve von  $\varphi_R = 40^\circ$  und  $\varphi_R = 60^\circ$ .

## 2.3 Vergleich des Störgrößenverhaltens

### Aufgabenstellung:

Vergleichen Sie das Störgrößenverhalten des Regelkreises mit einem PI- bzw. P-Regler bezüglich der bleibenden Regeldifferenz  $e(\infty)$ .

**Tabelle 2-2: Vergleich Störgrößenverhalten**

	Phasenreserve $\varphi = 60^\circ$		
	$K_R$	$T_e$	$e(\infty)$
<b>P-Regler</b>	0,627	13,8	-1,22
<b>PI-Regler</b>	0,19	18,46	0

Das Störgrößenverhalten gibt eine Aussage darüber in welchem Umfang die Differenz zwischen der Führungsgröße  $w(t)$  und der Regelgröße  $x(t)$  auf Null ausgeregelt wird. Wie die Berechnung in Aufgabe 1.4 und die Laborergebnisse zeigen, bleibt bei der Verwendung eines P-Regler eine Differenz zwischen der Führungsgröße  $w(t)$  und der Regelgröße  $x(t)$ . Bei der Verwendung eines PI-Reglers wird diese ungewollte Differenz auf Null ausgeregelt.

### 3 PT 3 -Strecke mit PID-Regler

#### 3.1 Vergleich des Führungsgrößenverhaltens

##### Aufgabenstellung:

Vergleichen Sie das Führungsgrößenverhalten des Regelkreises mit einem PI- bzw. PID-Regler bezüglich der bleibenden Regeldifferenz  $e(\infty)$  und der Ausregelzeit.

**Tabelle 3-1: Vergleich Führungsgrößenverhalten**

	Phasenreserve $\varphi_R = 40^\circ$			Phasenreserve $\varphi_R = 60^\circ$		
	$K_R$	$T_e$	$e(\infty)$	$K_R$	$T_e$	$e(\infty)$
<b>PI-Regler</b>	0,42	16,4	0	0,19	15,4	0
<b>PID-Regler</b>	0,74	2,9	0	0,27	3,2	0

Die bleibenden Regeldifferenz  $e(\infty)$  liegt aufgrund der Schwingfähigkeit beim PI-Regler als auch beim PID-Regler stets bei Null. Der PID-Regler erzeugt aufgrund des D-Anteils unabhängig von der Phasenreserve eine deutlich geringere Ausregelzeit  $T_e$  im Vergleich zum PI-Regler.

#### 3.2 Vergleich des Störgrößenverhaltens

##### Aufgabenstellung:

Vergleichen Sie das Störgrößenverhalten des Regelkreises mit einem PI- bzw. PID-Regler bezüglich der bleibenden Regeldifferenz  $e(\infty)$ .

**Tabelle 3-2: Vergleich Störgrößenverhalten**

	Phasenreserve $\varphi_R = 60^\circ$		
	$K_R$	$T_e$	$e(\infty)$
<b>PI-Regler</b>	0,19	18,46	0
<b>PID-Regler</b>	0,27	6,71	0

Der I-Anteil im PI-Regler als auch im PID-Regler ruft für das Störgrößenverhalten jeweils eine bleibenden Regeldifferenz  $e(\infty)$  von Null hervor.

### 3.3 Kompensation der Streckenpole

#### Aufgabenstellung:

Welche Streckenpole sind hier kompensiert, und warum ist es sinnvoll, diese Zeitkonstanten zu kompensieren?

Es werden durch die Wahl der Nachstellzeit  $T_n = 4s$  und der Vorhaltzeit  $T_v = 2s$  die Streckenpole mit den Zeitkonstanten  $T_1 = 4s$  und  $T_3 = 2s$  kompensiert. Durch die Kompensation der Streckenpole mit den größten Zeitkonstanten, wird die Schnelligkeit der Regelung verbessert. Dies wird in den Simulationsergebnissen bei Betrachtung der Ausregelzeit deutlich. Aber auch mit Hilfe der Polstellen des geschlossenen Regelkreises ist zu erkennen das, dass System bei der Kompensation der großen Zeitkonstanten stabiler wird, da das komplexe Polpaar dabei noch weiter in die negative s-Halbebene wandert.



## Tabelle mit Simulationsergebnissen

	Stab. - Grenze	Phasenreserve $\varphi_R = 40^\circ$			Phasenreserve $\varphi_R = 60^\circ$							
		$K_R$	Führungsgrößenverhalten			$K_R$	Führungsgrößenverhalten			Störgrößenverhalten		
			$T_e$	$\Delta h_m$	$e(\infty)$		$T_e$	$\Delta h_m$	$e(\infty)$	$T_e$	$\Delta h_m$	$e(\infty)$
P-Regler	3,39	0,978	13,8	0,33	0,17	0,627	11,8	0,93	0,24	13,8	1,62	-1,22
PI-Regler	-	0,42	16,4	0,29	0	0,19	15,4	0,08	0	18,46	3,45	0
PID-Regler	-	0,74	2,9	0,29	0	0,27	3,2	0,09	0	6,71	1,42	0