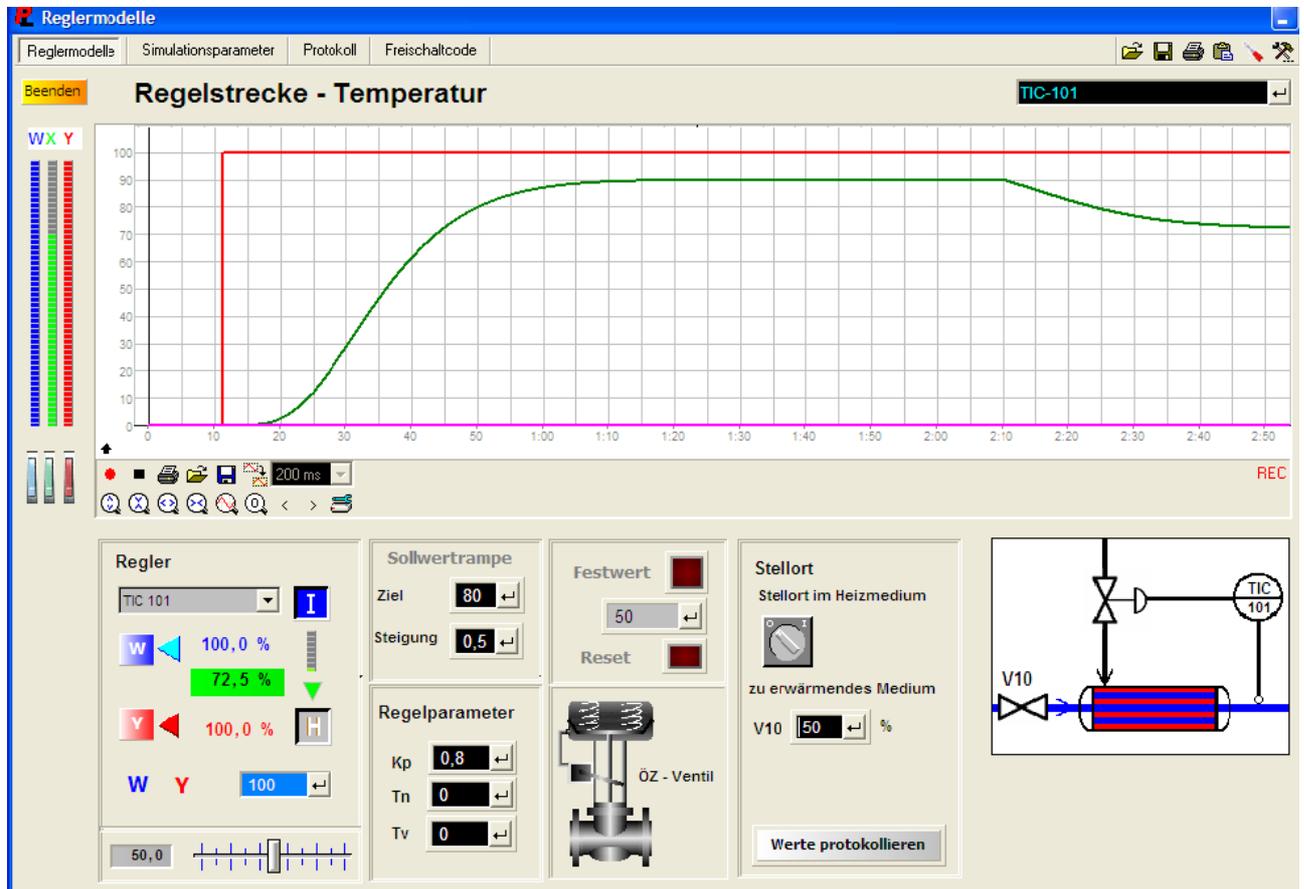


# Mess- und Regeltechnik

## Regelstrecken und Regler

eine dynamische Simulation  
von PE-SOFT ®



Die Simulation **Regelstrecken und Regler** simuliert gängige Regelstrecken wie Stand, Durchfluss, Druck und Temperatur und den Einfluss der Regelparameter auf den Regelkreis.

Das Modell veranschaulicht auf einfache verständliche Weise die Reaktionen der verschiedenen Regelstrecken. Um die Reaktionen in Erfahrung zu bringen, lassen sich viele Parameter interaktiv einstellen. Sowohl die Regelparameter ( $K_p$ ,  $T_n$ ,  $T_v$ ), als auch Störgrößen lassen sich aufschalten und verändern. Die Bedienung und Beobachtung des Prozesses, so wie dessen Darstellung ist an gängige digitale Prozessleitsysteme angelehnt.

Bedienung Allgemein.....	3
Bedienung der Regler.....	3
Umschalter für den Stellort.....	4
Bedienung vom Trend.....	4
Störgröße.....	4
Signalverzögerung.....	5
Streckenverstärkung.....	5
Verzögerungsglieder.....	5
Protokoll.....	5
Erster Start.....	6
Betrachtung von Regelstrecken.....	6
Betrachtung der Regelstrecke STAND.....	7
Ergebnis zur Betrachtung der Regelstrecke STAND.....	9
Betrachtung der Regelstrecke DURCHFLUSS.....	11
Ergebnis zur Betrachtung der Regelstrecke DURCHFLUSS.....	12
Betrachtung der Regelstrecke DRUCK.....	13
Übung 3.1 Regelventil sitzt im Behältereingang.....	13
Übung 3.2 Regelventil sitzt im Behälterausgang.....	14
Ergebnis zur Betrachtung der Regelstrecke Druck.....	15
Ergebnis zu 3.1.....	15
Ergebnis zu 3.2.....	16
Ermitteln der Zeitkonstanten beim Druck.....	16
Die grafische Ermittlung der Zeitkonstanten „T“.....	17
Betrachtung der Regelstrecke Temperatur.....	18
Ergebnisse zur Regelstrecke Temperatur.....	20
Bestimmung der Kenngrößen der Regelstrecke Temperatur.....	21
Unterschied zwischen ÖZ und SA Ventilen.....	22
Betrachtung der Regelparameter.....	23
Ergebnis zum „Verhalten eines P-Reglers ohne Rückführung des Istwertes“.....	26
Verhalten eines PI-Reglers ohne Rückführung des Istwertes.....	32
Verhalten eines PD-Reglers.....	35
PID-Regler ohne Sollwertrampe.....	39
Optimieren der Regelparameter.....	40
Optimierung nach Ziegler Nichols.....	41

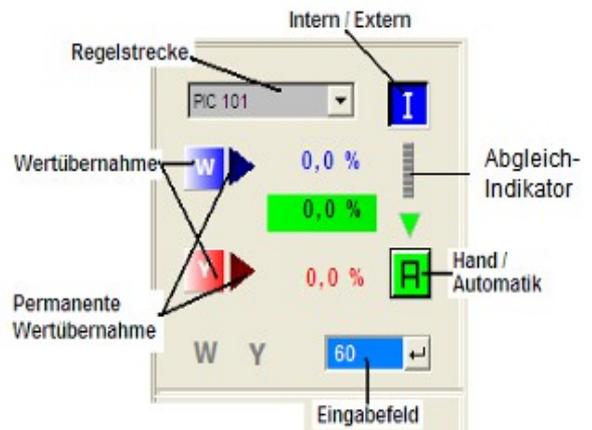
## Bedienung Allgemein

### Bedienung der Regler

Werte werden immer zuerst ins Eingabefeld eingegeben.

Danach kann der Wert durch anklicken der Übernahmetaster **W** oder **Y** in das entsprechende Feld als **Sollwert** oder **Ausgangssignal** übernommen werden.

Wenn die **permanente Übernahme** aktiviert ist, wird der Wert sofort übernommen.



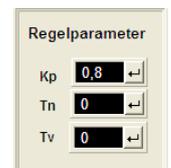
Über die Listbox „**Auswahl der Regelstrecke**“ wird die zu beobachtende Regelstrecke ausgewählt. Bei der Auswahl einer neuen Regelstrecke wird automatisch ein **Simulationsreset** durchgeführt.

Der Umschalter **Intern / Extern** schaltet den Sollwert um auf eine Rampenfunktion. Das Rampenziel (Sollwert) und die Steigung (%/Sek) werden in den Eingabefeldern vorgegeben.



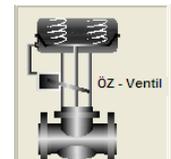
Über die Eingabefelder für die Regelparameter **Kp**, **Tn** und **Tv** können die Werte eingestellt werden.

Ein negativer Wert bei Kp dreht die Wirkungsweise des Reglers um.



Ein Klick auf das Ventilsymbol stellt das Regelventil von **ÖZ** auf **SA** um.

*ÖZ = öffnet mit steigendem Eingangssignal und ist ZU bei Ausfall der Hilfsenergie.  
SA = schließt mit steigendem Eingangssignal und ist AUF bei Ausfall der Hilfsenergie.*



Mit dem Schalter **Festwert** wird dem Regler ein konstanter Istwert vorgegeben, um z.B. die Auswirkung der Regelparameter zu beobachten.



**Reset** setzt den Regler und die Simulation auf NULL zurück.

## Umschalter für den Stellort

Mit dem **Umschalter für den Stellort** kann bei den Regelstrecken Stand und Druck die Position des Regelventils verändert werden.

Im ausgeschalteten Zustand sitzt das Stellventil im Eingang des Behälters im eingeschalteten Zustand entsprechend im Ausgang.

Mit dem Umschalten wechselt auch die fest einstellbare Größe von **V10** für den Zulauf und Ablauf. Um den Prozess zusätzlich zu beeinflussen, kann über dieses Eingabefeld ein fester Zu- bzw. Ablauf eingestellt werden

Bei der Temperaturregelstrecke wird über das Eingabefeld V10 ein variabler Durchfluss des zu erwärmenden Mediums eingestellt.

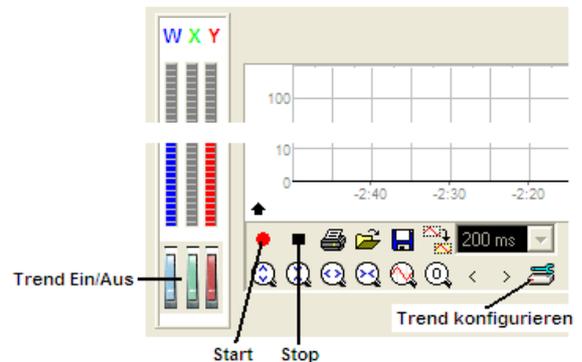


## Bedienung vom Trend

Alle Funktionen beim Trendbild sind weitestgehend selbsterklärend. Sowohl die x- als auch die y-Achse lassen sich zoomen.

Die Messwerte können gespeichert werden um diese später wieder zu laden und entsprechend auszuwerten.

Beachten Sie, dass sich bei „Trend konfigurieren“ alle Parameter, einschließlich der Farben und der Erfassungszyklus verstellen lassen.



## Störgröße

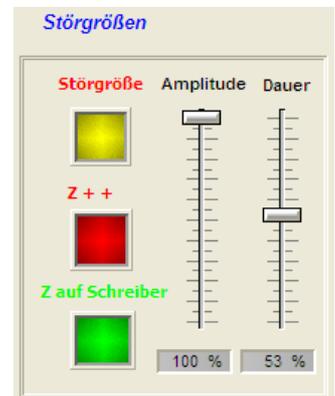
Mit dem Schalter **Störgröße** können Störgrößen auf die Regelstrecken aufgeschaltet werden.

Mit dem Schalte **Z+ +** sind die Störgrößen aperiodisch und noch schwerer auszuregeln.

Mit den Schiebereglern wird die **Amplitude** und der **Dauer** der Störgröße verändert.

Die Simulation generiert als Störgröße eine ständig auf- und abschwingende Störung, die den Messwert stetig verändert.

Mit dem Schalter **Z auf Schreiber** wird die Intensität der Störgröße als Trend erfasst.



## Störszenarien

Über die Störszenarien können gängige Fehler in Regelstrecken simuliert werden. Nach dem Einschalten vergehen 5 Sekunden bis die Störung wirksam wird. Dies lässt Zeit um in das Hauptbild zurück zu wechseln.



## Signalverzögerung

Die **Signalverzögerung** puffert/verzögert die Durchschaltung von X und Y. Der Wert kann von 0,01 bis 5 erfolgen.

Ein Wert von 0,01 stellt das Signal sofort durch, ein Wert von 5 benötigt entsprechend lange um das Ausgangssignal des Reglers zum Stellort durchzustellen. Mit diesem Parameter wird das Laufzeitverhalten der Signale beeinflusst und simuliert damit z.B. die Zeit die ein Regelventil benötigt um eine neue Stellung einzunehmen..



## Streckenverstärkung

Über das Feld **Streckenverstärkung** wird die Streckenverstärkung eingestellt. Der Wert wird im Programm auf einen Bereich zwischen 0,1 und 5 begrenzt.

## Verzögerungsglieder

Sofern die Regelstrecke „Temperatur“ aktiv ist, kann über diese Auswahlbox die Ordnungszahl der Regelstrecke eingestellt werden. Bei der Auswahl einer neuen Ordnungszahl wird ein RESET durchgeführt.



## Protokoll

Mit einem Klick auf den Taster

**Werte protokollieren**

werden alle eingestellten Werte in einer Tabelle protokolliert.

Dadurch können im Nachhinein verschiedene Fahrweisen nachvollzogen werden.

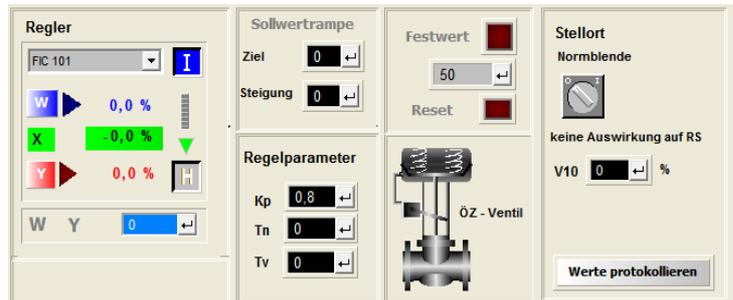
Durch klicken mit der rechten Mousetaste in diese Tabelle, lassen sich alle Werte in andere Programme exportieren.

## Erster Start

Damit die Simulation auch funktioniert, müssen beim ersten Start einige Parameter gesetzt werden.

Laden Sie hierzu die Einstellungsdatei „Grundstellung.EST“

Die Einstellungsdateien enthalten alle Werte die bei den nachfolgenden Versuchen erforderlich sind.



**ACHTUNG !** Prüfen Sie immer nach dem Laden von Einstellungsdateien ob bei den Reglern die „permanente Übernahme“ aktiviert ist. Schalten Sie diese immer zunächst wieder aus. Die Aktivierung der „permanenten Übernahme“ ist beim Speichern von Einstellungsdateien erforderlich, damit die Werte von W und Y beim späteren Laden automatisch gesetzt werden können.

## Betrachtung von Regelstrecken

Nachfolgend sollen zunächst die verschiedenen Regelstrecken betrachtet werden.

Dazu wird das Stellventil in Stellung **HAND** um einen definierten Betrag verändert und dann beobachtet wie sich die Regelstrecke verhält.

**Wichtig !** Der Trendschreiber muss laufen, um die Werte als Kurvenverlauf anzuzeigen.



Dabei gilt es folgendes zu beobachten:

- Was macht die Regelgröße **X** wenn das Reglerausgangssignal **Y** verstellt wird?
- Wie stark verändert sich **X** bezogen auf die Zeit ?
- Wie groß ist die Steigung (%/Zeit) der Messgröße ?

## Übung 1.1

### Betrachtung der Regelstrecke STAND.

#### Versuchsvorbereitung

Laden Sie die Datei „LIC-1.EST“ –

Regler = LIC 101

W und Y auf permanente Datenübernahme stellen.

Festwert = AUS.

V10 = 0%

W und Y auf 0% setzen.

Streckenverstärkung = 0,9

Kp = 0,5, Tn = 0, Tv = 0

Betriebsart HAND, INTERN

#### Versuchsdurchführung:

Stellen Sie vor jedem Versuch **Y auf 0%** und drücken Sie anschließend auf **RESET** um die Simulation auf NULL zu setzen.

#### A ) Regelventil sitzt im Behältereingang

1. Beobachten Sie die Regelstrecke mit unterschiedlichen Einstellungen der Ventilstellung (Y) von LIC101  
10%, 30%, 70%. . V10 bleibt auf 0%  
Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.

2. Stellen Sie einen unterschiedlichen **Ablauf** über V10 von jeweils 20%, 40%, 60% ein.

beobachten Sie den Stand bei unterschiedlichen Stellungen beim LIC 101 von Y (10%, 30%, 70%).  
Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.

3. Versuchen sie über LIC 101 in Fahrweise HAND den Stand auf einem konstanten Niveau von 50% zu halten. Verändern sie dabei den Ablauf über V10.  
Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.

## B ) Regelventil sitzt im Behälterausgang

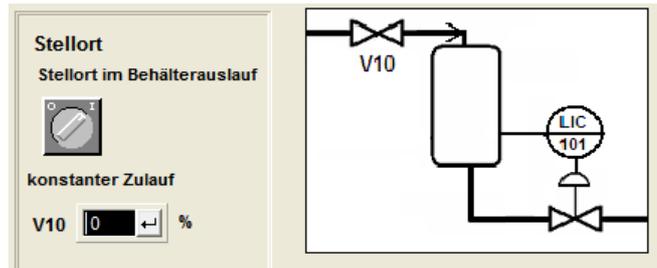
### Vorbereitung:

LIC101 Y = 0%

V10 = 0%

Umschalter für Stellort auf „I“

Das Regelventil sitzt nun im Behälterausgang.



### Versuchsdurchführung:

1. Stellen Sie einen **konstanten Zulauf** von jeweils 20%, 40%, 60% und beobachten Sie den Stand.

LIC 101 Y = 0%

Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.

2. Stellen sie V10 auf 50% und beobachten Sie die Regelstrecke mit unterschiedlichen Einstellungen der Ventilstellung von LIC101 ( 10%, 30%, 70%.)

Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.

3. Welche Unterschieden haben Sie zwischen den Versuchen A und B festgestellt.?

## C. Regelgüte in Betriebsart HAND

Stellen sie auf der Seite „Simulationsparameter“ folgende Störgrößen ein:

**Amplitude** 35 %

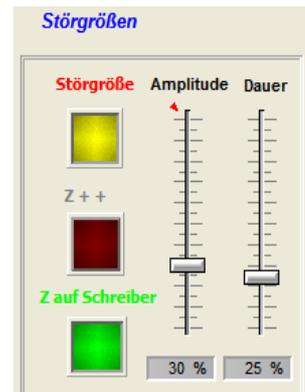
**Dauer** 30 %

Störgröße einschalten.

Stellen Sie V10 auf 40%

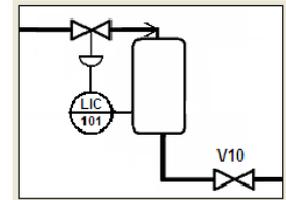
Versuchen Sie den Stand über LIC 101 in Fahrweise HAND bei 50% zu halten.

Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.



## Ergebnis zur Betrachtung der Regelstrecke STAND.

### A ) Regelventil sitzt im Behältereingang



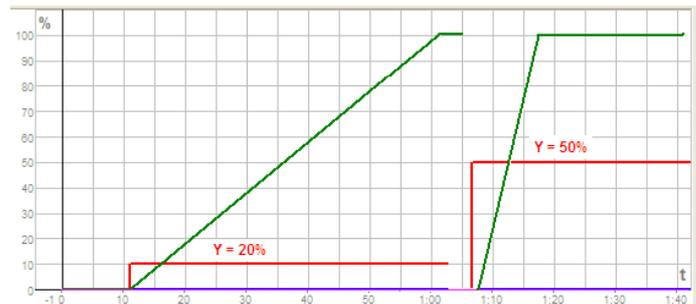
So ähnlich sollte der Kurvenverlauf der Messwerte sein.  
Die rote Linie ist die Ventilstellung von LIC 101.

Die grüne Linie ist die Regelgröße X (Stand)

Der Stand steigt kontinuierlich bis er 100% erreicht hat.

Je weiter das Ventil geöffnet wird, desto steiler ist der Anstieg, bedeutet: desto schneller wird der Behälter oder Tank gefüllt.

bei  $Y=20\%$  steigt der Stand um 20% in 10 Sekunden (Steigung = 2%/Sek.), bei  $Y=50\%$  steigt der Stand um 10% in 10 Sekunden (Steigung = 1%/Sek.).



Wird über V10 ein konstanter Ablauf und kein Zulauf eingestellt, so läuft der Behälter leer.

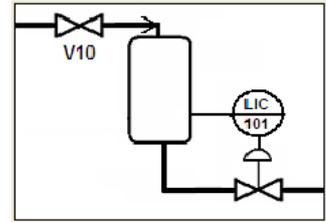
Je nachdem wie weit das Zulaufventil geöffnet wird beginnt der Behälterstand zu steigen oder zu fallen. Nur wenn Zulauf und Ablauf (in diesem Fall bei 30%) gleich sind, bleibt der Stand auf einem konstanten Niveau stehen.

Bestünde die Aufgabe den Stand ständig auf gleichem Niveau zu halten, dann müssten wir das Stellventil LIC 101 bei **steigendem** Stand **schließen** und bei **fallendem** Stand **öffnen**. Wir müssten also immer entgegengesetzt (steigend-fallend, fallend-steigend) reagieren.

**Einem steigenden Eingangssignal (X) muss ein fallendes Ausgangssignal (Y) folgen.**



**X und Y wirken entgegengesetzt.**

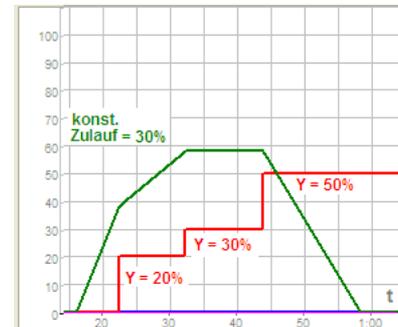
**B ) Regelventil sitzt im Behälterausgang**

Der Stand steigt oder fällt stetig, je nachdem wie weit das Regelventil LIC 101 und V10 geöffnet sind. Je weiter das Ventil geöffnet wird, desto steiler ist der Anstieg, bedeutet, desto schneller wird der Behälter gefüllt oder entleert.

Bestünde hier ebenfalls die Aufgabe den Stand ständig auf gleichem Niveau zu halten, dann müssten wir das Stellventil LIC 101 bei **steigendem** Stand **öffnen** und bei **fallendem** Stand **schließen**. Wir müssten also immer in die gleiche Richtung (fallend-fallend, steigend-steigend) reagieren.

**Einem steigenden Eingangssignal (X) muss ein steigendes Ausgangssignal (Y) folgen.**

**X und Y wirken direkt oder gleichlaufend.**

**Erkenntnisse:**

Weil der Messwert keinen neuen Beharrungszustand einnimmt (er läuft bis zum möglichen Endwert, 100%), spricht man von einer **Regelstrecke ohne Ausgleich**.

**Stand ist eine Regelstrecke ohne Ausgleich.**

- Würde vorher nicht eingegriffen, so würde der Tank über- oder leerlaufen.

Je nachdem, an welchem Ort das Regelventil sitzt, im Zulauf oder im Ablauf, muss direkt oder entgegengesetzt eingegriffen werden. Diese Erkenntnis ist wichtig wenn wir später den Behälterstand automatisch regeln wollen.

## Übung 2.1

### Betrachtung der Regelstrecke DURCHFLUSS.

#### Versuchsvorbereitung

Laden Sie die Datei „**FIC-1.EST**“ –

Regler = FIC 101

W und Y auf permanente Datenübernahme stellen.

Festwert = AUS.

W und Y auf 0% setzen.

Streckenverstärkung = 0,9

$K_p = 0,5$ ,  $T_n = 0$ ,  $T_v = 0$

Betriebsart HAND, INTERN

Bei FIC 101 in Fahrweise HAND Y öffnen und beobachten was geschieht.  
Beschreiben Sie ihre Beobachtungen.

#### Versuchsdurchführung

1. Testen Sie die Regelstrecke mit unterschiedlichen Einstellungen der Ventilstellung (Y) FIC101.  
( 20%, 50%, 70% )
2. Schalten Sie die **Störgröße** mit folgenden Parametern ein:  
**Amplitude** = 30%  
**Dauer** = 60%  
 Versuchen Sie den Durchfluss, in Fahrweise HAND bei 50% zu halten.  
 Verändern Sie die Dauer.

Beschreiben Sie ihre Beobachtungen

3. Was können Störgrößen sein ?

## Ergebnis zur Betrachtung der Regelstrecke DURCHFLUSS.

So ähnlich sollte der Kurvenverlauf der Regelgröße X sein.

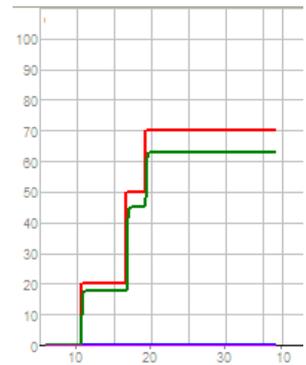
Der rote Trend ist die Ventilstellung von FIC 101.

Der grüne Trend ist die Regelgröße (Durchfluss)

Die Abweichung zwischen den beiden Trends hängt mit der Streckenverstärkung  $K_s$  zusammen, die später betrachtet wird.

- Der Durchfluss reagiert **sofort** nachdem Y eingestellt wird.  
- Er nimmt unmittelbar einen neuen Wert (Beharrungszustand) an und verharrt dort.

- Die Störungen auszugleichen ist fast unmöglich. Es gelingt um so besser je kleiner die Amplitude oder je langsamer sich die Störung verhält.



## Erkenntnisse:

Weil zwischen dem Eingangssprung (Änderung von Y) und der Sprungantwort (Reaktion vom Messwert) fast **keine Verzögerung** ist, und der Messwert jedesmal einen neuen **Beharrungszustand** einnimmt, spricht man von einer

### Regelstrecke 0. Ordnung mit Ausgleich.

Hier sehen Sie meinen Versuch die Regelgröße X, nachdem die Störgröße aufgeschaltet wurde, auf einem konstanten Wert zu halten. – Unmöglich !

### Mögliche Störgrößen auf Regelkreise können sein:

Unterschiedlicher Druck vor oder nach dem Regelventil.

Schwingendes Regelverhalten anderer Regelkreise im gleichen Prozess. Z.B. Temperatur, Druck oder Chemische Reaktionen.

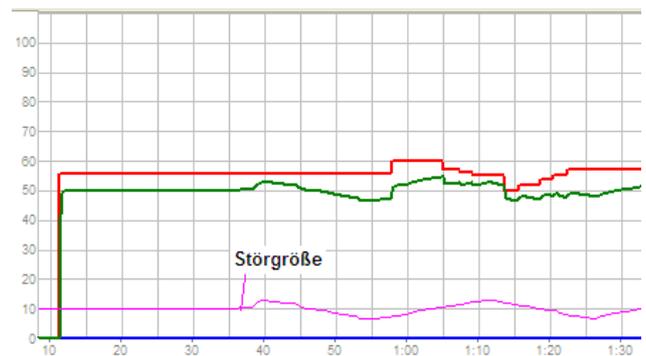
Wettereinflüsse wie Wärme, Wind, Regen, dadurch erwärmen oder abkühlen der Rohrleitungen.

Mechanische Defekte an Regelventilen.

Falsch eingestellte Regelventile ( $K_p$ ,  $T_n$ ,  $T_v$ )

Verschmutzungen von Apparaten (belegter Wärmetauscher)

u.s.w.



## Betrachtung der Regelstrecke DRUCK.

### Versuchsvorbereitung

Laden Sie die Datei „**PIC-1.EST**“ –

Regler = PIC 101

Y und W auf permanente Datenübernahme stellen.

Festwert = AUS.

V10 = 0

W und Y auf 0% setzen.

Streckenverstärkung = 0,9

$K_p = 0,5$ ,  $T_n = 0$ ,  $T_v = 0$

Betriebsart HAND, INTERN

## Übung 3.1 Regelventil sitzt im Behältereingang.

### Versuchsvorbereitung:

PIC 101 in Fahrweise HAND öffnen und beobachten was geschieht.

Beachten Sie, dass zunächst V10 auf 0% eingestellt ist, also kein Abstrom vorhanden ist.

Bevor Sie einen neuen Wert einstellen schließen sie zunächst das Regelventil (Y=0%) und drücken **Reset**.

### Versuchsdurchführung:

1. Stellen Sie bei Y unterschiedliche Werte ein (10%, 30%, 60%)

Beschreiben Sie zu jeder Einstellung ihre Beobachtung.

2. Stellen Sie über V10 unterschiedlichen Abstrom ein (20%, 30%) und öffnen Sie anschließend das Regelventil jedesmal auf 50%.

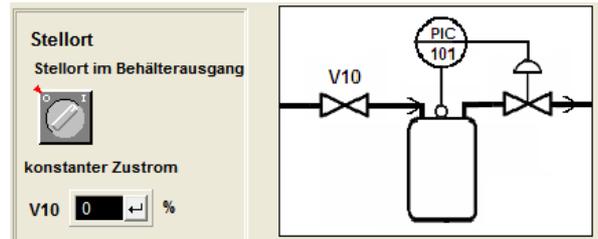
3. Schalten Sie eine Störgröße auf und versuchen Sie einen konstanten Druck zu halten

Beschreiben Sie ihre Beobachtung.

## Übung 3.2 Regelventil sitzt im Behälterausgang.

### Versuchsvorbereitung:

Laden Sie PIC-1.EST erneut.  
Stellen Sie den Stellort auf Stellung „I“  
Das Regelventil PIC 101 sitzt nun im Ausgang des Behälters.



Stellen Sie V10 auf 30% ein, so dass ein stetiger Zustrom vorhanden ist.  
Öffnen Sie PIC 101 in Fahrweise HAND und beobachten was Sie jedesmal geschieht.  
Bevor Sie einen neuen Wert einstellen, schließen sie zunächst das Regelventil (Y=0%) und drücken **Reset**.

### Versuchsdurchführung:

1. Stellen Sie bei PIC 101 unterschiedliche Werte bei Y ein. 10%, 30% oder 60%

Schließen Sie zwischen den Versuchen PIC101 jedesmal und warten bis der Druck wieder bei 100% ist.

Beschreiben Sie ihre Beobachtung.

2. Stellen Sie über V10 unterschiedlichen Zustrom ein (20%, 30%) und öffnen Sie anschließend das Regelventil jedesmal auf 50%.

3. Schalten Sie eine Störgröße auf und versuchen Sie einen konstanten Druck zu halten

Beschreiben Sie ihre Beobachtung.

## Ergebnis zur Betrachtung der Regelstrecke Druck.

### Ergebnis zu 3.1

V10 = 0%. d.h. kein Abstrom

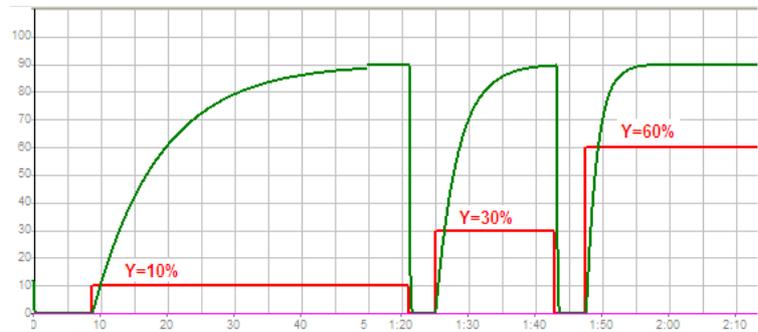
Je weiter das Regelventil geöffnet ist, desto schneller steigt der Druck an.

Am Anfang steigt der Druck schnell, gegen Ende immer langsamer.

**Erklärung:** Die Druckdifferenz wird immer geringer.

bei Y=10% ist nach ca. 50 Sek. der Endwert erreicht..

Bei Y=60% ist der Endwert bereits nach 15 Sek. erreicht.



bei allen Einstellungen wird immer der gleiche Endwert erreicht.

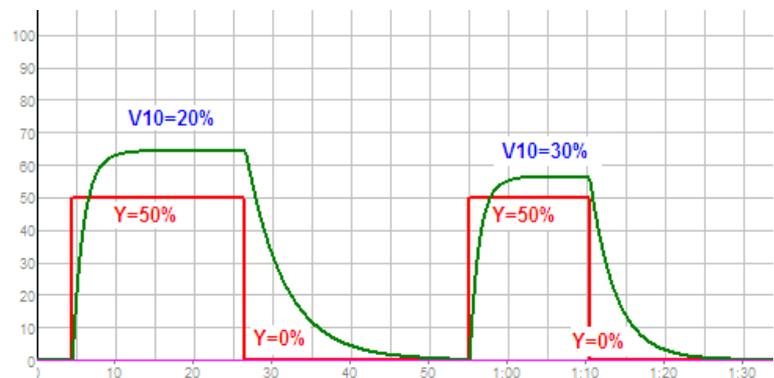
V10=20% bzw. 30%

sobald ein Abstrom über V10 eingestellt ist, wird nicht mehr der Endwert von 100% erreicht.

Der Druck nimmt einen neuen Beharrungszustand ein.

beim Schließen des Regelventils entspannt der Druck

je weiter V10 geöffnet ist, desto geringer wird der erreichbare Endwert.



Bestünde die Aufgabe den Druck auf einem konstanten Wert zu halten, so muss einem steigenden Druck (X) das Regelventil (Y) weiter geschlossen werden.

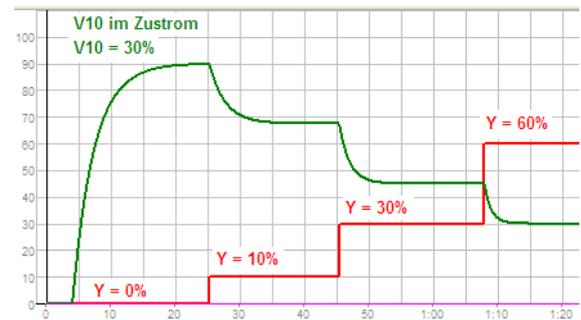
**Einem steigenden Eingangssignal (X) folgt ein fallendes Ausgangssignal. – Also „umgekehrt“**

### Ergebnis zu 3.2

Solange das Regelventil, jetzt im Ausgang, geschlossen ist, nimmt die Messgröße den maximalen Wert an.

Wird das Regelventil geöffnet, nimmt der Druck ab. Es stellt sich immer ein neuer Beharrungszustand ein.

Bestünde die Aufgabe den Druck auf einem konstanten Wert zu halten, so muss einem steigenden Druck (X) das Regelventil (Y) weiter geöffnet werden.



***Einem steigenden Eingangssignal (X) folgt immer ein steigendes Ausgangssignal. – Also „nicht umgekehrt“ sonder „gleichlaufend“ oder „direkt“.***

Ähnlich wie bei der Regelstrecke „Stand“, nur mit dem Unterschied, dass sich beim „Druck“ ein neuer Beharrungszustand einstellt.

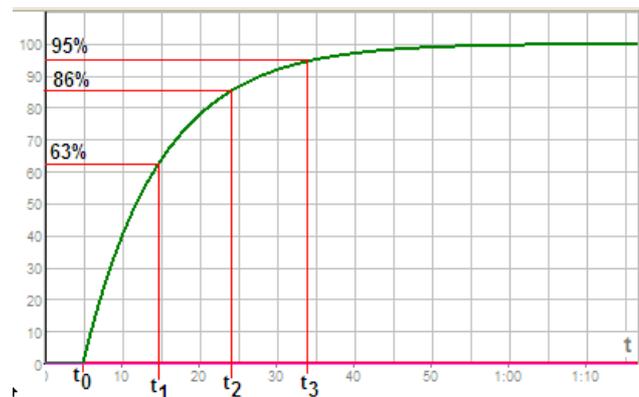
### Ermitteln der Zeitkonstanten beim Druck

An den Kurvenverläufen lässt sich die typische **Zeitkonstante „T“** ermitteln.

Nach der Zeit  $t_1 - t_0 = 19$  Sek sind 63% des Endwertes erreicht. Nach nochmal 19 Sekunden sind wieder 63% des Restbetrages bis zum Endwert erreicht, was dann gesamt 86% ausmacht.

Nach 5 mal T sind bereits mehr als 99% des Endwertes erreicht.

Nach 7 mal T sind mehr als 99,9% des Endwertes erreicht.



Die Zeitkonstante „T“ beträgt im gezeigten Beispiel 19 Sekunden.

### Ermitteln Sie die Zeitkonstanten an den 3 obigen Beispielen.

Um eine Zeitkonstante zu ermitteln, stellen Sie die **Streckenverstärkung** auf „1“ ein. Dann können die Werte direkt auf der Y-Achse als %-Wert abgelesen werden.

Wenn die Streckenverstärkung auf einem anderen Wert steht, dann müssen die 63% entsprechen dem erreichten Endwert berechnet werden.

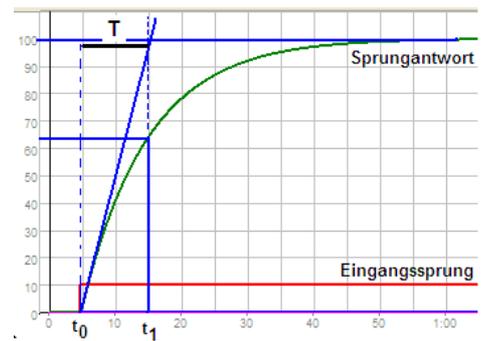
**Beispiel:** Erreichter Endwert = 85%. Davon 63% = 53,55%

## Die grafische Ermittlung der Zeitkonstanten „T“

Die Zeitkonstante „T“ kann auch grafisch ermittelt werden. Dazu wird im Nullpunkt bei  $t_0$  an der Sprungantwort eine Tangente mit Verlängerung und Schnittpunkt im Endwert angelegt. Eine Senkrechte vom Schnittpunkt der Tangente im Endwert bestimmt den Zeitabschnitt  $t_1 - t_0$  für die Zeitkonstante **T**. Eine Waagerechte am Schnittpunkt dieser Senkrechten mit der Sprungantwort ergibt die besagten 63%.

Im gezeigten Beispiel beträgt  $T = 10$  Sekunden

( Ich gebe zu die Tangente mit der richtigen Steigung anzulegen ist nicht einfach. Aber auch hierzu gibt es einen Trick. - Finden Sie diesen ? )



### Ergebnis:

Beim Füllen eines Behälters mit z.B. Druckluft, ändert sich der Druck im Behälter mit einer zeitlichen Verzögerung und nimmt einen neuen Beharrungszustand (Ausgleich) ein. Da zu Beginn eine hohe Druckdifferenz zwischen dem Luftnetz und dem Behälter herrscht, befüllt sich der Behälter sehr schnell. Je höher der Gegendruck im Behälter wird, desto langsamer nähert sich der Druck dem Endwert an. Der charakteristische Verlauf des Druckes ist bezeichnend für ein „**Verzögerungsglied 1. Ordnung**.“

Deshalb spricht man beim **Druck** von einer ...

**Regelstrecke 1. Ordnung mit Ausgleich**

## Betrachtung der Regelstrecke Temperatur.

### Versuchsvorbereitung

Laden Sie die Datei „**TIC-1.EST**“ –

Regler = TIC 101

Y und W auf permanente Datenübernahme stellen.

Festwert = AUS.

V10 = 0

W und Y auf 0% setzen.

Streckenverstärkung = 0,9

Kp = 0,5, Tn = 0, Tv = 0

Verzögerungsglieder = 5. Verzögerung

Betriebsart HAND, INTERN

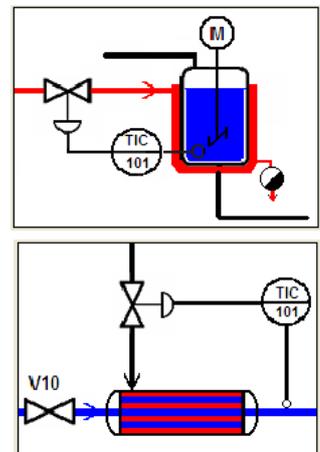
The screenshot displays the control interface for TIC 101. It includes sections for:
 

- Regler:** TIC 101, with manual (W), automatic (X), and reset (Y) buttons, all set to 0.0%.
- Sollwerttrampe:** Target (Ziel) at 0 and slope (Steigung) at 0.
- Festwert:** Setpoint at 50, with a 'Reset' button.
- Regelparameter:** Kp = 0.8, Tn = 0, Tv = 0.
- Stellort:** 'Stellort im Heizmedium' (Control point in heating medium) with a selector knob and 'zu erwärmendes Medium' (to heating medium) label. V10 is set to 0%.
- Diagram:** A schematic showing a tank with a motor (M) and a temperature sensor (TIC 101). Below it, the text reads 'Regelstrecke 5. Verzögerung' and 'Regelstrecke - Temperatur'.

Die Simulation betrachtet zwei verschiedene Wärmeübertragungen.

Wird **V10 = 0%** eingestellt, so wird ein Reaktionskessel mit einem unveränderlichen Inhalt betrachtet. Der Kessel unterliegt in der Simulation keinerlei Energieverlusten.

Wird **V10 >0%** eingestellt, so wird ein Wärmetauscher betrachtet. Über V10 wird der Durchfluss des zu erwärmenden Mediums eingestellt.



## Übung 4.1

### **Betrachtung der Regelstrecke Temperatur bei einem unveränderlichen Behälterinhalt.**

1. V10 = 0%

TIC 101 in Fahrweise HAND Y auf 30%, 50%, 80% öffnen und beobachten was geschieht.  
Stellen Sie zwischen jedem Versuch TIC101 Y auf 0% und drücken RESET.

Beschreiben Sie ihre Beobachtung.

### **Betrachtung der Regelstrecke Temperatur bei veränderlichem Produktdurchfluss.**

2. Stellen Sie zwischen jedem Versuch Y zunächst auf 0% und klicken auf RESET.

Nach jedem RESET haben Sie 5 Sekunden Zeit bis sich die neuen Parameter auswirken.

Stellen sie über V10 unterschiedliche Werte (10%, 30%, 50%) ein und öffnen dann TIC101 Y auf 80%

Beschreiben Sie ihre Beobachtung.

## Übung 4.2

1. Wählen sie für Y einen konstanten Wert und verändern Sie über die Seite „Simulationsparameter“ die Verzögerungen.

Wird eine neue Verzögerung gewählt, dann führt die Simulation automatisch einen RESET durch.

Beschreiben Sie ihre Beobachtung.

## Übung 4.3

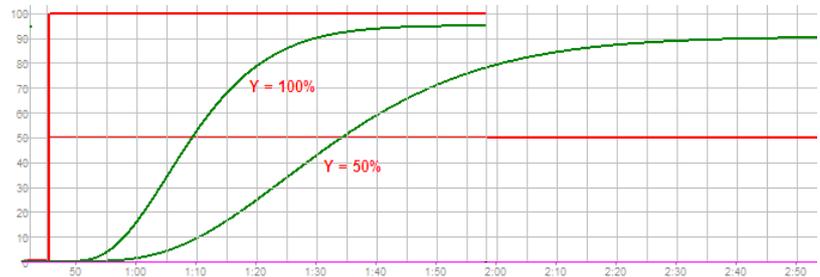
1. Stellen Sie V10 auf 30% ein. Schalten Sie eine Störung auf von Dauer = 90%, Amplitude = 30%.  
Versuchen Sie die Temperatur bei 60% zu halten.

## Ergebnisse zur Regelstrecke Temperatur

### Übung 4.1

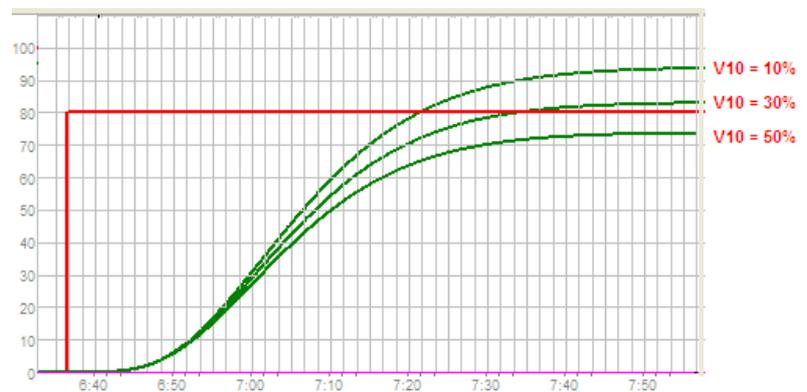
Je weiter das Regelventil geöffnet wird, desto schneller erreicht die Temperatur den Endwert.  
(was zu erwarten war)

es wird jedesmal der gleiche Endwert erreicht.



Es stellt sich jedesmal ein neuer Beharrungszustand ein.

je weiter V10 geöffnet wird, desto niedriger wird der Endwert.



### Übung 4.2

- Je größer die Verzögerung, desto länger dauert es bis der Endwert erreicht ist.

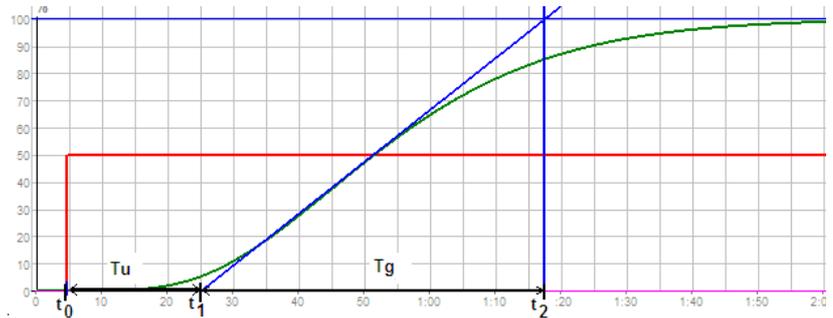
### Übung 4.3

- Da die Temperatur zeitlich sehr verzögert reagiert, ist es sehr schwierig eine Konstante Temperatur einzuhalten.

## Bestimmung der Kenngrößen der Regelstrecke Temperatur:

Zur Beurteilung der Regelstrecke lassen sich an Hand des Kurvenverlaufes Kenngrößen ermitteln.

Durch einzeichnen einer Wendetangente (am steilsten Kurvenverlauf) lassen sich zwei Zeitkonstanten dieser Regelstrecke ermitteln.



**Tu** ist die Verzugszeit und **Tg** die Ausgleichzeit.

**Tu** beginnt zum Zeitpunkt des Eingriffes bei  $t_0$  und endet am Schnittpunkt der Wendetangente mit der Grundlinie bei  $t_1$ .

**Tg** beginnt bei  $t_1$  und endet am Schnittpunkt der Wendetangente mit der Geraden des Endwertes bei  $t_2$ .

**Übrigens:** Dieses Speicherverhalten zeigen nicht nur Temperatursystem. Das gleiche Verhalten zeigen auch mehrere hintereinander geschaltete Druckbehälter.

Da auch diese Regelstrecke nach jeder Änderung der Ausgleich stark verzögert stattfindet und einen neuen Beharrungszustand einnimmt, spricht man von einer

### Regelstrecken höherer Ordnung mit Ausgleich.

Die Ordnungszahl ist durch die Anzahl der Verzögerungsglieder festgelegt.

Die Ordnungszahl „n“ lässt sich wie folgt näherungsweise berechnen:

$$n = \frac{10 \times T_u}{T_g} + 1$$

Mit  $T_u = 20$  Sek. und  $T_g = 50$  Sek erhalten wir beim obigen Beispiel eine Ordnungszahl von  $n = 5$

Somit ist das gezeigte Beispiel eine Regelstrecke **5. Ordnung mit Ausgleich**.

**Je kleiner die Verzugszeit im Vergleich zur Ausgleichszeit ist, desto besser lässt sich die Strecke regeln !**

## Unterschied zwischen ÖZ und SA Ventilen

Die Wirkungsweise und Antriebsart eines Regelventils wird durch dessen Aufgabe im Regelkreis und durch dessen Sicherheitsanforderungen bestimmt.

Um die Sicherheitsfunktion zu bestimmen, stellt man sich die Frage:  
**„Was muss das Ventil machen wenn die Hilfsenergie ausfällt?“**

Sitzt das Ventil in einem Heizkreislauf dann muss sich das Ventil, um eine Überhitzung des Prozesses zu verhindern, von selbst schließen.

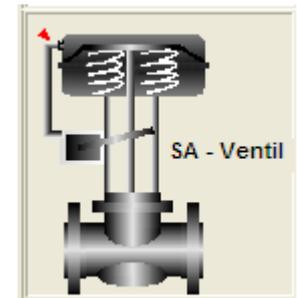
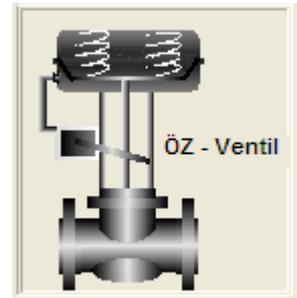
Sitzt das Ventil in einem Kühlkreislauf, dann muss sich das Ventil von selbst öffnen um eine Kühlung sicherzustellen.

Genauso kann es erforderlich sein, dass Behälter bei Hilfsenergieausfall nicht entleert werden dürfen. In diesem Fall muss sich das Ventil ebenfalls von selbst schließen.

Diese Sicherheitsfunktion erreicht man indem im Membranantrieb, das ist der obere Teil eines Regelventils, Rückstellfedern einbaut sind, welche das Ventil ,bei Ausfall der Hilfsenergie, in die entsprechende Lage bringen.

Regelventile die mit steigendem Eingangssignal (Y) öffnen und mit Ausfall der Hilfsenergie zu sind, nennt man kurz ÖZ-Ventile.

Regelventile die mit steigendem Eingangssignal (Y) schließen und mit Ausfall der Hilfsenergie auf sind, nennt man kurz SA-Ventile.



### Aufgabe

- 1.) Wählen Sie sich die Durchflussregelstrecke aus,  
Stellen  $Y=0\%$  ein und schalten Sie das Ventil um auf SA-Ventil,  
beobachten sie, schalten sie wieder zurück.

- was passiert ?

**Antwort:** Der Messwert geht auf 100%. d.h. das Ventil hat plötzlich ganz geöffnet.

- 2.)Wählen Sie wieder das ÖZ-Ventil  
stellen Sie nun  $Y = 30\%$  ein.  
schalten Sie um auf SA-Ventil

- was passiert ?

**Antwort:** Der Messwert geht auf 70%.  
Die tatsächliche Öffnung des SA-Ventil ist immer die Differenz zu 100%  
Das Ventil hat eine umgekehrte Wirkungsweise, bezogen auf das Signal Y.

- 3.) Um das Verhalten bei Ausfall der Hilfsenergie zu sehen gehen Sie auf die Seite „**Simulationsparameter**“ und schalten die Störung „**Energie zum Ventil unterbrochen**“ ein.

Da sich die Umschaltung erst nach 10 Sekunden bemerkbar macht, haben Sie genügend Zeit um auf die Seite „**Reglermodelle**“ zu wechseln um die Auswirkung zu beobachten.

**Ergebnis:** Genau wie beschrieben öffnet das SA-Ventil und das ÖZ-Ventil schließt bei Ausfall der Hilfsenergie.

**Weitere Funktionen und Einsatzbereiche betrachten wir bei den Regelaufgaben.**

## Betrachtung der Regelparameter

Um das Regelverhalten zu betrachten, wird nun der Regler in Betriebsart AUTOMATIK geschaltet. Da ein Regler immer versucht den geforderten Sollwert zu erreichen und dazu solange das Ausgangssignal **Y** verstellt, wird der Regler seine Funktion erst zeigen wenn wir den Istwert als **Festwert** vorgeben. Dazu muss der Schalter „**Festwert**“ eingeschaltet sein und im Wertefeld „50“ eingetragen werden. Mit den 50% erreichen wir, dass wir sowohl positive als auch negative Abweichungen sehen können.

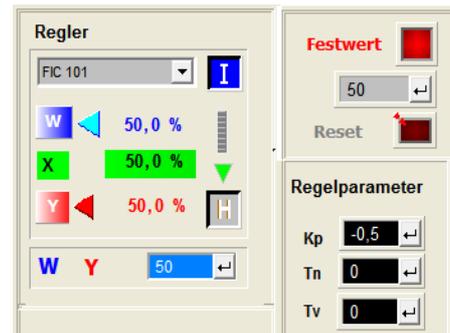
Um die Auswirkungen in beide Richtungen zu verfolgen muss auch das Ausgangssignal Y des Reglers bei 50% liegen.

Dazu stellen Sie W und Y auf permanente Übernahme und geben im Eingabefeld einen Wert von 50 ein.

Drücken Sie danach auf RESET um alle Simulationsspeicher zu löschen.

Warten Sie anschließend bis der Abgleichindikator des Reglers im grünen Bereich ist.

I.d.R. Enthalten die ladbaren Einstellungsdateien ( \*.EST) alle Einstellungen.



Da nur die Reglerfunktionen getestet werden, hat die Funktionsweise des Regelventils, so wie die Art der Regelstrecke bei diesen Übungen keinen Einfluss.

## Verhalten eines P-Reglers ohne Rückführung des Istwertes

**Versuchsvorbereitung – Verhalten eines P-Reglers ohne Rückführung des Istwertes**  
Es soll das Verhalten der **Proportionalbeiwertes (Kp)** in Erfahrung gebracht werden.

Laden Sie die Datei „**Regler-KP-1.EST**“ –

Regler = FIC 101.  
permanente Werteübernahme bei W und Y  
Festwert = 50.  
Kp = -0,5, Tn = 0, Tv = 0 (Kp ist negativ)  
Betriebsart: HAND.

RESET

### Fragestellung:

Wie verändert sich Y wenn sich die Regelabweichung  $\Delta XW$  ändert ?

### Aufgabe 1:

**Drücken Sie RESET um die Simulation auf NULL zu setzen**  
**Warten Sie bis der Abgleichindikator im grünen Bereich ist.**  
**Schalten Sie den Regler um in Betriebsart AUTOMATIK**

- Geben Sie fallende und steigende Werte für den Sollwert W ein.
- Lassen Sie den Schreiber immer ca. 10 Sekunden laufen,
- stellen Sie W wieder zurück auf 50% bevor Sie die nächste Einstellung vornehmen.
- W=50% → 10 Sec. → W=20%, → 10 Sec. → W=50% → 10 Sec
- W=50% → 10 Sec. → W=80%, → 10 Sec. → W=50% → 10 Sec
- Schreiber auf STOP
- Beschreiben Sie die Ergebnisse

### Aufgabe 2:

- Laden Sie KP-1.EST erneut, um einen definierten Anfangszustand zu erhalten.
- **Drücken Sie RESET um die Simulation auf NULL zu setzen**  
**Warten Sie bis der Abgleichindikator im grünen Bereich ist.**  
**Schalten Sie den Regler um in Betriebsart AUTOMATIK**
- Verändern Sie  $K_p$  auf -0,2 (Achtung  $K_p$  ist negativ)
- Stellen Sie  $W = 70\%$  ein und verändern Sie  $K_p$  in kleinen Schritten von -0,2 bis -4 und beobachten Sie.
- Führen Sie den gleichen Versuch für  $W = 30\%$  durch, indem Sie zunächst  $K_p$  wieder auf -0,2 einstellen und anschließend  $K_p$  wieder von -0,2 bis -4 ändern..
- Schreiber auf STOP
- Beschreiben Sie die Ergebnisse

### Aufgabe 3:

- Führen Sie die vorherigen beiden Versuch mit einem positiven  $K_p$  durch.
- Beschreiben Sie das Ergebnis

### ACHTUNG

Anmerkung zum Vorzeichen von  $K_p$ .

Das negative Vorzeichen vor  $K_p$  dient dazu um die Wirkungsweise des Reglers umzudrehen.

Selbst wenn  $K_p$  von -0,2 auf -1,5 verändert wird, spricht man davon, dass  $K_p$  größer wird, obwohl der Wert mathematisch gesehen kleiner wird.

Die Aussage **größer** und **kleiner** bezieht sich hierbei auf die Reglerverstärkung  $K_p$  und nicht auf den Wert von  $K_p$ .

## Ergebnis zum „Verhalten eines P-Reglers ohne Rückführung des Istwertes“

### Ergebnis zu Aufgabe 1

Bei  $K_p = -0,5$  haben wir folgende Ergebnisse.

Die Sprungantwort des Reglers (das ist die Änderung des Ausgangssignals nach einer Eingangsänderung, in diesem Fall die Antwort von Y auf die Änderung von W) zeigt immer einen proportionalen Zusammenhang zwischen W und Y.

Wenn man  $\Delta Y$  durch  $\Delta W$  dividiert, erhält man jedesmal den Wert 0,5, was genau dem Wert von  $K_p$  entspricht.

$$\begin{aligned}\Delta W &= 50\% - 20\% = 30\%, \\ \Delta Y &= 50\% - 35\% = 15\%, \\ 15\% : 30\% &= 0,5\end{aligned}$$

Weil dieser Zusammenhang proportional ist, spricht man hier auch von einem

**Proportional Regler**

oder einfach vom „P-Regler“



### Ergebnis zu Aufgabe 2

Je größer  $K_p$  wird, desto größer ist das Ausgangssignal Y

Ein P-Regler bildet das Ausgangssignal wie folgt:

$$\Delta Y = (\Delta X - \Delta W) \cdot k_p$$



### Beispiele:

$$X_1 = 50\%, X_2 = 60\%; W_1 = 50\%, W_2 = 70\% K_p = -0,5$$

$$\begin{aligned}Y &= (X_1 - W_2) \cdot K_p \\ Y &= (50\% - 70\%) \cdot -0,5 \\ Y &= -20\% \cdot -0,5 \\ Y &= 10\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 = 50\% - 70\% = -20\% \\ \Delta X &= X_1 - X_2 = 50\% - 60\% = -20\% \\ \Delta X : \Delta W &= -10\% : -20\% = 0,5\end{aligned}$$

Die Änderung beträgt plus 10%,  $K_p$  ist 0,5 (ohne Vorzeichen)

$$X_1 = 50\%, X_2 = 40\%; W_1 = 50\%, W_2 = 30\% K_p = -0,5$$

$$\begin{aligned}Y &= (50\% - 30\%) \cdot -0,5 \\ Y &= 20\% \cdot -0,5 \\ Y &= -10\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 = 50\% - 30\% = 20\% \\ \Delta X &= X_1 - X_2 = 50\% - 40\% = 20\% \\ \Delta X : \Delta W &= 10\% : 20\% = 0,5\end{aligned}$$

Die Änderung beträgt minus 10%,  $K_p$  ist 0,5 (ohne Vorzeichen)

**Versuchsvorbereitung –Statische Kennlinie eines P-Reglers**

Es soll der Zusammenhang zwischen dem Stellbereich und der Regelabweichung in Erfahrung gebracht werden.

Laden Sie die Datei „**Regler-KP-1.EST**“ –  
 Regler = FIC 101.  
 permanente Werteübernahme bei W und Y  
 Festwert = 50.  
 $K_p = -0,5$ ,  $T_n = 0$ ,  $T_v = 0$   
 Betriebsart HAND,  $W = 50\%$ ,  $Y = 50\%$   
 RESET

Wir erzeugen zuerst eine Wertetabelle über die Protokollfunktion.  
 Anschließend exportieren wir diese Tabelle in die Zwischenablage und fügen diese dann in eine Tabellenkalkulation ein.  
 Es ist von Vorteil wenn Sie sich mit der Tabellenkalkulation, im Besonderen mit der Erstellung einer Grafik, auskennen.

**Und so funktioniert es:**

- Löschen Sie die Protokolltabelle
- Warten Sie bis der Abgleichindikator im grünen Bereich ist und schalten Sie dann den Regler in Betriebsart AUTOMATIK um.
- Schreiber starten.
- Stellen Sie W auf 0%
- Erhöhen Sie den Sollwert in Schritten von jeweils 10% bis 100%
- Warten Sie jedesmal bis sich der Wert stabilisiert hat.
- Erfassen Sie jedes Ergebnis im Protokoll indem Sie den Taster „**Werte protokollieren**“ drücken.

1. Zur Auswertung der Daten erzeugen wir in z.B. Excel oder in Open Office Calc eine Grafik mit der Abhängigkeit „**Y von XW**“.
2. Wenn Sie bei  $W=100\%$  angekommen sind exportieren Sie die Tabelle zunächst in die **Zwischenablage** indem sie die Protokolltabelle mit der rechten Mousetaste anklicken und **kopieren** wählen.

W	X	Y	Kp	Tn	Tv	V10	Ks	Amplit.	Dauer	Z	AP	0=ÖZ, 5=SA	Zeit	Datum
0,0	50,0	26,1	-0,50	0,0	+0	0,00	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	5	17:18:43	08.10.2013
10,0	50,0	31,1	-0,50	0,0	+0	0,00	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	5	17:18:49	08.10.2013
20,0	50,0	36,0	-0,50	0,0	+0	0,00	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	5	17:18:53	08.10.2013
30,0	50,0	41,0	-0,50	0,0	+0	0,00	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	5	17:19:00	08.10.2013
40,0	50,0	44,0	-0,50	0,0	+0	0,00	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	5	17:19:05	08.10.2013
50,0	50,0	51,0	-0,50	0,0	+0	0,00	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	5	17:19:10	08.10.2013

3. Öffnen Sie ihre Tabellenkalkulation und fügen Sie die Werte aus der Zwischenablage ein. Achten Sie darauf, dass der Zahlen und nicht Text importiert werden.

4. Wir brauchen nur die Spalten X, X und Y. Alle anderen Spalten können gelöscht werden.

	A	B	C	D
1	W	X	Y	XW
2	0	50	26,1	50
3	10	50	31,1	40
4	20	50	36	30
5	30	50	41	20
6	40	50	46	10
7	50	50	51	0
8	60	50	56	-10
9	70	50	61	-20
10	80	50	66,1	-30
11	90	50	71,1	-40
12	100	50	76,1	-50

5. Nun erstellen wir noch die Formel für X-W  
 Dazu müssen wir eine zusätzliche Spalte, rechts einfügen.  
 In dieser Spalte berechnen wir die Differenz zwischen X-W.  
 Dadurch erhalten wir die **Regelabweichung XW**.

Als Grafik erzeugen wir eine X/Y Liniengrafik.

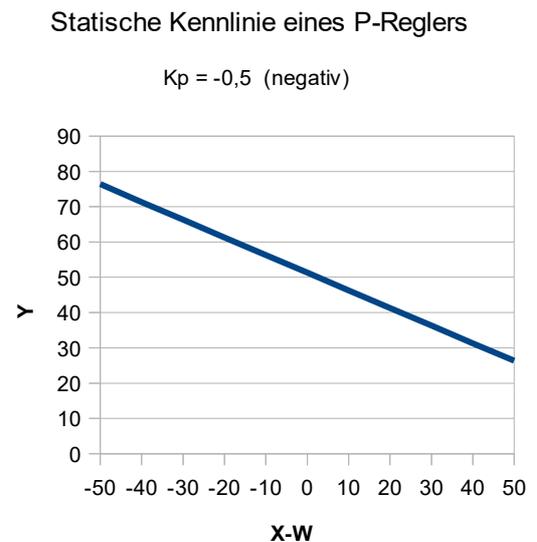
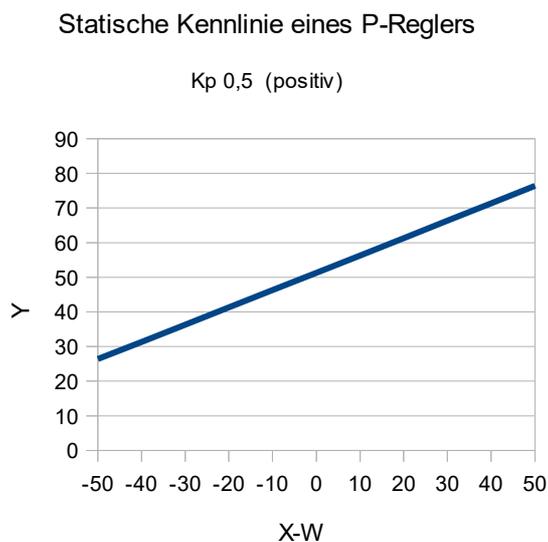
**Ergebnis:**

Die Grafik zeigt nun die Abhängigkeit der Ausgangsänderung **Y** von der Regelabweichung **XW**.

Bei  $K_p = 0,5$  muss sich **XW** um 100% verändern, damit 50% vom Ausgangssignal durchlaufen werden. Man könnte auch sagen, **XW** muss sich um 200% ändern, damit der gesamte Stellbereich von 100% durchlaufen wird, was bedeutet, dass eine große Eingangsänderung eine kleine Ausgangsänderung zur Folge hat.

**Der Regler mit der unten links dargestellten Kennlinie, hat eine positive Wirkrichtung.  
Der Regler mit der unten rechts dargestellten Kennlinie, hat eine negative Wirkrichtung.**

$K_p 0,5$  bedeutet auch, dass das Regelventil, welches von einem reinen P-Regler angesteuert wird, weder ganz zu, noch ganz auf gehen wird. Dieser Regler hat eine negative Verstärkung (Dämpfung)



### Aufgabe:

Wiederholen Sie das gleiche Beispiel mit steigenden Werten für  $K_p$   
( $K_p = 1,0$ ,  $K_p = 2,0$ )

### ACHTUNG !

Nur Werte für  $K_p \leq 1$  ergeben eine richtige Grafik in Excel.  
Grund: Die Simulation begrenzt das Ausgangssignal  $Y$  zwischen 0 und 100 %

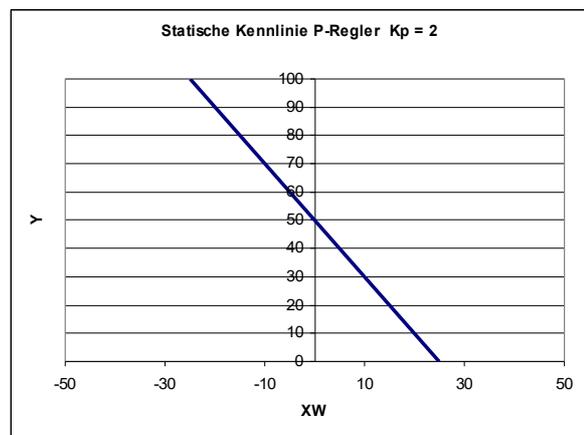
Protokollieren sie deshalb bei  $K_p=2$  nur die Werte für  $W=25$ ,  $W=50$  und  $W=75$

### Ergebnis:

Bei  $K_p = 2$  muss sich  $XW$  um 50% verändern, damit 100% vom Ausgangssignal durchlaufen werden. Was bedeutet, dass eine kleine Eingangsänderung eine große Ausgangsänderung zur Folge hat.

**Der Regler hat eine positive Verstärkung.**

.  
.



ZUR

## Verhalten eines P-Reglers mit Rückführung des Istwertes

### Versuchsvorbereitung

Es soll das Verhalten des Reglers bei zurückgemeldetem Istwert in Erfahrung gebracht werden.

Laden Sie die Datei „**Regler-KP-2.EST**“ –

Regler = FIC 101.

permanente Werteübernahme bei W und Y

Streckenverstärkung = 1

Festwert = Aus

$K_p = -0,5$ ,  $T_n = 0$ ,  $T_v = 0$

Betriebsart HAND, Y = 50%, W = 50%.

### RESET

Da Y momentan zur Betrachtung nicht erforderlich ist, ist Y auf dem Schreiber ausgeschaltet.

### Aufgabe 1:

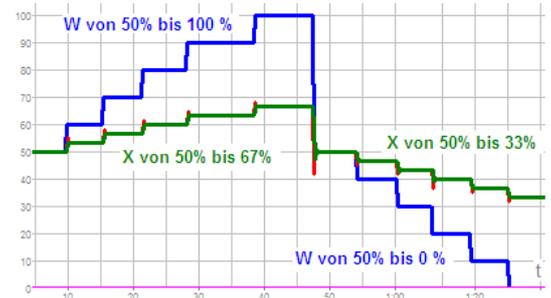
- Schalten Sie den Regler in Betriebsart AUTOMATIK
- Geben Sie zunächst steigende Werte für den **Sollwert** von 50% bis 100% ein.
- Lassen Sie den Schreiber immer ca. 5 Sekunden laufen, bevor Sie die nächste Einstellung vornehmen.
- Schreiben sie ein Protokoll mit jeder Einstellung.
- Was beobachten Sie ?
- Machen Sie das gleiche mit fallenden Werten für W, 50% bis 0%

Wiederholen Sie den Versuch mit unterschiedlichen Werten für  $K_p$ . ( $K_p = -0,5$ ,  $K_p = -0,8$ ,  $K_p = -1,0$ )

**Ergebnis 1:**

Obwohl der Regler in Automatik steht und der Istwert jetzt zurückgemeldet wird, wird der geforderte Sollwert nicht erreicht.

Das Ausgangssignal Y und der Istwert X schreiben genau übereinander. Dies ist in der Streckenverstärkung (diese ist 1) begründet.



**Erkenntnis:**

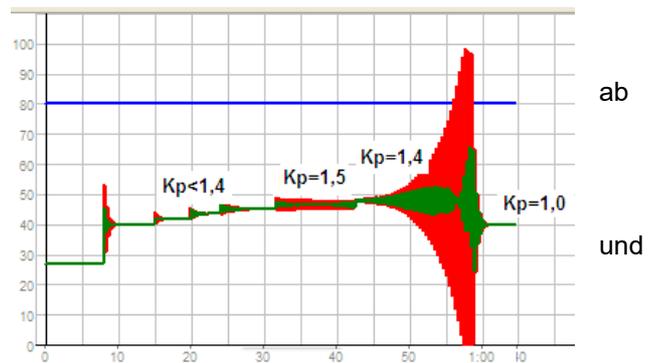
Reine P-Regler haben eine **bleibende Regelabweichung**, die abhängig ist von  $K_p$ .  
Je größer  $K_p$  desto kleiner die Regelabweichung.

Um zu erreichen, dass der Istwert X genau das gleiche erreicht wie der Sollwert W vorgibt, müsste man den Arbeitspunkt verstellen.  
Allerdings gilt diese Einstellung nur für diesen einen Lastbereich und müsste dann bei jeder Laständerung entsprechend angepasst werden.

**Ergebnis 2:**

Bei  $K_p > 3$  beginnt **dieser** Regelkreis zu schwingen.  
Der Punkt, ab wann ein Regelkreis zu schwingen beginnt hängt vom Streckverhalten der Regelstrecke und ist sehr unterschiedlich.

Sie können dies testen indem Sie die Simulationsparameter für die Signalverzögerung die Streckenverstärkung verändern.  
Wenn die Signalverzögerung kleiner oder die Streckenverstärkung größer wird, kommt der Regelkreis zum Schwingen.



## Verhalten eines PI-Reglers ohne Rückführung des Istwertes

### Verhalten eines PI-Reglers ohne Rückführung des Istwertes Untersuchung des Integralverhaltens

Laden Sie die Datei „**Regler-PI-1.EST**“

Regler = FIC 101

W und Y auf permanente Datenübernahme stellen.

Festwert = 50.

W und Y auf 50% setzen.

Streckenverstärkung = 1

$K_p = -0,5$ ,  $T_n = 20$ ,  $T_v = 0$

Betriebsart HAND

**RESET**

### Aufgabe:

- Wenn der Abgleichindikator im grünen Bereich ist stellen Sie den Regler um in Betriebsart AUTOMATIK
- Setzen Sie W auf 70%
- Beobachten Sie
- Setzen Sie W zunächst wieder auf 50% und drücken Sie RESET um die Simulation wieder zurück zu setzen.
- Setzen Sie W auf 30%
- Beobachten Sie

### Ergebnis:

Der Reglerausgang macht sofort ein Sprung auf 66 %.  
Danach steigt der Reglerausgang kontinuierlich an, bis er schließlich den Endwert von 100% erreicht hat.

Ist der Sollwert kleiner als der eingestellte Istwert (50%) dann antwortet das Ausgangssignal entsprechend mit fallenden Werten.

### Erkenntnis:

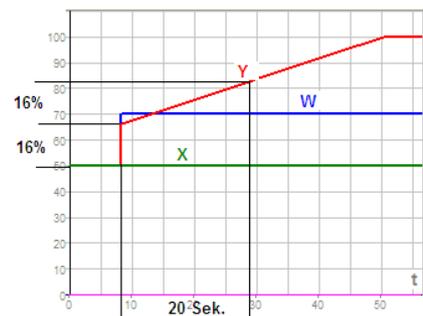
Der erste Sprung kommt vom P-Verhalten des Reglers und wird als **P-Sprung** bezeichnet.

Das folgende kontinuierliche weitere Ansteigen ist das sog. **Integral-** oder **Zeitverhalten**.

Im beobachteten Fall hat der Reglerausgang nach ca. 20 Sek. nochmals 16% zugelegt, also den P-Sprung nochmals wiederholt.

Die Zeit von ca. 20 Sek. ist die **Nachstellzeit**, die bei  $T_n$  eingestellt ist.

Die Nachstellzeit ist die Zeit die der Regler braucht um den P-Sprung nochmals hinzuzufügen.



**Aufgaben:**

Wiederholen Sie den Versuch mit unterschiedlichen Einstellungen von **Kp** und **Tn**.

Bevor Sie die nächste Einstellung vornehmen schalten Sie den Regler um in Betriebsart HAND. W und Y auf 50% setzen.

1. W = 50%
2. RESET
3. Kp oder Tn ändern
4. Neuer Wert für W

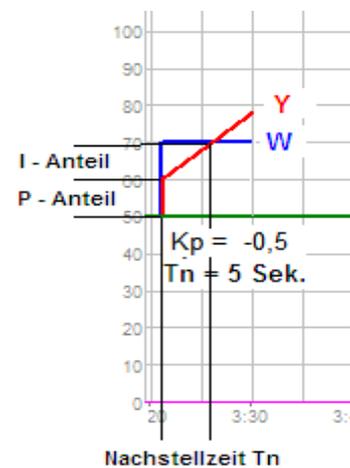
Werten Sie die Trends aus, indem Sie das Schreiberprotokoll ausdrucken und den Anstieg und die Zeit mit einem Lineal ausmessen.

Kennzeichnen Sie den P- und den I - Anteil.

**Erkenntnis:**

Während der P-Sprung unabhängig von **Tn** ist, ist **Tn** direkt von **Kp** abhängig.

Je größer Kp und je kürzer Tn, desto steiler der Anstieg von Y.



Da **Tn** proportional zu **Kp** ist führt eine „0“ bei **Kp** ebenfalls zu einer „0“ bei **Tn**.

**D.h. Es lässt sich kein alleiniger I-Regler simulieren.**

## Verhalten eines PI-Reglers mit Rückführung des Istwertes

### Verhalten eines PI-Reglers mit Rückführung des Istwertes

Untersuchung des Integralverhaltens.

Laden Sie die Datei „**Regler-PI-2.EST**“

Regler = FIC 101

W und Y auf permanente Datenübernahme stellen.

Festwert = AUS.

Streckenverstärkung = 1

$K_p = -0,5$ ,  $T_n = 20$ ,  $T_v = 0$

Betriebsart HAND,  $W = 50\%$ ,  $Y = 50\%$

**RESET**

### Aufgabe:

- Wenn der Abgleichindikator im grünen Bereich ist stellen Sie den Regler um in Betriebsart AUTOMATIK
- Verändern Sie W
- Wiederholen Sie den Versuch mit unterschiedlichen Einstellungen von  $K_p$  und  $T_n$ .
- Wiederholen Sie die Versuche mit unterschiedlichen Regelstrecken.
- Werten Sie die Trends aus

Beobachten Sie was passiert

### Ergebnis:

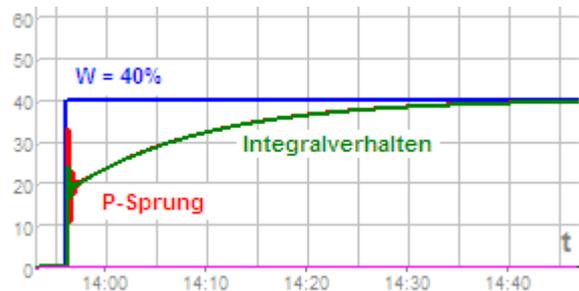
Der Reglerausgang macht sofort ein Sprung.  
Danach steigt der Reglerausgang kontinuierlich an, bis er schließlich den Endwert von 100% erreicht hat.

### Erkenntnis:

Der erste Sprung kommt vom P-Verhalten des Reglers und wird als **P-Sprung** bezeichnet.

Das folgende kontinuierliche weitere Ansteigen ist das sog. **Integral-** oder **Zeitverhalten**.

Im Unterschied zum Versuch „ohne Rückführung des Istwertes“, erreicht nun der Istwert den eingestellten Sollwert. Es gibt keine bleibende Regelabweichung wie beim reinen P-Regler.



## Verhalten eines PD-Reglers

<b>Verhalten eines PD-Reglers</b> Ohne Rückführung des Istwertes.
<b>Drücken Sie RESET um die Simulation auf NULL zu setzen</b>
Laden Sie die Datei „ <b>Regler-Pd-1.EST</b> “
Regler = FIC 101 W auf permanente Datenübernahme stellen. Festwert = 50. Streckenverstärkung = 0,9 Kp = -0,5, Tn = 0, Tv = 2 Betriebsart HAND
<b>RESET</b>

Tv = „Vorhaltzeit“ (Begriff laut DIN 19226 Teil 2) wird umgangssprachlich fälschlicherweise oft als „Vorhaltezeit“ bezeichnet.

### Aufgabe:

- Wenn der Abgleichindikator im grünen Bereich ist stellen Sie den Regler um in Betriebsart AUTOMATIK
- Verstellen Sie W auf 75%
- Warten Sie ca. 5 – 10 Sekunden um die Auswirkung gut zu unterscheiden.
- Stellen Sie W wieder auf 50% zurück und warten ab.
- Stellen Sie auf 25%

Beobachten Sie was passiert

### Weitere Aufgaben:

- Wiederholen Sie den Versuch mit unterschiedlichen Einstellungen von Kp und Tv.
- Schalten Sie den Festwert aus, so dass eine ständige Rückführung des Istwertes stattfindet.
- Untersuchen Sie unterschiedliche Regelstrecken mit Rückführung des Istwertes und gleichen Einstellungen bei Kp und Tv.

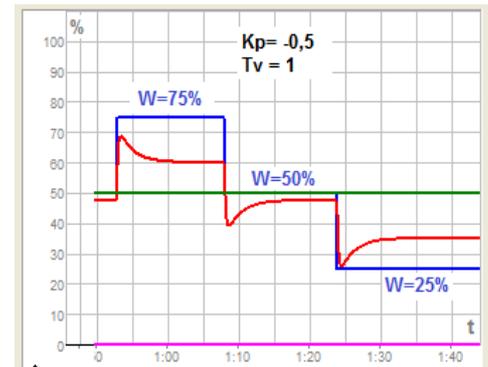
**Ergebnis:**

Der Reglerausgang macht sofort einen großen Sprung.  
Dieser Peak fällt aber wieder ab.

Bei jeder weiteren Einstellung führt der Regler immer wieder einen Peak aus und verharrt dann wieder auf einem konstanten Betrag.

Die Größe des Peaks hängt von  $K_p$  ab.  
Die Dauer der Abfallzeit hängt von  $T_v$  ab.

Je größer der Sprung von  $W$  (also die Regelabweichung) desto größer auch der Peak.



**Erkenntnis:**

Der erste Sprung kommt vom D-Verhalten (**Differenzialverhalten**) des Reglers und wird als **D-Sprung** bezeichnet.

Anschließend fällt  $Y$  wieder auf den eingestellten P-Anteil ab und verharrt dort.

Der Peak vom D-Anteil ist abhängig von der Regelabweichung zum Zeitpunkt des Eingriffes.

Das D-Glied ist ein Differenzierer, der nur in Verbindung zu Reglern mit P- und/oder I-Verhalten als Regler eingesetzt wird. Er reagiert nicht auf die Höhe der Regelabweichung, sondern nur auf deren Änderungsgeschwindigkeit.

**Erkenntnis:**

**Der D-Sprung proportional der Regelabweichung und proportional zu  $K_p$ .**

**Verhalten eines PD-Reglers**

In einer Sollwertrampe, ohne Rückführung des Istwertes.

Laden Sie die Datei „**Regler-Pd-2.EST**“

Regler = FIC 101

W und Y auf permanente Datenübernahme stellen.

Festwert = 50.

Sollwertrampe Ziel = 80%, Steigung = 1%/Sek.

Streckenverstärkung = 0,9

$K_p = -0,5$ ,  $T_n = 0$ ,  $T_v = 2$

Betriebsart HAND, INTERN

Betrachten wir uns den PD-Regler wenn wir eine ständige Regelabweichung erzeugen. Das machen wir indem wir die Sollwertrampenfunktion anwenden.

Die Parameter sollten wie oben aufgeführt eingestellt sein.

Wir werden verschiedene Rampen erzeugen und das Verhalten des Reglers untersuchen.

Die Rampen unterscheiden sich in der Steigung des Sollwertes pro Sekunde.

Die Rampenfunktion wird aktiviert indem der Regler in Betriebsart EXTERN geschaltet wird.

Am Anfang und zwischen den Versuchen wird der Regler immer zunächst auf INTERN eingestellt.

- Wenn der Abgleichindikator im grünen Bereich ist stellen Sie den Regler um in Betriebsart AUTOMATIK

**RESET**

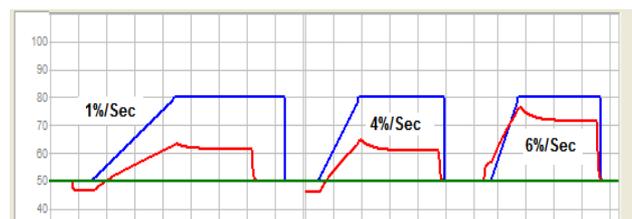
Wir beginnen mit einer Steigung von 1%/Sekunde und verdoppeln diesen Wert mit jedem weiteren Versuch.

1. Regler in Betriebsart EXTERN umschalten.
2. Warten bis das Sollwertziel (80%) erreicht ist.
3. 5 Sekunden warten.
4. Regler in Betriebsart INTERN umschalten.
5. Nächste Steigung eingeben (Rampe, Steigung 1; 2; 4; 5)
6. Weiter mit Schritt 1

**Ergebnis:**

Je steiler die Rampe ist, desto größer ist der D-Anteil.

Mann könnte auch sagen: „Je schneller sich die Abweichung ändert, desto größer ist der D-Anteil“

**Zusammenfassung der Eigenschaften des D-Gliedes:**

- Einen reinen D-Regler gibt es nicht, da er nur differenzieren, aber nicht regeln kann.
- Das D-Glied wird in PD- und PID-Reglern bei Regelstrecken höherer Ordnung eingesetzt.
- Eine lineare Anstiegsfunktion am Eingang bewirkt eine konstante Ausgangsgröße, die proportional der Zeitkonstante  $T_v$  und der Reglerverstärkung  $K_p$  ist.
- Die Sprungantwort ist eine Stoßfunktion, die beim realen D-Glied eine endliche Größe aufweist und nach einer e-Funktion auf Null abklingt.

## Verhalten eines PID-Reglers

### Verhalten eines PID-Reglers

In einer Sollwerttrampenfunktion ohne Rückführung des Istwertes.

Laden Sie die Datei „**Regler-PID-1.EST**“ –

Regler = FIC 101  
 Festwert einschalten auf 30.  
 W und Y auf 30 setzen.  
 Streckenverstärkung = 0,9  
 $K_p = -1,2$ ,  $T_n = 30$ ,  $T_v = 1$   
 W und Y auf permanente Datenübernahme stellen.  
 Regler in HAND

Sollwerttrampe: Ziel = 80%, Steigung 5%/Sek.

**RESET**

### Aufgabe:

1. Regler in AUTO umschalten
2. Regler in Betriebsart EXTERN umschalten.
3. Abwarten bis das Sollwertziel erreicht ist.
4. Noch einige Sekunden laufen lassen.
5. Regler in Betriebsart INTERN umschalten.

### Weitere Aufgaben:

- Wiederholen Sie den Versuch mit unterschiedlichen Einstellungen von  $K_p$ ,  $T_n$  und  $T_v$ .
- Werten Sie die Trends aus.
- Wie lässt sich aus diesem Schreiberdiagramm die Nachstellzeit  $T_n$  ermitteln ?

### Ergebnis:

Der Reglerausgang macht sofort seinen P-Sprung (bei  $t_0$ )  
 Der Anstieg des Reglerausganges ist nun von der Vorhaltzeit und der Nachstellzeit überlagert, die stetig größer wird weil sich auch die Regelabweichung  $X-W$  ständig vergrößert.

Bei  $t_1$  ist der Zielsollwert erreicht und die Regelabweichung ändert sich nicht mehr. Deshalb fällt zu diesem Zeitpunkt auch der D-Anteil weg. Übrig bleiben der P-Anteil und der I-Anteil, der kontinuierlich weiter steigt.



### PID-Regler ohne Sollwertrampe

Trägt man die Nachstellzeit  $T_n$  zwischen  $T_0$  und  $T_1$  auf der Zeitachse ab und ermittelt die Differenz auf der Y-Achse, dann erhält man den P-Anteil, den man umrechnen kann.

P-Anteil = 15%

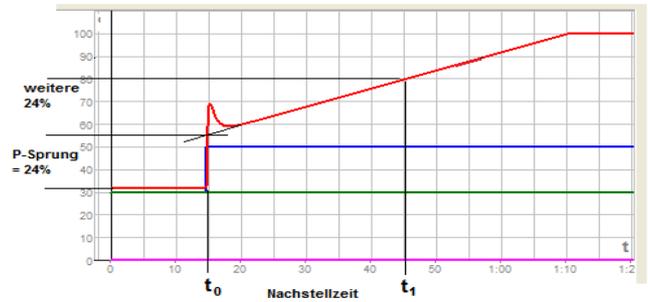
Nachstellzeit:  $T_1 - T_0 = 30$  Sekunden

P-Anteil:  $56\% - 32\% = 24\%$

Sollwertänderung:  $30\% \text{ auf } 50\% = -20\%$

P-Anteil = 24%

Verstärkung  $K_p$ :  $24\% / -20\% = -1,2$



## Optimieren der Regelparameter

### Versuchsvorbereitung – Optimieren der Regelparameter

Durch ausprobieren soll die besten Reglereinstellung in Erfahrung gebracht werden. Dazu wird eine Störgröße aufgeschaltet und die Regelparameter solange angepasst bis man mit dem Regelergebnis zufrieden ist.

Laden Sie die Datei „*Optimieren LIC.EST*“ –

**Regler = LIC101**

**Sollwert = 60%**

**Betriebsart = HAND; INTERN**

**Störgrößen: Amplitude= 60%, Dauer = 40%**

**Drücken Sie RESET um die Simulation auf NULL zu setzen**

### Aufgabe:

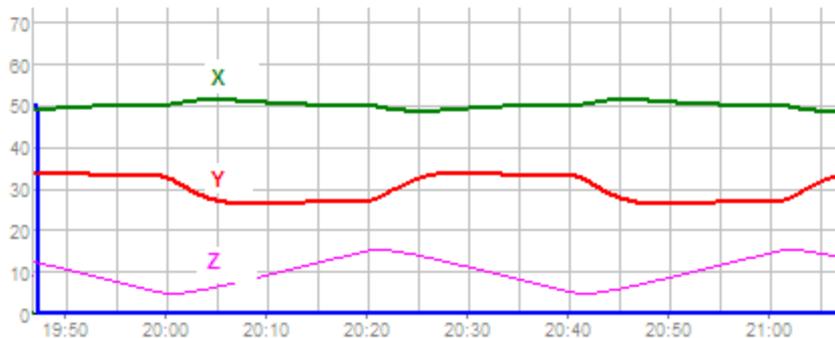
1. Bei den verschiedenen Regelkreise (LIC, FIC, PIC, TIC) sollen die Regelparameter so eingestellt werden, dass die Regelgüte akzeptabel ist.
2. Nachdem Sie bei einer Regelstrecke die „optimale“ Einstellung gefunden haben, wechseln Sie zu einer anderen Regelstrecke.
3. Treffen Sie eine Aussage über die Regelbarkeit der unterschiedlichen Regelstrecken.

### Akzeptable Regelgüte der Standregelstrecke

Der violette Trend zeigt den Verlauf und die Amplitude der Störgröße.

Der rote Trend zeigt das Reglerausgangssignal Y

Der grüne Trend zeigt den Istwert.



Die Störgröße durchläuft einen Bereich von ca. 10% des Messbereiches.

Das Ausgangssignal Y bewegt sich zwischen 28% und 35%, während der Istwert nur Schwankungen von ca. 3% erfährt.

Obwohl hier nur Situation innerhalb einer Simulation betrachtet werden können lassen sich die Erkenntnisse auch auf reale Regelstrecken übertragen.

Allerdings ist zu beachten, dass reale Regelstrecken wesentlich mehr Störeinflüssen unterlegen sind und es dadurch zur Überlagerung mehrerer Störeinflüsse kommt.

## Optimierung nach Ziegler Nichols.

Günstige Regelparameter können mit einem Verfahren nach „Ziegler Nichols“ ermittelt werden. Dazu wird der Regler als reiner P-Regler konfiguriert, in Automatik umgeschaltet und die Reglerverstärkung ( $K_p$ ) solange erhöht, bis der Ausgang des Regelkreises eine Dauerschwingung ausführt.

Die Periodendauer wird als  $T_{krit}$ , die eingestellte Reglerverstärkung als  $K_{pkrit}$  bezeichnet.

Die Einstellregeln für die Verstärkung  $K_p$ , die Nachstellzeit  $T_n$  und die Vorhaltezeit  $T_v$  lauten wie in folgender Tabelle angegeben.

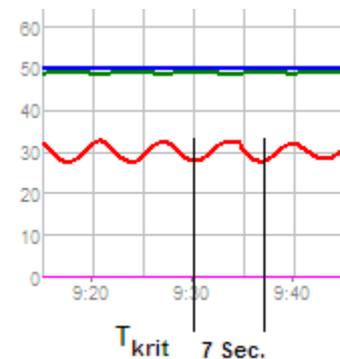
Reglereinstellwerte nach Ziegler und Nichols

	$K_p$	$T_n$	$T_v$
P-Regler	$0,5 \cdot K_{pkrit}$		
PI-Regler	$0,45 \cdot K_{pkrit}$	$0,85 \cdot T_{krit}$	
PD-Regler	$0,8 \cdot K_{pkrit}$		$0,12 \cdot T_{krit}$
PID-Regler	$0,6 \cdot K_{pkrit}$	$0,5 \cdot T_{krit}$	$0,12 \cdot T_{krit}$

Dies ergibt folgende Werte für einen PI-Regler bei dem dargestellten Beispiel:

$$K_p = 0,45 \cdot 7 = 3,15 = 3$$

$$T_n = 0,85 \cdot 7 = 5,95 = 6$$



Um ein Beispiel nachzustellen sollten Regelstrecken verwendet werden die ein Speicherverhalten besitzt. Dies sind die Regelstrecken Druck und Temperatur.

Manchmal muss man mit der Streckenverstärkung und der Signalverzögerung etwas experimentieren um einen Regelkreis zum Schwingen zu bringen.

Der Druckregelkreis kommt mit folgenden Parametern zum Schwingen:

Die Signalverzögerung = 0,01

Die Streckenverstärkung = 1,1

$K_p \geq 20$

$W = 50\%$

$V_{10} = 50\%$

Auch Temperaturregelstrecken 2. oder 3. Ordnung funktionieren.

Die Regelgüte ist i.O. wenn eine Sollwertänderung schnell und sicher ausgeregelt wird.