



TIW GmbH ©

STEUERUNGS- & REGELUNGSTECHNIK

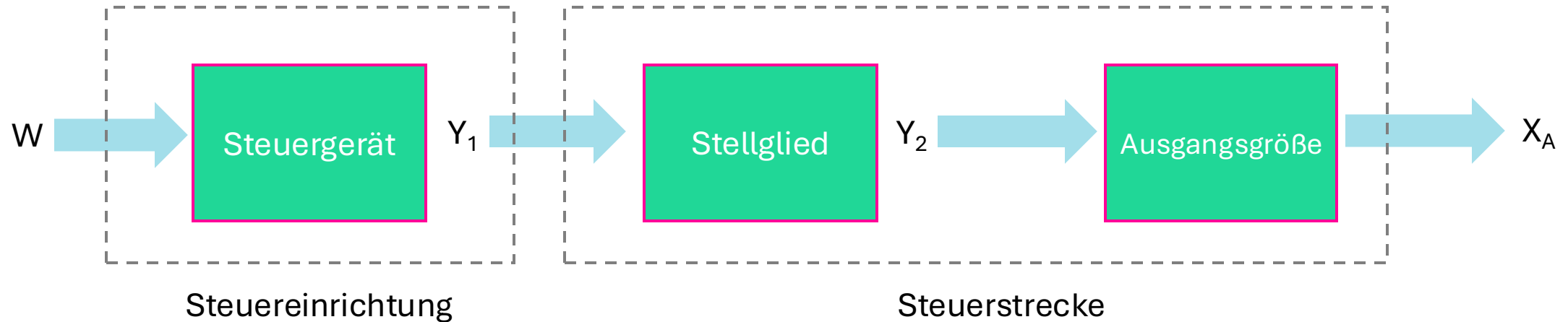
Theorie der Regelungstechnik
Prozessleittechnik
RI-Fließschemata

*Kapitel aus dem IHK-Rahmenplan
Prozessleittechnik*

Steuerungstechnik

Theorie der Regelungstechnik

Die Aufgabe der Steuerungstechnik besteht darin, bestimmte Abläufe in einem Steuerungs-Objekt zu erzwingen. Die in der Technik dominierende binäre Steuerungstechnik baut auf binären Messsignalen auf. Im Ergebnis einer logischen Informationsverarbeitung (UND, ODER, NICHT, ...) der binären Messsignale innerhalb eines Steuerprogramms werden die entsprechenden Stellglieder zur Beeinflussung von Prozessgrößen binär angesteuert.



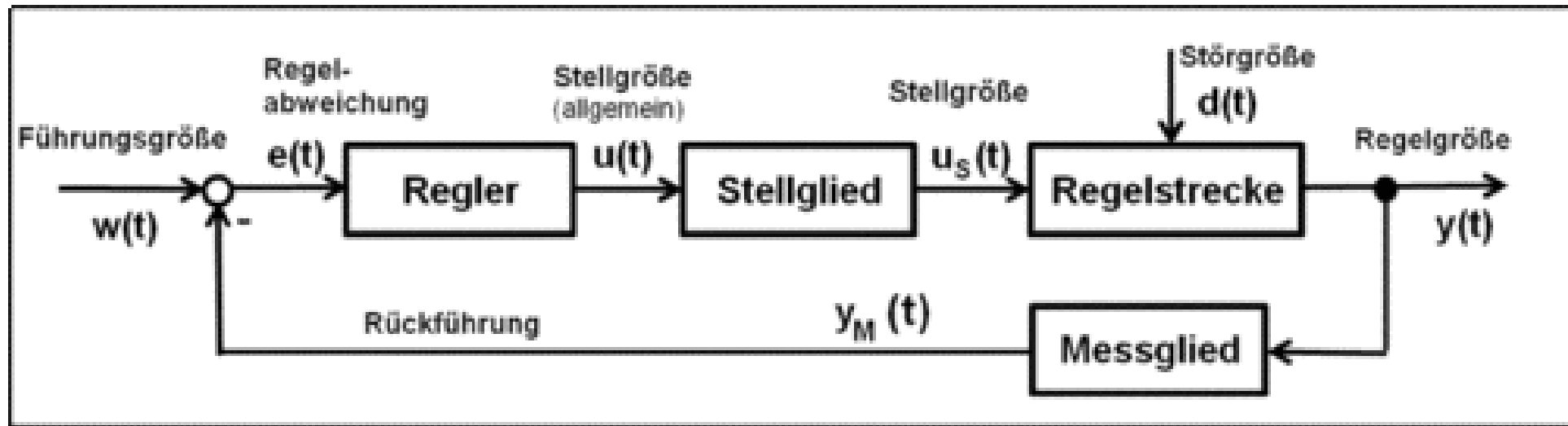
offene Wirkungskette

Regelungstechnik

Theorie der Regelungstechnik



Die Aufgabe der Steuerungstechnik besteht darin, bestimmte Abläufe in einem Steuerungs-Objekt zu erzwingen. Die in der Technik dominierende binäre Steuerungstechnik baut auf binären Messsignalen auf. Im Ergebnis einer logischen Informationsverarbeitung (UND, ODER, NICHT, ...) der binären Messsignale innerhalb eines Steuerprogramms werden die entsprechenden Stellglieder zur Beeinflussung von Prozessgrößen binär angesteuert.



geschlossener Regelkreis

P I D

Ein P-Regler ist ein Übertragungsglied in der Regelungstechnik, bei dem sich der Ausgangswert (*Stellgröße* y) proportional zur Regeldifferenz e verändert. Einer Änderung der Regelabweichung e folgt eine proportionale Änderung der Stellgröße y . Die Stärke der Stellgrößenänderung beschreibt der

Proportionalitätsbeiwert ($K_p = \frac{\Delta y}{\Delta e}$). = $\frac{\Delta x}{\Delta y}$

↳ Sensibilität des P-Glied

Nachteile

Ein Nachteil eines Reglers, der nur einen Proportionalanteil (P-Regler) besitzt, besteht darin, dass die Regelabweichung $e(t)$ nicht vollständig auf Null reduziert werden kann. Das bedeutet, dass der Sollwert und der Istwert nie exakt übereinstimmen. Für die Regelabweichung in einem eingeschwingenen System mit negativem Rückkopplungs-Regelkreis und einem P-Regler, der auf einen Einheitssprung reagiert, gilt folgende Gleichung:

P I D

Der I-Regler beziehungsweise das I-Glied in einem Regler **bezeichnet das Verhalten eines Übertragungsgliedes in der Regelungstechnik**. I-Regler weisen ein integratives Übertragungsverhalten auf, sind vergleichsweise langsame Regler und besitzen im störungsfreien Fall jedoch keine Regelabweichung.

Regelabweichung

Eine wesentliche Eigenschaft des I-Reglers ist, dass er die Regelabweichung vollständig beseitigt, sodass Sollwert und Istwert des Systems übereinstimmen. Allerdings reagiert der I-Regler im Vergleich eher träge auf Veränderungen des Sollwerts.

P I **D**

Der D-Anteil betrachtet nicht die eigentlichen Werte der Regeldifferenz, sondern deren zeitliche Änderung. Dadurch ist es möglich den aktuellen Trend der Regeldifferenz festzustellen und ihren zukünftigen Wert zu schätzen. Entsprechend ist das Ziel eines D-Reglers nicht die Regeldifferenz zu 0 werden zu lassen, sondern, dass keine Änderung der Regeldifferenz mehr auftritt.

Regelabweichung

$$y(t) = K_D \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

REGLEROPTIMIERUNG

Theorie der Regelungstechnik



Ein Regler muss so eingestellt werden, dass er das gewünschte Verhalten des Systems optimal regelt, d.h. schnell und stabil auf Änderungen im Prozess reagiert. Um dies zu erreichen, kann eine **Regleroptimierung** durchgeführt werden. Dies bedeutet, die Reglereinstellungen (z.B. den **Proportionalfaktor K_p** , die **Integrationszeit T_I** und die **Differenzialzeit T_D** so zu wählen, dass die Regelung bestmöglich funktioniert.

Welche Informationen benötige ich, um einen Regler zu optimieren?

s.o. im Infotext

Was für Methoden existieren, um Regler zu optimieren?

Ziegler-Nichols ist eine etablierte Methode, bei der der Regler zuerst als P-Regler betrieben wird, und durch stufenweise Erhöhung des Proportionalanteils die kritischen Werte ermittelt werden. Diese Methode eignet sich gut für Regelkreise, die zum Schwingen gebracht werden können. Das **CHR-Verfahren** hingegen bietet eine alternative Methode zur Optimierung und legt den Fokus stärker auf die Stabilität nach Störungen oder Sollwertänderungen.

Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Regelungstechnik

In deinem Betrieb soll ein neues Produkt hergestellt werden, und dafür wurde ein vorhandener Reaktionsapparat umgebaut. Wie bisher soll auch der Zulaufstrom der Reaktionskomponente über eine Standregelung im Prozessleitsystem geregelt werden. Nach der Inbetriebnahme stellst du fest, dass die Regelung nicht zufriedenstellend funktioniert und es zu Schwankungen im Betriebszustand kommt.

Beschreibe zwei mögliche Ursachen für diese Abweichung und erkläre, wie du überprüfen kannst, ob sie tatsächlich für das Verhalten verantwortlich sind.

- Veränderung des Reglerverhaltens
 - > z.B. zu hoher K_p -Wert
 - > Veränderung der Reglerzeit
- Ventil
 - > Verschleiß
 - > anderer K_v - oder K_{vs} -Wert
- Fehler bei Einbauten

Klausuraufgabe – Regelungstechnik

Regelungstechnik

In deinem Betrieb soll ein neues Produkt hergestellt werden, und dafür wurde ein vorhandener Reaktionsapparat umgebaut. Wie bisher soll auch der Zulaufstrom der Reaktionskomponente über eine Standregelung im Prozessleitsystem geregelt werden. Nach der Inbetriebnahme stellst du fest, dass die Regelung nicht zufriedenstellend funktioniert und es zu Schwankungen im Betriebszustand kommt.

Beschreibe zwei mögliche Ursachen für diese Abweichung und erkläre, wie du überprüfen kannst, ob sie tatsächlich für das Verhalten verantwortlich sind.

Mögliche Ursache 1:

Es könnte sein, dass während des Umbaus Stellventile ausgetauscht wurden. Die neuen Ventile könnten einen anderen K_v - oder K_{vs} -Wert haben als die ursprünglichen Ventile. Das hätte zur Folge, dass das Durchflussverhalten der Regelstrecke verändert wird, was die Regelung instabil macht.

Überprüfung:

Überprüfe die eingebauten Ventile und vergleiche ihre K_v - bzw. K_{vs} -Werte mit den alten Werten. Sollten die Werte abweichen, könnte dies der Grund für das veränderte Regelverhalten sein. Ein Abgleich der Ventile ist also der erste Schritt, um die Abweichung zu identifizieren.

Mögliche Ursache 2:

Eine andere Ursache könnte in der Parametrierung des Reglers liegen. Wenn der Regler nicht an die neuen Bedingungen angepasst wurde, könnten die Regelparameter K_pK_p , T_iT_i und T_dT_d nicht mehr optimal eingestellt sein, was zu Schwankungen führt.

Überprüfung:

Überprüfe die aktuellen Regelparameter und optimiere sie, falls nötig. Du kannst dies durch eine Neuanpassung der Reglereinstellungen mithilfe von Verfahren wie der Ziegler-Nichols-Methode überprüfen und optimieren.

Mögliche Ursache 3 (Zusätzlich):

Durch den Umbau des Apparates oder durch zusätzliche Einbauten könnte sich der Druckverlust oder die Strömungscharakteristik in der Zulaufleitung verändert haben. Dadurch ändert sich das Zeitverhalten der Regelstrecke und deren Ordnung.

Überprüfung:

Untersuche die Zulaufleitung auf bauliche Veränderungen und überprüfe, ob der Druckverlust oder die Strömungsgeschwindigkeit anders ist als vorher. Eventuell ist eine Anpassung der Regelstrecke notwendig, um das System wieder stabil zu machen.



Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Um die kontinuierliche Verbesserung des Prozesses zu unterstützen, sollen die bisherigen analogen Regler zur Zugregelung des Drahtes in der Wickelmaschine durch digitale Regler ersetzt werden. Für eine reibungslose Integration sollen die bisherigen Einstellwerte genutzt werden. Da diese Werte nicht bekannt sind und nicht mehr analog abgefragt werden können, hat deine Elektrofachkraft die Sprungantwort eines Reglers aufgenommen.

Die folgende Tabelle zeigt das Verhalten des Reglers:

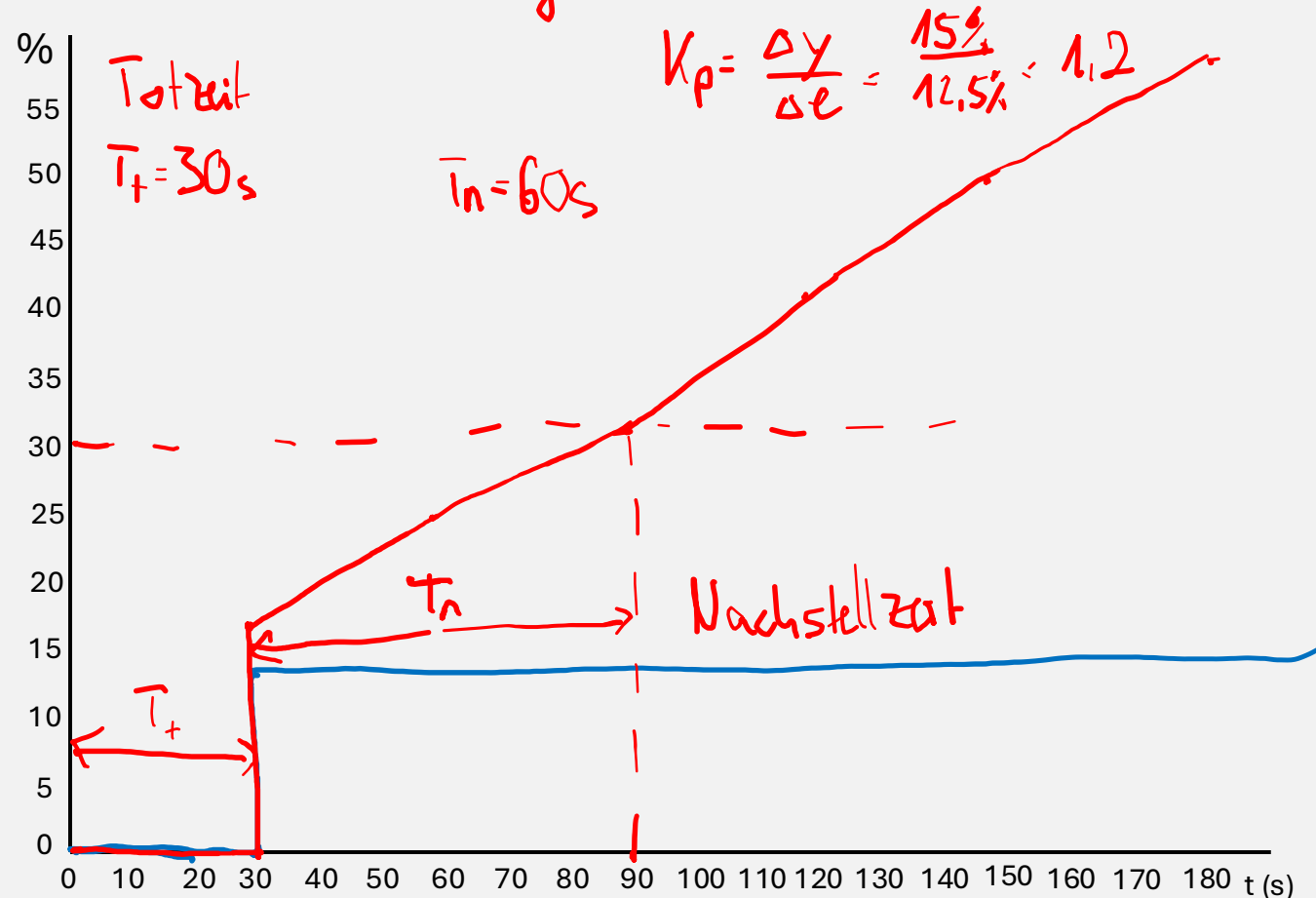
Time [s]	e [%]	y [%]
0	0	0
30	12,5	15
60	12,5	22,5
90	12,5	30
120	12,5	37,5
150	12,5	45
180	12,5	52,5

*Zielsetzung:
Erhöhung der
Stellgröße
um 30%*

- Du musst als Instandhaltungsleiter die Kennwerte des Reglers bestimmen. Zeichne den grafischen Verlauf der Regeldifferenz (e) und der Stellgröße (y) in die Anlage ein.
- Bestimme die Kennwerte des Reglers und zeichne diese ebenfalls in die Anlage ein.

Whiteboard

PI-Regelschleife



Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Regelungstechnik

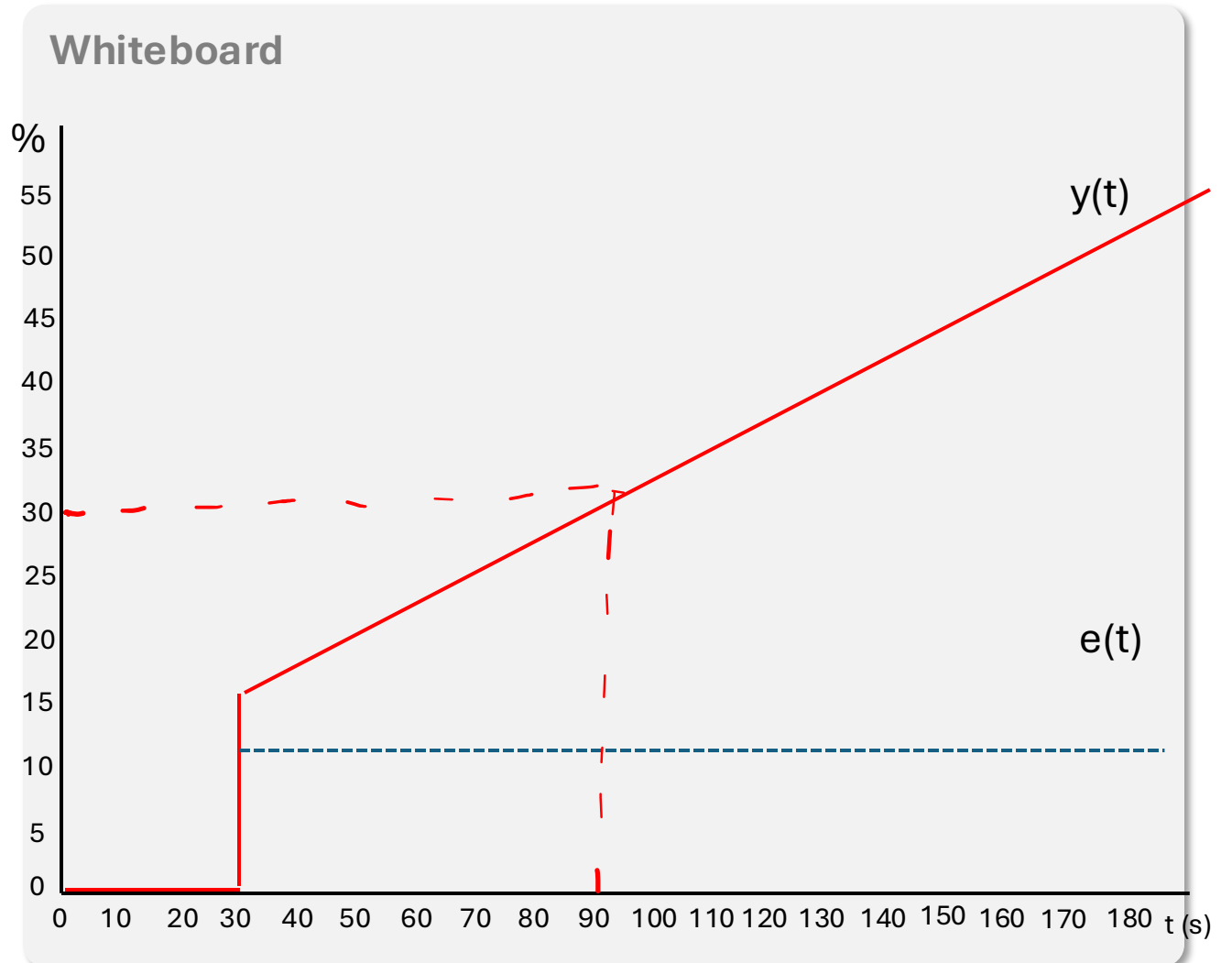
Um die kontinuierliche Verbesserung des Prozesses zu unterstützen, sollen die bisherigen analogen Regler zur Zugregelung des Drahtes in der Wickelmaschine durch digitale Regler ersetzt werden. Für eine reibungslose Integration sollen die bisherigen Einstellwerte genutzt werden. Da diese Werte nicht bekannt sind und nicht mehr analog abgefragt werden können, hat deine Elektrofachkraft die Sprungantwort eines Reglers aufgenommen.

Die folgende Tabelle zeigt das Verhalten des Reglers:

Time [s]	e [%]	y [%]
0	0	0
30	12,5	15
60	12,5	22,5
90	12,5	30
120	12,5	37,5
150	12,5	45
180	12,5	52,5

Zielsetzung
30% Erhöhung
der
Regelgröße

- Du musst als Instandhaltungsleiter die Kennwerte des Reglers bestimmen. Zeichne den grafischen Verlauf der Regeldifferenz (e) und der Stellgröße (y) in die Anlage ein.
- Bestimme die Kennwerte des Reglers und zeichne diese ebenfalls in die Anlage ein.



Elektrotechnik T1 und T2

Regelungstechnik

Um die kontinuierliche Verbesserung des Prozesses zu unterstützen, sollen die bisherigen analogen Regler zur Zugregelung des Drahtes in der Wickelmaschine durch digitale Regler ersetzt werden. Für eine reibungslose Integration sollen die bisherigen Einstellwerte genutzt werden. Da diese Werte nicht bekannt sind und nicht mehr analog abgefragt werden können, hat deine Elektrofachkraft die Sprungantwort eines Reglers aufgenommen.

Die folgende Tabelle zeigt das Verhalten des Reglers:

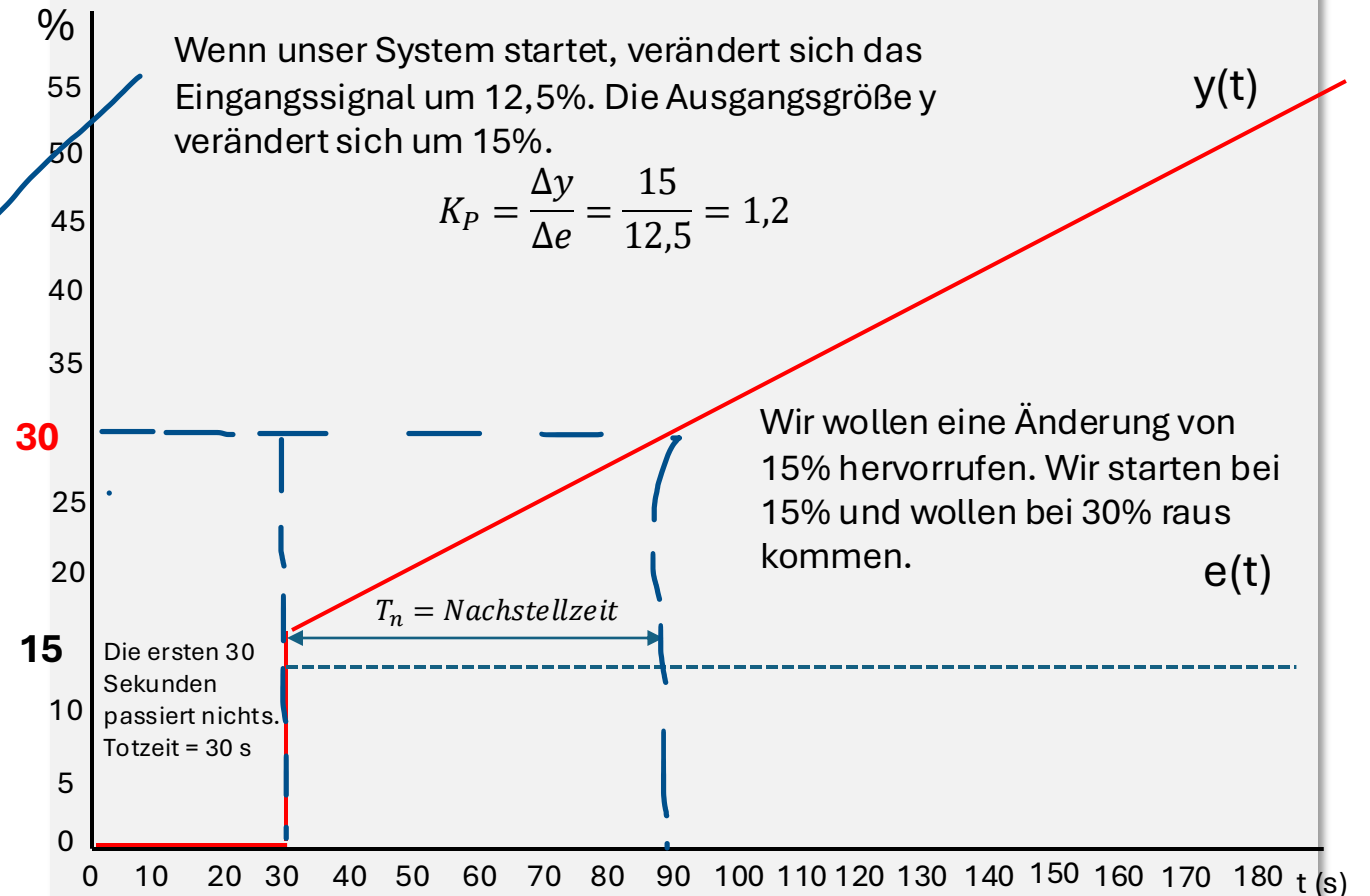
Time [s]	e [%]	y [%]
0	0	0
30	12,5	15
60	12,5	22,5
90	12,5	30
120	12,5	37,5
150	12,5	45
180	12,5	52,5

- Du musst als Instandhaltungsleiter die Kennwerte des Reglers bestimmen. Zeichne den grafischen Verlauf der Regeldifferenz (e) und der Stellgröße (y) in die Anlage ein.
- Bestimme die Kennwerte des Reglers und zeichne diese ebenfalls in die Anlage ein.

Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Regelungstechnik

Whiteboard



Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Regelungstechnik

Die Regelparameter der neuen Heizung im Extruder sind noch nicht bestimmt worden. Um eine schnelle Anlagenverfügbarkeit zu gewährleisten zu können, möchten Sie mit möglichst optimierten ersten Einstellparametern die Inbetriebnahme durchführen. Da Ihnen das Prozessverhalten nicht bekannt ist, haben Sie Messungen an der Regelstrecke mittels Linienschreiber durchführen lassen. Ihre Messergebnisse liegen Ihnen nun in der **Anlage 2** vor.

a Mögliche Punktzahl: 6

Ermitteln Sie in der Anlage 2 die Kennwerte der Regelstrecke, wenn die Stellgröße 10 Sekunden nach Aufnahmebeginn um 8 % erhöht wurde.

Was ist die Ausgleichszeit?

Was ist die Verzugszeit?

Was ist die Verstärkung?

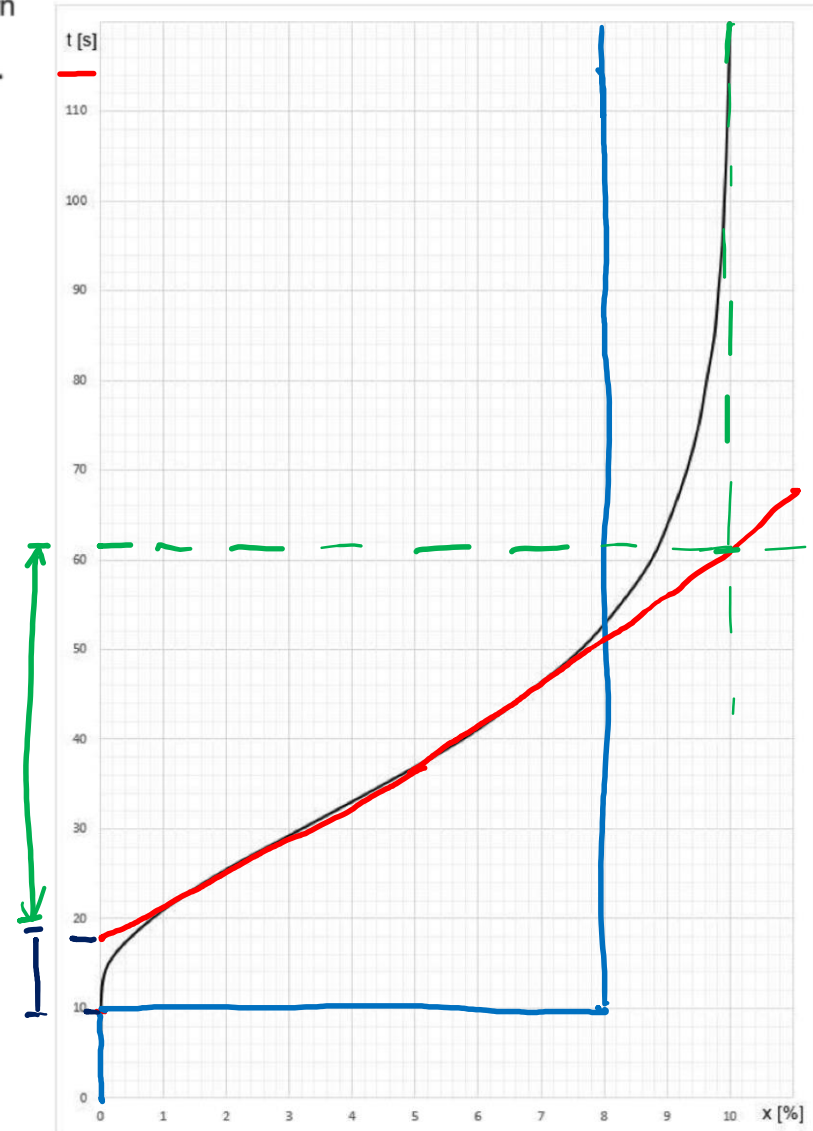
$$K = \frac{10\%}{8\%} = 1,25$$

$$T_b \approx 44s \text{ Ausgleichszeit } T_b$$

$$T_e \approx 8s \text{ Verzugszeit } T_e$$

$$T_{\text{Totzeit}} \quad T_+ = 10s$$

$$T_e/T_b = \frac{8s}{44s} = 0,18$$



Klausuraufgabe – Regelungstechnik

Regelungstechnik

Die Regelparameter der neuen Heizung im Extruder sind noch nicht bestimmt worden. Um eine schnelle Anlagenverfügbarkeit zu gewährleisten zu können, möchten Sie mit möglichst optimierten ersten Einstellparametern die Inbetriebnahme durchführen. Da Ihnen das Prozessverhalten nicht bekannt ist, haben Sie Messungen an der Regelstrecke mittels Linienschreiber durchführen lassen. Ihre Messergebnisse liegen Ihnen nun in der **Anlage 2** vor.

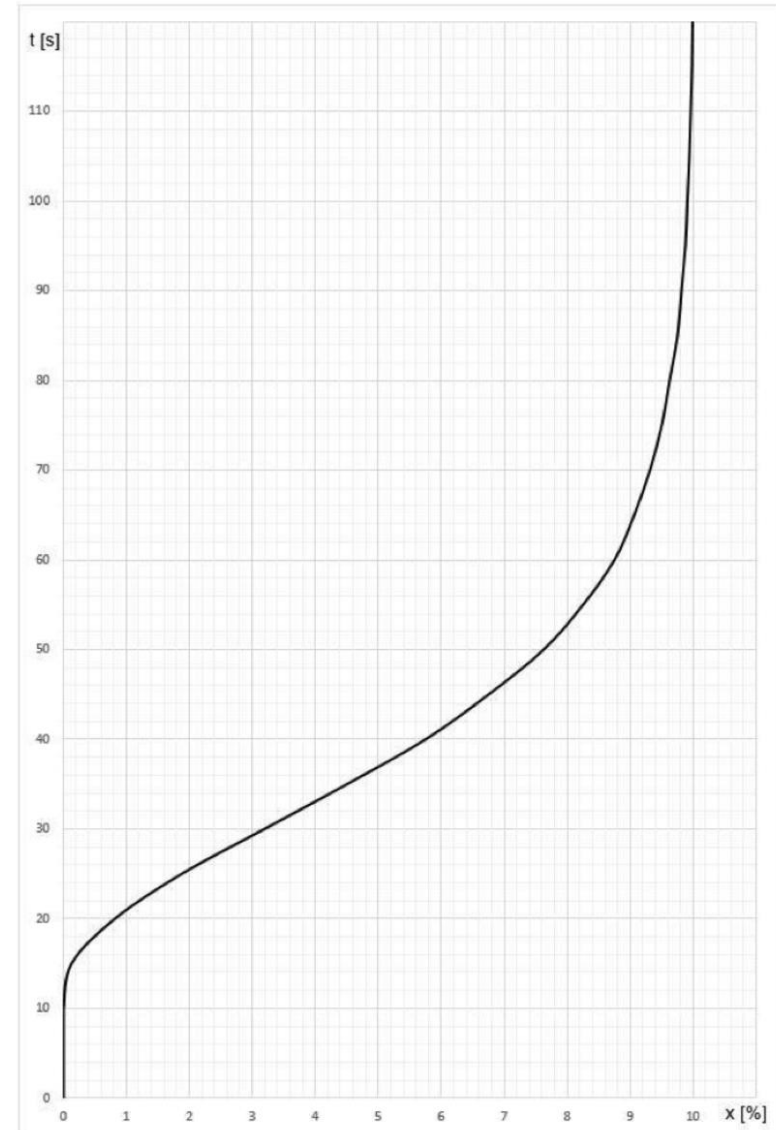
a Mögliche Punktzahl: 6

Ermitteln Sie in der Anlage 2 die Kennwerte der Regelstrecke, wenn die Stellgröße 10 Sekunden nach Aufnahmebeginn um 8 % erhöht wurde.

Was ist die Ausgleichszeit?

Was ist die Verzugszeit?

Was ist die Verstärkung?



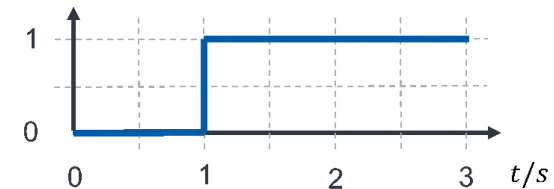


Ein **PT1-System** ist eine Regelstrecke mit einer **einfachen Verzögerung**. Das bedeutet, dass die Ausgangsgröße dem Eingangssignal nur verzögert folgt. Solche Strecken findet man häufig bei thermischen Prozessen wie der Temperaturregelung. Ein Beispiel wäre ein Ofen, der nach einer Änderung der Stellgröße (z.B. Leistung des Heizelements) die Temperatur nur verzögert anpasst. Der wesentliche Parameter in einer PT1-Schaltung ist die **Zeitkonstante T**, die angibt, wie schnell die Strecke auf eine Änderung reagiert. Der Ausgang nähert sich asymptotisch einem neuen Beharrungswert an, was typisch für verzögerte Systeme ist.

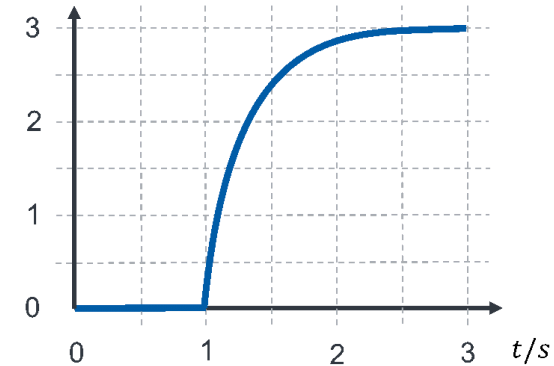
$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$$

K ist die Verstärkung und T die Zeitkonstante. Die Charakteristik dieser Schaltung zeigt, dass das System nicht sofort, sondern nach einer Verzögerungszeit reagiert.

Eingang x

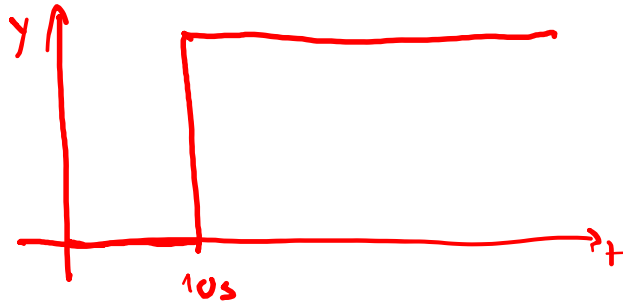


Ausgang y



Ausgleichszeit T_b
 Zeit bis System wieder konstanten
 Wert der Regelgröße erreicht

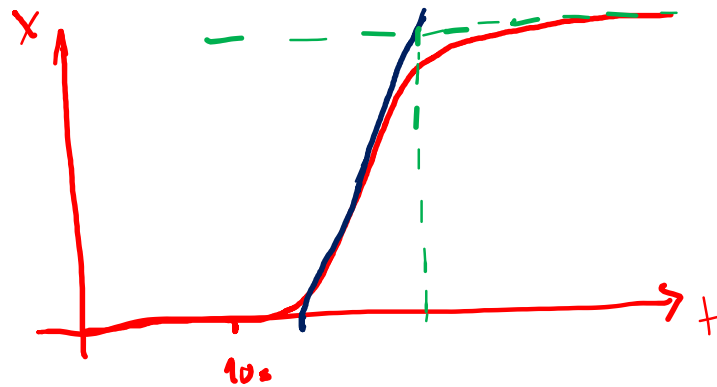
PT_n-Glieder



Verhältnis von Verzugszeit
 und Ausgleichzeit ermöglicht
 Aussage über
 Regelbarkeit des Systems

Verzugszeit T_e

Zeit zwischen der Änderung
 der Stellgröße und dem
 Schnittpunkt der Tangente
 mit der Zeitachse



T_e T_b Ausgleichszeit
 Verzugszeit

$T_e/T_b < 0,1$ gut regelbar

$T_e/T_b \leq 0,166$ regelbar

$T_e/T_b \geq 0,3$ schwierig
 regelbar

$T_e/T_b \geq 1$ kaum
 regelbar

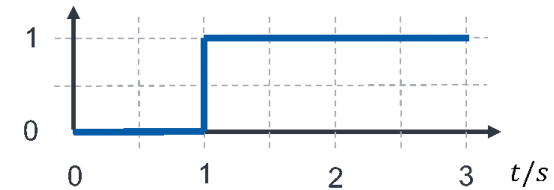


Ein **PT2-System** hat zwei Verzögerungsglieder, was bedeutet, dass es eine **doppelte Verzögerung** in der Reaktion gibt. Solche Systeme treten oft in mechanischen oder schwingungsfähigen Prozessen auf, wie in elektrischen Schaltungen oder bei der Dämpfung von Schwingungen. Diese Art von Strecke hat eine **gedämpfte** oder manchmal auch **schwingende** Reaktion. Die Regelung ist komplexer als bei PT1-Systemen, da das System auf eine Änderung der Stellgröße oft mit einer Überschwingung reagiert.

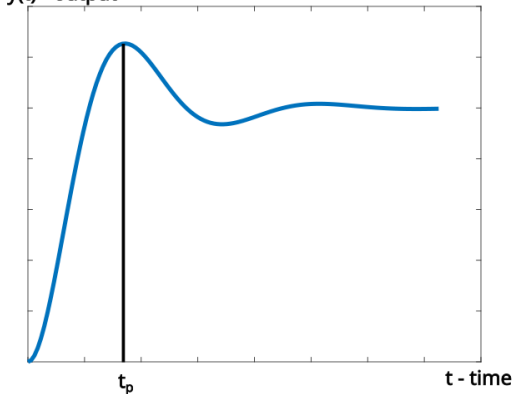
$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

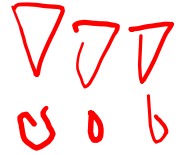
Hier sind T1 und T2 die Zeitkonstanten der beiden Verzögerungsglieder, die das Verhalten des Systems bestimmen.

Eingang x



y(t) - output





SPLIT RANGE

Regelungstechnik



Die **Split-Range-Regelung** (auch **Split-Range-Control** genannt) ist ein spezielles Regelungskonzept, bei dem ein einziger Regler mehrere Stellglieder steuert, um einen breiteren Stellbereich oder unterschiedliche Betriebsarten abzudecken. Das Prinzip wird angewendet, wenn ein Prozess unterschiedliche Stellsysteme benötigt, um auf verschiedene Betriebsbedingungen zu reagieren. Der Regler teilt dabei seinen Stellbereich auf mehrere Aktoren auf, die jeweils einen Teil des Regelbereichs übernehmen.

In einer Split-Range-Regelung gibt es **einen Regler**, aber **mehrere Stellglieder** (z.B. Ventile oder Pumpen), die für unterschiedliche Teile des Stellbereichs zuständig sind.

Beispiel eines typischen Szenarios:

Stell dir vor, du hast einen Prozess, bei dem du sowohl **Heizen** als auch **Kühlen** steuern musst, um eine Temperatur exakt auf einem bestimmten Sollwert zu halten:

- Wenn die Temperatur unter den Sollwert fällt, muss der Regler ein **Heizventil** öffnen, um die Temperatur zu erhöhen.
- Wenn die Temperatur über den Sollwert steigt, muss der Regler ein **Kühlventil** öffnen, um die Temperatur zu senken.

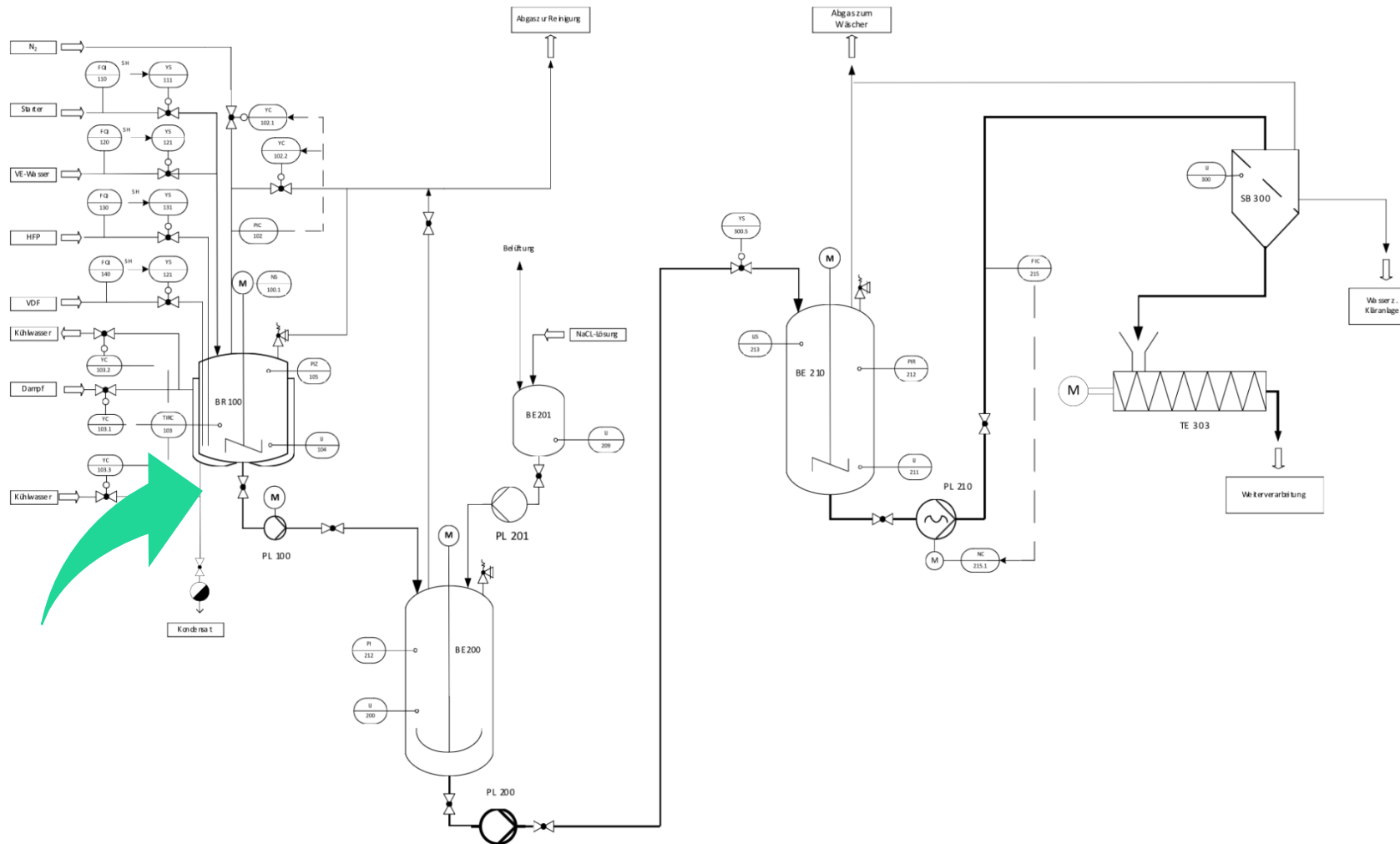


Der Stellbereich des Reglers wird aufgeteilt:

- Im **unteren Bereich** des Stellbereichs (z.B. 0–50 %) wird das **Heizventil** angesteuert.
 - Im **oberen Bereich** (z.B. 50–100 %) wird das **Kühlventil** geöffnet, um die überschüssige Wärme abzuleiten.
- Der Regler arbeitet also in einem Bereich von 0 bis 100 %:
- **0–50 %**: Steuert das Heizventil. Je näher der Wert bei 50 % liegt, desto weiter ist das Heizventil geöffnet.
 - **50–100 %**: Steuert das Kühlventil. Je näher der Wert bei 100 % liegt, desto weiter ist das Kühlventil geöffnet.

*übergangs-/sicherheitsbereich
~ 45-55%*

Was passiert hier im Kühlreaktor BR100?



Was passiert hier im Kühlreaktor BR100?

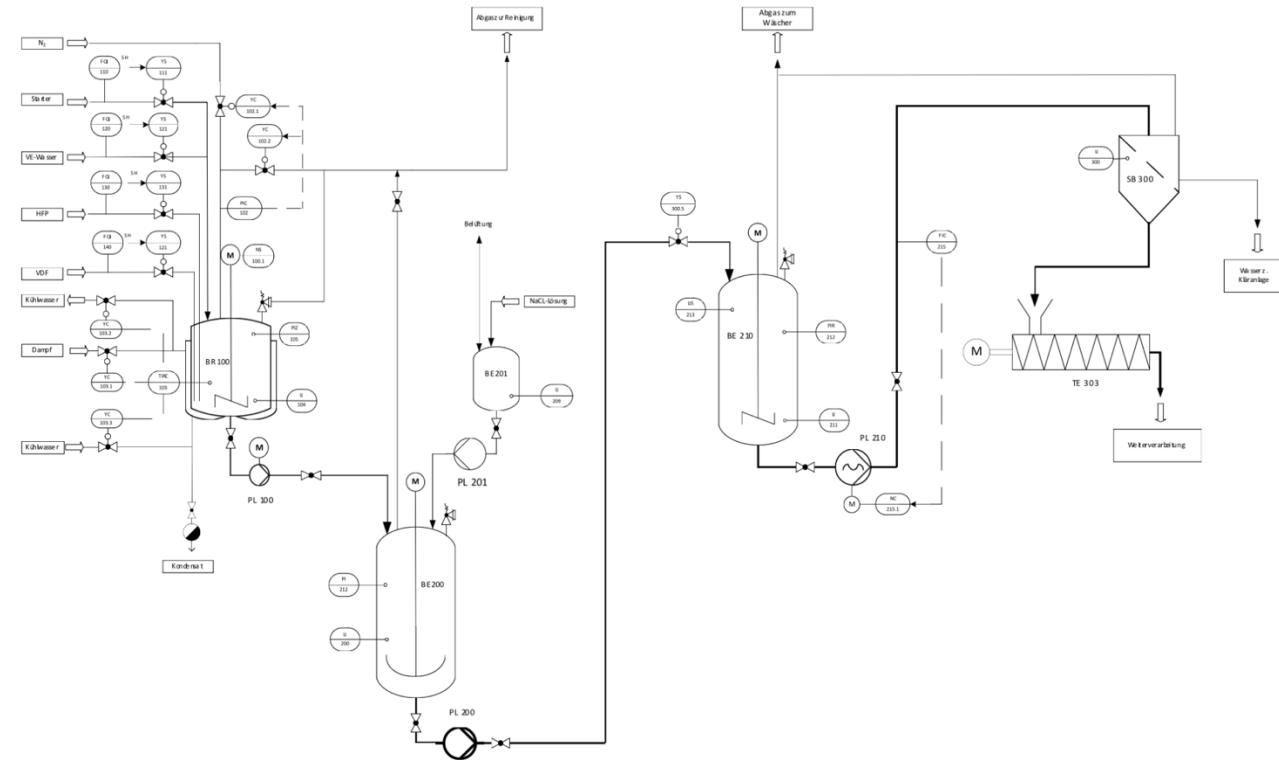
Bei der Regelung **PIC102** handelt es sich um eine **Split-Range-Regelung**. Mit dieser wird der **Druck im Rührreaktor BR 100** geregelt. Die Besonderheit der Split-Range-Regelung ist, dass **ein Regler** zwei verschiedene Stellglieder (z.B. Ventile) steuert, wobei der Stellbereich des Reglers in zwei Bereiche aufgeteilt wird.

In diesem Fall steuert der Regler PIC102 das **Stickstoffeingangsventil YC102.1** und das **Abgasventil YC102.2**, abhängig vom aktuellen Druck im Reaktor. Der Stellbereich des Reglers ist dabei in zwei **gleich große Bereiche** aufgeteilt:

- **Stellbereich 50 % bis 100 %:** In diesem Bereich ist das **Stickstoffventil YC102.1** aktiv, und das Ventil öffnet sich, um Stickstoff in den Reaktor zu leiten. Das **Abgasventil YC102.2** bleibt in diesem Bereich geschlossen.

- **Stellbereich 0 % bis 50 %:** Hier ist das **Abgasventil YC102.2** aktiv. Wenn der Druck zu hoch wird, öffnet das Ventil und lässt Abgas entweichen, um den Druck im Reaktor zu senken. In diesem Fall bleibt das **Stickstoffventil YC102.1** geschlossen.

Damit es zu keinem **unnötigen Stickstoffverbrauch** kommt, gibt es zudem eine sogenannte **Totzone** oder einen **Sperrbereich** von 45 % bis 55 %, in dem **beide Ventile geschlossen** sind.



Vorteile der Split-Range-Regelung:

1. Erweiterung des Stellbereichs:

Durch die Aufteilung auf zwei oder mehr Stellglieder kann der Regler einen **breiteren Regelbereich** abdecken. Dies ist besonders nützlich in Prozessen, bei denen sowohl hohe als auch niedrige Werte geregelt werden müssen (z.B. Heizen und Kühlen).

2. Optimierte Nutzung von Energie:

Die Split-Range-Regelung ermöglicht die präzise Steuerung von Prozessen mit unterschiedlichen Betriebsmodi. So kann die Energie effizienter genutzt werden, da Heiz- und Kühlprozesse separat, aber mit einem einzigen Regler gesteuert werden.

3. Flexibilität:

Die Flexibilität, mehrere Stellglieder in einem Regelkreis zu verwenden, ermöglicht es, auf verschiedene Anforderungen im Prozess zu reagieren, wie z.B. verschiedene Medien (Dampf, Wasser, Luft) für unterschiedliche Stufen der Prozessführung zu verwenden.



KASKADENREGELUNG

Regelungstechnik



Die **Kaskadenregelung** ist ein spezielles Regelkonzept, bei dem zwei oder mehr Regler hintereinandergeschaltet (kaskadiert) werden, um komplexere Prozesse präziser und stabiler zu regeln. Dieses Verfahren wird oft eingesetzt, wenn ein Prozess durch äußere Störungen oder langsame Reaktionszeiten stark beeinträchtigt wird und eine einfache Regelung nicht ausreicht.

Eine typische Kaskadenregelung besteht aus zwei Reglern:

1. Primärregler (Hauptregler)

2. Sekundärregler (Folgeregler oder Hilfsregler)

• **Primärregler:** Der Primärregler überwacht und regelt die Hauptregelgröße, also die Größe, die den Prozess direkt beeinflusst (z.B. die Temperatur in einem Reaktor). *-> PI-/PID-Regler*

• **Sekundärregler:** Der Sekundärregler regelt eine untergeordnete Größe, die mit der Hauptregelgröße in Verbindung steht und schneller auf Veränderungen reagiert (z.B. die Durchflussmenge des Heizmediums in einer Heizanlage). *-> häufig P-Regler*

Funktionsweise der Kaskadenregelung:

1. Primärregelung: Der Primärregler vergleicht den **Sollwert** (z.B. gewünschte Temperatur) mit dem gemessenen **Istwert** (tatsächliche Temperatur) und gibt eine Stellgröße vor. Diese Stellgröße wird jedoch nicht direkt an das Stellglied (z.B. das Heizventil) gesendet.

2. Sekundärregelung: Stattdessen wird die Stellgröße des Primärreglers als **Sollwert** für den Sekundärregler verwendet. Der Sekundärregler steuert dann das Stellglied (z.B. das Heizventil) anhand seines eigenen Regelkreises. Der Sekundärregler reagiert schneller auf Veränderungen, wie etwa plötzliche Schwankungen des Durchflusses oder Drucks.

Vorteile der Kaskadenregelung:

1. Schnellere Reaktion auf Störungen: Da der Sekundärregler direkt auf die Stellgröße (z.B. Durchflussmenge oder Druck) reagiert, kann er **schnelle Störungen** abfangen, bevor sie den Primärprozess (z.B. die Temperatur) beeinflussen.

2. Bessere Regelqualität: Die Kaskadenregelung ermöglicht eine **präzisere Regelung**, weil der Sekundärregler schnellere Variablen steuert und den Primärregler entlastet, der sich nur auf die Hauptregelgröße konzentrieren muss.

3. Stabilität: Durch die Aufteilung der Regelaufgaben auf zwei Regler wird der Regelprozess stabiler, da schnelle Störungen lokal durch den Sekundärregler abgefangen werden und der Primärregler nur auf langsame Veränderungen reagiert.

Wann wird eine Kaskadenregelung verwendet?

•**Träge Prozesse:** Wenn der Hauptprozess (z.B. Temperatur) sehr träge ist, aber eine untergeordnete Größe (z.B. Durchfluss) schneller reagiert, hilft eine Kaskadenregelung, Störungen schneller auszugleichen.

•**Störanfällige Prozesse:** Wenn Prozesse durch äußere Störungen beeinflusst werden (z.B. Druckschwankungen in einer Versorgungsleitung), kann der Sekundärregler schnell reagieren und den Primärprozess stabil halten.

•**Mehrere Stellgrößen:** Wenn mehrere Stellgrößen den Prozess beeinflussen und voneinander abhängig sind (z.B. Temperatur und Druck), ermöglicht die Kaskadenregelung eine präzisere Kontrolle.

DURCHFLUSSVERHÄLTNISREGELUNG

Regelungstechnik



Die **Durchflussverhältnisregelung** (auch **Ratio-Regelung** genannt) ist eine spezielle Regelungsstrategie, bei der das Verhältnis zwischen zwei oder mehreren Durchflüssen konstant gehalten wird. Diese Regelung wird oft in industriellen Prozessen angewendet, bei denen verschiedene Stoffströme miteinander kombiniert werden, und ein festes Mischungsverhältnis oder Verhältnis zwischen den Stoffströmen erforderlich ist.

In der Durchflussverhältnisregelung wird ein **Hauptdurchfluss** (Master-Durchfluss) als Referenz genommen, und der **Nebendurchfluss** (Slave-Durchfluss) wird so geregelt, dass ein festes Verhältnis zwischen diesen beiden Durchflüssen eingehalten wird.

- **Master-Durchfluss:** Dieser wird direkt gemessen und beeinflusst in der Regel nicht direkt den Prozess, sondern gibt den Maßstab für den zu regelnden Nebendurchfluss vor.
- **Slave-Durchfluss:** Der Slave-Durchfluss wird so geregelt, dass er im gewünschten Verhältnis zum Master-Durchfluss steht. Die Regelung erfolgt durch ein Stellglied (z.B. Ventil oder Pumpe), das den Slave-Durchfluss anpasst.

Beispiel einer Durchflussverhältnisregelung:

Stell dir vor, du hast einen chemischen Reaktor, in den zwei Stoffströme (z.B. **Säure** und **Base**) geleitet werden. Um die Reaktion effizient durchzuführen, muss das Verhältnis der Säure zur Base konstant bei **1:2** gehalten werden.

- Der **Säurefluss** wird als **Master** genommen. Diesen Fluss kannst du direkt messen und regeln.
- Der **Basefluss** wird als **Slave** genommen und so geregelt, dass er immer doppelt so hoch wie der Säurefluss ist. Wenn der Säurefluss zunimmt, muss der Basefluss entsprechend angepasst werden, damit das Verhältnis 1:2 erhalten bleibt.

DURCHFLUSSVERHÄLTNISREGELUNG

Regelungstechnik

Vorteile der Durchflussverhältnisregelung:

- 1. Konstante Mischungsverhältnisse:** Sie ermöglicht es, ein festes Mischungsverhältnis zwischen zwei oder mehr Stoffströmen zu halten, was bei vielen chemischen Reaktionen oder Mischprozessen entscheidend ist.
- 2. Flexibilität:** Wenn sich der Master-Durchfluss ändert (z.B. wenn eine Pumpe mehr oder weniger liefert), wird der Slave-Durchfluss automatisch angepasst, ohne dass manuell eingegriffen werden muss.
- 3. Stabilität im Prozess:** Durch die genaue Regelung der Verhältnisse können Schwankungen im Prozess reduziert werden, was zu einer stabileren und effizienteren Prozessführung führt.

Komponenten einer Durchflussverhältnisregelung:

- 1. Durchflusssensoren:** Es gibt mindestens zwei Durchflusssensoren – einen für den Master-Durchfluss und einen für den Slave-Durchfluss. Sie messen den aktuellen Durchfluss der jeweiligen Stoffe.
- 2. Regler:** Ein Regler vergleicht das tatsächliche Verhältnis zwischen Master- und Slave-Durchfluss mit dem gewünschten Verhältnis (z.B. 1:2) und steuert die Stellgröße des Slave-Durchflusses (z.B. das Ventil oder die Pumpe), um das Verhältnis zu halten.
- 3. Stellglied:** Das Stellglied (meist ein Ventil oder eine Pumpe) steuert den Slave-Durchfluss, indem es den Fluss so anpasst, dass das Verhältnis zum Master-Durchfluss immer korrekt ist.

Wie funktioniert's?

1. Der **Master-Durchfluss** wird gemessen und bleibt entweder konstant oder variiert.
2. Der **Slave-Durchfluss** wird ebenfalls gemessen, und der Regler vergleicht das tatsächliche Verhältnis der beiden Durchflüsse.
3. Falls das Verhältnis nicht mit dem Sollverhältnis übereinstimmt, passt der Regler den Slave-Durchfluss an, indem er das Ventil öffnet oder schließt oder die Pumpe beschleunigt oder verlangsamt.



@tiw.akademie



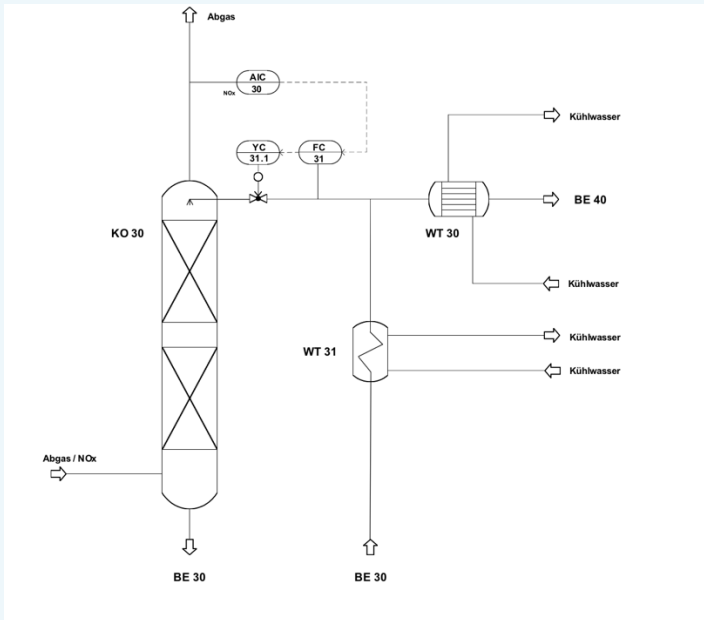
TIW GmbH © www.tiw.de

Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Regelungstechnik

Zur Verbesserung der NO_x-Abgasreduktion wird die neue Regelung AIC 30/FC 31 an der Waschkolonne KO 30 eingesetzt.

- Nenne und beschreibe den Aufbau und die Funktionsweise der neuen Regelung.
- Gib die Reglertypen an, die bei dieser Regelung eingesetzt werden können, und begründe deine Entscheidung.



Kaskadenregelung

AIC 30 Hauptregler → PI-Regler
PID-Regler

FC 31 Hilfsregler → P-Regler

PD-Regler

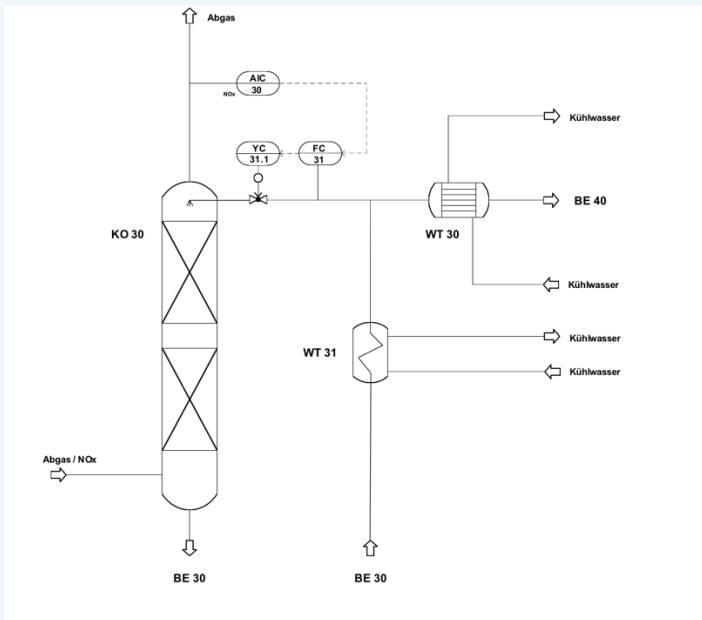
↳ Instabilität



Klausuraufgabe – Regelungstechnik

Zur Verbesserung der NO_x-Abgasreduktion wird die neue Regelung AIC 30/FC 31 an der Waschkolonne KO 30 eingesetzt.

- Nenne und beschreibe den Aufbau und die Funktionsweise der neuen Regelung.
- Gib die Reglertypen an, die bei dieser Regelung eingesetzt werden können, und begründe deine Entscheidung.



Bei der neuen Regelung handelt es sich um eine **Kaskadenregelung**, auch **Mehrgrößenregelung** oder **mehrschleifige Regelung** genannt. Sie besteht aus zwei Regelkreisen: dem **Hilfsregelkreis** für den Durchfluss und dem **Hauptregelkreis** für die NO_x-Konzentration.

•Aufbau:

- Die Kaskade besteht aus zwei Reglern: dem **schnell reagierenden Hilfsregelkreis** (Folgeregelkreis) **FC 31** für den Durchfluss und dem **Hauptregelkreis** (Führungsregelkreis) **AIC 30** für die NO_x-Konzentration im Abgas.

•Funktionsweise:

- Die Hilfsregelgröße, also der **Durchfluss FC 31**, wird am oberen Zulauf der Waschkolonne KO 30 gemessen und dem Hilfsregler zugeführt.
- Der **Hauptregler AIC 30** überwacht die **NO_x-Konzentration** im Abgas und greift über die Stellgröße in die Hilfsregelung ein.
- Der Ausgang des Hauptreglers **AIC 30** dient als **Führungssignal** für den Hilfsregler **FC 31**, der dann den Durchfluss in den Reaktor BE 30 anpasst.

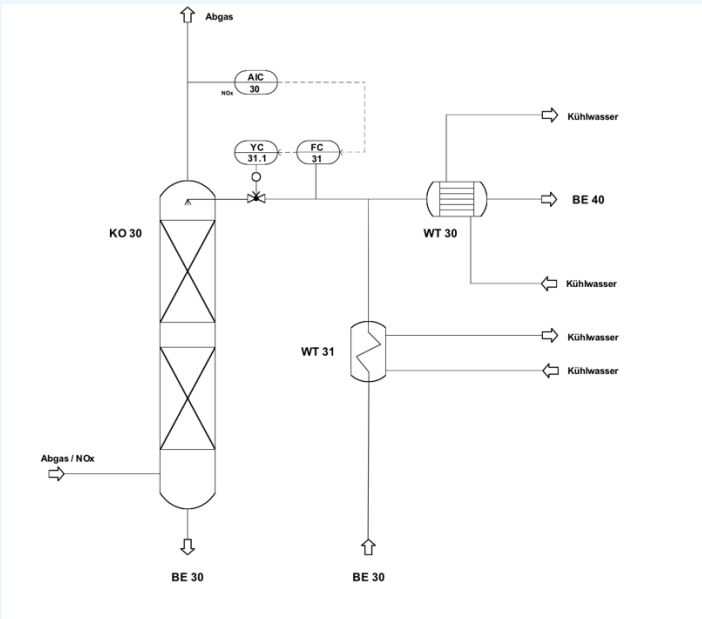
Insgesamt sorgt diese mehrstufige Regelung für eine präzisere Kontrolle der NO_x-Konzentration im Abgas, indem sie schnelle Durchflussänderungen ausgleicht und gleichzeitig die Abgasqualität stabil hält.



Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Zur Verbesserung der NOx-Abgasreduktion wird die neue Regelung AIC 30/FC 31 an der Waschkolonne KO 30 eingesetzt.

- Nenne und beschreibe den Aufbau und die Funktionsweise der neuen Regelung.
- Gib die Reglertypen an, die bei dieser Regelung eingesetzt werden können, und begründe deine Entscheidung.



Für diese Kaskadenregelung werden folgende Regler eingesetzt:

1. Hilfsregler FC 31:

- Hier wird ein **P-Regler** (proportionaler Regler) verwendet. Ein P-Regler reicht aus, da der Durchfluss schnelle Änderungen ausgleichen muss (z.B. bei Zulaufänderungen zum Reaktor BE 30). Wichtig ist hier die **Schnelligkeit des Ausregelverhaltens** und die **Stabilität**.
- Ein D-Anteil (Differenzialregler) würde zu Instabilität führen und sollte hier vermieden werden.

2. Hauptregler AIC 30:

- Als Hauptregler wird ein **PI-Regler** (proportional-integral wirkender Regler) verwendet. Der **I-Anteil** sorgt dafür, dass die Regelung auf lange Sicht genau und stabil bleibt. Dies ist besonders wichtig, um die **NOx-Konzentration** zuverlässig auf einem niedrigen Niveau zu halten.
- Der PI-Regler erhöht die **Gesamtdynamik** der Regelung und verbessert die **Genauigkeit** durch kontinuierliches Ausgleichen von Abweichungen.

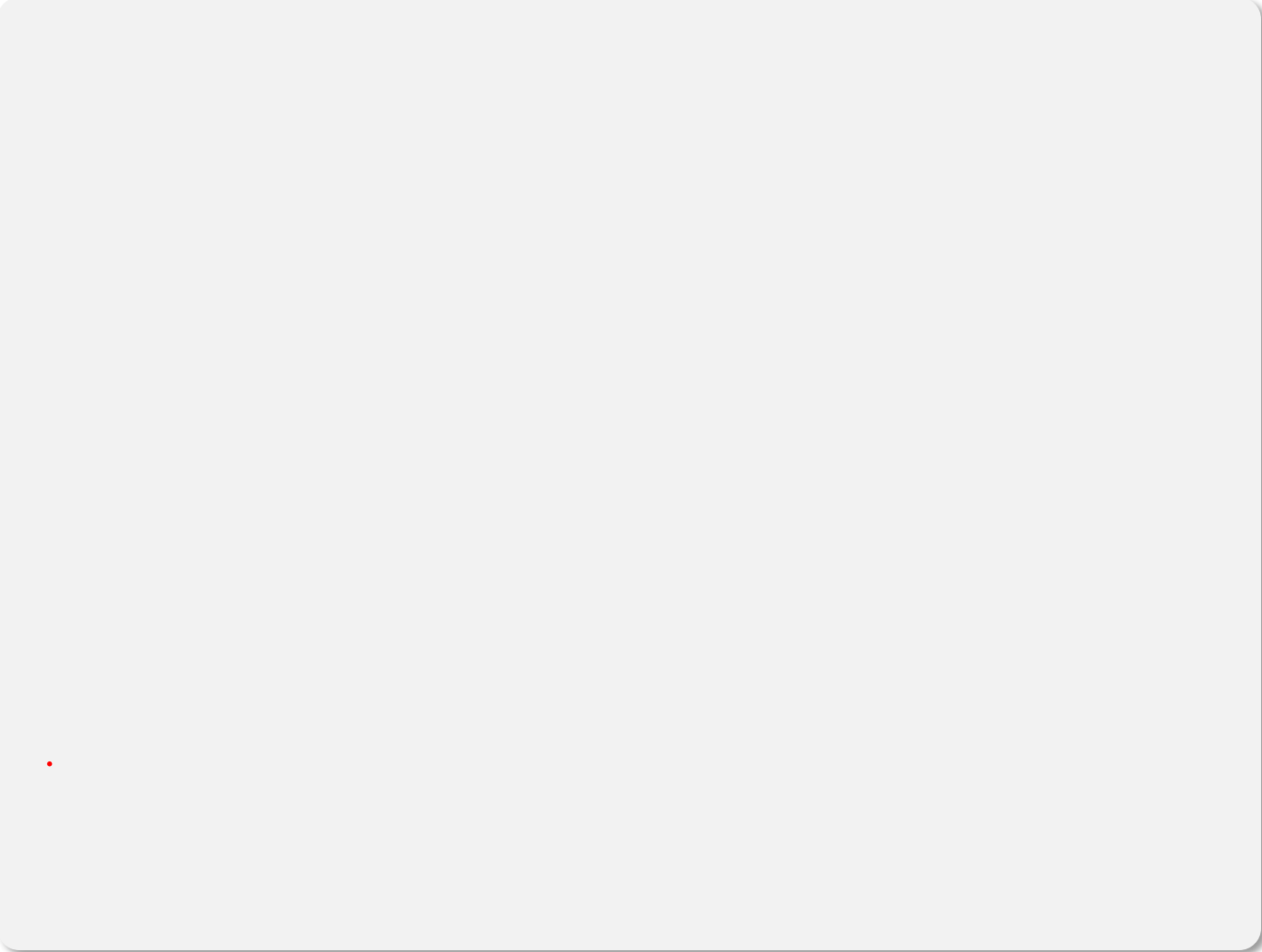
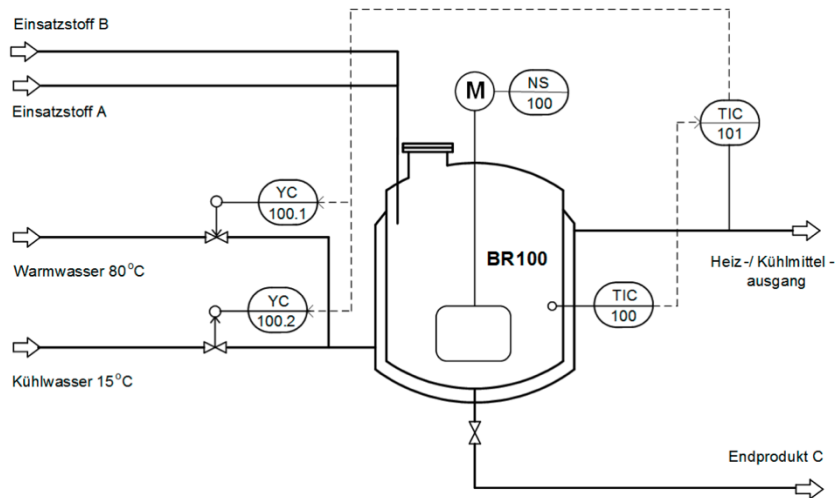
3. Sicherheitsaspekten für höhere Regelgenauigkeit
PID-Regler



Klausuraufgabe – Regelungstechnik

Für eine Mitarbeiterschulung zum Thema Regelungstechnik sollst du Unterlagen erstellen.

- a) Nenne und beschreibe die Funktionsweise des unten dargestellten Regelungskonzepts des Reaktors BR 100.
- b) Beschreibe zwei wesentliche Vorteile dieser Regelung.



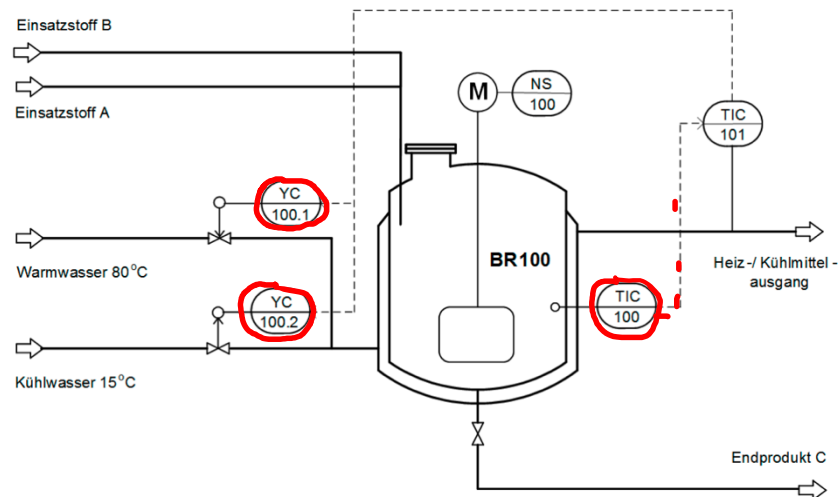


Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Regelungstechnik

Für eine Mitarbeiterschulung zum Thema Regelungstechnik sollst du Unterlagen erstellen.

- Nenne und beschreibe die Funktionsweise des unten dargestellten Regelungskonzepts des Reaktors BR 100.
- Beschreibe zwei wesentliche Vorteile dieser Regelung.



Das dargestellte Regelungskonzept im Reaktor **BR 100** ist eine Kombination aus einer **Kaskadenregelung** (Reaktionstemperatur/Heizkreistemperatur) und einer **Split-Range-Regelung**.

•Kaskadenregelung:

- **Hauptregelung (Führungsregelung):** Die Hauptregelgröße ist die **Reaktortemperatur** (gemessen durch TIC 100). Da die Reaktortemperatur träge reagiert (eine Regelstrecke höherer Ordnung), führt dies zu einem schwierigeren Regelverhalten.
- **Hilfsregelung (Folgeregelung):** Die **Heiz- und Kühlmitteltemperatur** (TIC 101) wird als schneller reagierende Hilfsregelgröße verwendet. Bei einer Störung wird die Reaktortemperatur als Führungssignal an die Hilfsregelung weitergegeben, die dann die Heiz- oder Kühlmitteltemperatur anpasst.

•Funktionsweise:

- Die **Führungssignalgröße** ist die **Reaktortemperatur**. Wenn die Reaktortemperatur abweicht, gibt der Hauptregler TIC 100 Kaskadenanweisungen an den **Folgeregler TIC 101**, der die **Heiz- oder Kühlmitteltemperatur** (z.B. durch die Ventile YC 100.1 und YC 100.2) anpasst.
- Der Hauptregler arbeitet mit einem **PI-Verhalten** und sorgt für eine langfristig stabile Regelung der Reaktortemperatur.
- **Störungen im Heiz- oder Kühlsystem** werden durch den Folgeregler TIC 101 schnell korrigiert, da dieser als **P-Regler** arbeitet.

•Split-Range-Regelung:

- Die Heiz-/Kühlregelung ist als Split-Range-Regelung aufgebaut, das heißt, das Heizventil (YC 100.1) und das Kühlventil (YC 100.2) werden über den gesamten Stellbereich gleichmäßig angesteuert.
- Der Stellbereich des Reglers ist so aufgeteilt, dass **immer nur eines der beiden Ventile** aktiv ist, um Energieverluste zu vermeiden. Das **Kühlventil** öffnet sich, wenn der Stellbereich bei 0–50 % liegt, und das **Heizventil** öffnet sich im Bereich von 50–100 %. Zwischen 45 % und 55 % sind beide Ventile geschlossen, um den Energieverbrauch zu minimieren.

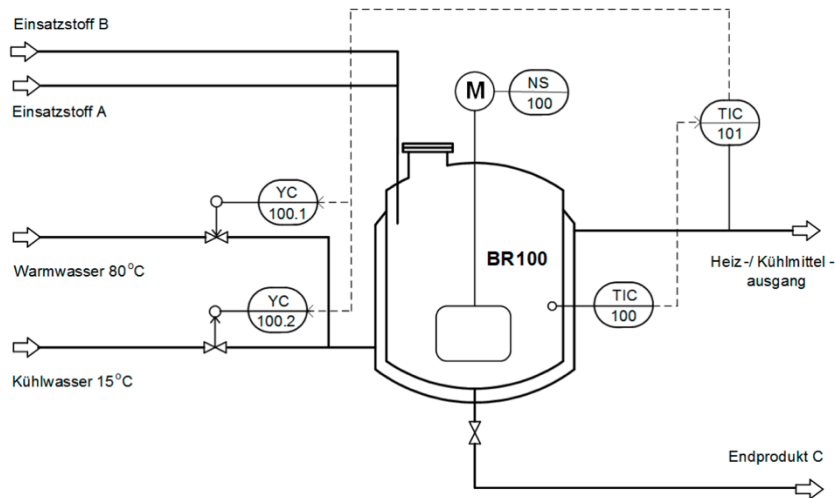


Klausuraufgabe – Regelungstechnik

Regelungstechnik

Für eine Mitarbeiterschulung zum Thema Regelungstechnik sollst du Unterlagen erstellen.

- a) Nenne und beschreibe die Funktionsweise des unten dargestellten Regelungskonzepts des Reaktors BR 100.
- b) Beschreibe zwei wesentliche Vorteile dieser Regelung.



b) Vorteile der Regelung:

1. Verbesserte Dynamik durch die Kaskadenregelung:

Die Kombination aus Haupt- und Folgeregelung als Kaskade sorgt für eine deutlich bessere Dynamik. Die Gesamtregelung reagiert schneller auf Störungen im Heiz- oder Kühlsystem, während die träge Reaktortemperatur kontinuierlich angepasst wird. Dadurch lassen sich Störungen in der Reaktion effizienter ausgleichen.

2. Energieeinsparung durch Split-Range-Anordnung:

Durch die Split-Range-Regelung werden nie beide Ventile gleichzeitig angesteuert, was zu einer erheblichen **Reduzierung von Energieverlusten** führt. Die Ansteuerung von nur einem Ventil (Heizen oder Kühlen) sorgt für eine effizientere Nutzung der Heiz- und Kühlenergie und reduziert den **Verkabelungsaufwand** und die Kosten (nur eine Messung, ein Regler).



@tiw.akademie

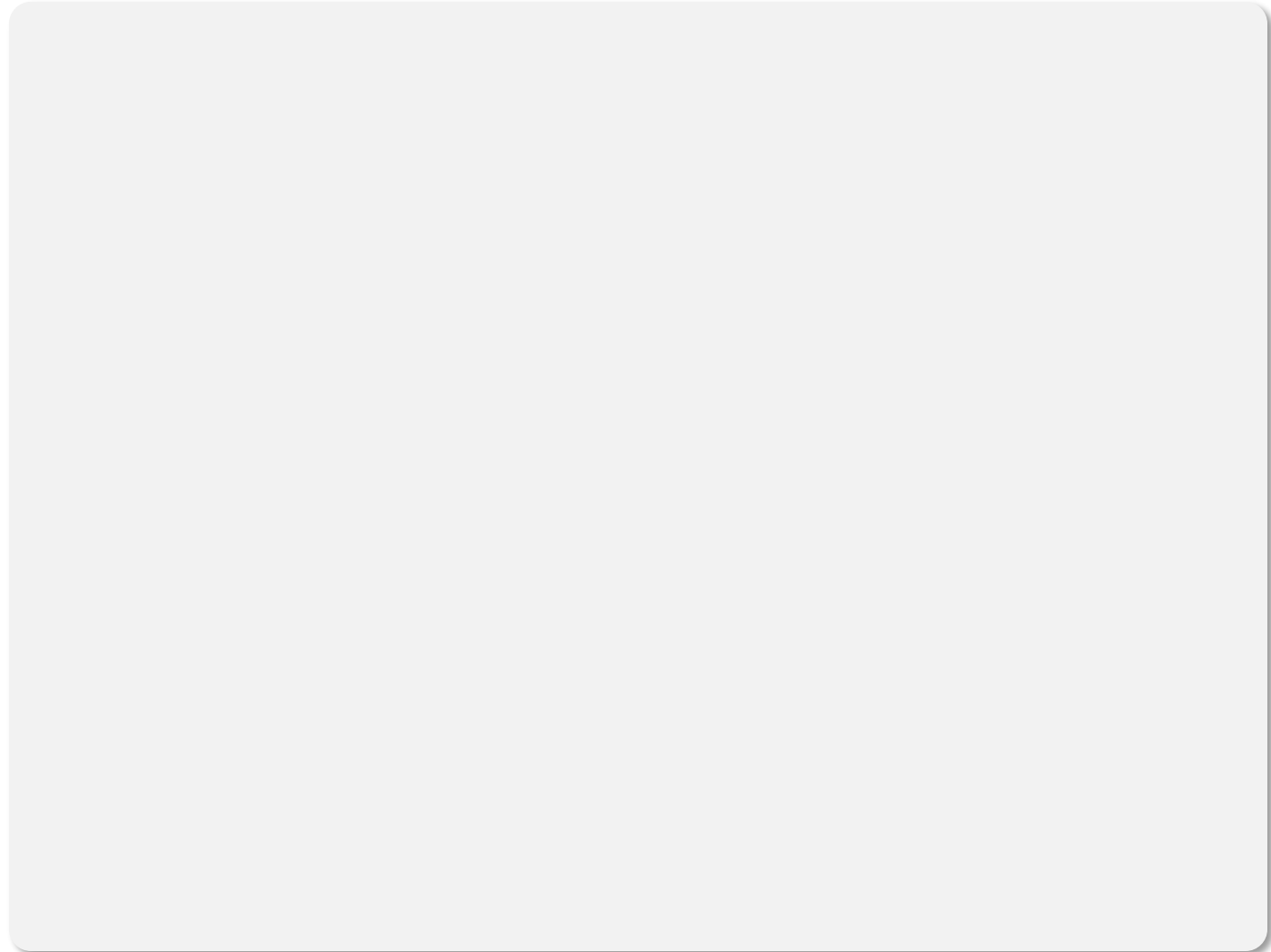
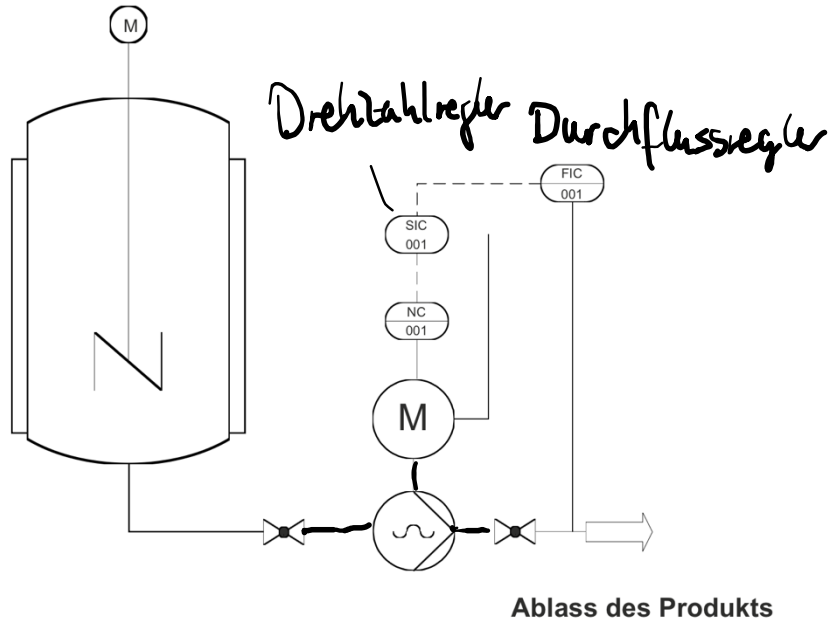


TIW GmbH © www.tiw.de

Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Regelungstechnik

Nenne das Regelkonzept und erkläre die Funktionsweise der unten dargestellten Regelung.

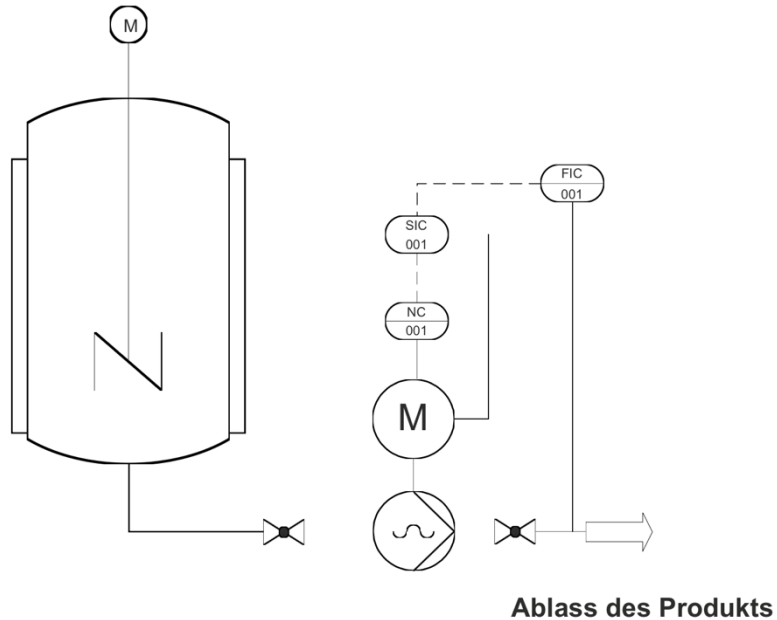




Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Regelungstechnik

Nenne das Regelkonzept und erkläre die Funktionsweise der unten dargestellten Regelung.



Bei der dargestellten Regelung handelt es sich um eine Kaskadenregelung.

Der Hauptregler (Führungsregler) ist der Durchflussregler FIC 001.

Der Hilfsregler (Folgeregler) ist der Drehzahlregler SIC 001.

Funktionsweise:

Der Durchflussregler FIC 001 misst den Durchfluss in der Produktabflussleitung. Er gibt den Sollwert (Führungssignal) für den nachgeschalteten Drehzahlregler SIC 001 vor.

Der Drehzahlregler SIC 001 misst die Pumpendrehzahl und passt diese durch eine Frequenzumrichtersteuerung an, um den Antriebsmotor auf dem vorgegebenen Wert zu halten. Sowohl die Drehzahl als auch der Durchfluss werden in der Messwarte angezeigt und überwacht, um sicherzustellen, dass der Prozess stabil läuft und die vorgegebenen Werte eingehalten werden.

Diese Kaskadenregelung ermöglicht eine präzise Steuerung des Produktflusses, indem die Drehzahl der Pumpe kontinuierlich an den gemessenen Durchfluss angepasst wird.

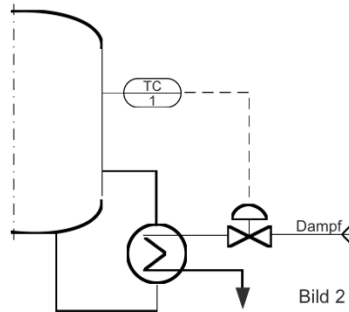
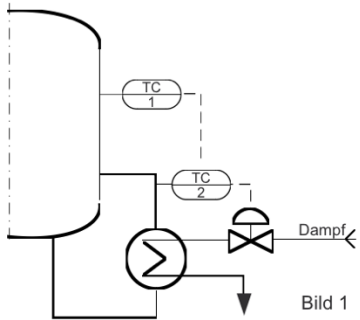


Klausuraufgabe - Regelungstechnik

Bei der Temperaturregelung eines Behälters, in dem ein temperaturempfindliches Produkt verarbeitet wird, ist die Messstelle **TC2** defekt und muss repariert werden. Aufgrund des hohen Aufwands wird vorgeschlagen, auf die Reparatur zu verzichten und stattdessen den Regelkreis **TC1** direkt das Stellventil ansteuern zu lassen.

a) Nenne jeweils zwei Vor- und Nachteile dieses Vorschlags.

b) Triff eine Entscheidung anhand der Vor- und Nachteile und begründe diese.



Vorteile:

- Einsparung Reparaturkosten
- Einfachere Regelung

Nachteile:

- Höhere Energiekosten
- langsames Regelverhalten
- Produktstörungen / Verringerung Produktqualität

→ Reparatur notwendig



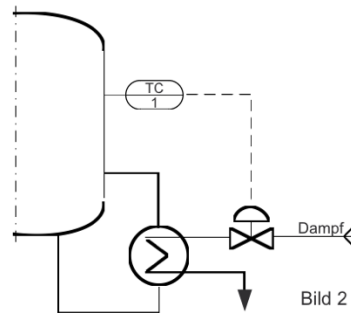
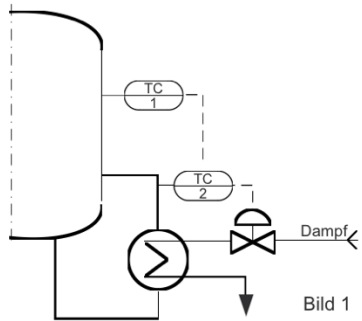
Klausuraufgabe – Regelungstechnik

Regelungstechnik

Bei der Temperaturregelung eines Behälters, in dem ein temperaturempfindliches Produkt verarbeitet wird, ist die Messstelle **TC2** defekt und muss repariert werden. Aufgrund des hohen Aufwands wird vorgeschlagen, auf die Reparatur zu verzichten und stattdessen den Regelkreis **TC1** direkt das Stellventil ansteuern zu lassen.

a) Nenne jeweils zwei Vor- und Nachteile dieses Vorschlags.

b) Triff eine Entscheidung anhand der Vor- und Nachteile und begründe diese.



a) Vorteile:

1. Einsparung der Reparaturkosten: Durch den Verzicht auf die Reparatur von TC2 werden Kosten eingespart, da kein zusätzlicher Aufwand für die Reparatur und Instandhaltung der Messstelle entsteht.

2. Vereinfachung des Regelkonzepts: Anstatt zwei Regelkreise (TC1 und TC2) zu betreiben, wird das Regelkonzept durch den Einsatz nur eines Regelkreises vereinfacht. Dies reduziert die Komplexität der Steuerung.

Nachteile:

1. Störungen im Dampfsystem werden nicht erfasst: Schwankungen im Dampf (z.B. Druck- oder Temperaturschwankungen) werden nicht mehr durch TC2 erfasst. Dadurch kann es zu größeren Regelabweichungen in der Temperaturregelung von TC1 kommen.

2. Fehlende Störungsanalyse: Ohne die Messung durch TC2 ist es schwieriger, die genauen Ursachen von Temperaturschwankungen zu ermitteln. Dies kann die Fehleranalyse und Ursachenforschung bei Störungen im Prozess erschweren.

b) Entscheidung: Aufgrund der möglichen **Qualitätseinbußen** durch größere Temperaturschwankungen wird die **Reparatur der Messstelle TC2** empfohlen. Dies stellt sicher, dass Temperaturschwankungen frühzeitig erkannt und ausgeglichen werden, wodurch die Prozessqualität stabil gehalten wird.