

1 Steuern und Regeln

Einstellung der Wassertemperatur beim Duschen.

Der Mensch übernimmt dabei die Regelung der Temperatur. Dabei bestimmt der Mensch selber, ob ihm die Wassertemperatur angenehm ist. Wenn das Wasser zu warm oder zu kalt ist wird der Mischer entsprechend verstellt.

Bei solchen Systemen spricht man von Steuerung.

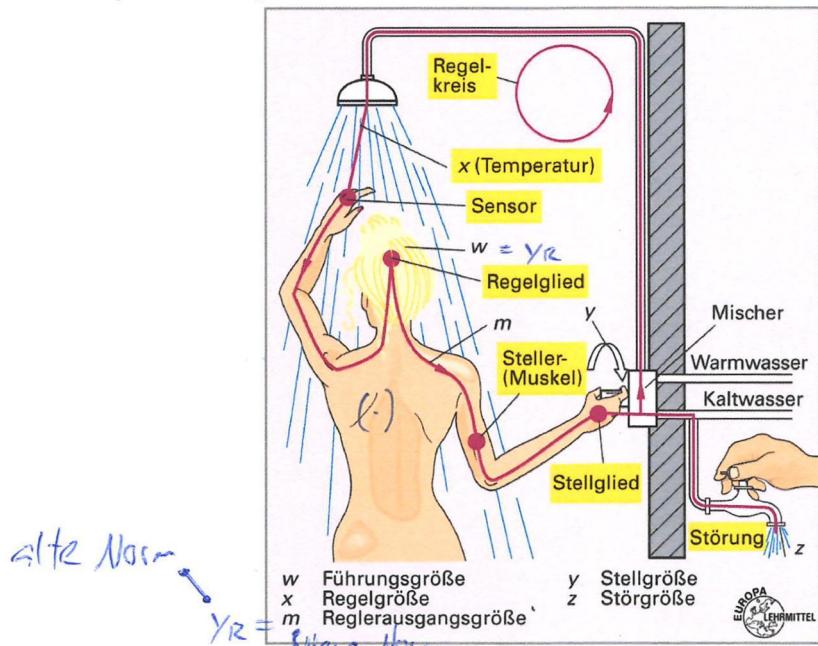


Abbildung 1: Manuelle Regelung der Wassertemperatur [1]

Eine Regelung würde nach Eingabe einer Wunschtemperatur das Wasser immer auf die gewünschte Temperatur einstellen. Ein geregeltes System arbeitet unabhängig von Menschen. Dabei werden Störeinflüsse durch den Regler kompensiert.

Das Resultat, dass mit der gewünschten Wassertemperatur geduscht werden kann, ist bei beiden Varianten dasselbe.

Was ist die Motivation anstelle einer Steuerung eine Regeleinrichtung zu verwenden?
Nenne mindestens drei Vorteile einer Regelung gegenüber einer Steuerung:

Sicherheit

Genauigkeit

Komfort

Störung: Wie ändert sich die Wassertemperatur, wenn der Wasserhahn (Störung z) geöffnet wird?

- Die Wassertemperatur wird wärmer.
- Die Wassertemperatur bleibt gleich
- Die Wassertemperatur wird kälter

1.1 Prinzip Steuern und Regeln

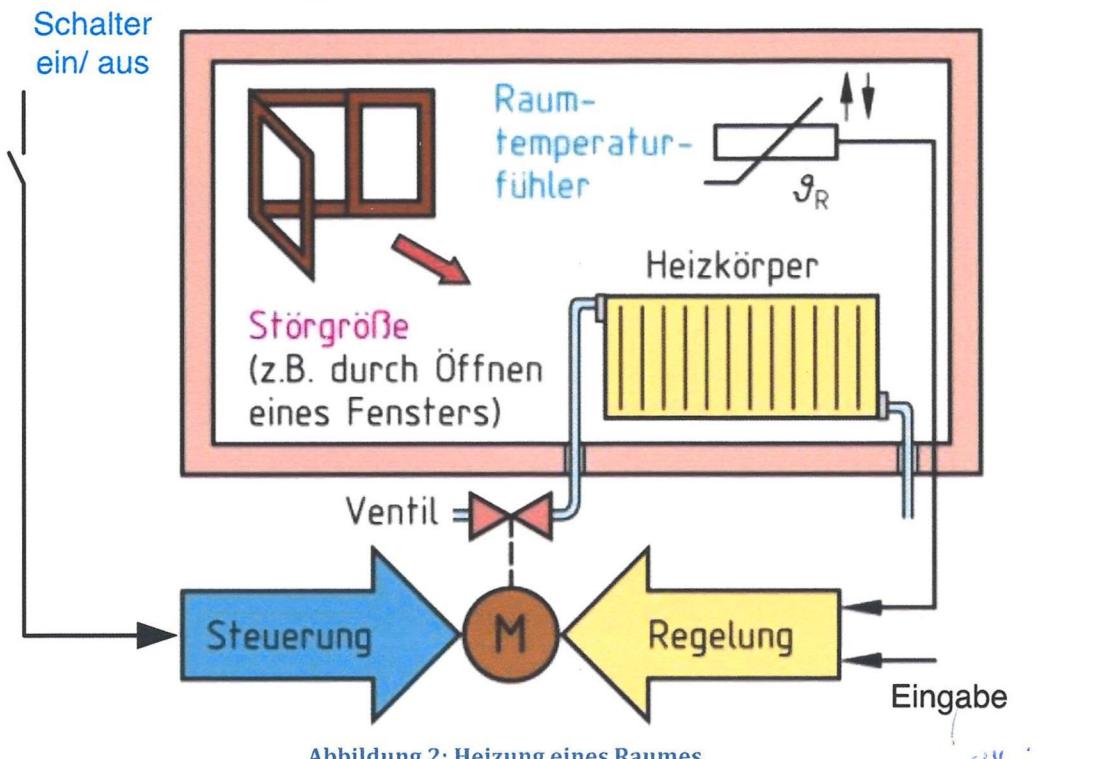


Abbildung 2: Heizung eines Raumes

1.1.1 Blockschaltbild Steuerkette

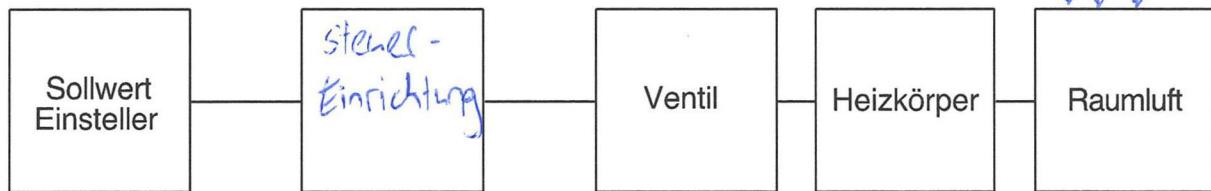


Abbildung 3: Blockschaltbild Steuerkette

Beispiele: Kochplatte, Heizung; Steuerung Auto

1.1.2 Blockschaltbild Regelkreis

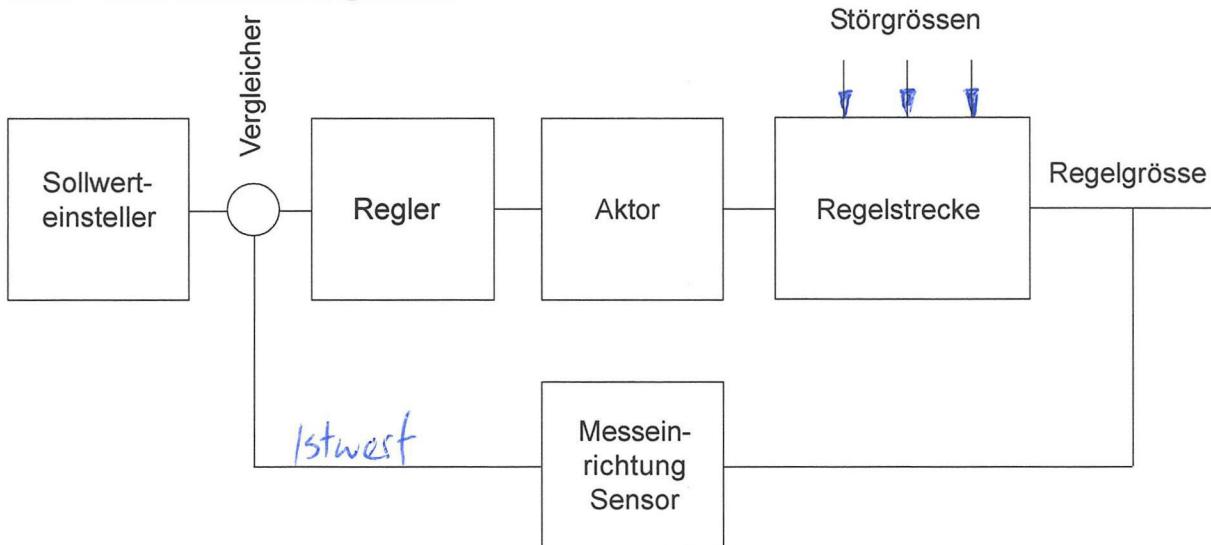


Abbildung 4: Blockschaltbild Regelkreis

Beispiele: Backofen, Heizung mit Raumthermostat

1.2 Der einfache Regelkreis

Aufgaben:

- a) Betrachten Sie nochmals die Abbildung 1. Suchen Sie die verschiedenen Formelzeichen und ergänzen Sie diese in der unteren Tabelle:

<u>X</u>	Regelgrösse	zu regelnde physikalische Grösse z.B. Position, Drehzahl, Druck, Temperatur
<u>w</u>	Führungsgrösse/ Sollwert	von aussen beeinflussbare Grösse
r	Rückführgrösse/ Istwert <i>sensordaten</i>	Messeinrichtung (Sensor) misst die Regelgrösse und wandelt diese in ein elektrisches Signal (Istwert) um
e	Regeldifferenz	= Sollwert – Istwert liegt am Eingang des Reglers an
<u>y</u>	Reglerausgangsgrösse	Steuerbefehl vom Regler.
<u>γ</u>	Stellgrösse	bewirkt in der Regelstrecke eine Änderung der Regelgrösse
<u>Z</u>	Störgrösse	bewirkt in der Regelstrecke eine ungewollte Änderung der Regelgrösse

- b) Tragen Sie die Formelzeichen in das Blockschaltbild ein.

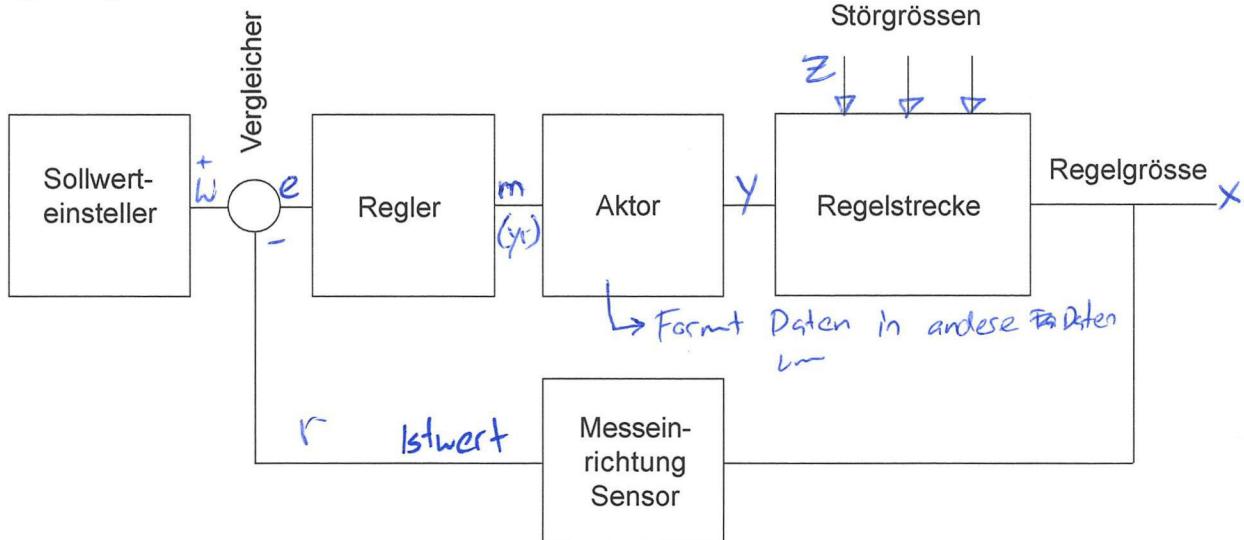


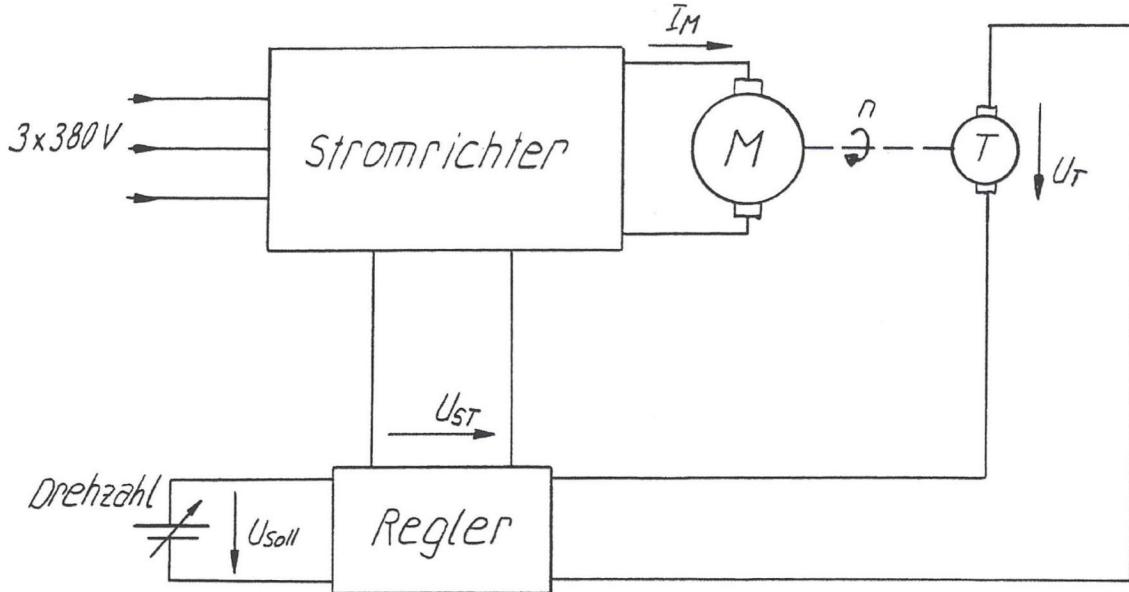
Abbildung 5: Bezeichnungen im Regelkreis

DIN IEC 60050-351

$$e = w - r$$

- e: Regeldifferenz [V]
w: Sollwert [V]
r: Istwert [V]

1.3 Beispiel: Drehzahlregelung eines Werkzeugmaschinenantriebes



M : Motor

T: Tachogenerator U_T ist proportional zur Drehzahl n
 Stromrichter I_M ist proportional zu U_{ST}

Aufgabe: Ordnen Sie die Begriffe von der Drehzahlregelung den Begriffen aus dem Blockschaltbild zu.

Regelgrösse:

Führungsgrösse:
Sollwert

Messeinrichtung:

Istwert:

Stellglied: /Aktor

Stellgröße:

Reglerausgangsgröße:

Regelstrecke:

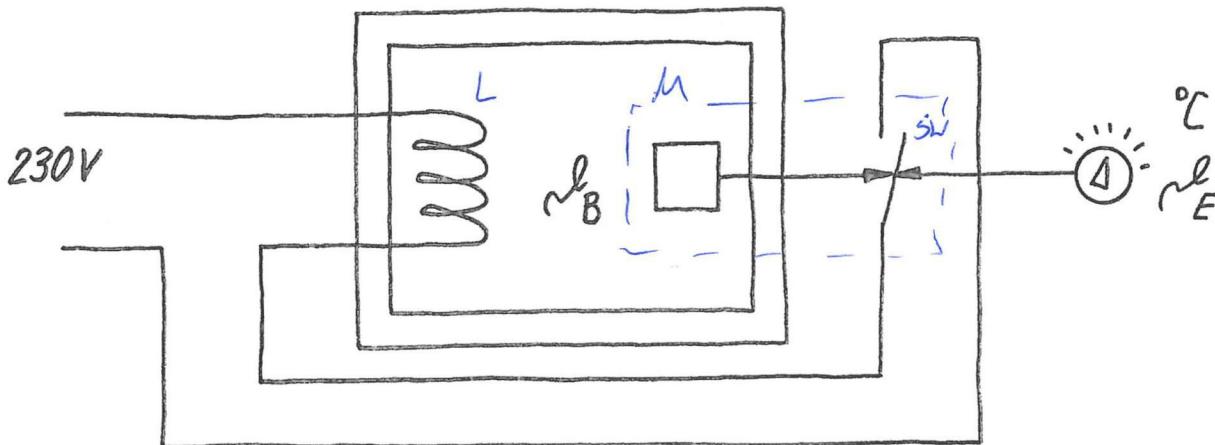
Störgrößen:

	$n \rightarrow \text{Drehzahl } n$	✓
	U_{Soll}	✓
	Tachogenerator T	✓
	U_T	✓
Stromrichter	\rightarrow wandelt Sp. passt Strom anhand Spannung an.	✓
	I_M Motorenstrom	✓
	U_{ST}	✓
	Motor M	✓
	Bremsen ✓ , Laständerung am Motor, Netzspannungsschwankung	

2 Unstetige Regler

2.1 Zweipunktregler: Beispiel Backofen

Lesen Sie im FI im Kapitel 5.4.4 Regler das Unterkapitel „schaltende Regler“ und lösen Sie die Aufgabe auf Zusatzblätter.



Bezeichnen Sie die folgenden regeltechnischen Größen:

Regelgrösse: u_B

Führungsgrösse: u_E

Messeinrichtung: M

Stellglied: SW

Regelstrecke: L

Störgrößen: Backofen Tür offen, Netzspannungs - schwankungen

Aufgabe:

Es soll eine Rüebliorte gebacken werden. Die Backzeit beträgt eine Stunde. Die Backtemperatur soll zwischen 200 und 220°C liegen. Die Umgebungstemperatur liegt bei 20°C. Die Regelung wird mit einem Zweipunktregler realisiert.

a) Zeichnen Sie den Verlauf der Regelgröße und der Stellgröße in Funktion der Zeit auf.

b) Wie oft schaltet das Stellglied ein und aus? 17,6 oder 18,2

$$\text{Aufwärmkurve: } u_B = u_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$\text{Abkühlkurve: } u_B = u_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\text{Weitere Daten: } \tau = 10 \text{ min} \quad u_0 = 280^\circ\text{C}$$

(Der Backofen würde sich somit ohne Regelung von 20°C um 280°C auf 300°C erwärmen.)

c) Rechnen Sie die Backzeit numerisch nach. (Minutengenau)

$t = 70,3 \text{ min}$

2.2 Aufgabe Regelung eines Modellofens

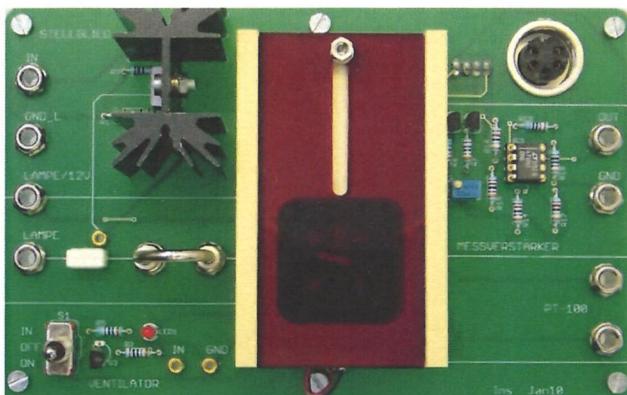


Abbildung 6: Modellofen

Entwickeln Sie zum Modellofen (Schema siehe nächste Seite) einen Zweipunktregler, der die folgenden Bedingungen erfüllt:

- | | |
|--|----------------------------|
| 1. Ofentemperatur | 40°C |
| 2. Regelung | 36°C bis 44°C |
| 3. Ausgangsspannung Messfühler bei 20°C
(muss mit Trimmstellschraube P1 eingestellt werden) | 0V |
| 4. Messfühler Diode, Durchlassspannung | -2mV / °C |
| 5. Heizung | Heizung 1 oder 2
Lampen |

Eingangsspannung Heizung ein
Eingangsspannung Heizung aus

Achtung: keine negativen Spannungen!

6. Regler Schmitt-Trigger mit OPV

Aufgaben

- a) Analysieren Sie die Schaltung, welche die Spannung vom Messfühler aufbereitet bis zu den Anschlüssen OUT und GND. Welche Ausgangsspannungsänderung entspricht $\Delta 1^\circ\text{C}$ Temperaturänderung?
- b) Zeichnen Sie das Blockschaltbild des ganzen Regelkreises. Sollwerteinsteller und Vergleicher entfallen, da es sich um einen Festwertregler handelt. Bezeichnen Sie die Ein- und Ausgangssignale jedes Blockes. (Regler, Heizung, Messfühler)
- c) Berechnen und zeichnen Sie das Diagramm
 $\text{Ausgangsspannung} = f(\text{Eingangsspannung})$ des Schmitt- Triggers. Tragen Sie neben den Schaltspannungen auch die entsprechenden Temperaturen ein.
- d) Zeichnen Sie das Schema des Schmitt-Triggers und dimensionieren Sie die notwendigen Bauelemente:
 - Sie können nur Bauelemente aus dem HPS-Sortiment verwenden.
 - Siehe FI „Komparator mit Schaltdifferenz“ für die Dimensionierung der Schaltung.
 - Inbetriebnahme Schmitt-Trigger:

Die Spannung U_{Ref} mit der zweiten Speisung erzeugen. Als Rückkopplungswiderstand eignet sich ein Wert von $10 \text{ k}\Omega$. OPV symmetrisch speisen, $+/- 12\text{V}$, dann Ausgangsspannung auf $+/- 10\text{V}$ abgleichen (durch verändern der Speisespannung). Der Schmitt-Trigger hat dann eine definierte Rückkopplungsspannung. Mit Hilfe einer in Serie geschalteten Diode können negative Spannungen auf den Heizungseingang vermieden werden.

e) Messung im Elektroniklabor:

1. Bauen Sie die Schmitt-Trigger Schaltung auf und kontrollieren Sie, ob die Funktionalität des Schmitt-Triggers ihren Vorgaben entspricht.
2. Eichung des Messfühlers, bei 20°C muss er eine Ausgangsspannung von 0V haben. Wenn eine andere Raumtemperatur herrscht (Thermometer bei der Türe beachten), muss die Ausgangsspannung entsprechend umgerechnet werden.

Achtung: Dieser Abgleich muss vor dem ersten Einschalten der Heizungen gemacht werden.

3. Schalten Sie den gesamten Regelkreis bestehend aus Ofen, Messfühlereinheit und Schmitt-Trigger zusammen. Verwenden Sie als Stellglied den FET vom Modellofen. Setzen Sie die Steckbrücke richtig ein.

Achtung: Aufpassen dass die Heizung erst einschaltet, wenn Sie für die Messung unter Punkt 4 bereit sind, sonst müssen Sie wieder lange warten bis sich der Ofen abkühlt. Ofendeckel geschlossen halten.

4. Messen Sie die Temperatur im Ofen in Funktion der Zeit. Dabei die Zeit so wählen, dass die Heizung dreimal einschaltet und dreimal ausschaltet. Verwenden Sie den ROL Mode vom KO.

5. Zusatzaufgaben:

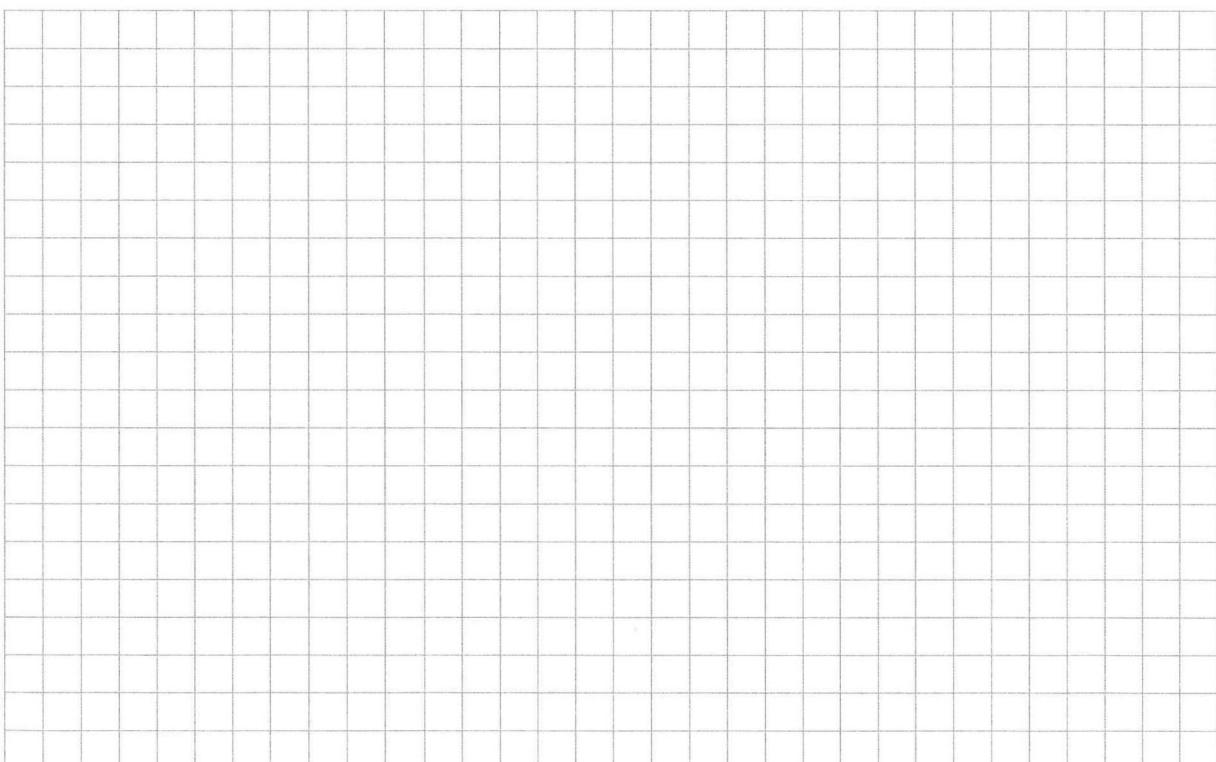
Schalten Sie Störgrößen ein und messen Sie die Temperatur im Ofen in der Funktion der Zeit.

Folgende Störgrößen können Sie Anwenden:

- Ventilator
- öffnen der Plexiglas Haube
- beide Störungen gleichzeitig.

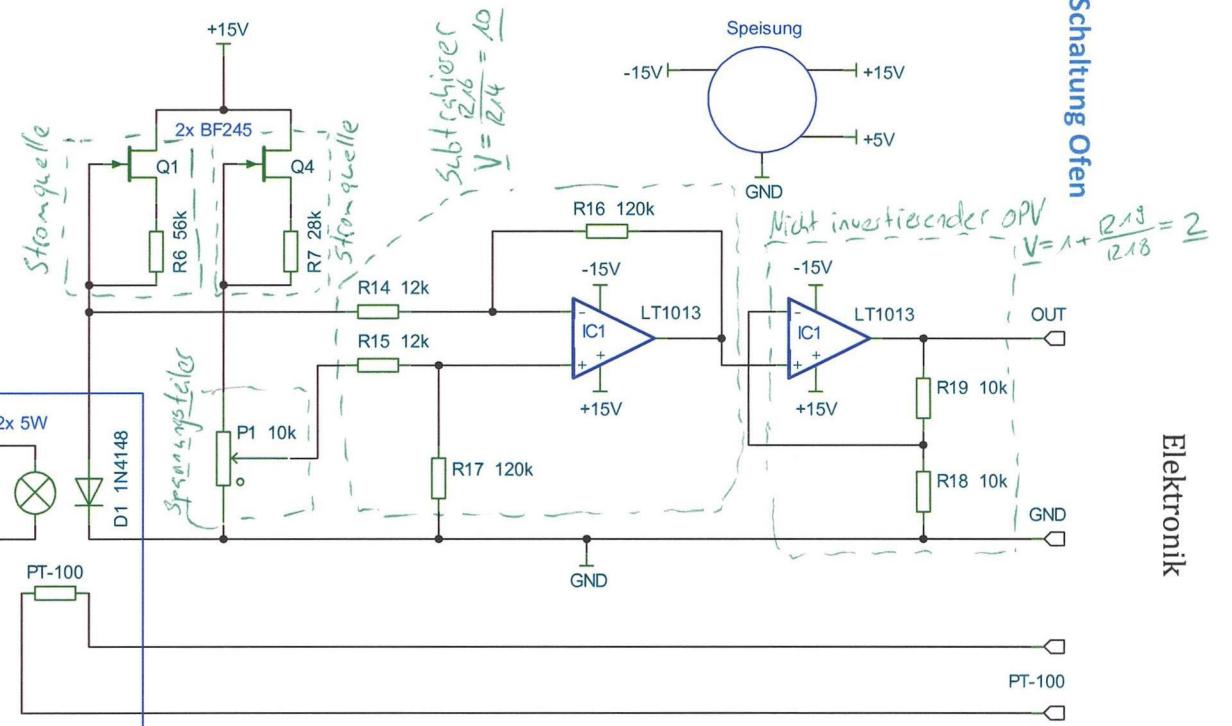
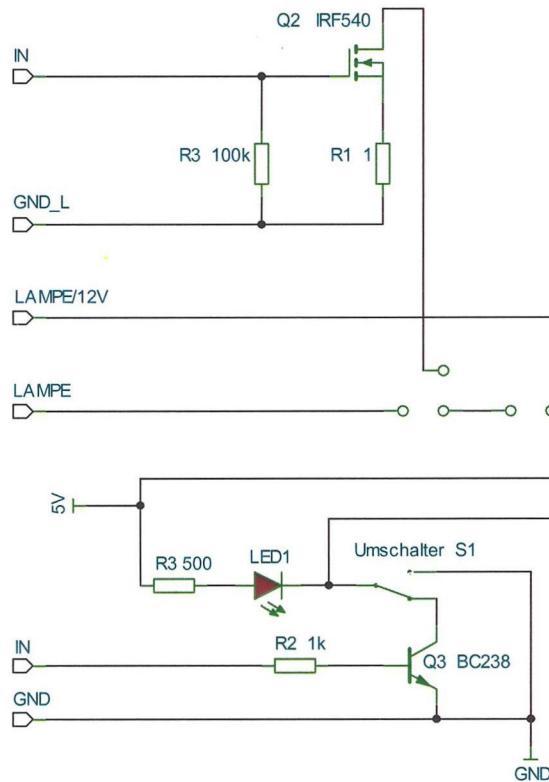
Beschreiben Sie die Änderungen im Verhalten bei diesem System.

Mit welcher Schaltungsänderung könnte man den Sollwert einstellen?
Bauen Sie ihre Schaltung entsprechend um.



2.2.1 Schaltung Ofen

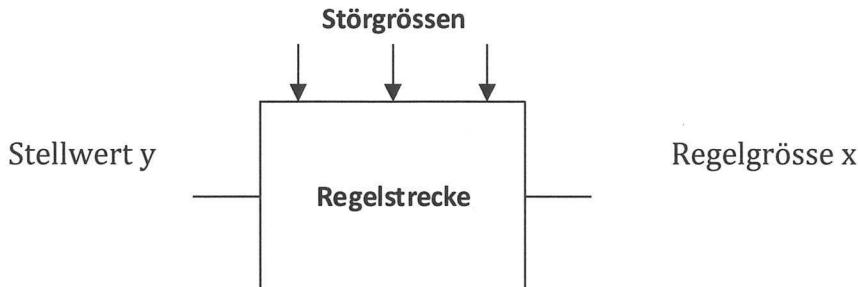
Schema Modell-Ofen



3 Stetige Regler

Bei der unstetigen Zweipunkteregelung kann das Stellglied nur zwei Zustände einnehmen: Beim Modellofen konnte die volle Heizleistung oder keine Leistung vom Stellglied eingestellt werden. Bei stetigen Reglern kann das Stellglied zwischen Werten stellen (zum Beispiel mit dem Öffnungswinkel eines Ventiles).

3.1 Regelstrecke



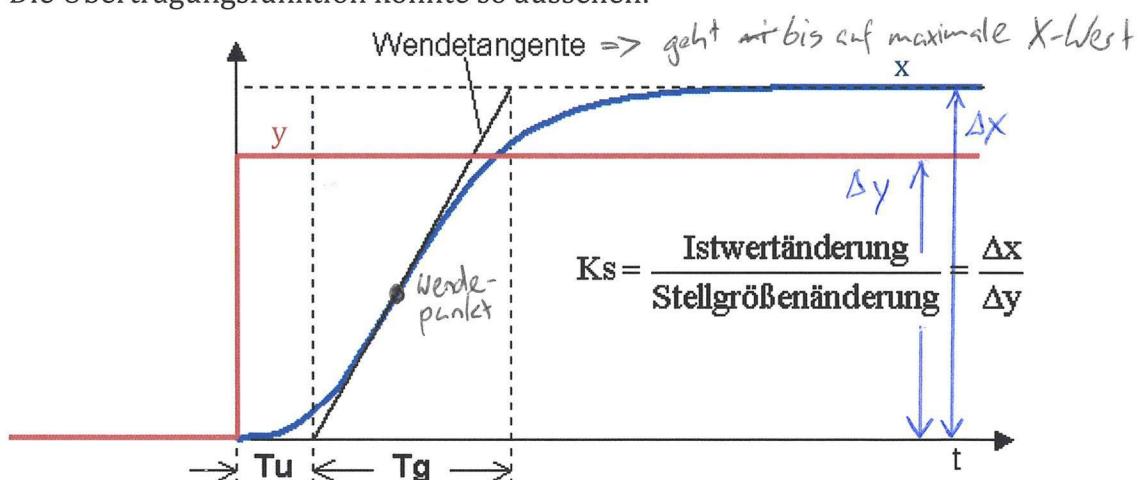
Die Regelstrecke ist derjenige Teil im Regelkreis der die zu regelnde physikalische Größe enthält. Diese physikalische Größe ist die Regelgröße. Beim Modellofen ist die Regelgröße demnach die Temperatur im Ofen.

3.1.1 Übertragungsfunktion aus der Sprungantwort

Um den Regler auslegen zu können, ist es nötig, die Regelstrecke zu identifizieren. Dies kann über die Erstellung eines mathematischen Modells der Regelstrecke erreicht werden. Lässt sich das Modell nicht berechnen, kann die Übertragungsfunktion auch gemessen werden.

Die Übertragungsfunktion ist das Ausgangssignal der Regelstrecke, dem am Eingang die Sprungfunktion zugeführt wird. (schneller Wechsel des Eingangssignales y).

Die Übertragungsfunktion könnte so aussehen:



bisherige Norm (DIN 19226):

T_u : *Verzugszeit*

T_g : *Nichstellzeit*

K_s : *Proportionalbeiwert*

DIN IEC 60050-351:

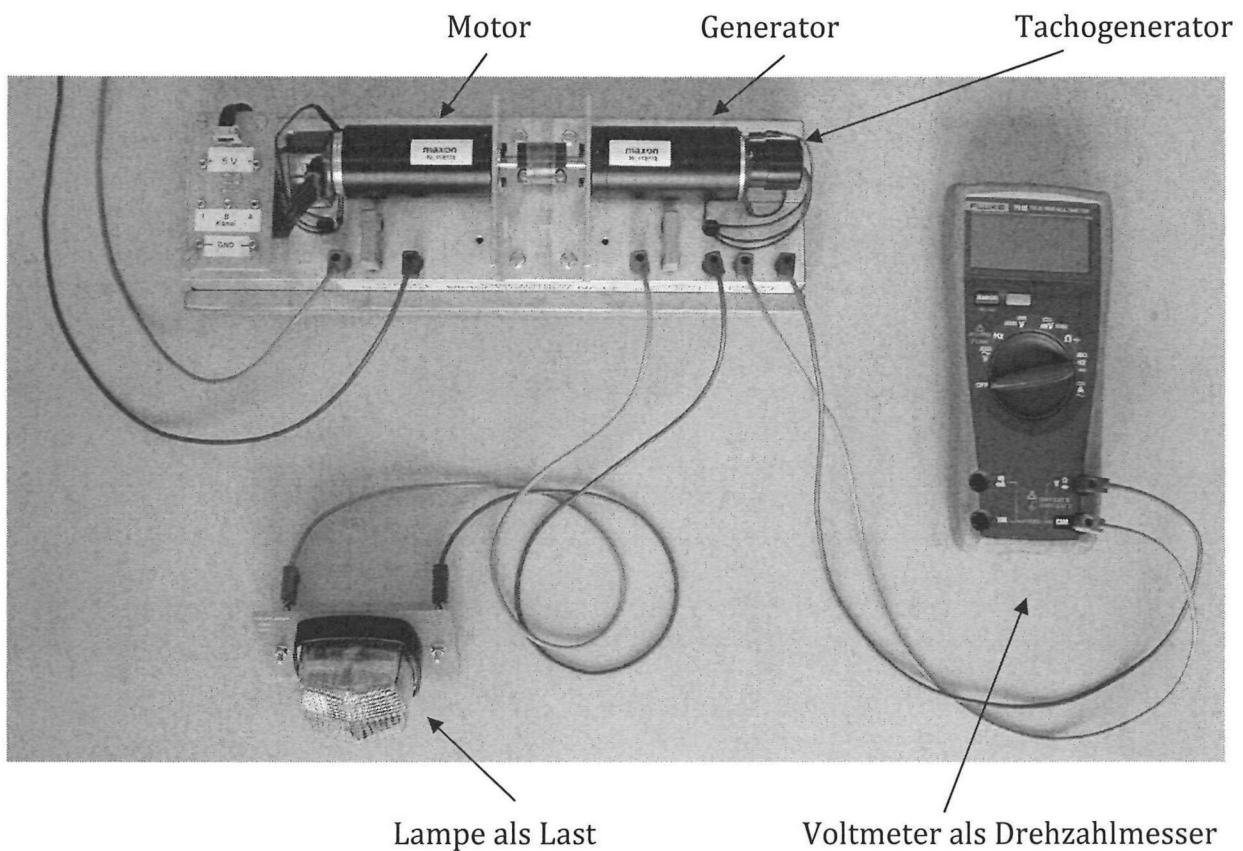
T_e

T_b

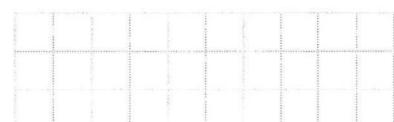
K_{PS}

3.1.2 Messaufgabe: Sprungantwort Maxon- Motor- Generatorgruppe

Messen Sie mit dem KO wird die Sprungantwort der Maxon- Motor- Generatorgruppe.



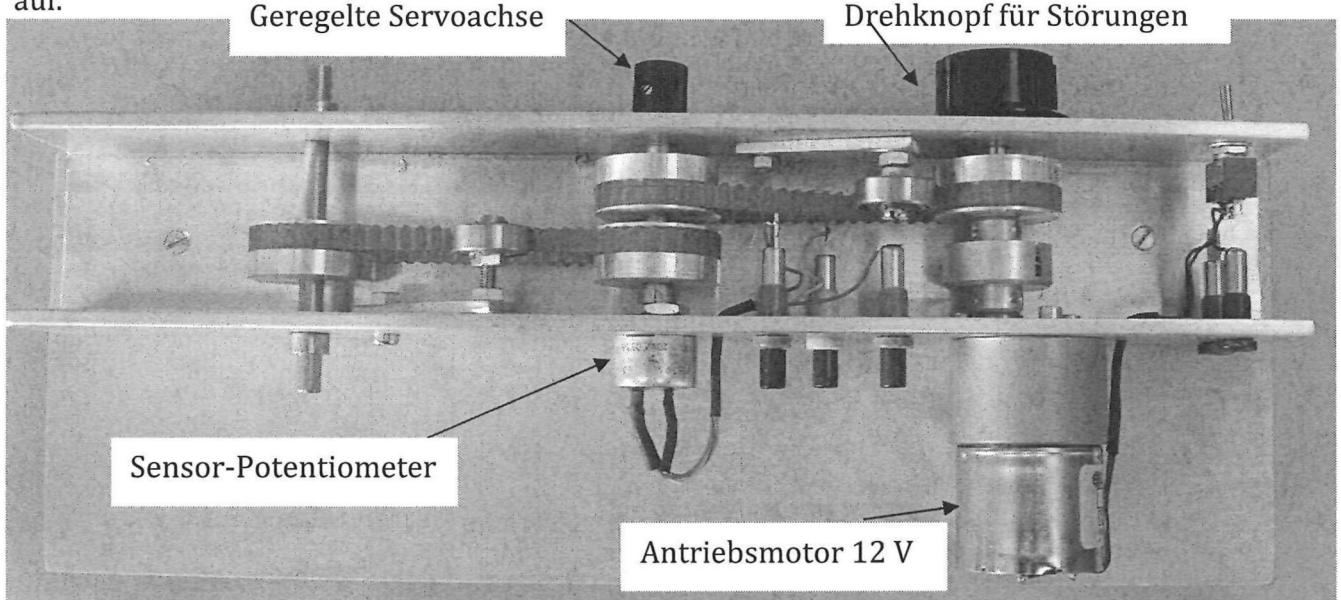
1. Der Generator wird mit einer Lampe belastet.
2. Zur Messung der Drehzahl wird der Tachogenerator verwendet. Er liefert pro 1000 U/min eine Gleichspannung von 0,52 V.
3. Wichtig: Der grosse Anlaufstrom vom Motor belastet die Speisung enorm. Damit die Sprungfunktion nicht beeinflusst wird, müssen Sie zwei Speisungen parallel-schalten.
4. Als Sprungfunktion y für die Messung schalten Sie die Spannungsversorgung von 0V auf 13V ein. Zeichnen Sie den Verlauf im Kanal 1 mit 2V/Div. auf. Für die Sprungantwort zeichnen Sie beim Kanal 2 die Tachospannung auf (200mV/Div.).
5. Wie gross ist die Drehzahländerung bei 13V?



Die Sprungantwort ist die Drehzahländerung bei einer Änderung der Spannungsversorgung von 13V.

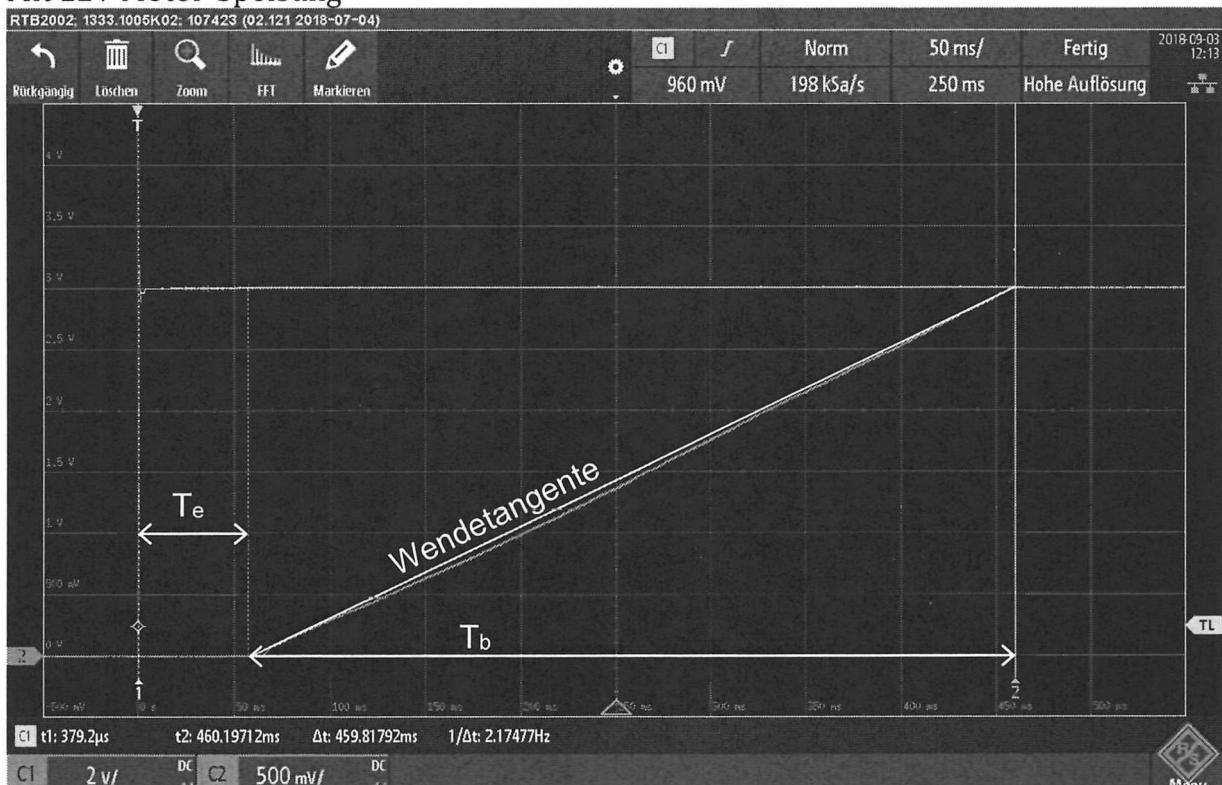
3.1.4 Messaufgabe Sprungantwort Servomotor für Positionsregelung

Zeichnen Sie mit dem KO die Sprungantwort vom Servomotor für die Positionsregelung auf.



1. Verwenden Sie als Stellgrösse y maximal eine Spannung von 3V
2. Zeichnen Sie den Stellwert y und die Regelgrösse x mit dem KO auf.
3. Fügen Sie das KO Bild in den Rahmen und tragen Sie die Wendetangente ein.
4. Wie gross sind K_{PS} , T_e und T_b ? (Drehwinkel Potentiometer = 300°)

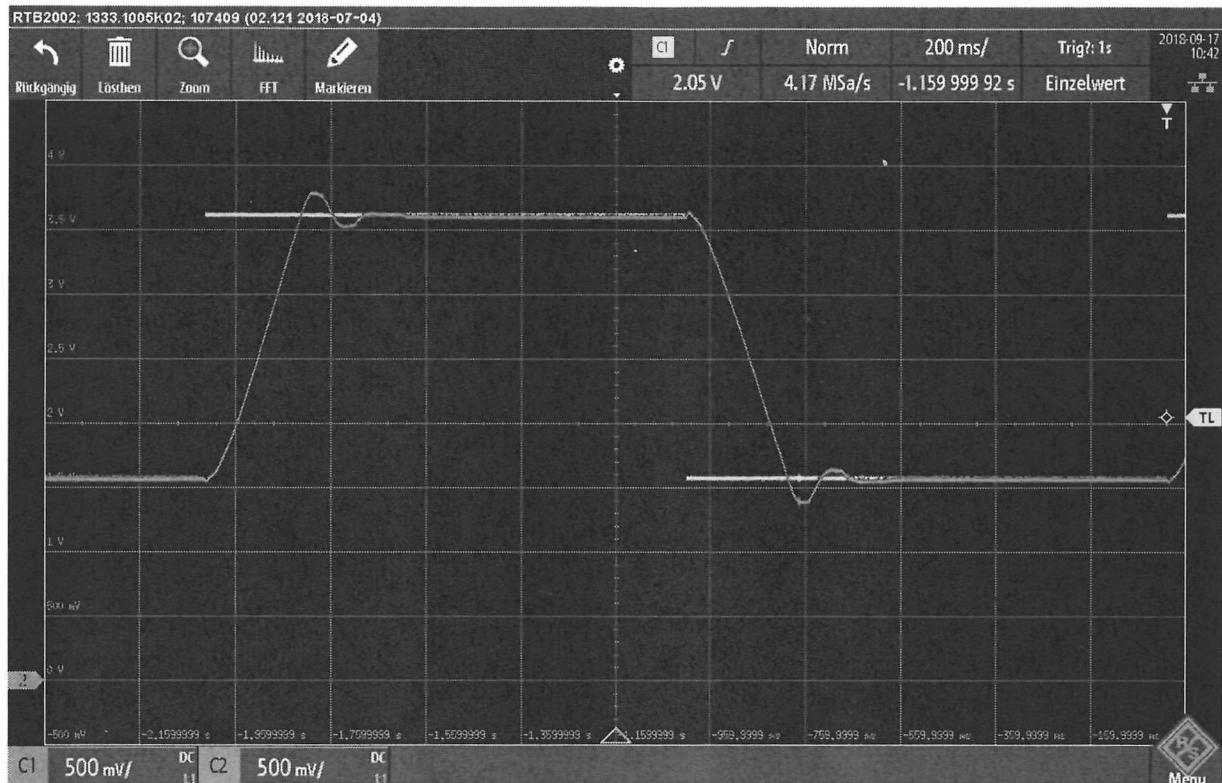
Mit 12V Motor-Speisung



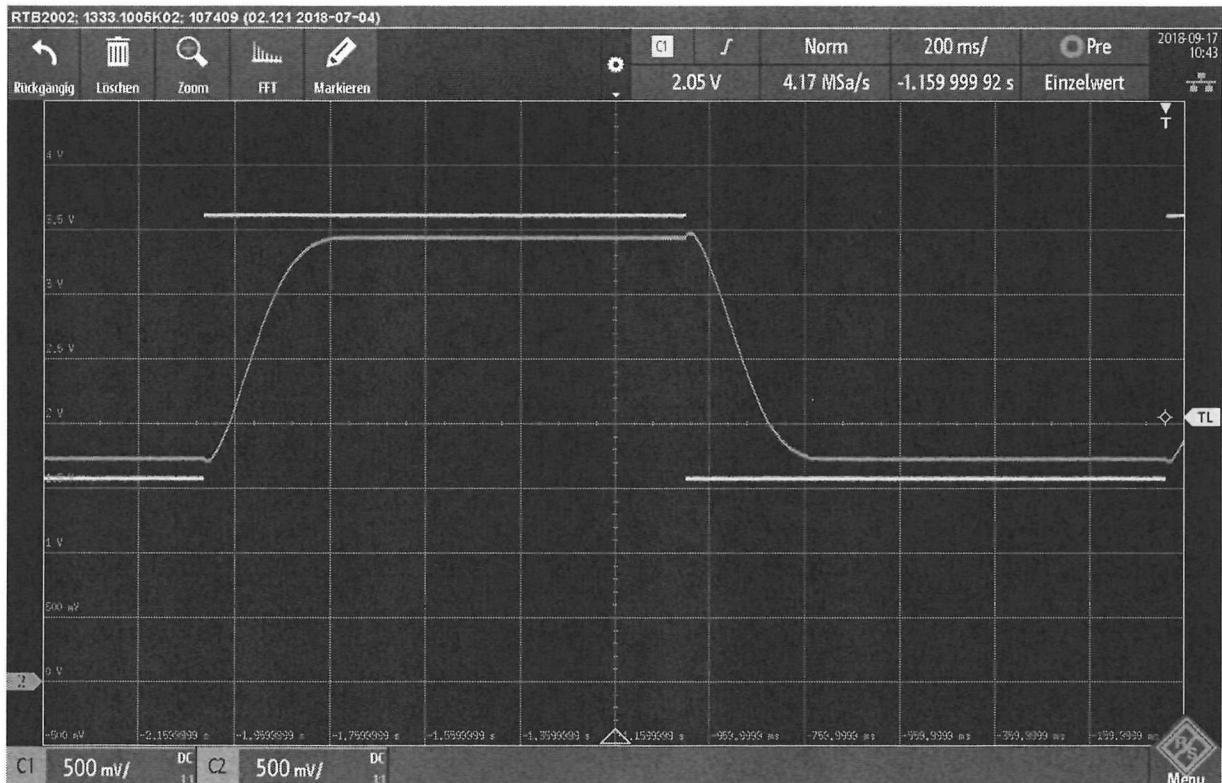
Berechnungen sind auf der nächsten Seite

$$f(t) = U_{SOLL}; f(t) = U_{IST}$$

$$K_p = 97.1, R_1 = 1k\Omega, R_2 = 97.1k\Omega$$



$$K_p = 10, R_1 = 1k\Omega, R_2 = 10k\Omega$$



P-Regler

Written by Joel von Rotz & Luca Zweifel

Messobjekt

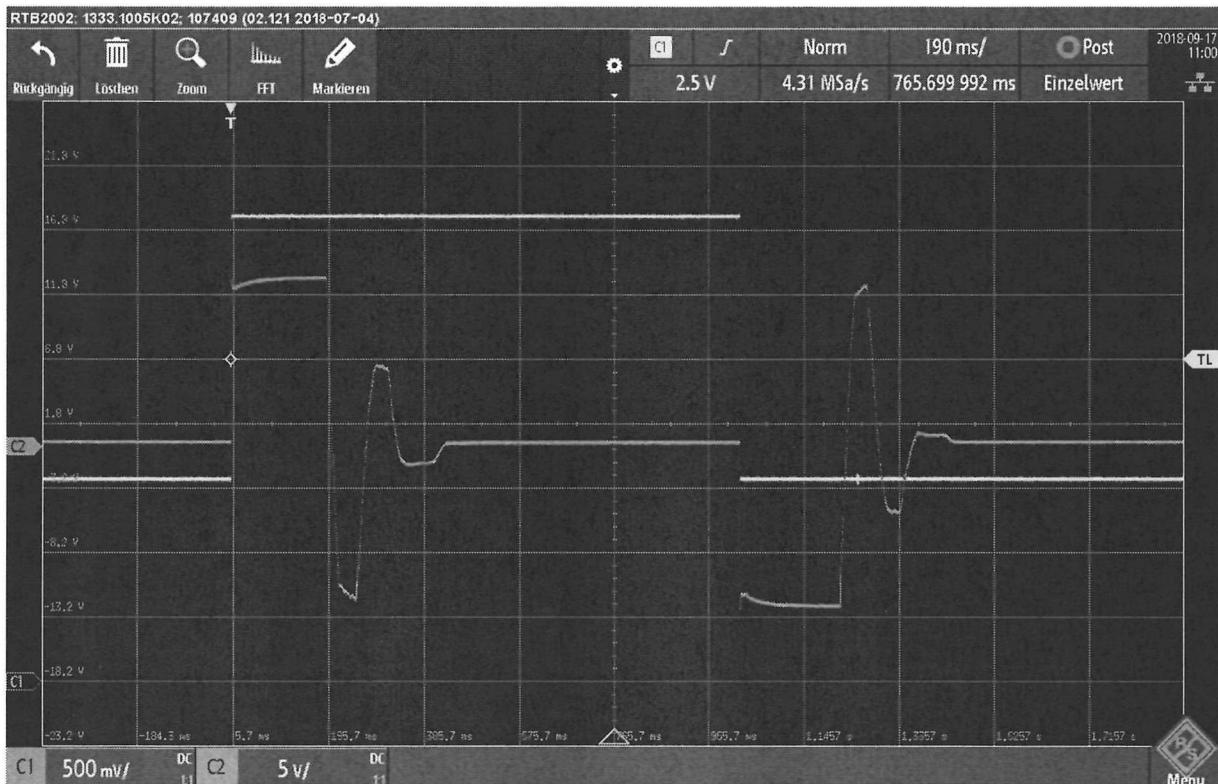
Motorpositionssteuerung mit P-Regler

Messresultate

Mit einer Rechteck Spannung am Funktionsgenerator wurde die Steuerung angesteuert. Dabei wurde der Sollwert, Istwert und die Motorspannung mit dem KO gemessen.

$$f(t) = U_{SOLL}; f(t) = U_{MOTOR}$$

$$K_p = 97.1, R_1 = 1\text{k}\Omega, R_2 = 97.1\text{k}\Omega$$



$$K_p = 10, R_1 = 1\text{k}\Omega, R_2 = 10\text{k}\Omega$$

Lesen Sie die folgenden Beschreibungen verschiedener Regelstrecken und beantworten Sie die drei Fragen.

3.1.5 Proportionalglied (P-Glied)

Symbol	Übertragungsfunktion	Sprungantwort
	$G(s) = K$	

Die einfachste Art einer Regelstrecke.

Beispiel: Hebel, Getriebe, Verstärker, Spannungsteiler,
Sensoren bei denen das Zeitverhalten vernachlässigt werden kann

3.1.6 Integrator (I-Glied)

Symbol	Übertragungsfunktion	Sprungantwort
	$G(s) = \frac{1}{Ts} = \frac{K}{s}$	

Strecke ohne Ausgleich, ist häufig in Regelstrecken vorhanden.

Beispiel: Beschleunigung -> Geschwindigkeit -> Weg,
Konstanter Strom -> Kondensatorspannung

3.1.7 Verzögerungsglied 0.Ordnung (Totzeitglied)

Symbol	Übertragungsfunktion	Sprungantwort
	$G(s) = e^{-T_f s}$	

Entsteht durch Laufzeiten von Material oder Signalen. Je grösser die Verzögerungszeit einer Regelstrecke ist, desto schwieriger ist diese zu regeln.

Beispiel: Förderband, Rechenzeit, A/D-Wandler

3.1.8 Verzögerungsglied 1.Ordnung (PT1-Glied)

Symbol	Übertragungsfunktion	Sprungantwort
	$G(s) = \frac{K}{1 + Ts}$	

Viele einfache Regelstrecken haben ein solches Verhalten bzw. können näherungsweise damit beschrieben werden. Ist ein P-Glied mit nicht vernachlässigbarem Zeitverhalten.

Beispiel: Gleichstrommotor (Spannung -> Drehzahl), näherungsweise;
Widerstand-Kondensator-Schaltung (RC-Glied)

3.1.9 Nicht schwingfähiges PT2-Glied:

Symbol	Übertragungsfunktion	Sprungantwort
	$G(s) = \frac{K}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}$	

Beispiel: Zwei hintereinander geschaltete PT1-Glieder,
Gleichstrommotor (Spannung -> Drehzahl), Induktivität berücksichtigt

3.1.10 Verzögerungsglied 2.Ordnung (PT2-Glied)

Man unterscheidet schwingungsfähige und nicht schwingungsfähige PT2-Glieder. Zur Charakterisierung gibt es die Parameter Dämpfung D und Eckfrequenz ω_0 oder die Zeitkonstanten T_1 und T_2 . Der Wert des Dämpfungsgrades D entscheidet, ob die Sprungantwort der Regelgröße:

- aperiodisch ($D > 1$),
- gedämpft schwingend ($D < 1$)
- oder zunehmend periodisch schwingend ($D < 0$) verläuft.

Schwingfähiges PT2-Glied:

Symbol	Übertragungsfunktion	Sprungantwort
	$G(s) = \frac{K}{1 + \frac{2D}{\omega_0} s + \frac{1}{\omega_0^2} s^2}$	

Beispiel: Mechanischer Schwinger (Feder-Masse-System),
elektrischer Schwingkreis (RLC-Kreis)

Ordnen Sie die gemessenen Sprungantworten den Arten der Regelstrecken zu.

Maxon- Motor- Generatorgruppe:

~~Nicht schwingfähiges~~ PT1-Glied

Servomotor:

Integrator (1-Glied)

4 Regler

Beispiel Spannungsstabilisierung mit Reihentransistor und Z-Diode:

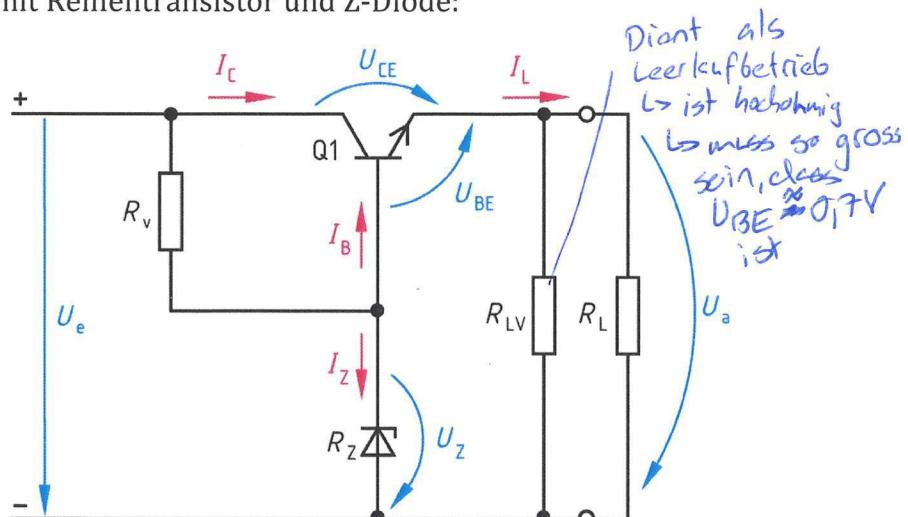
Lösen Sie im ME 140 die Aufgaben 1 und 4 zur nebenstehenden Schaltung.

ME140 Nr1:

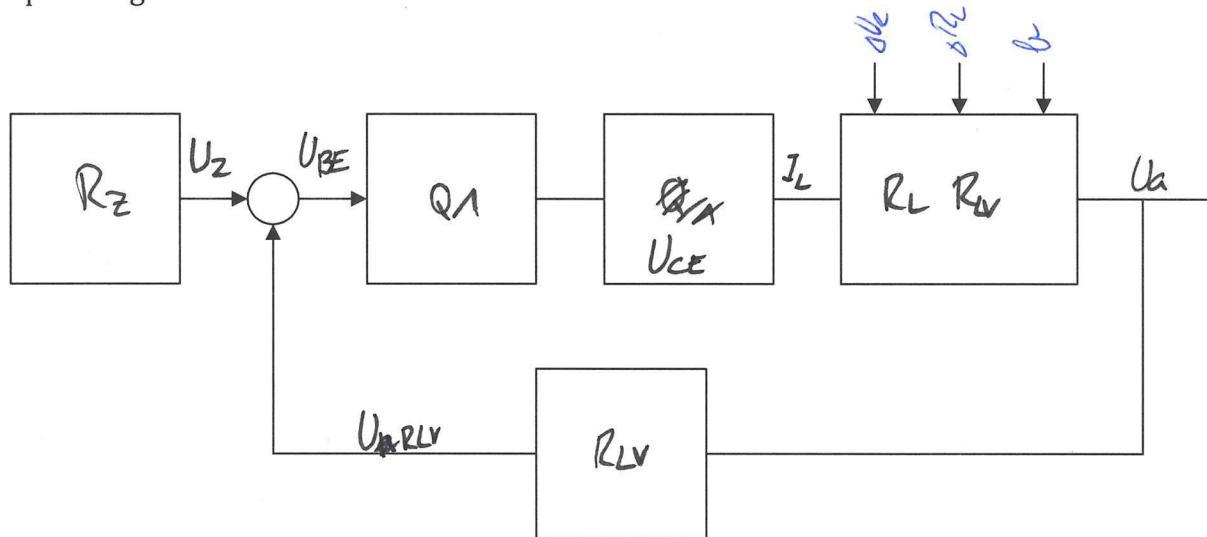
- $R_v = 733 \Omega$
- $G \approx 147$
- $P_v = 451 \text{mW}$ (genau)

ME140 Nr4:

- $R_v = 128 \Omega$
- $P_v = 5.01 \text{W}$ (genau)

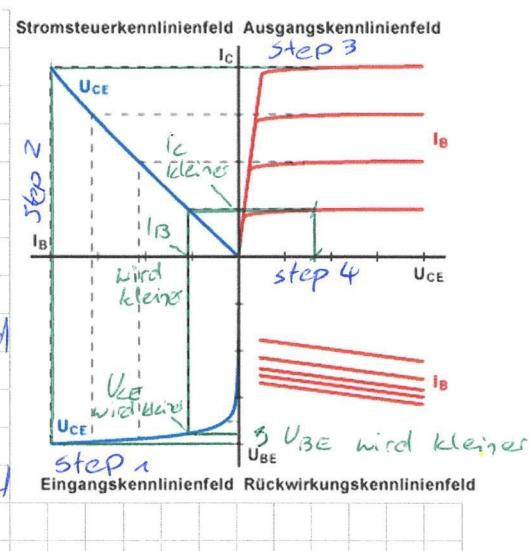


Ergänzen Sie das folgende Blockschaltbild mit den Bauteilbezeichnungen, Ströme oder Spannungen aus dem Schema:



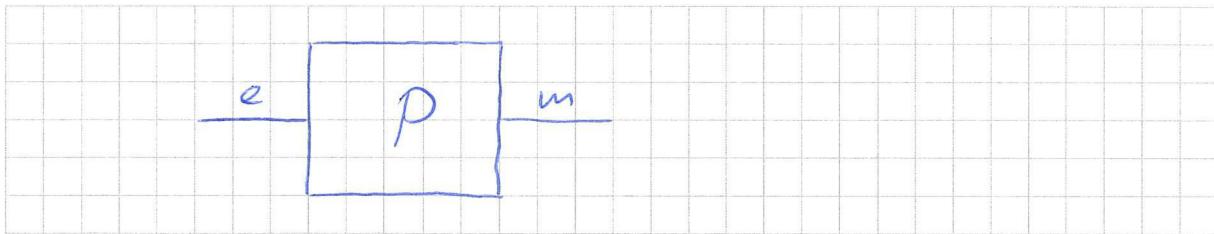
Wie funktioniert die Regelung?

R_L wird grösser $\rightarrow U_a$ wird grösser
 $U_a = R_L \cdot I_L$
 $\Rightarrow U_{BE}$ wird kleiner $\Rightarrow U_{BE} = U_z - U_a$
 $\hookrightarrow U_z$ ist konstant
 $\Rightarrow U_{CE}$ wird kleiner
 $\Rightarrow I_B$ wird kleiner, da U_{BE} kleiner wird
 $\hookrightarrow I_B$ ist abhängig von U_{BE}
 $\hookrightarrow I_C$ wird auch kleiner
 $\hookrightarrow U_{CE}$ wird grösser, da U_a angepasst werden muss

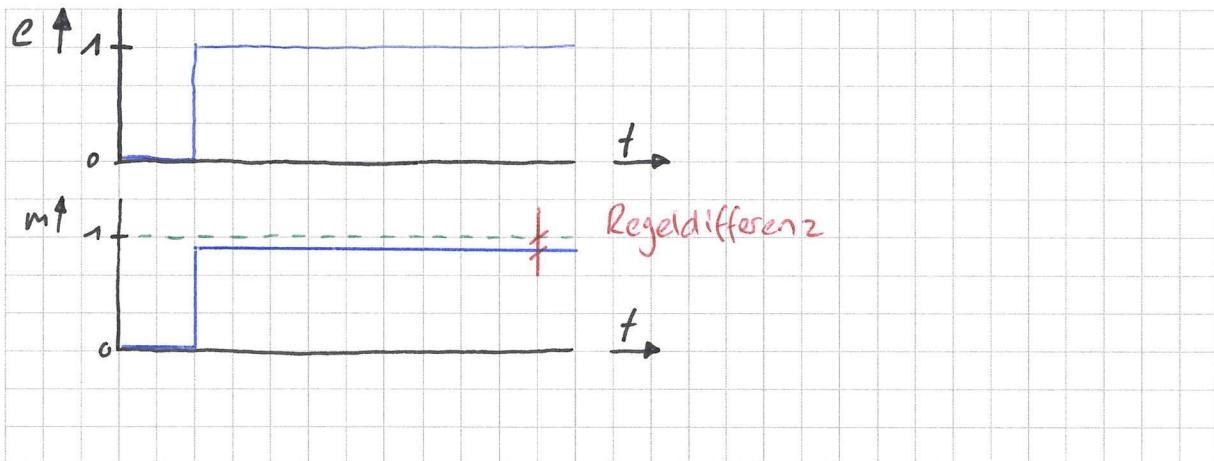


4.1 P-Regler

Symbol



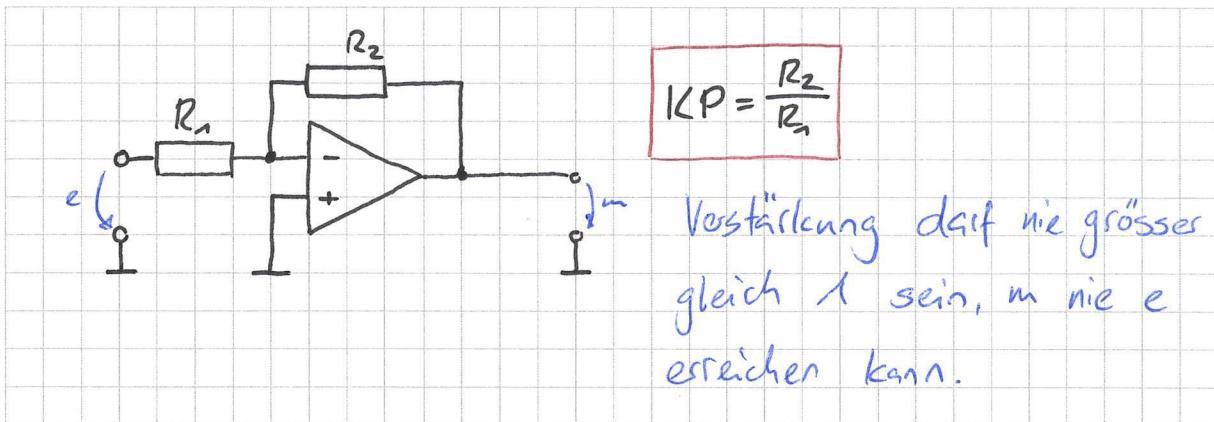
Sprungantwort



Reglergleichung

$$m = \Delta e \cdot KP$$

Prinzipschaltung

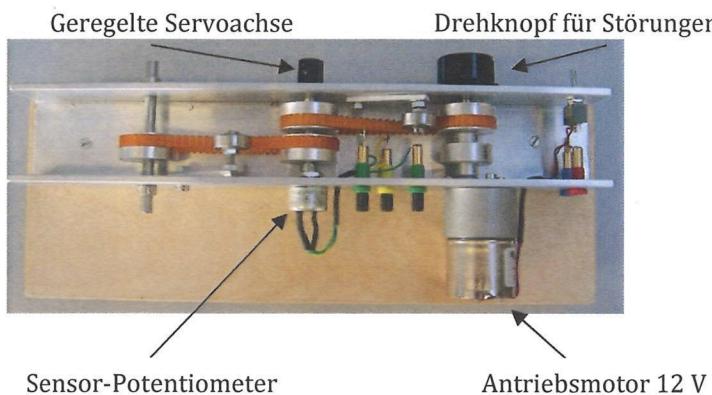


Verhalten

- o mittelschnell
- o bleibende Regeldifferenz

4.1.1 Übungsaufgabe Positionsregelung mit P-Regler

Aufbau des Servos:



Anschlüsse Motor:

Die blaue und die rote Buchse, Nennspannung Motor 12V. Durch umpolen wird die Drehrichtung geändert. Während dem Umstellen vom Regler sollten Sie jeweils mit dem Schalter die Stromzufuhr zum Motor unterbrechen.

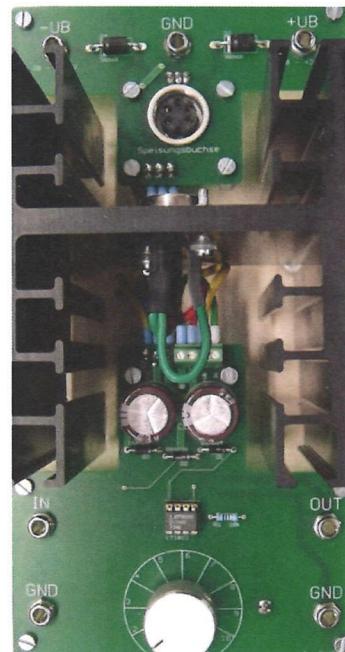
Wenn der Motor auf den Anschlag fährt schützt die Rutschkupplung den mechanischen Aufbau.

Anschlüsse Sensor- Potentiometer:

Mittelabgriff gelbe Buchse. Aussenanschlüsse grüne Buchsen.

Wichtige Hinweise:

- Da der Servomotor relativ viel Strom braucht, kann er nicht direkt mit dem OPV-Ausgang des P-Reglers gespiesen werden. Sie müssen zwischen Regler Ausgang und Motor den Aktor schalten.
- Stellen Sie auf dem Aktor das Potentiometer auf x1.
- Verwenden die blaue +/- 15V / 5V Speisung für die Spannungsversorgung.



- Stellen Sie sicher, dass beim Regler die Steckbrücke beim P- Anteil des Reglers gesteckt ist.
- Als Vergleicher wird ein Operationsverstärker eingesetzt, welcher mit vier 100kΩ Widerständen als Differenzverstärker beschaltet ist. Dieser ist ebenfalls mit +/- 15V zu speisen.
- Als Sollwert Potentiometer ist das 1kΩ HPS Potentiometer zu verwenden. Ziel der Regelung ist es, die Servoachse gemäss der Vorgabe vom Sollwert Potentiometer auszurichten.

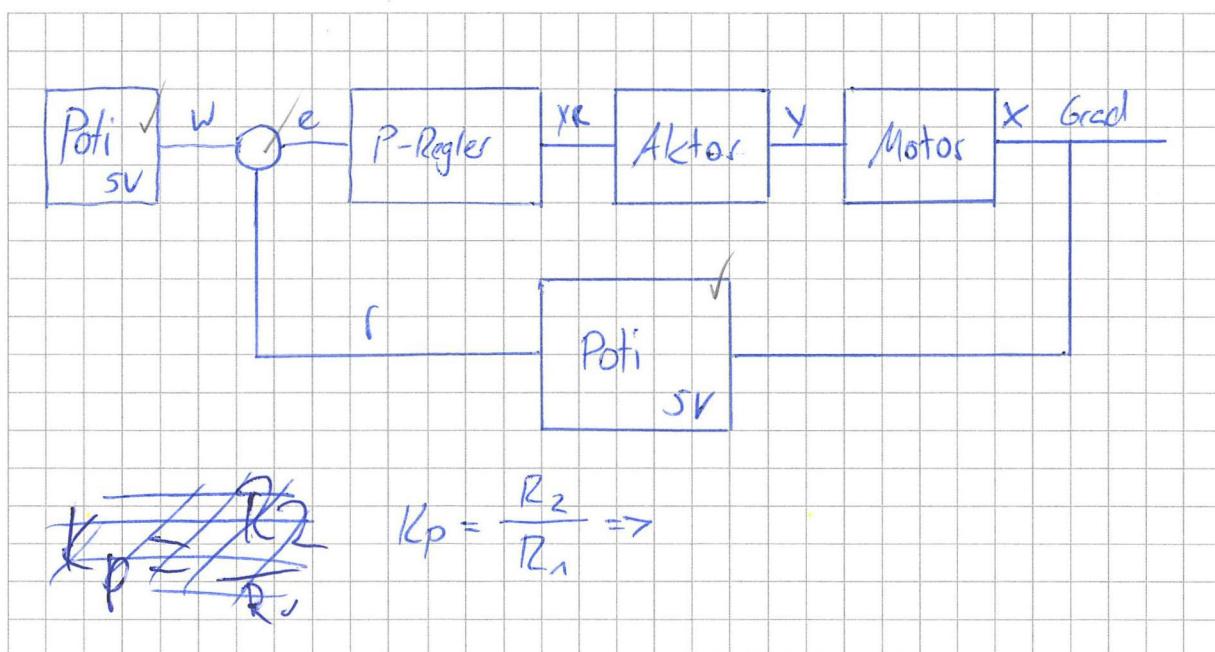
- Mit dem Drehknopf für Störungen kann im Betrieb die Servoachse verstellt werden. Sobald Sie den Drehknopf wieder loslassen versucht der Regler wieder die Position gemäss Sollwert Potentiometer einzunehmen.

Aufgabe 1 Entwicklung der Schaltung:

- Zeichnen Sie das Blockschaltbild des vollständigen Regelkreises mit allen dazugehörigen Größen.
- Zeichnen und rechnen Sie die Schaltungen des Vergleichers, des P-Reglers und des Sollwerteinstellers ($K_p = 10$ bis ca. 500 einstellbar).
- Zeichnen Sie das vollständige Schema des Regelkreises, so wie Sie ihn später im Labor aufbauen wollen. Bezeichnen Sie alle externen Spannungen und alle Bauelemente.

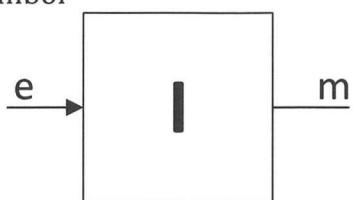
Aufgabe 2 Messungen im Labor:

- Bauen Sie den Regelkreis im Labor auf und nehmen Sie ihn in Betrieb. Beginnen Sie mit einem K_p von 10 und erhöhen Sie das K_p bis das System schwingt. Danach halbieren Sie das K_p wieder. Notieren Sie sich das herausgefundene K_p und schreiben Sie die dazugehörige Dimensionierung der Widerstände in ihr Schema.
- Führungsverhalten des Regelkreises:
Messen Sie die folgenden Signale mit dem Speicher-KO und zeichnen Sie diese für Ihre Dokumentation auf:
 $U_{SOLL} = f(t)$; $U_{IST} = f(t)$; $U_{MOTOR} = f(t)$.
Zuerst stellen Sie das $K_p = 10$ (stabiler Regler) ein. Danach wiederholen Sie die drei Messungen mit $K_p = 500$ Einspeisung Sollwert mit dem Funktionsgenerator: Rechtecksignal, 0,5Hz, Amplitude und Offsetspannung so wählen, damit der Servo zwischen den Positionen 3 und 6 wechselt.
- Störverhalten des Regelkreises:
Messen Sie U_{IST} und U_{SOLL} mit dem KO in der ROL-Mode Zeiteinstellung zum Beispiel 200ms/DIV. Nehmen Sie für $K_p = 10$, K_p beim stabilen Regler und $K_p = 500$ je ein KO-Bild auf bei einer plötzlichen Störung (Drehen am Drehknopf für Störungen).
- Beschreiben Sie das Verhalten vom Regelkreis bei den drei unterschiedlichen Einstellungen vom K_p . (10, nach Aufgabe 2a) und 500)



4.2 I- Regler

Symbol



Sprungantwort



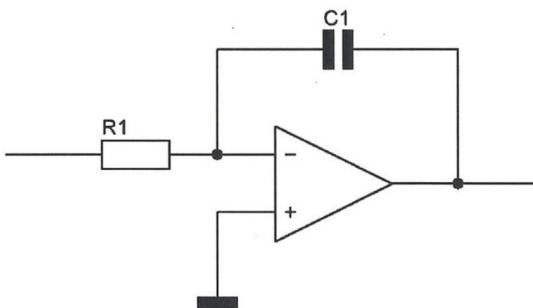
Regelgleichung

$$m = K_P \cdot \frac{1}{T_N} \int_0^t \Delta e(\tau) d\tau$$

K_P : Proportionalbeiwert

T_N : Nachstellzeit

Prinzipschaltung



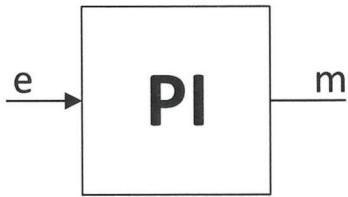
$$T_N = C_1 \cdot R_1$$

Verhalten

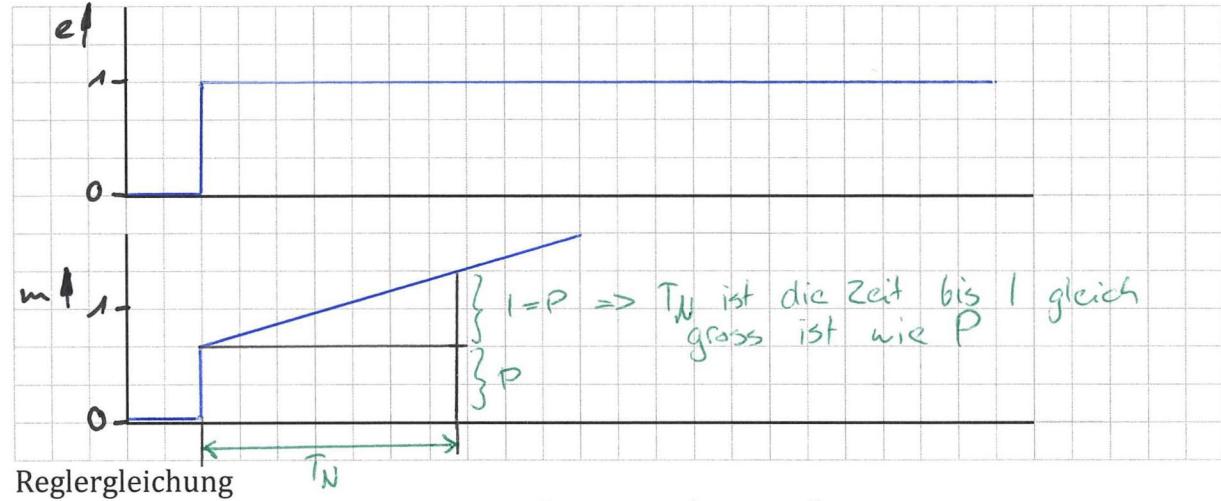
- Langsam
- Regelt aus (keine Regelabweichung)

4.3 PI-Regler

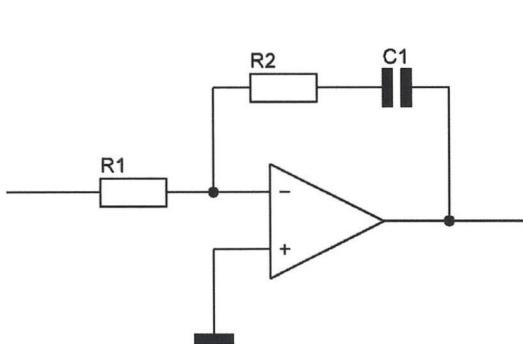
Symbol



Sprungantwort



Prinzipschaltung



$$K_P = \frac{R_2}{R_1}$$

$$T_N = C_1 \cdot R_1$$

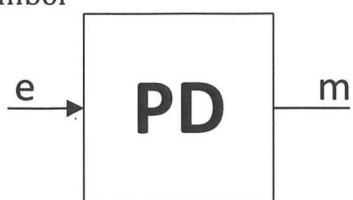
T_N Nachstellzeit: Die Zeit, welche benötigt wird, bis die Wirkung von P- und I-Anteil gleich gross ist.

Verhalten

- Reagiert mittelschnell und langsam ausregelnd
- Regelt aus (keine Regelabweichung)

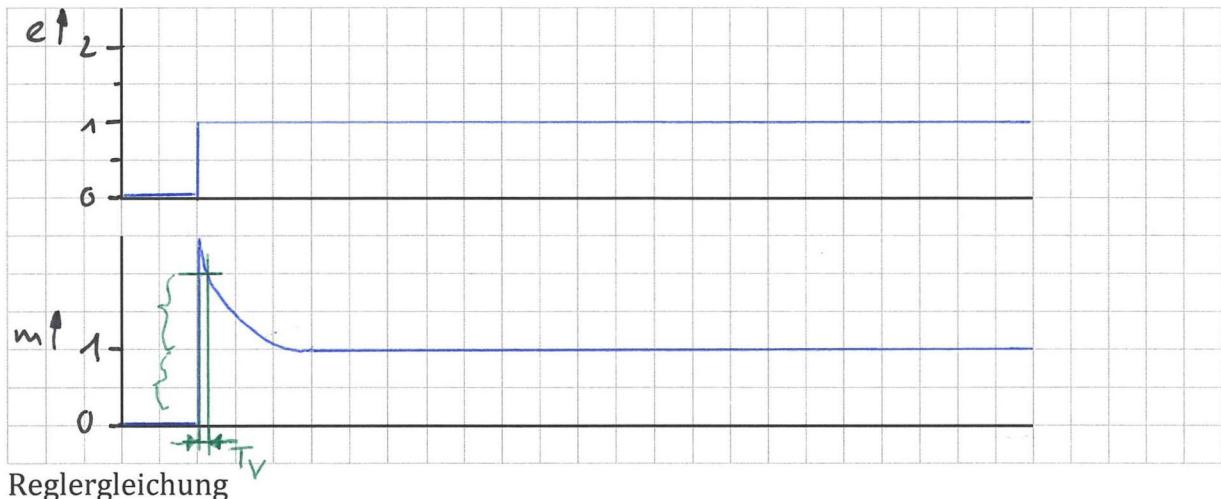
4.4 PD-Regler

Symbol



Differential erkennt die Steilheit

Sprungantwort



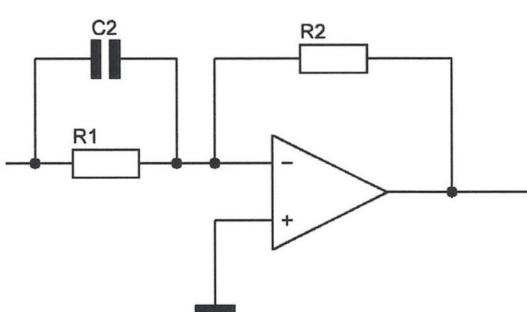
Reglergleichung

$$m = K_P \cdot \left[\Delta e + T_V \frac{de(t)}{dt} \right]$$

K_P: Proportionalbeiwert

T_V: Vorhaltezeit

Prinzipschaltung



$$K_P = \frac{R_2}{R_1}$$

$$T_V = C_2 \cdot R_2$$

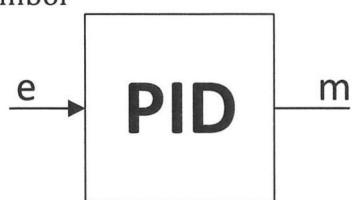
T_V Vorhaltezeit: Die Zeit, welche benötigt wird, bis die Wirkung von P- und D-Anteil gleich gross ist.

Verhalten

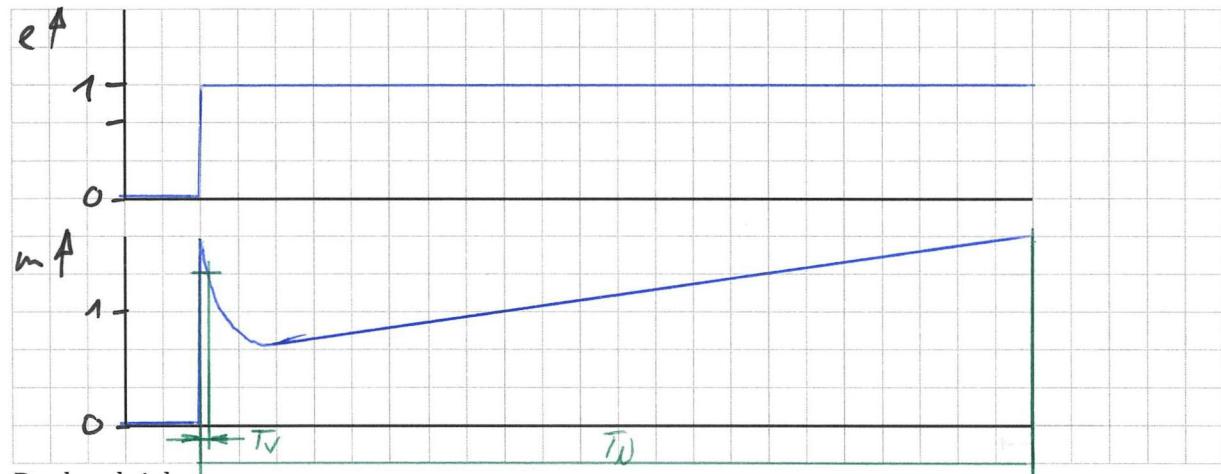
- 5 Regiert schnell
- 6 Mit Regelabweichung

4.5 PID-Regler

Symbol



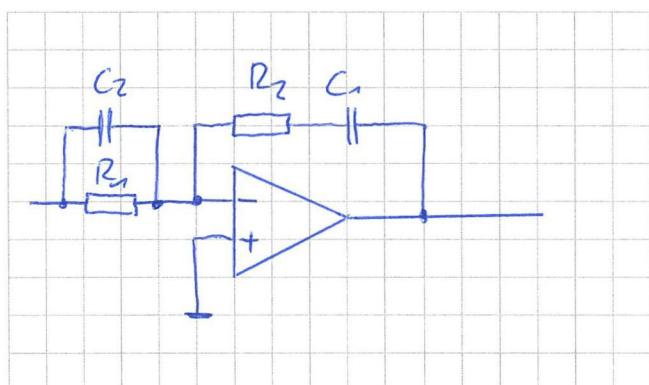
Sprungantwort



Reglergleichung

$$m = K_P \left[\Delta e + \frac{1}{T_N} \int_0^t \Delta e(\tau) dt + T_V \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Prinzipschaltung



$$K_P = \frac{R_2}{R_1}$$

$$T_N = C_1 \cdot R_1$$

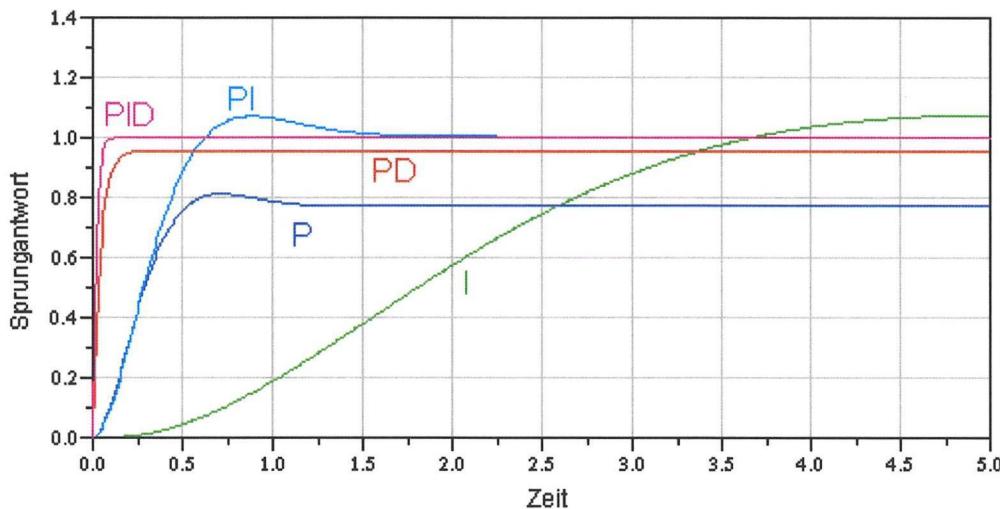
$$T_V = C_2 \cdot R_2$$

Verhalten

- schnell
- Regelt aus (keine Regelabweichung)

4.6 Vergleich verschiedener Regler

In der folgenden Abbildung ist der Vergleich von P-, I-, PI-, PD- und PID-Regler in einem Regelkreis mit PT2-Glied als Regelstrecke dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass die Regler ohne I-Anteil (P und PD) eine bleibende Regelabweichung aufweisen. Erst die Regler mit I-Anteil können auf den Endwert eins ausregeln. Beim reinen I-Regler geht das so langsam, dass dies gar nicht mehr auf dem Diagramm zu sehen ist. Der Hauptzweck eines I-Anteils ist also die Vermeidung bleibender Regelabweichungen. Daher ist ein I-Anteil normalerweise nicht nötig, wenn die Strecke schon einen I-Anteil besitzt. Ausnahme: Es wird ein doppelter I-Anteil zur Vermeidung von Schleppfehlern benötigt. Die schnellsten Regler sind die mit einem D-Anteil (PD und PID). Der D-Anteil kommt deshalb hauptsächlich zum Einsatz, wenn schnelle Dynamik gefragt ist oder die Strecke selbst schon instabil ist. Voraussetzung für die Schnelligkeit ist allerdings, dass keine Begrenzung im Stellglied oder Aktor auftritt. In der Praxis ist eine Begrenzung meistens nicht zu vermeiden, deshalb gilt die Sprungantwort in der Praxis nur für kleine Sprünge. Die Regler ohne D-Anteil, aber mit P-Anteil (P und PI) sind mittelschnell. Für einfache Regelaufgaben reicht auch oft schon ein reiner P-Regler aus, wenn die bleibende Regelabweichung vernachlässigt werden kann oder weil die Strecke schon einen I-Anteil besitzt.



Aus diesem Vergleich wird klar, warum der PID-Regler so beliebt ist, er vereinigt die Vorzüge aller anderen Regler.

Vorgehensweise bei der Regleroptimierung

Es gibt unterschiedliche Verfahren einen Regelkreis aufzubauen und zu optimieren. Beim P Regler haben Sie ein Faustformel Verfahren angewandt (ohne ein mathematisches Modell der Regelstrecke):

1. Regelstrecke ausmessen
 2. Mit der Regelstrecke K_{PSkrit} und T_{krit} mit P- Regler bestimmen. T_{krit} ist die Periodendauer der Schwingung bei K_{PSkrit} .
 3. Aufgrund der dynamischen Eigenschaften den geeigneten Regler auswählen (siehe 4.7)
 4. K_p T_N und T_v nach folgender Tabelle bestimmen:
- T_N Nachstellzeit
 T_v Vorhaltezeit

Regler	Reglerparameter
P	$K_p = 0,5 \cdot K_{p,krit}$
PI	$K_p = 0,45 \cdot K_{p,krit}, T_n = 0,85 \cdot T_{krit}$
PD	$K_p = 0,55 \cdot K_{p,krit}, T_v = 0,15 \cdot T_{krit}$
PID	$K_p = 0,6 \cdot K_{p,krit}, T_n = 0,5 \cdot T_{krit}, T_v = 0,125 \cdot T_{krit}$