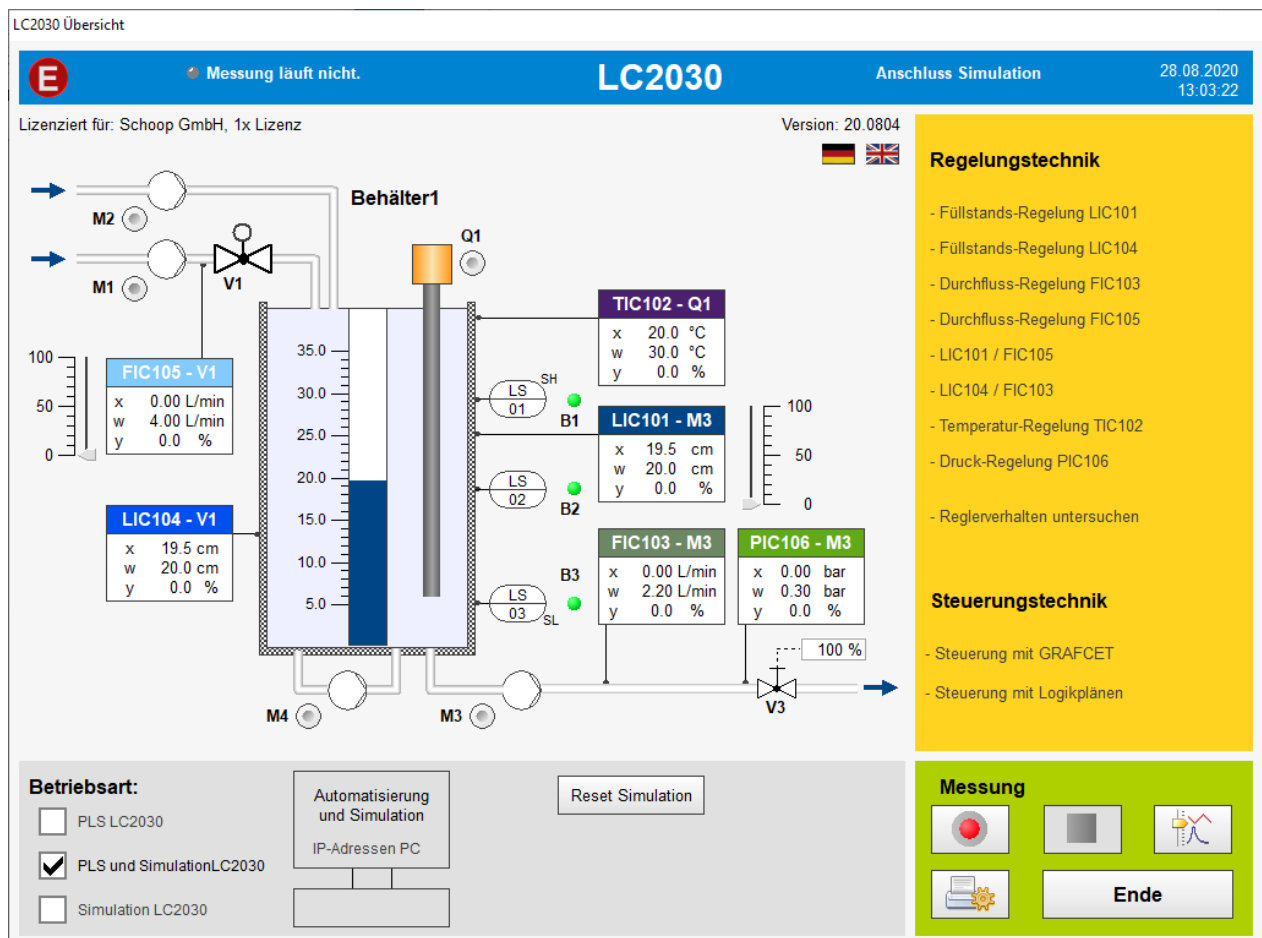


AUFGABEN

LC2030 – TRAINING



Ingenieurbüro Dr.-Ing. Schoop GmbH  
Riechelmannweg 4  
21109 Hamburg  
Tel.: +49 40 / 75 49 22 30  
Fax: +49 40 / 75 49 22 32  
Email: [info@schoop.de](mailto:info@schoop.de)  
[www.schoop.de](http://www.schoop.de)

Version 08/2020

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>AUFGABEN STEUERUNG MIT GRAFCET .....</b>	<b>3</b>
1.1	EINFÜHRENDES BEISPIEL MIT AUSFÜHRLICHER BESCHREIBUNG, AUFGABE LICHTERKETTE .....	3
1.2	AUFGABE LICHTERKETTE.....	9
1.3	AUFGABE AMPELSTEUERUNG .....	9
1.4	AUFGABEN MIT TASTER / SCHALTER .....	9
1.5	BEDIENUNG VORRATSBEHÄLTER .....	10
1.6	PRODUKTION MISCHREAKTOR .....	11
<b>2</b>	<b>TASTATURBELEGUNG FÜR GRAFCET - TERME.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>AUFGABEN STEUERUNG MIT LOGIKPLÄNEN .....</b>	<b>14</b>
3.1	BETRIEB DER ANLAGE MIT HANDSTEUERUNG.....	14
3.2	ANZEIGE VON LEER UND VOLL DURCH LEUCHTMELDER / GATTERSCHALTUNG .....	14
3.3	ANZEIGE EINES SENSORFEHLER / GATTER MIT VEREINFACHUNG .....	15
3.4	PUMPENSTEUERUNG MIT GATTERN .....	16
3.5	STEUERUNG DER PUMPE 3 ÜBER EINEN TASTER .....	17
3.6	BEDIENELEMENTE MIT ÖFFNER BZW. SCHLIEßER .....	18
3.7	STEUERUNG MIT TASTERBETRIEB / EINFÜHRUNG RS-SPEICHER.....	18
3.8	PUMPENSTEUERUNG MIT SPEICHERN UND GATTERN.....	19
3.9	STÖRUNGSMELDUNG MIT QUITTUNG.....	20
3.10	STEUERUNG MIT TIMER.....	21
3.11	MISCHBETRIEB MIT RS-SPEICHERN .....	21
<b>4</b>	<b>AUFGABEN REGELUNGSTECHNIK .....</b>	<b>23</b>
4.1	EINFÜHRUNG .....	23
4.2	PUMPENKENNNLINIE AUFNEHMEN .....	25
4.3	FÜLLSTANDREGELUNG LIC101 .....	25
4.3.1	Untersuchung der Füllstandregelung LIC101 mit dem P-Regler.....	27
4.3.2	Untersuchung der Füllstandregelung LIC101 mit dem I-Regler.....	27
4.3.3	Untersuchung der Füllstandregelung LIC101 mit dem PI-Regler.....	28
4.3.4	Untersuchung der Füllstandregelung LIC101 mit dem PID-Regler .....	28
4.3.5	Untersuchung der Füllstandregelung LIC101 mit dem Zweipunkt-Regler .....	29
4.3.6	Reglereinstellverfahren .....	30
4.3.7	Verfahren nach Chien/Hrones/Reswick.....	30
4.3.8	Reglereinstellung der Füllstandregelung LIC101 nach Chien/Hrones/Reswick .....	32
4.3.9	Reglereinstellung nach Faustformeln für Strecken ohne Ausgleich.....	35
4.4	DURCHFLUSSREGELUNG FIC103.....	35
4.4.1	Untersuchung der Durchflussregelung FIC103 mit dem P-Regler .....	36
4.4.2	Untersuchung der Durchflussregelung FIC103 mit dem I-Regler.....	36
4.4.3	Untersuchung der Durchflussregelung mit dem PI-Regler.....	37
4.4.4	Untersuchung der Durchflussregelung FIC103 mit dem PID-Regler .....	37
4.4.5	Untersuchung der Durchflussregelung FIC103 mit dem Zweipunkt-Regler.....	38
4.4.6	Verfahren nach Chien/Hrones/Reswick für Strecken mit Ausgleich .....	38
4.4.7	Reglereinstellung der Durchflussregelung FIC103 nach Chien/Hrones/Reswick .....	40
4.4.8	Reglereinstellung nach Faustformeln für Strecken mit Ausgleich .....	41

4.5	TEMPERATURREGELUNG.....	42
4.5.1	Untersuchung der Temperaturregelung mit dem P-Regler .....	43
4.5.2	Untersuchung der Temperaturregelung mit dem PI-Regler .....	43
4.5.3	Untersuchung der Temperaturregelung mit dem PID-Regler.....	43
4.5.4	Untersuchung der Temperaturregelung mit dem Zweipunkt-Regler .....	44
4.5.5	Reglereinstellverfahren für Temperaturstrecken nach Müller .....	45

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Werkes oder von Teilen daraus. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung der Ingenieurbüro Dr.-Ing. Schoop GmbH in irgendeiner Form reproduziert, vervielfältigt oder verbreitet werden.

## 1 AUFGABEN STEUERUNG MIT GRAFCET

### 1.1 EINFÜHRENDES BEISPIEL MIT AUSFÜHRLICHER BESCHREIBUNG, AUFGABE LICHTERKETTE

**AUFGABE 1.1.1:** Erstellen Sie einen Grafcet-Plan, der nacheinander jeweils die Lampen *P1*, *P2*, *P3* an- und nach 5 Sekunden wieder ausschaltet. Gestartet wird der Ablauf durch Drücken des Schalters *HS1*.

#### LÖSUNG MIT AUSFÜHRLICHER BESCHREIBUNG

Zum Erstellen eines Grafcet-Plans müssen Sie den Button *Erstellen/Ausführen* drücken, z.B. von Grafcet-Seite 1. Es erscheint der Grafcet-Editor mit einer leeren Seite.

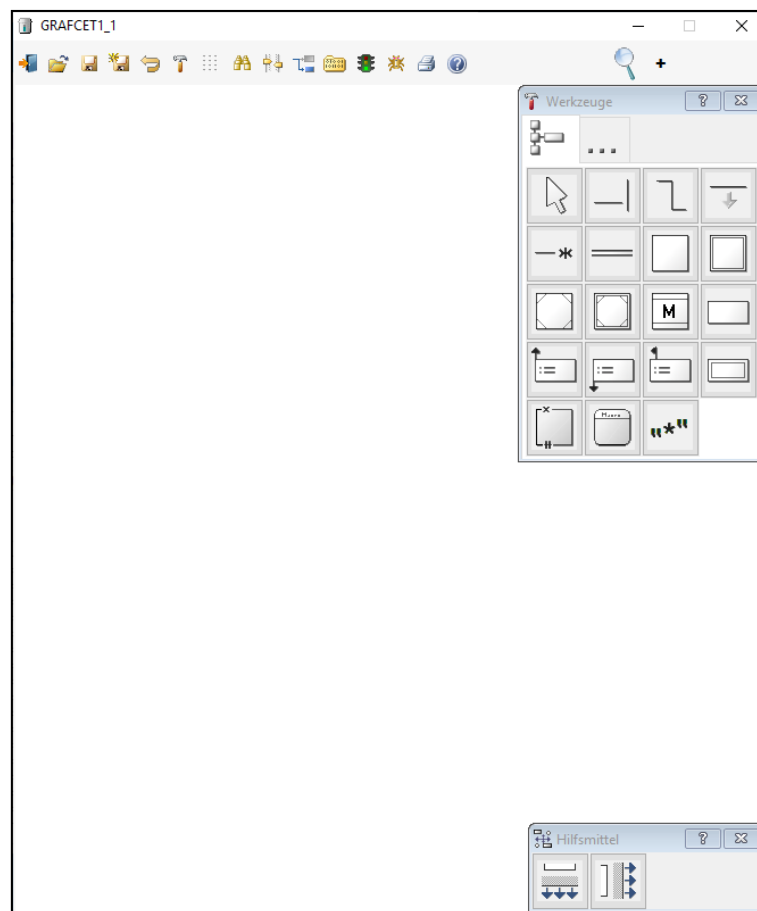


Abb. 1 Grafcet-Editor mit leerer Seite 1

Erstellen Sie folgenden Plan durch Wahl der entsprechenden Elemente aus der Werkzeugbox (Anfangsschritt, Schritte, kontinuierlich wirkende Aktionen, Transitionen) und platzieren Sie sie im Editor.

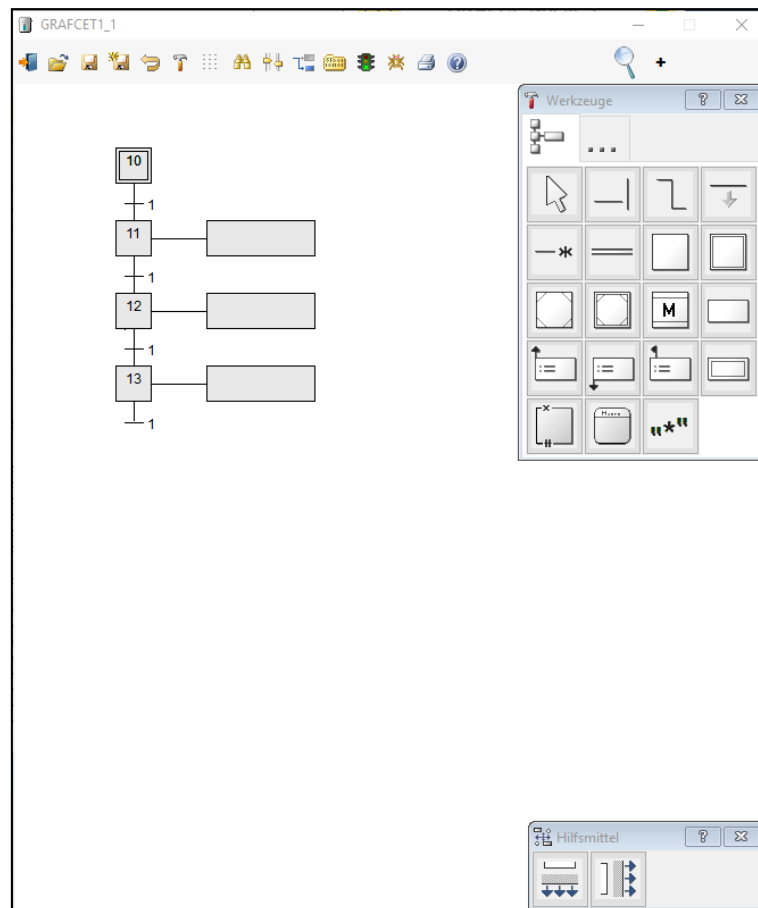


Abb. 2 Grafcet-Editor mit Lichterkette

Zum Einstellen der kontinuierlich wirkenden Aktionen, müssen Sie die Blöcke Doppelklicken. Es erscheint folgender Dialog (Abb.3).

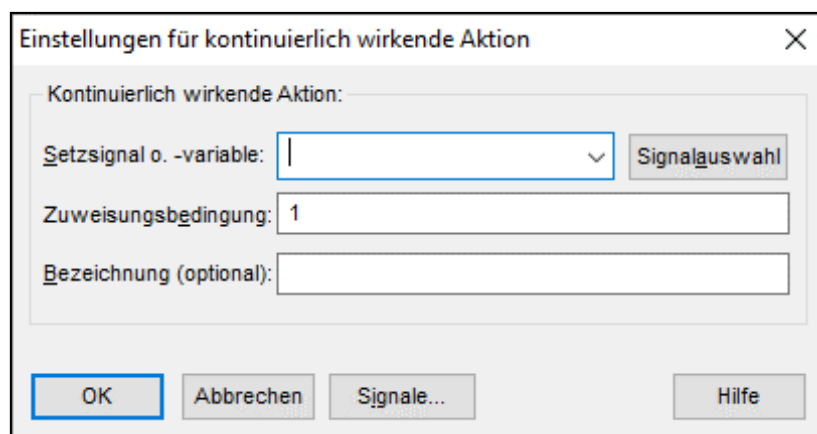


Abb. 3 Einstelldialog für die kontinuierlich wirkende Aktion

Durch Drücken von *Signalwahl* erhalten Sie einen Dialog, indem Sie die Lampe *P1* auswählen können.

(Klicken auf das Pluszeichen vor der Gruppe *Lampen* oder *Steuerung bin.*).

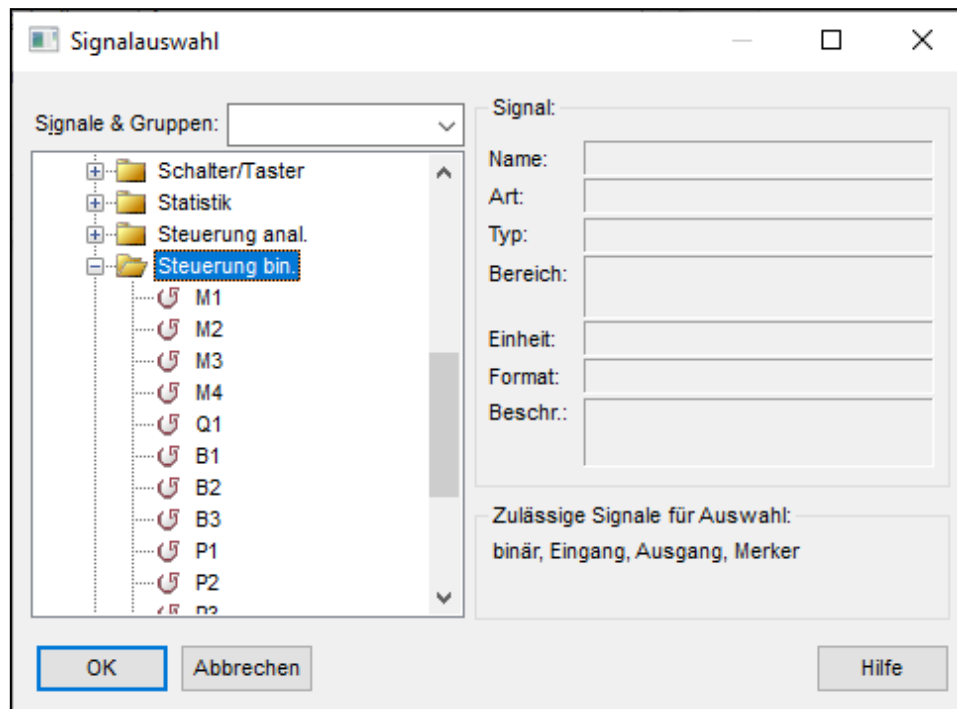


Abb. 4 Signalauswahl

Durch Doppelklick auf *P1* oder Auswahl von *P1* und Drücken von OK wird das Signal *P1* in die kontinuierlich wirkende Aktion eingetragen. Fahren Sie entsprechend mit den weiteren beiden kontinuierlich wirkenden Aktionen fort und wählen *P2* und *P3*.

Um die Transitionen einzustellen, müssen Sie die Transition Doppelklicken. Es erscheint folgender Dialog.

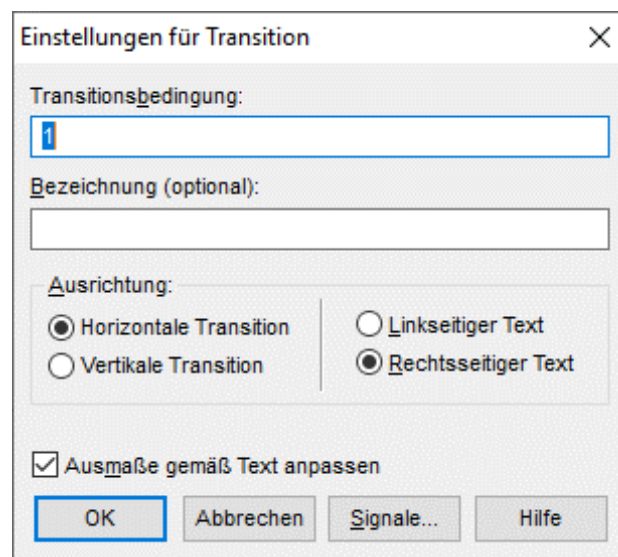


Abb. 5 Einstellen der Transition

Da die Lampen erst leuchten sollen, wenn der Schalter *HS1* gedrückt wurde, tragen Sie für die erste Transition nach dem Anfangsschritt 1 bei Transitionsbedingung *HS1* ein.

**Einstellungen für Transition**

Transitionsbedingung:  
HS1

Bezeichnung (optional):

Ausrichtung:  
☒ Horizontale Transition    ☐ Linkseitiger Text  
☐ Vertikale Transition    ☒ Rechtsseitiger Text

☒ Ausmaße gemäß Text anpassen

OK   Abbrechen   Signale...   Hilfe

Abb. 6 Transitionsbedingung: HS1

Die Lampen sollen jeweils 5 Sekunden leuchten. Deshalb muss die Transitionsbedingung  $5s/X11$  nach dem Schritt 11 eingegeben werden (Abb.1).  $5s/X11$  bedeutet, dass die Transitionsbedingung erfüllt ist (weerschaltet), wenn der Schritt 11 genau 5 Sekunden aktiv war. Entsprechend können Sie die Transitionen nach den Schritten 12 und 13 einstellen.

**Einstellungen für Transition**

Transitionsbedingung:  
5s/X11

Bezeichnung (optional):

Ausrichtung:  
☒ Horizontale Transition    ☐ Linkseitiger Text  
☐ Vertikale Transition    ☒ Rechtsseitiger Text

☒ Ausmaße gemäß Text anpassen

OK   Abbrechen   Signale...   Hilfe

Abb. 7 Transitionsbedingung: 5 Sekunden Verzögerung nach Schritt 2

Damit erhalten Sie folgenden erstellten Grafcet-Plan für die Lichterkette.

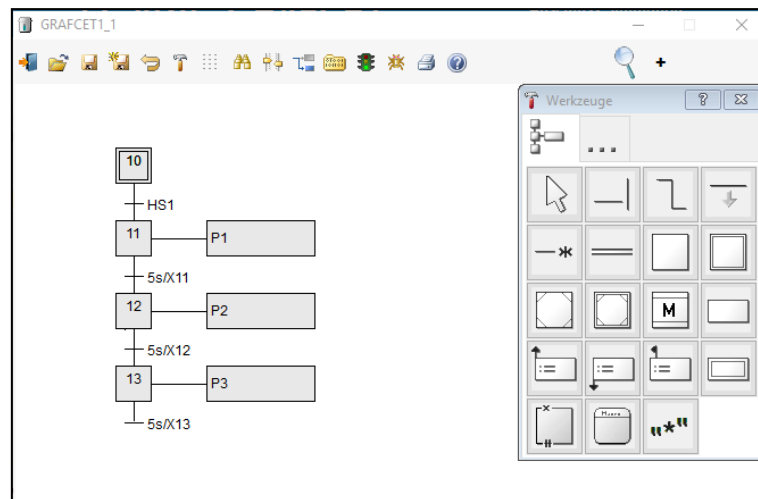


Abb. 8 Grafcet-Plan für die Lichterkette



Durch Klicken auf die Ampel wird die Grafcet-Seite überprüft und falls keine Fehler festgestellt wurden, wird die Seite ausgeführt (Grafcet-Ansicht).

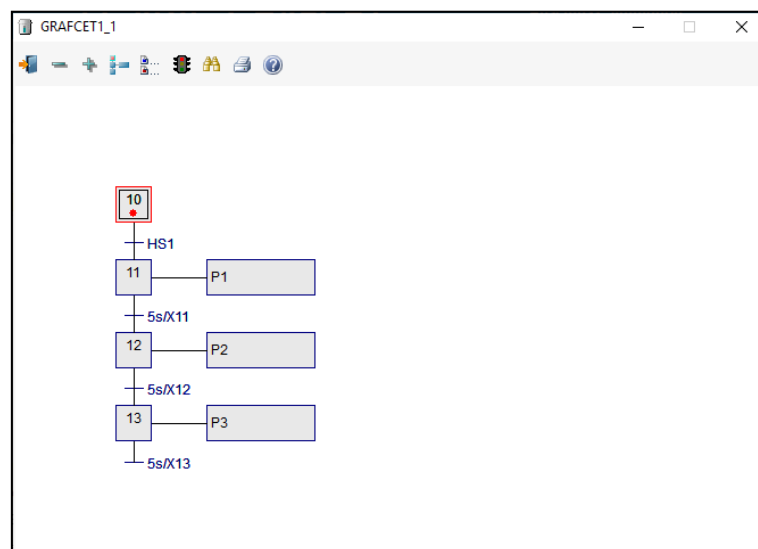


Abb. 9 Grafcet-Plan für die Lichterkette

Wenn Sie jetzt im Prozessbild den Schalter *HS1* drücken, wird der Schritt 11 gesetzt. Die *kontinuierlich wirkende Aktion* vom Schritt 11 setzt das Signal *P1*. Dadurch leuchtet die Lampe 1.



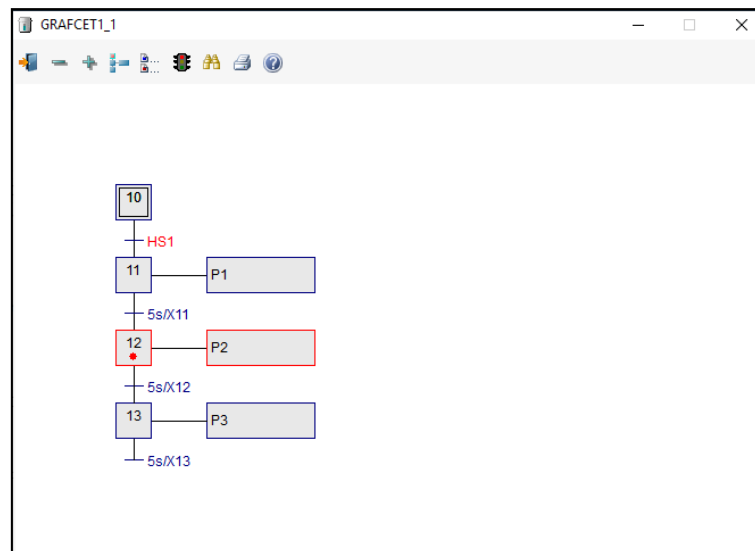


Abb. 10 Ablauf der Lichterkette

Die zweite Transition  $5s/X11$  ist erfüllt, wenn der Schritt 11 für 5 Sekunden aktiv war. Dann wird der Schritt 12 gesetzt und damit die Lampe 2 angeschaltet. Die Lampe 1 geht aus, da Sie über die *kontinuierlich wirkende Aktion* mit dem Schritt 11 verknüpft ist.

Der Ablauf wird fortgesetzt. Wenn Schritt 13 für 5 Sekunden gesetzt wurde, ist die Endtransition erfüllt. Dadurch wird Schritt 13 zurückgesetzt und die Lampe 3 ausgeschaltet.



Um den Ablauf wieder zu starten, muss über *Grafcet initialisieren* (der Button in der oberen Buttonleiste) der Anfangsschritt gesetzt werden.

Damit die Lichterkette endlos durchläuft, wird die Aufgabenstellung erweitert.

**AUFGABE 1.1.2:** Lassen Sie die Lichterkette solange durchlaufen, bis der Schalter *HS1* wieder ausgeschaltet wird. Die Lichterkette soll bis zum Ende weiterlaufen und dann stoppen.

Für diese Aufgabenstellung müssen Sie den Grafcet-Plan erweitern.



Schließen Sie die Grafcet-Ansicht durch Drücken des Buttons *aktives Sub-Fenster schließen*.

**AUFGABE 1.1.3:** Starten Sie die Lichterkette durch eine Anfangstransition, ohne einen Anfangsschritt einzusetzen. Die Lichterkette soll durch eine Endtransition beendet werden. Die Anfangstransition soll durch Setzen des Schalters *HS1* erfüllt werden.

**AUFGABE 1.1.4:** Lassen Sie die Lampe *P1* genau zehnmal für jeweils eine Sekunde blinken, bevor die Schaltung beendet wird. Nutzen Sie hierfür das freie Signal *Parameter1*. Durch den Taster *HS4* soll die Schaltung immer wieder gestartet werden können, wenn Sie durchgelaufen ist.

## 1.2 AUFGABE LICHTERKETTE

- AUFGABE 1.2.1:** Erweitern Sie die Lichterkette so, dass die Lampen jeweils für eine Sekunde in der Reihenfolge rot, gelb, grün, gelb geschaltet werden, wenn der Schalter *HS1* gedrückt wurde.
- AUFGABE 1.2.2:** Erweitern Sie die Lichterkette so, dass durch Drücken des Schalters *HS2* alle Lampen ausgehen und die Schrittkette in den Anfangsschritt zurückgeht. (Tipp: Teil-Grafcet und Zwangssteuerung nutzen).

## 1.3 AUFGABE AMPELSTEUERUNG

- AUFGABE 1.3.1:** Erstellen Sie eine Ampelsteuerung.
- Mit dem Schalter *HS1* soll die Ampelschaltung an- oder ausgeschaltet werden. Bei der Ampelsteuerung gehe als erstes das rote Licht für 10 Sekunden an (*P1* auf 1 setzen). Dann wird für 3 Sekunden das gelbe Licht zugeschaltet (*P2* auf 1). Das rote und das gelbe Licht müssen dann gleichzeitig ausgeschaltet und das grüne Licht eingeschaltet werden (*P1*, *P2* auf 0 und *P3* auf 1 setzen). Das grüne Licht soll 12 Sekunden eingeschaltet bleiben. Danach geht das grüne Licht aus und das gelbe Licht wird für 4 Sekunden angeschaltet, bevor der Zyklus mit dem roten Licht wieder beginnt.
- AUFGABE 1.3.2:** Die Ampelsteuerung von Aufgabe 1.3.1 soll erweitert werden:
- Der Ampelzyklus darf nur gestartet werden, wenn der Schalter *HS1* betätigt wurde. Wird der Stopp-Schalter *HS2* gedrückt, schaltet die Ampel sofort aus. Erst wenn der Schalter *HS2* nicht mehr gedrückt ist und der Schalter *HS1* betätigt wurde, soll die Ampelschaltung wieder starten.
- AUFGABE 1.3.3** Blinken der grünen Lampe, wenn die Grün-Phase beendet ist:
- In Österreich fängt die grüne Lampe an zu blinken, wenn die Grün-Phase vorbei ist. Erweitern Sie die Schaltung der Aufgabe 1.3.2 so, dass die grüne Lampe 10s angeschaltet ist, dann noch für 5s blinkt bevor die gelbe Lampe angeht (Nutzen Sie den *einschließenden Schritt*),

## 1.4 AUFGABEN MIT TASTER / SCHALTER

- AUFGABE 1.4.1:** Versuchen Sie die Lampe *P1* mithilfe des Tasters *HS4* einzuschalten und durch nochmaliges Drücken des Tasters die Lampe wieder auszuschalten.
- AUFGABE 1.4.2:** Erstellen Sie einen Grafcet-Plan mit dem Sie über die Schalter/Taster *HS1*, *HS2*, *HS3*, *HS4* und *HS5* die Pumpen *M1*, *M2*, *M3* und *M4* sowie den Heizstab *Q1* an- und ausschalten können.

**AUFGABE 1.4.3:** Erweitern Sie die Handsteuerung so, dass kein Überlauf auftreten kann, d.h. die Pumpen *M1* und *M2* müssen abgeschaltet werden, wenn der Füllstandsensor *B1* überschritten wird. Realisieren Sie für die Pumpe *M3* einen Trockenlaufschutz. Sie darf nur laufen, wenn der Füllstandsensor *B3* nicht unterschritten wurde. Die Pumpe *M4* und der Heizstab *Q1* dürfen nur angeschaltet werden, wenn der Füllstand oberhalb von *B2* ist.

**AUFGABE 1.4.4:** Erstellen Sie auf einer zweiten Seite einen Grafcet-Plan, der durch die Lampen *P1* und *P2* den Füllstand „Voll“ bzw. „Leer“ anzeigt. *P1* zeigt den Leerzustand an, wenn der Füllstand unterhalb von *B3* ist. Ist der Füllstand oberhalb von *B1*, soll die Lampe *P2* „Voll“ anzeigen. Aus Sicherheitsgründen sollen für beide Anzeigen jeweils alle drei Sensoren abgefragt werden.

**AUFGABE 1.4.5:** Verändern Sie die Schaltung so, dass die Lampen anfangen zu blinken, wenn „Leer“ bzw. „Voll“ gemeldet wird.

## 1.5 BEDIENUNG VORRATSBEHÄLTER

**AUFGABE 1.5.1:** Erstellen Sie einen Grafcet-Plan, mit dem Sie die Pumpen *M1* und *M2* über die Schalter *HS1* und *HS2* ein- bzw. ausschalten können. Für die Pumpe *M3* soll folgender automatischer Ablauf realisiert werden:

- Wenn der obere Füllstandschalter *B1* überschritten wird, wird die Pumpe mit einem Stellsignal von 5% gestartet ( $F1103.y=5$ )
- Alle 5 Sekunden soll das Stellsignal um 5% erhöht werden, bis maximal 100% erreicht sind
- Die Pumpe *M3* wird ausgeschaltet, wenn der untere Füllstandsensor *B3* unterschritten wird

**AUFGABE 1.5.2:** Damit in dem Behälter immer genügend Wasser ist, sollen die Pumpen *M1* und *M2* immer laufen, wenn sie durch die Schalter *HS1* bzw. *HS2* freigeschaltet wurden und der Füllstand kleiner als der mittlere Füllstandschalter *B2* ist.

Befindet sich der Füllstand zwischen dem mittleren Füllstandschalter *B2* und dem oberen Füllstandschalter *B1* soll nur Pumpe *M1* laufen. Pumpe *M1* muss durch *HS1* freigeschaltet sein.

Oberhalb von *B1* darf keine der Zulaufpumpen *M1* und *M2* laufen.

**AUFGABE 1.5.3:** Um die Pumpen zu schonen, dürfen sie nicht schnell hintereinander ein- und ausgeschaltet werden.

Wenn Sie eingeschaltet werden, müssen sie 5s angeschaltet bleiben, bevor sie wieder ausgeschaltet werden können. Wenn sie ausgeschaltet wurden, müssen sie 5s aus bleiben, bevor sie wieder eingeschaltet werden können.

Erweitern Sie den Grafcet-Plan entsprechend.

**AUFGABE 1.5.4:** Zusätzlich zu der obigen Schaltung darf die Pumpe 3 nur laufen, wenn sie über den Schalter *HS3* freigeschaltet wurde. Ist *HS3* nicht gedrückt, wird Pumpe 3 ausgeschaltet und der Grafcet geht in die Grundstellung.

## 1.6 PRODUKTION MISCHREAKTOR

Betrachten Sie den Behälter B1 als Mischreaktor. Über die Pumpen 1 und 2 können zwei Komponenten zugegeben werden. Die Pumpe 4 dient zum Durchmischen der beiden Komponenten. Mit dem Heizstab kann das Gemisch erhitzt werden. Mithilfe der Pumpe 3 wird das Endprodukt abgepumpt.

**AUFGABE 1.6.1:** Erstellen Sie folgenden Produktionsablauf für den Mischreaktor:

- Der Produktionsablauf darf nur gestartet werden, wenn der Füllstand unterhalb von *B3* ist
- Parallel sollen die Zulaufpumpen *M1* und *M2* angeschaltet werden
- Wird der Füllstandscharter *B2* erreicht, so wird die Pumpe *M1* ausgeschaltet und die Umwälzpumpe *M4* eingeschaltet. Die Pumpe *M2* soll dann noch 20s weiterlaufen
- Nachdem Pumpe *M2* gestoppt wurde, wird der Heizer *Q1* für 40s angeschaltet
- Nachdem der Heizer *Q1* ausgeschaltet wurde, wird noch 30s gewartet, bevor das Abpumpen beginnt
- Zum Abpumpen wird die Pumpe *M3* eingeschaltet und die Leistung *F103.y* der Pumpe auf 100% gestellt
- Wird *B3* unterschritten, so wird die Umwälzpumpe *M4* ausgeschaltet und die Leistung der Pumpe *M3* auf Grundlast (*F103.y = 0*) gestellt
- Die Abflussspumpe *M3* soll 3s weiterlaufen, bevor sie abgestellt wird

Nutzen Sie für das Ein- und Abschalten der Zulaufpumpen bzw. der Umwälzpumpe die Parallelverzweigung von Grafcet

**AUFGABE 1.6.2:** Erweitern Sie den Ablauf folgendermaßen:

- Definieren Sie den Produktionsablauf als Makro
- Der Produktionsablauf darf erst gestartet werden, wenn der Schalter *HS1* von 0 auf 1 geht (steigende Flanke)

- Wenn der Behälter noch nicht leer ist, soll geleert werden, bevor der Produktionsablauf als Makro gestartet wird
- Damit die Pumpen *M3* und *M4* beim Start des Ablauf auch ausgeschaltet sind, sollen sie im Anfangsschritt auf 0 gesetzt werden

**AUFGABE 1.6.3:** Erweitern Sie den Ablauf um einen Notaus-Schalter (*HS3*):

- *HS3* muss auf 1 sein, damit der Ablauf gestartet werden kann
- Wird *HS3* ausgelöst, d.h. *HS3* ist 0, dann werden alle Pumpen und eventuell der Heizer ausgeschaltet. Der Ablauf soll wieder von vorne beginnen. Zum Starten muss wieder *HS1* gedrückt werden (Flanke von 0 auf 1)

*Hinweis:* Nutzen Sie einen Teil-Grfcet und die Zwangssteuerung.

## 2 TASTATURBELEGUNG FÜR GRAFCET - TERME

Folgende Tasten sind für die Grafcet-Terme belegt:

- +                      Oder-Verknüpfung
- \*                      Und-Verknüpfung
- !                      Nicht-Operation
- ^                      Steigende Flanke
- \^                      Fallende Flanke
- [a comp b] Aussage, z.B. [c >= 5]
- 0                      Falsch, False
- 1                      Wahr, True

Aussagen mit analogen Signalen müssen explizit in eckige Klammern gesetzt werden.

Beispiel: [Füllstand > 70] \* !VentilA,

Der Term ist 1 (True), wenn das analoge Signal *Füllstand* einen Wert größer als 70 hat und das binäre Signal *VentilA* den Wert 0 hat

### 3 AUFGABEN STEUERUNG MIT LOGIKPLÄNEN

#### 3.1 BETRIEB DER ANLAGE MIT HANDSTEUERUNG

Die Anlage soll zunächst im Handbetrieb erprobt werden, um die Leistungsfähigkeit der Pumpen zu testen. Die Handventile der Zulaufpumpen sollten hierfür unterschiedlich eingestellt sein. Drehen Sie das Handventil der Pumpe *M1* fast ganz auf und das Handventil von Pumpe *M2* halb auf. In der Simulation können Sie die Aufgaben auch mit der Voreinstellung für beide Pumpen von 75% durchführen. Das Handventil der Ablaufpumpe *M3* soll voll aufgedreht sein.

Zum An- und Ausschalten der Pumpen soll eine Schaltung entsprechend der Aufgabe 3.1.1 erstellt werden.

**AUFGABE 3.1.1:** Die Pumpe *M1* soll mit dem Schalter *HS1*, die Pumpe *M2* mit *HS2* und die Pumpe *M3* mit *HS3* ein- bzw. ausgeschaltet werden.

**AUFGABE 3.1.2:** Erproben Sie im Handbetrieb die Leistungsfähigkeit der Pumpen. Füllen sie hierzu den Behälter nur mit Pumpe *M1* bzw. nur mit Pumpe *M2*. Messen Sie die benötigten Füllzeiten und tragen Sie diese in die Tabelle ein. Ermitteln Sie aus den Daten die Fördermengen der Pumpen.

Pumpen	Förderzeit bei einem Behältervolumen von 7,887 L	Fördermenge der Pumpen
M1		
M2		

**AUFGABE 3.1.3:** Schalten Sie Pumpe 3 (*M3*) ein. Versuchen Sie mit den Pumpen *M1* und *M2* immer einen genügenden Vorrat im Behälter zu belassen. Kontrollieren Sie die Änderungen des Füllstandes im Diagramm. Beobachten Sie die Schaltkontakte und Signale der Sensoren *LS1* bis *LS3*. (Variieren Sie das Stellsignal für Pumpe3 *F1103.y* zwischen 0% und 100%, indem Sie den Schieberegler neben der Anzeige nutzen).

#### 3.2 ANZEIGE VON LEER UND VOLL DURCH LEUCHTMELDER / GATTERSCHALTUNG

Die Leuchtmelder Lampe 1 (*P1*) und Lampe 2 (*P2*) sollen den Füllstand „Voll“ bzw. „Leer“ des Behälters anzeigen. Leuchtmelder Lampe 1 zeigt den Leer-Zustand an, wenn der Füllstand unterhalb des unteren Sensors liegt. Ist der Füllstand höher als der obere Sensor, zeigt Lampe 2 „Voll“ an. Aus Sicherheitsgründen sollen für beide Anzeigen jeweils alle drei Sensoren abgefragt werden.

**AUFGABE 3.2.1:** Entwickeln und erproben Sie eine Schaltung für die Leuchtmelder wie oben beschrieben. Geben Sie die dazugehörigen Funktionsgleichungen an. Für

den Steuerungsentwurf dürfen nur Gatterschaltungen (UND, ODER, NICHT) mit beliebig vielen Eingängen verwendet werden.

**AUFGABE 3.2.2:** Entwickeln Sie eine Schaltung für die Leuchtmelder nach folgender Vorgabe:

<i>Füllstand</i>	<i>Anzeige durch:</i>
oberhalb von <i>B1</i>	<i>P1</i> und <i>P2</i> leuchten
zwischen <i>B1</i> und <i>B2</i>	<i>P2</i> leuchtet
zwischen <i>B2</i> und <i>B3</i>	<i>P1</i> leuchtet
unterhalb von <i>B3</i>	<i>P3</i> leuchtet

### 3.3 ANZEIGE EINES SENSORFEHLER / GATTER MIT VEREINFACHUNG

Bei einem Leitungsbruch an den Sensorverbindungen kann es zu fehlerhaften Anzeigen und damit zu Fehlbedienungen der Pumpen kommen. Unrealistische Kombinationen von Sensorsignalen weisen auf solche Störungen hin und könnten durch Überwachungsschaltungen erkannt und angezeigt werden.

**AUFGABE 3.3.1:** Entwickeln und Erproben Sie eine Schaltung, die bei unrealistischen Kombinationen der Sensorsignale am Leuchtmelder *P3* diesen „Sensorfehler“ anzeigt. Füllen Sie zunächst die gesamte Funktionstabelle aus. Tragen Sie unter „Füllstand“ ein, welchen Zustand die jeweilige Kombination anzeigt. Kennzeichnen Sie die „Sensorfehler“.

<i>B3</i>	<i>B2</i>	<i>B1</i>	<i>Füllstand</i>	<i>Sensorfehler</i>	<i>P3</i>



**AUFGABE 3.3.2:** Entwickeln Sie die Schaltung und die Funktionsgleichung für die Anzeige eines Sensorfehlers durch den Leuchtmelder *P3*. Überprüfen Sie die Schaltung, indem Sie Sensorfehler simulieren.

*Hinweis:* Bei der realen Anlage ziehen Sie zum Erzeugen eines Sensorfehlers einfach die Kabel der Füllstandschalter aus den Buchsen. In der Simulation drücken Sie auf den Button *Sensorfehler* und simulieren den Fehler.

**AUFGABE 3.3.3:** Vereinfachen Sie nach Möglichkeit die Schaltung. Nutzen Sie hierzu z.B. ein KV-Diagramm.

*Hinweis:* Damit Sie zum Testen der Schaltungen die Pumpen *M1*, *M2*, *M3* weiterhin über die Schalter *HS1*, *HS2*, *HS3* an- und ausschalten können, ist im oberen Teil der Logikpläne die hierfür notwendige Schaltung angegeben.

### 3.4 PUMPENSTEUERUNG MIT GATTEN

Die füllstandabhängige Steuerung der Zuflussmenge soll durch eine Schaltung automatisiert erfolgen. Die Bedingungen für den Betrieb der Pumpen *M1* und *M2* sind in der folgenden Tabelle festgelegt:

<i>Füllstand</i>	<i>Pumpen in Betrieb:</i>
Oberhalb von B1	Keine
Zwischen B1 und B2	Pumpe M1
Zwischen B2 und B3	Pumpe M2
Unterhalb von B3	Pumpe M1 und M2

*Hinweis:* Zum Testen der folgenden Schaltungen muss die Pumpe *M3* ein- und ausgeschaltet werden können. Schalten Sie die Pumpe *M3* weiterhin wie in Kapitel 3.3 mithilfe des Schalters *HS3* ein- bzw. aus. Die Drehzahl der Pumpe *M3* können Sie über den Schieberegler neben dem Anzeigefeld verändern.

**AUFGABE 3.4.1:** Tragen Sie in die Funktionstabelle ein, bei welchen Sensorsignalen die Pumpen *M1* bzw. *M2* eingeschaltet sind und geben Sie die Funktionsgleichungen an.

B3	B2	B1	M1	M2

**AUFGABE 3.4.2:** Entwickeln Sie die Pumpensteuerung. Nutzen Sie eventuelle Möglichkeiten der Vereinfachung und erproben Sie die Lösung.

**AUFGABE 3.4.3:** Erproben Sie die Schaltungen, indem Sie die Pumpe *M3* über den Schalter *HS3* anschalten und dann über den Schieberegler neben der Durchflussanzeige die Abflussmenge variieren.

Durch den schwankenden Füllstand ergibt sich eine hohe Schalthäufigkeit der Pumpen. Dieses wird in einer späteren Aufgabe durch den Einsatz von Ein- bzw. Ausschaltverzögerungs-Timern behoben.

**AUFGABE 3.4.4:** Die entwickelte Pumpensteuerung soll später mit IC's realisiert werden. Um nicht zu viele (und verschiedene) IC's einsetzen zu müssen, ist es sinnvoll, nur eine Gatterart (z.B. *NAND's*) beim Schaltungsentwurf einzuplanen. Zeichnen Sie die erprobte Schaltung so um, dass ausschliesslich *NAND's* mit 2 Eingängen (wie beim IC 7400) verwendet werden. Versuchen Sie, möglichst wenige IC's einzusetzen.

### 3.5 STEUERUNG DER PUMPE 3 ÜBER EINEN TASTER

Die Pumpe *M3* soll über den Taster *HS5* ein- bzw. ausgeschaltet werden.

Entwickeln Sie eine Schaltung oder realisieren Sie die Schaltung, wie Sie in der Lösung vorgegeben wird. Damit die Schaltung funktioniert, müssen Sie für diese Aufgabenstellung neben dem Speicher auch die Ein- und Ausschaltverzögerungstimer und den Flankenblock (binärer Triggerblock) nutzen.

**AUFGABE 3.5.1:** Entwickeln Sie eine Schaltung mit einem RS-Speicher (RS-Flipflop), mit der Sie die Pumpe *M3* über den Taster ein- und ausschalten können.

### 3.6 BEDIENELEMENTE MIT ÖFFNER BZW. SCHLIEßER

In dem Bedienfeld sind 3 Schalter und 2 Taster verfügbar. Die Pumpen *M1* und *M2* sollen über die Schalter *HS2* bzw. *HS3* ein- und ausgeschaltet werden. Der Schalter *HS1* werde als Notaus-Schalter genutzt.

<i>Bedienelement</i>	<i>Funktion</i>	<i>Schalter</i>	<i>Taster</i>	<i>Öffner</i>	<i>Schließer</i>
HS1	Notaus	X		X	
HS2	M1	X			X
HS3	M2	X			X
HS4			X		
HS5	M3		X		

Für die Steuerung sollen diese Bedienelemente zusammen mit den Füllstandsensoren eingesetzt werden.

#### AUFGABE 3.6.1:

Die Bedienelemente sollen für die beschriebenen Aufgaben eingesetzt werden:

- Wird der Notaus-Schalter betätigt, so rastet er ein und schaltet alle Aktoren aus.
- Bei nicht betätigtem Notaus können die Pumpen zusätzlich zur automatischen Steuerung von Hand über die Schalter *HS2* und *HS3* einzeln eingeschaltet werden.

Mit dem Taster *HS5* wird die Pumpe *M3* zum Testen der Schaltung wie in Aufgabe 3.5 ein- bzw. ausgeschaltet.

Erweitern Sie die Schaltung aus Aufgabe 3.4.2 entsprechend der oben beschriebenen Funktionen.

### 3.7 STEUERUNG MIT TASTERBETRIEB / EINFÜHRUNG RS-SPEICHER

Die Bedienung der Pumpensteuerung soll auf Tasterbetrieb umgestellt werden. Die Funktionen der Bedienelemente sollen folgender Tabelle entsprechen.

<i>Bedienelement</i>	<i>Funktion</i>	<i>Schalter</i>	<i>Taster</i>	<i>Öffner</i>	<i>Schließer</i>
HS1	Notaus	X		X	
HS2	HS	X			X
HS3		X			X
HS4	Start		X		X
HS5	Stop		X		X

Der Bedienungsteil der Steuerung soll zunächst isoliert von der Pumpensteuerung entwickelt werden. Hierzu soll die Lampe *P1* genutzt werden. Die Lampe *P1* kennzeichnet den Zustand „Anlage EIN“.

Der Hauptschalter wird mit HS bezeichnet

#### AUFGABE 3.7.1:

Folgende Funktionen sollen mit Gattern und RS-Speichern realisiert werden:

- Ohne eingeschaltetem Hauptschalter (HS) bleibt die Anlage ausgeschaltet.
- Wird der Notaus-Schalter betätigt, ist die Anlage ebenfalls ausgeschaltet.
- Erst wenn bei eingeschaltetem HS die Start-Taste betätigt wird, schaltet die Anlage ein.
- Die Stop-Taste schaltet jederzeit die Anlage aus.

**AUFGABE 3.7.2:** Überprüfen Sie den Funktionsplan auf Betriebssicherheit:

- Besteht Wiedereinschaltenschutz nach Spannungsausfall
- Ist das Ausschalten der Anlage (HS, Stop, Notaus) gewährleistet
- Wie reagiert die Anlage auf Leitungsbruch an den Bedienelementen

**AUFGABE 3.7.3:** Sind Änderungen an den Bedienelementen nötig.

**AUFGABE 3.7.4:** Nehmen Sie als Stop-Taste den Schalter *HS3* und nutzen Sie ihn als Öffner. Verändern Sie die Schaltung entsprechend

### 3.8 PUMPENSTEUERUNG MIT SPEICHERN UND GATTERN

Das Ein- und Ausschalten der Pumpen *M1* und *M2* soll durch Setzen und Rücksetzen von RS-Speichern erfolgen. Sind die Füllstände für die beiden Schaltbefehle unterschiedlich, so kann hierdurch eine zu hohe Schalthäufigkeit vermieden werden.

Das Ein- und Ausschalten der Pumpen soll nach folgender Beschreibung erfolgen:

- Ist der Behälter bis über den obersten Sensor gefüllt, ist keine Pumpe in Betrieb.
- Sinkt der Füllstand unter *B2*, schaltet *M2* ein.
- Fällt der Füllstand bis unterhalb des untersten Sensors, sind beide Pumpen in Betrieb.
- Steigt der Füllstand bis über den mittleren Sensor *B2*, wird die Pumpe *M1* ausgeschaltet.

**AUFGABE 3.8.1:** Tragen Sie alle Kombinationen der Eingangssignale in die Funktionstabelle ein. Kennzeichnen Sie in den Spalten *M1* bzw. *M2* durch Eintragen von S (*Setzen*) oder R (*Rücksetzen*) die Ein-, bzw. Ausschaltpunkte der Pumpen.

B3	B2	B1	M1	M2

AUFGABE 3.8.2: Entwickeln und erproben Sie die Schaltung.

### 3.9 STÖRUNGSMELDUNG MIT QUITTUNG

Die gegebene Schaltung gibt im Störfall eine Alarmmeldung über Hupe und/oder Leuchtmelder. Über einen Taster kann die Meldung „quittiert“ werden.

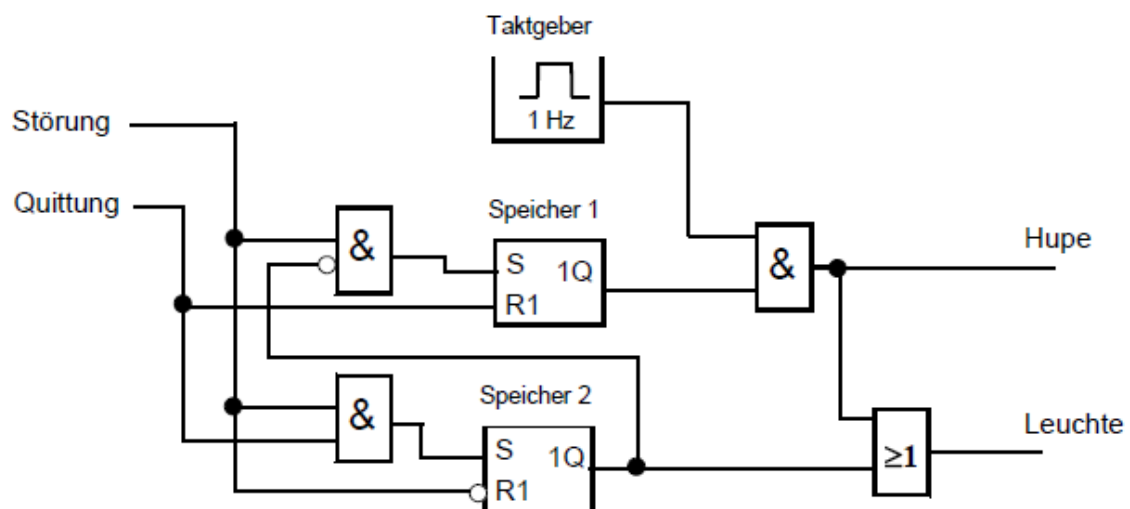


Abb. 11 Alarrmeldung über Hupe und/oder Leuchtmelder

AUFGABE 2.9.1: Beschreiben Sie in der unteren Tabelle die Wirkungen auf die beiden Speicher, die Hupe und den Leuchtmelder, wenn

- eine Störungsmeldung eintrifft (Störung = „1“),
- dieses Signal wieder beendet wird (Störung = „0“) und
- anschließend eine Quittierung erfolgt (Quittung = „1“)
- die Störung (Störung = „1“) anliegt und die Quittung gedrückt wird (Quittung = „1“)

Lösungstabelle:

	<i>Speicher 1</i>	<i>Speicher 2</i>	<i>Hupe</i>	<i>Leuchte</i>
Aufgabe a				
Aufgabe b				
Aufgabe c				
Aufgabe d				

**AUFGABE 3.9.2:** Erweitern Sie die Schaltung zur Meldung eines Sensorfehlers um die oben dargestellte Funktion mit folgenden Vorgaben:

- Die Quittierung soll über den Taster *HS4* möglich sein.
- Nehmen Sie als Hupe die Lampe *P2* und als Leuchtmelder die Lampe *P3*.

**Hinweis:** Nutzen Sie das Leuchtmeldersignal *P1* als Merker, um intern den Sensorfehler weiterzugeben.

### 3.10 STEUERUNG MIT TIMER

Zur Vermeidung von Lastspitzen durch das gleichzeitige Einschalten beider Pumpen soll die Steuerung durch eine Zeitverzögerung erweitert werden.

**AUFGABE 3.10.1:** Da der Fall eintreten kann, dass gleichzeitig *M1* und *M2* eingeschaltet werden, wird durch einen Timer das Einschaltsignal für Pumpe *M1* um 5s verzögert. Verändern Sie die in Aufgabe 2.8.2 entwickelte Schaltung entsprechend diesen Bedingungen.

**AUFGABE 3.10.2:** Der obere Sensor beschränkt die Füllmenge des Behälters auf ca. 80%. Durch eine Zeitsteuerung soll sichergestellt werden, dass während des Füllvorgangs das Abschalten der Pumpe *P2* erst nach 8s erfolgt.

### 3.11 MISCHBETRIEB MIT RS-SPEICHERN

Der Vorratsbehälter soll für das automatische Abfüllen und Zusammenführen zweier Flüssigkeiten verwendet werden. Anschließend wird der Behälter entleert. Folgende Schritte sollen nacheinander ausgeführt werden:

1. Über Pumpe *M1* wird der Behälter bis zum Sensor *B2* gefüllt. Die Pumpe *M1* soll dann abgeschaltet werden.
2. Anschließend wird über *M2* die Füllung bis *B1* fortgesetzt und gleichzeitig zum Mischen die Pumpe *M4* angeschaltet.

3. Wenn der Füllstandschalter *B1* erreicht ist, soll Pumpe *M2* noch 5s und die Pumpe *M4* noch 20s weiterlaufen.
4. Wenn alle Pumpen abgeschaltet wurden, soll die Pumpe *M3* den Behälter wieder leer pumpen.

Die Schrittkette soll folgende weitere Bedingungen erfüllen:

- Die Anlage kann nur bei betätigtem Hauptschalter HS (Schalter *HS3*) betrieben werden.
- Der NOTAUS-Schalter (Schalter *HS1*) schaltet alle Schritte und Aktoren aus.
- Befindet sich die Anlage in Grundstellung (alle Pumpen aus, Füllstand unterhalb von Sensor *B3*), so kann über den START-Taster (*HS4*) der Ablauf gestartet werden. Machen Sie die Grundstellung kenntlich, indem Sie die Lampe *P3* anschalten.
- Der STOP-Schalter (*HS2*) kann jederzeit die Schritte zurücksetzen und die Aktoren ausschalten.

**AUFGABE 3.10.1:**      Entwickeln Sie die oben beschriebene Steuerung mit RS-Speichern.

## 4 AUFGABEN REGELUNGSTECHNIK

### 4.1 EINFÜHRUNG

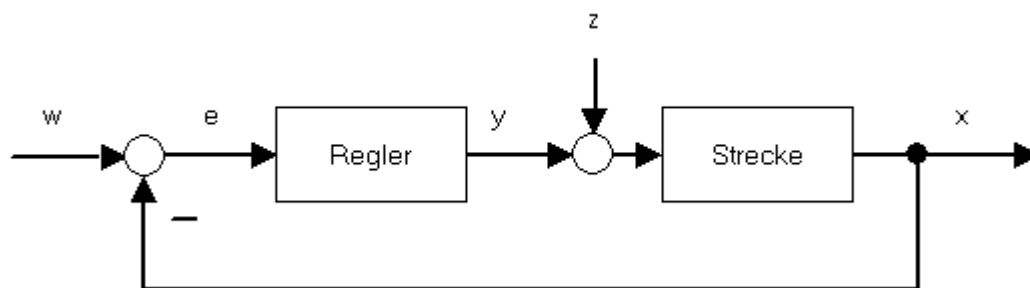
Mit der Praktikumsanlage LC2030 bzw. mit der simulierten Anlage können Sie verschiedene Arten unterschiedlicher Regelungen durchführen

- Füllstandregelung (über Zufluss und Abfluss)
- Durchflussregelung (über Zufluss und Abfluss)
- Temperaturregelung
- Druckregelung

Alle folgenden Aufgabenstellungen beziehen sich auf die Füllstandregelung LIC101 (Abfluss), die Durchflussregelung FIC103 (Abfluss) und die Temperaturregelung TIC102.

Das Ziel in der Regelungstechnik ist, dass ein Regler es schafft, den Istwert durch Verstellen eines Stellsignals nach einer akzeptablen Zeit auf den Sollwert zu bringen. Hierbei unterscheidet man die Reaktion auf Sollwertänderungen (Führungsregelung) oder auf Störwerteeinflüsse (Störwertregelung). In beiden Fällen versucht der Regler den Istwert wieder auf den Sollwert zu bringen.

Der Standardregelkreis sieht im Signalflussplan folgendermaßen aus:



Der Istwert  $x$  wird mit dem Sollwert  $w$  verglichen und die Differenz geht in den Regler. Der Regler gibt ein Stellwert  $y$  an die Strecke aus, mit dem er versucht, so Einfluss auf die Strecke zu nehmen, dass nach einer Einschwingphase der Istwert gleich dem Sollwert ist. Das Auftreten einer Störung  $z$  nimmt natürlich Einfluss auf die Strecke und verändert dadurch den Istwert  $x$ . Damit verändert sich auch die Differenz zwischen Soll- und Istwert. Der Regler reagiert und nimmt wieder Einfluss über das Stellsignal auf die Strecke.

Im Normalfall steht das Minuszeichen beim Soll-Istwert Vergleich neben dem Eingang des Istwerts ( $e = w - x$ ,  $e =$  Regeldifferenz). Es kann aber auch beim Eingang des Sollwerts stehen ( $x_w = x - w$ ,  $x_w =$  Regelabweichung). Wo das Minuszeichen platziert wird, hängt davon ab, ob das Stellsignal größer werden soll, wenn der Sollwert größer als der Istwert ist oder umgekehrt. Muss das Stellsignal  $y$  größer werden, wenn der Sollwert größer als der Istwert ist, so steht das Minuszeichen an der Summationsstelle neben dem Eingang des Istwerts,



## BEZEICHNUNGEN:

### **Führungsgröße (Sollwert)      $w$**

Die Führungsgröße (Sollwert) ist die Aufgabengröße, der die Regelung (der Istwert) folgen soll. Sie wird von außen zugeführt und wird nicht von der Regelung beeinflusst.

### **Regelgröße (Istwert)      $x$**

Die Regelgröße ist diejenige Größe der Regelstrecke, die zum Zwecke des Regelns erfasst und mit der Führungsgröße (Sollwert) verglichen wird. Ziel der Regelung ist, dass nach einem gewissen Zeitverlauf (Einschwingverhalten) die Regelgröße den Wert der Führungsgröße annimmt.

### **Regelabweichung      $x_w$**

Die Regeldifferenz ist die Differenz zwischen der Führungsgröße und der Regelgröße

$$x_w = x - w$$

### **Regeldifferenz      $e$**

Die Regeldifferenz ist die Differenz zwischen der Führungsgröße und der Regelgröße

$$e = w - x$$

### **Stellgröße      $y$**

Die Stellgröße ist die Ausgangsgröße des Reglers und das Eingangssignal für die Strecke (den Prozess). Sie überträgt die regelnde Wirkung und beeinflusst den Prozess (Strecke)

### **Störgröße      $z$**

Eine Störgröße ist eine von außen wirkende Größe auf die Strecke. Die Regelgröße wird dadurch verändert und der Regler versucht die Änderung auszuregeln

Man unterscheidet zwei Arten von Regelungen:

### **Führungsregelung**

Die Führungsgröße (Sollwert) wird verändert und der Regler muss durch Beeinflussen des Stellsignals versuchen, die Regelgröße (Istwert) wieder auf den neuen Führungswert zu bringen.

### **Störwertregelung**

Durch Störungen wird die Strecke und damit die Regelgröße verändert. Der Regler muss versuchen durch Verändern des Stellsignals, die Störung auszuregeln, so dass nach einer gewissen Zeit die Regelgröße wieder den Wert der Führungsgröße annimmt.

## 4.2 PUMPENKENNLINIE AUFNEHMEN

Die Regelung des Füllstands und des Durchflusses erfolgt über die regelbare Pumpe *M3*. Durch Untersuchen des Kennlinienfeldes der Pumpe *M3* erhält man einen Eindruck vom Verhalten der Strecke. Ebenfalls wird deutlich, dass der Durchfluss der Strecke nicht nur abhängig von der Drehzahl der Pumpe ist, sondern auch von der Füllhöhe.

**AUFGABE 4.2.1:** Nehmen Sie die Kennlinien für Pumpe *M3* auf durch Notieren der Durchflussmengen vom Durchflussmengenähler und tragen Sie die Werte in der folgenden Tabelle ein.

Drehzahl \ Förderhöhe	100%	80%	60%	40%	20%
10 cm					
15 cm					
20 cm					
25 cm					
30 cm					
35 cm					

**AUFGABE 4.2.2:** Entwickeln Sie eine Strategie, um die Durchflussmenge aus der Änderung der Füllhöhe und der Behältergrundfläche zu bestimmen.

## 4.3 FÜLLSTANDREGELUNG LIC101

Gehen Sie auf die Seite *Füllstands-Regelung LIC101*. Hier haben Sie die Möglichkeit, die Regelung im Hand- oder Automatik-Betrieb zu betreiben, den Reglertyp zu wählen und die Reglerparameter einzustellen.

Zunächst soll der Regelkreis prinzipiell bestimmt werden.

**AUFGABE 4.3.1:** Formulieren Sie, was geregelt werden soll, wodurch geregelt wird und welche Störgrößen Einfluss nehmen.

**AUFGABE 4.3.2:** Bestimmen Sie für diesen Regelkreis den Sollwert, den Istwert, das Stellsignal (Stellgröße) und die Störgröße und geben Sie die jeweiligen Einheiten an.

**AUFGABE 4.3.3:** Erstellen Sie einen Signalflussplan (Blockstruktur) für die Füllstandregelung.

**AUFGABE 4.3.4:** Da das Füllstandssignal stark schwankt, wenn die Zulaufpumpen bzw. die Ablaufpumpe laufen, ist es sinnvoll das Signal für die Regelung zu glätten. Dies erreichen Sie durch Einschalten des Tiefpassfilters (entspricht einem Pt1-Verhalten). Verändern Sie die Zeitkonstante des Tiefpassfilters und beobachten Sie das Verhalten des geglätteten Signals. Beschreiben Sie das Verhalten für verschiedene Zeitkonstanten.

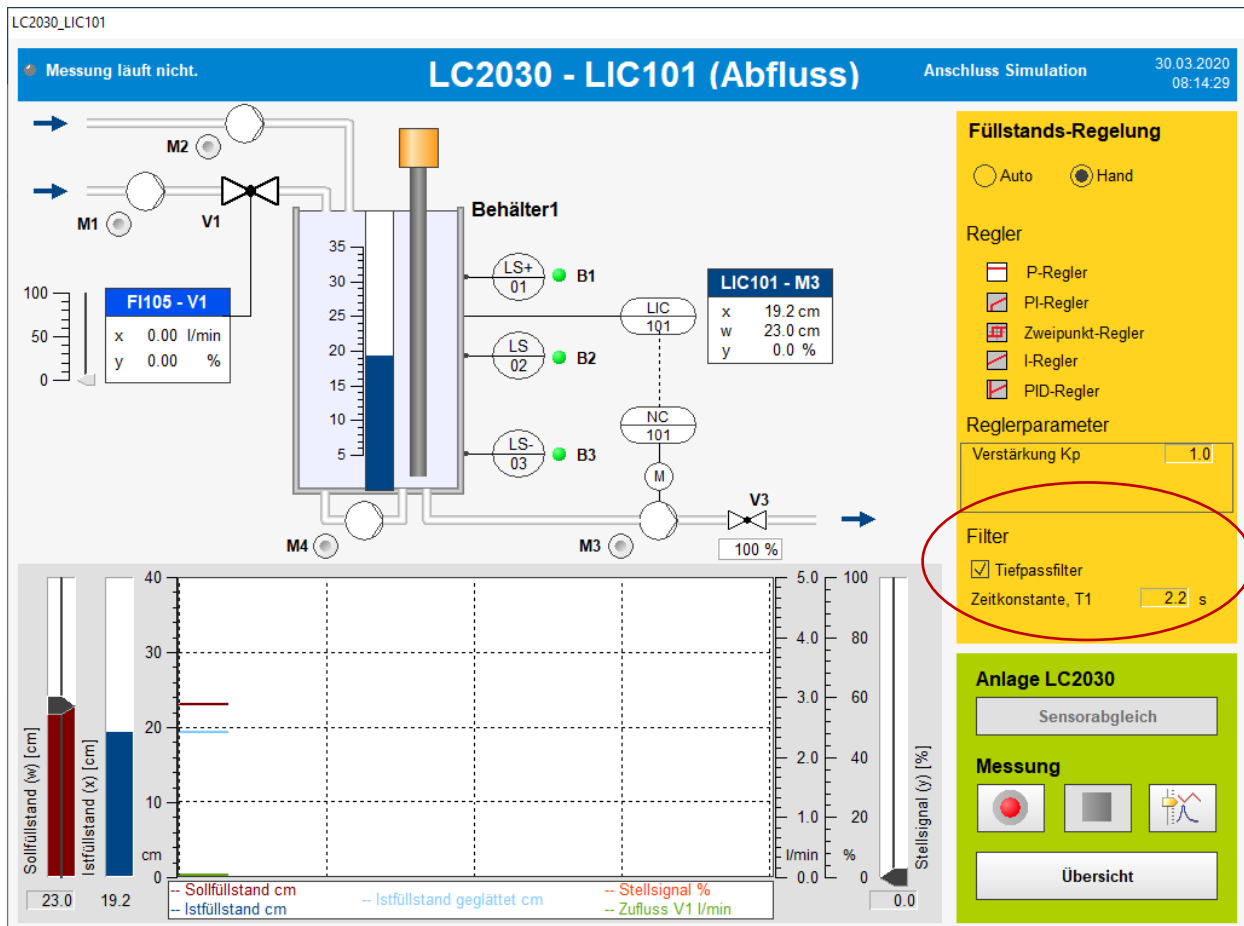


Abb. 12 Einschalten des Tiefpassfilters zum Glätten des Füllstands-Signals

**AUFGABE 4.3.5:** Stellen Sie den Regelkreis auf Hand und schalten Sie die beiden Pumpen M1 und M3 ein. Stellen Sie das Ventil V1 auf 100%. Geben Sie einen Sollfüllstand vor (z.B. 20cm) und versuchen Sie durch Verstellen des Stellsignals y (Drehzahl der Pumpe M3 von 0 – 100%) den Istfüllstand auf den Sollfüllstand zu bringen.

**Hinweis:** Schalten Sie den Tiefpassfilter ein und stellen Sie ihn auf 2,2s. Versuchen Sie das geglättete Füllstandssignal auszuregeln. Schalten Sie die Messung über *Messung Start* ein. Sie können dann später über *Messung Ansicht* die aufgezeichneten Messwerte anschauen und so Ihre Fähigkeit „Regler zu spielen“ beurteilen.

#### 4.3.1 UNTERSUCHUNG DER FÜLLSTANDREGELUNG LIC101 MIT DEM P-REGLER

Als erstes soll die Füllstandregelung mit dem P-Regler untersucht werden. Hierfür schalten Sie die Pumpen *M1* und *M3* ein und den Regler auf „Auto“. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 2,2s gestellt.

Das Ventil *V1* hinter der Pumpe *M1* werde auf 80% geöffnet.

Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage und den oben genannten Einstellungen durchgeführt.

**AUFGABE 4.3.6:** Stellen Sie den Sollfüllstand auf 20cm und die Verstärkung des P-Reglers auf 0,2. Warten Sie, bis sich der geglättete Istfüllstand nicht mehr ändert. Beschreiben Sie, das Verhalten der Regelung.

**AUFGABE 4.3.7:** Stellen Sie die Verstärkung des P-Reglers auf 4 und beobachten Sie das Verhalten. Beschreiben Sie das Verhalten der Regelung, insbesondere den Zusammenhang zwischen Istfüllstand und Sollfüllstand (Istwert und Sollwert).

**AUFGABE 4.3.8:** Erhöhen Sie die Verstärkung des P-Reglers auf 6 und warten Sie bis der Regelkreis eingeschwungen ist. Beschreiben Sie, das Verhalten der Regelung, insbesondere den Zusammenhang zwischen Istfüllstand und Sollfüllstand. Erhöhen Sie dann die Verstärkung auf 25 und beobachten den Regelkreis.

**AUFGABE 4.3.9:** Schalten Sie bei der Verstärkung von 25 den Tiefpassfilter aus. Beschreiben Sie, was passiert.

#### 4.3.2 UNTERSUCHUNG DER FÜLLSTANDREGELUNG LIC101 MIT DEM I-REGLER

Schalten Sie wieder die beiden Pumpen *M1* und *M3* ein, wählen Sie den I-Regler und schalten ihn auf „Auto“. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 2,2s gestellt.

Das Ventil *V1* hinter der Pumpe *M1* werde auf 80% geöffnet.

Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage und den oben genannten Einstellungen durchgeführt.

**AUFGABE 4.3.10:** Stellen Sie die Nachstellzeit des I-Reglers auf 5s und den Sollfüllstand auf 20cm. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

**AUFGABE 4.3.11:** Erhöhen Sie die Nachstellzeit des I-Reglers von 5s auf 15s. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

#### 4.3.3 UNTERSUCHUNG DER FÜLLSTANDREGELUNG LIC101 MIT DEM PI-REGLER

Schalten Sie wieder die beiden Pumpen *M1* und *M3* ein, wählen Sie den PI-Regler und schalten ihn auf „Auto“. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 2,2s gestellt.

Das Ventil *V1* hinter der Pumpe *M1* werde auf 80% geöffnet.

Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage und den oben genannten Einstellungen durchgeführt.

**AUFGABE 4.3.12:** Stellen Sie als Verstärkung 2 und als Nachstellzeit 5s ein. Der Sollfüllstand sei auf 20cm eingestellt. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

**AUFGABE 4.3.13:** Erhöhen Sie die Verstärkung auf 20, lassen Sie die Nachstellzeit auf 5s. Beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises.

**AUFGABE 4.3.14:** Stellen Sie die Nachstellzeit von 5s auf 2s und beobachten Sie das Verhalten des Regelkreises.

**AUFGABE 4.3.15:** Versuchen Sie durch schrittweises Verändern der Verstärkung und der Nachstellzeit Parameter zu finden, mit denen der Regelkreis stabil ist und der Istfüllstand schnell auf den Sollfüllstand einschwingt.

**AUFGABE 4.3.16:** Geben Sie mit den oben bestimmten Parametern einen Sollwertsprung von 20cm auf 25cm vor. Beobachten und beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises auf den Sollwertsprung (Führungsverhalten)

**AUFGABE 4.3.17:** Geben Sie eine Störung vor, indem Sie das Ventil *V1* hinter Pumpe *M1* von 80% auf 50% stellen. Beobachten und beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises auf eine Störwertänderung (Störverhalten).

**AUFGABE 4.3.18:** Was passiert, wenn Sie den Tiefpassfilter ausschalten. Beobachten und beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises.

#### 4.3.4 UNTERSUCHUNG DER FÜLLSTANDREGELUNG LIC101 MIT DEM PID-REGLER

Schalten Sie wieder die beiden Pumpen *M1* und *M3* ein, wählen Sie den PID-Regler und schalten ihn auf „Auto“. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 2,2s gestellt.

Das Ventil *V1* hinter der Pumpe *M1* werde auf 80% geöffnet.

Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage und den oben genannten Einstellungen durchgeführt.

- AUFGABE 4.3.19:** Stellen Sie folgende Parameter ein: Verstärkung 2, Nachstellzeit 5s, Vorhaltezeit 1s. Stellen Sie die 2 Pumpen an und schalten Sie die Regelung auf Automatik. Der Sollfüllstand sei auf 20cm eingestellt. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.
- AUFGABE 4.3.20:** Bestimmen Sie durch schrittweises Verändern der Verstärkung, der Nachstellzeit und der Vorhaltezeit die Parameter so, dass der Regelkreis in einer akzeptablen Zeit einschwingt, d.h. dass der Istfüllstand auf dem Sollfüllstand einschwingt.
- AUFGABE 4.3.21:** Führen Sie mit dem PID-Regler und den oben eingestellten Parametern einen Sollwertsprung von 20cm auf 25cm durch (Führungsverhalten).
- AUFGABE 4.3.22:** Warten Sie bis der Regelkreis eingeschwungen ist. Schalten Sie dann eine Störung ein durch Änderung der Ventilstellung von V1 von 80% auf 50% (Störverhalten). Beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises.
- AUFGABE 4.3.23:** Beschreiben Sie, was passiert, wenn Sie bei der obigen Regelung den Tiefpassfilter ausstellen.

#### 4.3.5 UNTERSUCHUNG DER FÜLLSTANDREGELUNG LIC101 MIT DEM ZWEIPUNKT-REGLER

Schalten Sie wieder die beiden Pumpen *M1* und *M3* ein, wählen Sie den Zweipunkt-Regler und schalten ihn auf „Auto“. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 2,2s gestellt.

Das Ventil *V1* hinter der Pumpe *M1* werde auf 80% geöffnet.

Die folgende Aufgabe wurde mit der simulierten Anlage und den oben genannten Einstellungen durchgeführt.

- AUFGABE 4.3.23:** Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

#### 4.3.6 REGLEREINSTELLVERFAHREN

In der Regelungstechnik besteht neben dem Problem der Auswahl des geeigneten Reglers für die Regelstrecke natürlich auch das Problem für den gewählten Regler geeignete Reglerparameter zu finden.

Es gibt in der Literatur diverse Reglereinstellverfahren, die den Anwender bei der Auswahl der Reglerparameter unterstützen. Bei diesen Verfahren wird die Regelstrecke untersucht und abhängig vom Verhalten der Regelstrecke werden Reglerparameter vorgeschlagen. Diese Verfahren basieren auf empirischen Untersuchungen. Die vorgeschlagenen Parameter sind deshalb nicht unbedingt die optimalen Parameter. Oft sind es aber Parameter, mit denen der Regelkreis in der Praxis gut gefahren werden kann.

Einige bekannte Reglereinstellverfahren sind:

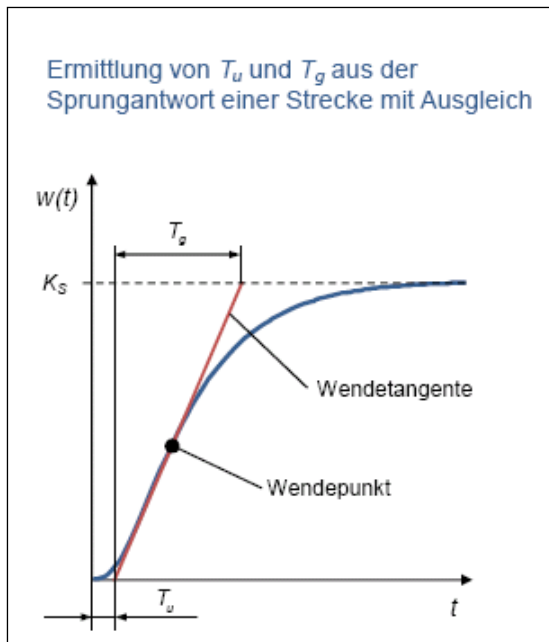
- Ziegler/Nichols I und II
- Chien/Hrones/Reswick
- TSummen-Regel nach Kuhn
- Oppelt
- Methode der maximalen Anstiegsgeschwindigkeit (für Temperatur-Strecken nach Müller)
- Einstellregeln nach Faustformeln

Im Folgenden werden Untersuchungen mithilfe der Reglereinstellregeln nach Chien/Hrones/Reswick und der Faustformel durchgeführt.

#### 4.3.7 VERFAHREN NACH CHIEN/HRONES/RESWICK

Beim Verfahren von Chien/Hrones/Reswick wird die Sprungantwort auf einen Stellwertsprung (Einheitssprung) der Strecke untersucht. Hierzu muss sich Ihre Regelstrecke in einem stabilen Arbeitspunkt befinden. Sie müssen den Regler auf „Hand“ stellen und das Stellsignal und die Regelgröße dürfen sich nicht mehr ändern. Geben Sie eine sprungartige Änderung des Stellsignals um 1 vor und betrachten Sie das Verhalten der Strecke.

Eine Strecke mit Ausgleich hat in etwa das unten dargestellte Verhalten auf einen Einheitssprung des Stellsignals (sprungartige Änderung des Stellsignals um 1):



In den folgenden Abbildungen wurden die alten Bezeichnungen  $T_u$  und  $T_g$  gewählt, wie sie noch vielfach in der Literatur zu finden sind.

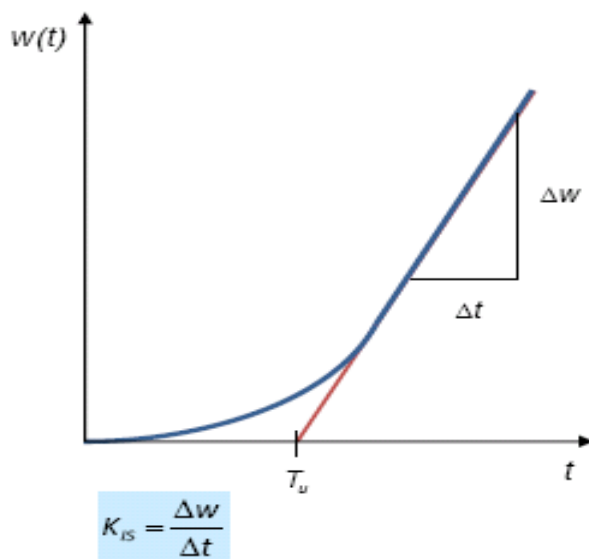
Die neuen Bezeichnungen sind:

$T_e = T_u = \text{Verzugszeit}$

$T_b = T_g = \text{Ausgleichszeit}$

Aus dieser Sprungantwort können Sie die Parameter  $K_S$ ,  $T_b$  ( $T_g$ ) und  $T_e$  ( $T_u$ ) bestimmen, wie in dem obigen Bild dargestellt. Die Regelstreckenverstärkung  $K_S$  ergibt sich aus der sprungartigen Änderung des Stellsignals um 1. Falls Sie eine größere Stellwertänderung vornehmen, müssen Sie den sich ergebenden Verstärkungswert der Strecke durch die Änderung des Stellwertes teilen, damit Sie  $K_S$  erhalten.

Wenn Sie eine Strecke ohne Ausgleich haben, wird in etwa folgendes Verhalten auf eine Einheitssprungänderung des Stellsignals auftreten:





Hier können Sie  $K_S$  als Steigung der Tangente und  $T_e$  ( $T_u$ ) als Schnittpunkt der Tangente mit der Zeitachse bestimmen. Aus  $K_S$  berechnen Sie die Zeitkonstante  $T_i$  durch  $T_i = 1/K_S$ .

Es bedeuten:

$T_e$  ( $T_u$ )      Verzugszeit

$T_b$  ( $T_g$ )      Ausgleichszeit der Regelstrecke

$K_S$               Übertragungsbeiwert der Regelstrecke mit Ausgleich

$K_{IS}$             Übertragungsbeiwert der Regelstrecke ohne Ausgleich

Die Reglerparameter werden aus der Einstelltabelle nach Chien/Hrones/Reswick bestimmt:

Tabelle 1 [Die Tabelle wurde übernommen aus: E. Samal, Grundriss der praktischen Regelungstechnik, Oldenbourg]

Regler- verhalten	Gütekriterium			
	Überschwingung nach Gegenseite mit 20% von $x_m$ , kürzeste Schwindungsdauer		aperiodischer Regelvorgang mit kürzester Dauer	
	Störung	Führung	Störung	Führung
P	$K_P \approx \frac{0,7}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	$K_P \approx \frac{0,7}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	$K_P \approx \frac{0,3}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	$K_P \approx \frac{0,3}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$
PI	$K_P \approx \frac{0,7}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx 2,3 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,6}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx T_g$	$K_P \approx \frac{0,6}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx 4 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,35}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx 1,2 \cdot T_g$
PID	$K_P \approx \frac{1,2}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx 2 \cdot T_u$ $T_v \approx 0,42 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,95}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx 1,35 \cdot T_g$ $T_v \approx 0,47 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,95}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx 2,4 \cdot T_u$ $T_v \approx 0,42 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,6}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx T_g$ $T_v \approx 0,5 \cdot T_u$

Für Regelstrecken *ohne Ausgleich* ist statt  $\frac{T_g}{K_S \cdot T_u}$  der Ausdruck  $\frac{1}{K_{IS} \cdot T_u}$  einzusetzen.

Falls Sie eine Strecke ohne Ausgleich haben, müssen Sie in der Tabelle statt des Ausdrucks  $T_b/(K_S \cdot T_e)$  ( $T_g/(K_S \cdot T_u)$ ) den Ausdruck  $1/(K_{IS} \cdot T_e)$  ( $1/(K_{IS} \cdot T_u)$ ) einsetzen und die Zeitkonstante  $T_b$  ( $T_g$ ) ersetzen durch  $T_i = 1/K_{IS}$ .

#### 4.3.8 REGLEREINSTELLUNG DER FÜLLSTANDREGELUNG LIC101 NACH CHIEN/HRONES/RESWICK

Bei der Füllstandstrecke handelt es sich um eine Strecke ohne Ausgleich. Um einen Stellwertsprung aufschalten zu können, muss sich die Strecke in einem stabilen Arbeitspunkt befinden. Wählen Sie als Arbeitspunkt z.B. 20cm.

Damit die Strecke stabil ist (d.h. die Regelgröße  $x$  und das Stellsignal  $y$  ändern sich nicht mehr), muss der Zufluss gleich dem Abfluss sein. Da es sehr schwierig sein wird, per Hand das Stellsignal so zu verstellen, dass Sie den Füllstand bei konstantem Stellsignal auf 20cm halten, können Sie den PI-Regler wählen und versuchen, dass der PI-Regler den Füllstand nach einer Einschwingphase konstant auf 20cm hält. Das Stellsignal darf sich dann nicht mehr ändern.

Die folgenden Untersuchungen wurden mit der simulierten Anlage und den oben genannten Einstellungen durchgeführt.

Schalten Sie für diesen Versuch nur die Pumpe *M1* und die Pumpe *M3* an und stellen Sie das Ventil *V1* auf 100%.

Schalten Sie dann den Regler auf Hand und geben einen Stellwertsprung von z.B. 20% vor (In Abb. 13 und Abb. 14 wurde ein Sprung von 75% auf 55% und von 75% auf 95% vorgegeben).

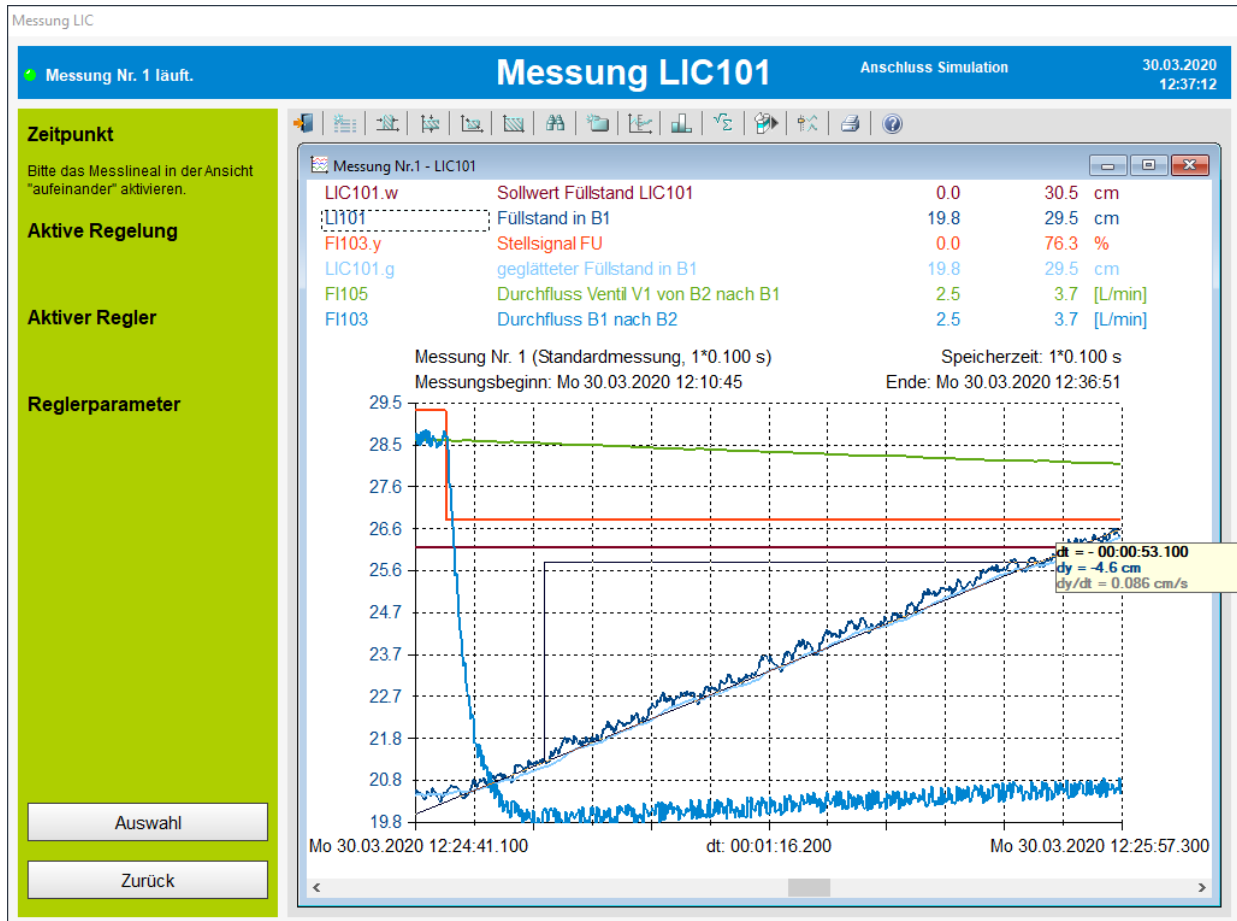


Abb. 13 Sprungantwort auf einen Stellwertsprung von 75% auf 55%

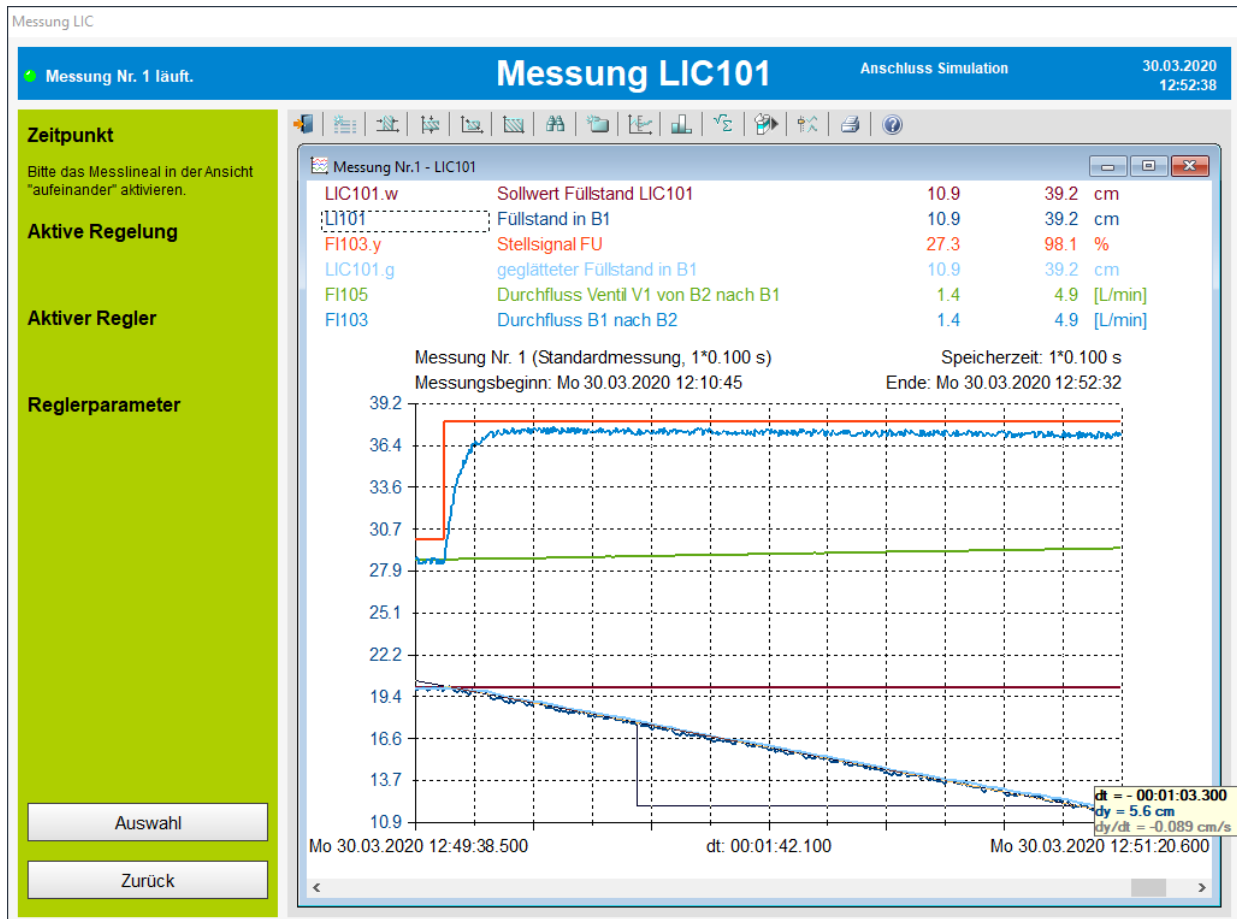


Abb. 14 Sprungantwort auf einen Stellwertsprung von 75% auf 95%

- AUFGABE 4.3.24:** Bestimmen Sie  $T_u$  für beide Sprungantworten und nehmen Sie den Mittelwert für die Berechnung von  $K_{is}$  und  $T_i$
- AUFGABE 4.3.25:** Berechnen Sie die Reglerparameter für das Führungsverhalten mit dem PI-Regler aus der Tabelle bei 20% Überschwingen.
- AUFGABE 4.3.26:** Berechnen Sie die Reglerparameter für das Führungsverhalten mit dem PI-Regler aus der Tabelle ohne Überschwingen.
- AUFGABE 4.3.27:** Berechnen Sie die Reglerparameter für das Störverhalten mit dem PI-Regler aus der Tabelle mit 20% Überschwingen.
- Besteht die Aufgabe Störungen und Sollwertänderungen auszuregeln, muss im Allgemeinen ein Kompromiss zwischen den beiden Reglerparametersätzen gefunden werden.
- AUFGABE 4.3.28:** Berechnen Sie die Reglerparameter für das Störverhalten mit dem PID-Regler aus der Tabelle ohne Überschwingen

#### 4.3.9 REGLEREINSTELLUNG NACH FAUSTFORMELN FÜR STRECKEN OHNE AUSGLEICH

Die folgenden Faustformeln wurden aus dem Buch von Josef Uphaus, Grundlagen der Regelungstechnik, Dümmler Verlag entnommen.

Regler	$K_v$	$T_n$	$T_v$
P	$0,5 * 1 / (K_i * T_e)$		
PI	$0,42 * 1 / (K_i * T_e)$	$5,8 * T_e$	
PID	$0,4 * 1 / (K_i * T_e)$	$3,2 * T_e$	$0,8 * T_e$

**AUFGABE 4.3.28:** Berechnen Sie die Reglerparameter für das Störverhalten mit dem PI-Regler aus der obigen Tabelle.

$K_i$  ( $K_s$ ) und  $T_e$  werden bestimmt wie in Kap. 4.3.7.

#### 4.4 DURCHFLUSSREGELUNG FIC103

Gehen Sie auf die Seite *Durchfluss-Regelung FIC103*. Hier haben Sie die Möglichkeit, die Regelung im Hand- oder Automatik-Betrieb zu betreiben, den Reglertyp auszuwählen und die Reglerparameter einzustellen.

Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage durchgeführt.

Zunächst soll der Regelkreis prinzipiell bestimmt werden.

**AUFGABE 4.4.1:** Formulieren Sie, was geregelt werden soll, wodurch geregelt wird und welche Störgrößen Einfluss nehmen.

**AUFGABE 4.4.2:** Bestimmen Sie für diesen Regelkreis den Sollwert, den Istwert, das Stellsignal (Stellgröße) und die Störgrößen und geben Sie die jeweiligen Einheiten an.

**AUFGABE 4.4.3:** Erstellen Sie einen Signalflussplan (Blockstruktur) für die Durchflussregelung.

**AUFGABE 4.4.4:** Auch bei der Durchflussregelung können Sie das Messsignal (Istdurchfluss) glätten. Dies erreichen Sie durch Einschalten des Tiefpassfilters (entspricht einem Pt1-Verhalten). Verändern Sie die Zeitkonstante des Tiefpassfilters und beobachten Sie das Verhalten des geglätteten Signals. Beschreiben Sie das Verhalten für verschiedene Zeitkonstanten.

**AUFGABE 4.4.5:** Füllen Sie den Behälter bis zum Maximum mit den Pumpen M1 und M2. Schalten Sie die beiden Pumpen aus. Stellen Sie das Stellsignal y auf 75% und schalten die Pumpe M3 ein. Beschreiben Sie das Verhalten.

**AUFGABE 4.4.6:** Stellen Sie den Regelkreis auf Hand und schalten Sie die drei Pumpen *M1*, *M2*, und *M3* ein. Geben Sie einen Solldurchfluss vor (z.B. 3l/min) und versuchen Sie durch Verstellen des Stellsignals  $y$  (Drehzahl der Pumpe *M3* von 0 – 100%) den Istdurchfluss auf den Solldurchfluss zu bringen.

**HINWEIS:** Schalten Sie den Tiefpassfilter ein und stellen Sie ihn auf 0,5s. Versuchen Sie das geglättete Durchflusssignal zu regeln. Schalten Sie die Messung über *Messung Start* ein. Sie können dann später über *Messung Ansicht* die aufgezeichneten Messwerte anschauen und so Ihre Fähigkeit „Regler zu spielen“ beurteilen.

---

#### 4.4.1 UNTERSUCHUNG DER DURCHFLUSSREGELUNG FIC103 MIT DEM P-REGLER

Als erstes soll die Durchflussregelung mit dem P-Regler untersucht werden. Schalten Sie die Pumpen *M1* und *M2* ein und füllen den Behälter bis zum Überlauf. Achten Sie darauf, dass bei den folgenden Untersuchungen möglichst mehr zufließt als durch die Pumpe *M3* abfließt. Dadurch befinden Sie sich in einem definierten Arbeitspunkt (maximaler Füllstand des Behälters, Überlauf).

Stellen Sie den Tiefpassfilter auf 0,5s. Wählen Sie den P-Regler, stellen Sie den Sollwert auf 3 l/min, schalten Sie die Pumpe *M3* ein und stellen Sie die Regelung auf *Auto*.

Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage durchgeführt.

**AUFGABE 4.4.7:** Stellen Sie den Sollwert auf 3 l/min und die Verstärkung des P-Reglers auf 5. Beobachten Sie das Verhalten und beschreiben Sie es. Betrachten Sie insbesondere den Zusammenhang zwischen Istdurchfluss und Solldurchfluss (Istwert und Sollwert).

**AUFGABE 4.4.8:** Erhöhen Sie schrittweise die Verstärkung des P-Reglers um 10 und beobachten Sie das Verhalten des Regelkreises. Beschreiben Sie das Verhalten der Regelung, insbesondere den Zusammenhang zwischen Istfüllstand und Sollfüllstand.

---

#### 4.4.2 UNTERSUCHUNG DER DURCHFLUSSREGELUNG FIC103 MIT DEM I-REGLER

Schalten Sie wieder die drei Pumpen ein, wählen Sie den I-Regler und schalten ihn auf „Auto“. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 0,5s gestellt.

**AUFGABE 4.4.9:** Stellen Sie die Nachstellzeit des I-Reglers auf 1s und den Solldurchfluss auf 3 l/min. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

**AUFGABE 4.4.10:** Erhöhen Sie die Nachstellzeit des I-Reglers schrittweise und verstellen Sie den Sollwert jedes Mal zwischen 3 l/min und 2,5 l/min. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

#### 4.4.3 UNTERSUCHUNG DER DURCHFLUSSGELUNG MIT DEM PI-REGLER

Schalten Sie wieder die drei Pumpen ein, wählen Sie den PI-Regler und schalten ihn auf „Auto“. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 0,5s gestellt.

- AUFGABE 4.4.11:** Stellen Sie eine Verstärkung von 15 und eine Nachstellzeit von 4s ein. Der Solldurchfluss sei auf 1 l/min eingestellt. Warten Sie bis der Regelkreis eingeschwungen ist. Geben Sie dann einen Sollwertsprung von 1 l/min auf 3 l/min. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.
- AUFGABE 4.4.12:** Erhöhen Sie die Verstärkung auf 30, lassen Sie die Nachstellzeit auf 4s. Beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises.
- AUFGABE 4.4.13:** Versuchen Sie durch schrittweises Verändern der Verstärkung und der Nachstellzeit Parameter zu finden, mit denen der Regelkreis stabil bleibt und der Istdurchfluss möglichst schnell auf den Solldurchfluss einschwingt. Geben Sie bei jedem Versuch jeweils einen Sollwertsprung von 1 auf 3 vor.
- AUFGABE 4.4.14:** Lassen Sie den Regelkreis auf 1 einschwingen. Stellen Sie als Parameter 35 für die Verstärkung und 2 als Nachstellzeit ein. Geben Sie einen Sollwertsprung von 1 l/min auf 3 l/min vor. Beobachten und beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises auf den Sollwertsprung (Führungsverhalten).
- AUFGABE 4.4.15:** Geben Sie eine Störung vor, indem Sie das Handventil hinter der Pumpe M3 auf 80% stellen. Beobachten und beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises auf einen Störwertsprung (Störverhalten).

#### 4.4.4 UNTERSUCHUNG DER DURCHFLUSSREGELUNG FIC103 MIT DEM PID-REGLER

Schalten Sie wieder die drei Pumpen ein, wählen Sie den PID-Regler und schalten ihn auf „Auto“. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 2,5s gestellt.

- AUFGABE 4.4.16:** Stellen Sie folgende Parameter ein: Verstärkung = 10, Nachstellzeit = 5s und Vorhaltezeit = 1s. Der Sollwert sei auf 1 l/min eingestellt. Warten Sie bis das System eingeschwungen ist. Ändern Sie den Sollwert von 1 l/min auf 3,0 l/min. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.
- AUFGABE 4.4.17:** Bestimmen Sie durch schrittweises Verändern der Verstärkung, der Nachstellzeit und der Vorhaltezeit die Parameter so, dass der Regelkreis möglichst schnell einschwingt.

**AUFGABE 4.4.18:** Warten Sie bis der Regelkreis mit den oben angegebenen Parametern bei 3,0 l/min eingeschwungen ist. Schalten Sie dann eine Störung durch Verstellen des Handventils hinter der Pumpe M3 auf 80% ein (Störverhalten). Beschreiben Sie das Verhalten des Regelkreises.

#### 4.4.5 UNTERSUCHUNG DER DURCHFLUSSREGELUNG FIC103 MIT DEM ZWEIPUNKT-REGLER

Schalten Sie wieder die drei Pumpen ein, wählen Sie den Zweipunktregler und schalten Sie ihn auf *Auto*. Der Tiefpassfilter sei eingeschaltet und auf 0,5s gestellt.

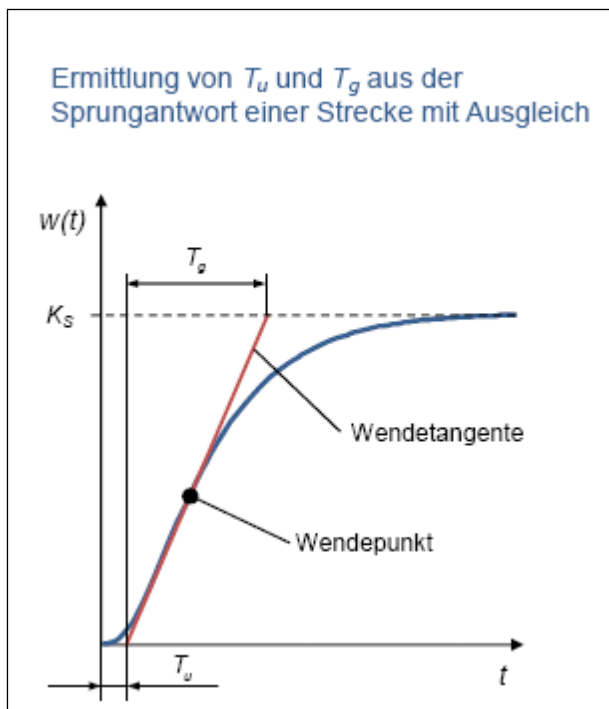
Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage und den oben genannten Einstellungen durchgeführt.

**AUFGABE 4.4.19:** Wählen Sie 0,2 als Hysterese für den Zweipunkt-Regler. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

#### 4.4.6 VERFAHREN NACH CHIEN/HRONES/RESWICK FÜR STRECKEN MIT AUSGLEICH

Beim Verfahren von Chien/Hrones/Reswick wird die Sprungantwort auf einen Stellwertsprung (Einheitssprung) der Strecke untersucht. Hierzu muss sich Ihre Regelstrecke in einem stabilen Arbeitspunkt befinden. Sie müssen den Regler auf „Hand“ stellen und das Stellsignal und die Regelgröße dürfen sich nicht mehr ändern. Geben Sie eine sprungartige Änderung des Stellsignals um 1 vor und betrachten Sie das Verhalten der Strecke.

Eine Strecke mit Ausgleich hat in etwa folgendes Verhalten auf einen Einheitssprung des Stellsignals (sprungartige Änderung des Stellsignals um 1):





In den Abbildungen stehen noch die alten Bezeichnungen  $T_g$  und  $T_u$  (Bilder aus der Literatur). Im folgenden Text durch die neuen Bezeichner  $T_b$  und  $T_e$  genommen.

Aus dieser Sprungantwort können Sie die Parameter  $K_s$ ,  $T_g$  und  $T_u$  bestimmen, wie in dem obigen Bild dargestellt. Die Regelstreckenverstärkung  $K_s$  ergibt sich aus der sprungartigen Änderung des Stellsignals um 1. Falls Sie eine größere Stellwertänderung vornehmen, müssen Sie den sich ergebenden Verstärkungswert der Strecke durch die Änderung des Stellwertes teilen, damit Sie  $K_s$  erhalten.

Es bedeuten:

$T_e = T_u$               Verzugszeit

$T_b = T_g$               Ausgleichszeit der Regelstrecke

$K_s$                       Übertragungsbeiwert der Regelstrecke mit Ausgleich

Die Reglerparameter können Sie dann aus der Einstelltabelle nach Chien/Hrones/Reswick errechnen:

[Die Tabelle wurde übernommen aus: E. Samal, Grundriss der praktischen Regelungstechnik, Oldenbourg]

Regler- verhalten	Gütekriterium			
	Überschwingung nach Gegenseite mit 20% von $x_m$ , kürzeste Schwindungsdauer		aperiodischer Regelvorgang mit kürzester Dauer	
	Störung	Führung	Störung	Führung
P	$K_P \approx \frac{0,7}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$	$K_P \approx \frac{0,7}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$	$K_P \approx \frac{0,3}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$	$K_P \approx \frac{0,3}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$
PI	$K_P \approx \frac{0,7}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx 2,3 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,6}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$ $T_n \approx T_g$	$K_P \approx \frac{0,6}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$ $T_n \approx 4 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,35}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$ $T_n \approx 1,2 \cdot T_g$
PID	$K_P \approx \frac{1,2}{K_S} \cdot \frac{T_g}{T_u}$ $T_n \approx 2 \cdot T_u$ $T_v \approx 0,42 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,95}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$ $T_n \approx 1,35 \cdot T_g$ $T_v \approx 0,47 \cdot T_u$	$K_P \approx \frac{0,95}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$ $T_n \approx 2,4 \cdot T_u$ $T_v \approx 0,42 T_u$	$K_P \approx \frac{0,6}{K_S} \cdot \frac{T_{bg}}{T_u}$ $T_n \approx T_g$ $T_v \approx 0,5 \cdot T_u$

Für Regelstrecken *ohne Ausgleich* ist statt  $\frac{T_g}{K_S \cdot T_u}$  der Ausdruck  $\frac{1}{K_{IS} \cdot T_u}$  einzusetzen.

Im Folgenden werden die neuen Bezeichner  $T_e$  ( $T_u$ ),  $T_b$  ( $T_g$ ) und für die Reglerparameter die Bezeichner  $T_i$  ( $T_n$ ) und  $T_d$  ( $T_v$ ) genommen.



#### 4.4.7 REGLEREINSTELLUNG DER DURCHFLUSSREGELUNG FIC103 NACH CHIEN/HRONES/RESWICK

Bei der Durchflussstrecke handelt es sich um eine Strecke mit Ausgleich. Damit Sie einen Stellwertsprung aufschalten können, muss sich die Strecke in einem stabilen Arbeitspunkt befinden. Wählen Sie als Arbeitspunkt z.B. 2,5 l/min.

Lassen Sie den Behälter überlaufen, damit Sie immer gleiche Bedingungen haben.

Warten Sie bis der Regelkreis eingeschwungen ist. Schalten Sie den Regler auf Hand und geben Sie einen Stellwertsprung von 10% vor (in Abb. 15 wurde ein Sprung von 48,9% auf 58,9% vorgegeben).

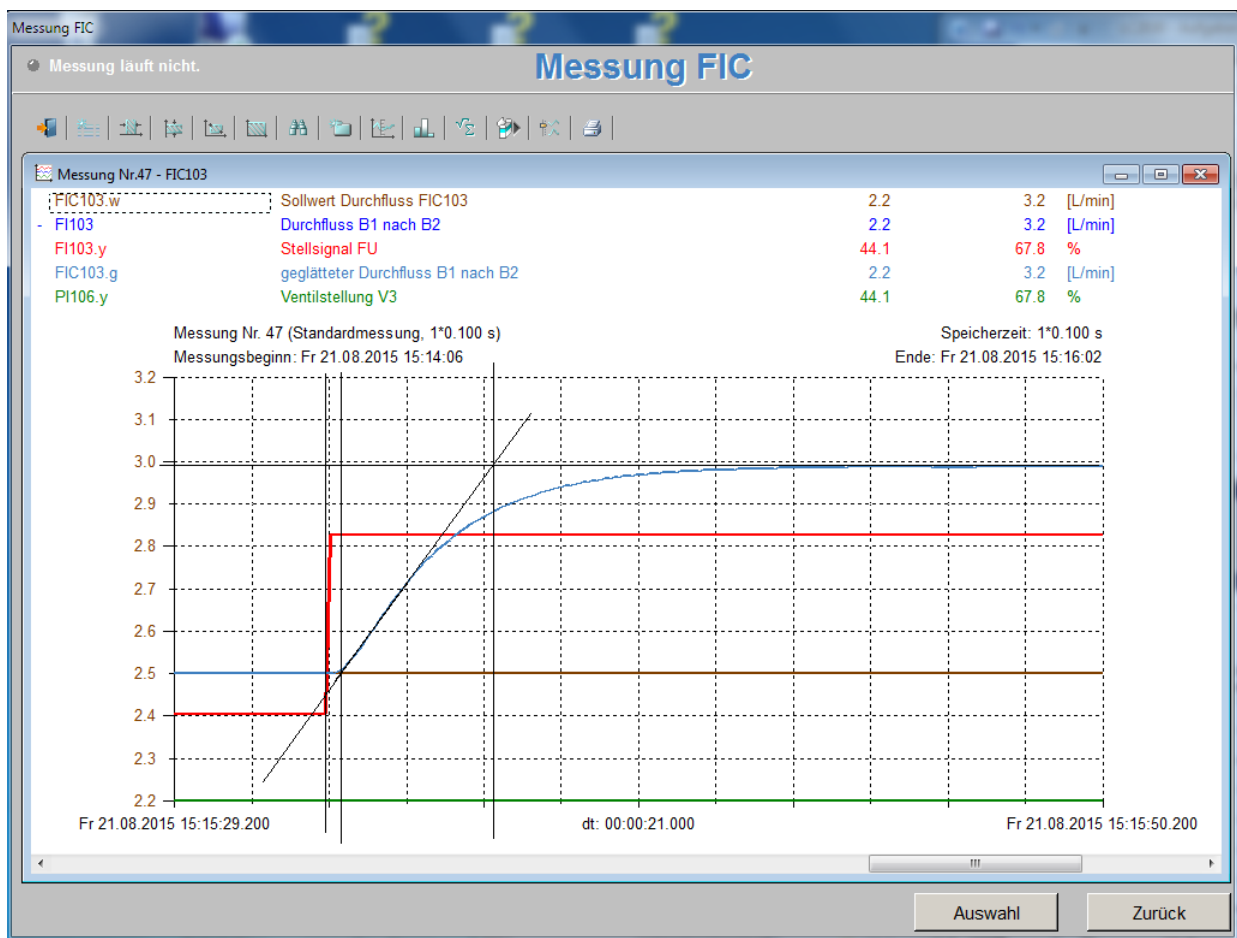


Abb. 15 Sprungantwort auf einen Stellwertsprung von 48,9% auf 58,9%

AUFGABE 4.4.19: Bestimmen Sie  $T_u$ ,  $T_g$  und  $K_s$ .

AUFGABE 4.4.20: Berechnen Sie die Reglerparameter für das Führungsverhalten mit dem PI-Regler aus der Tabelle bei 20% Überschwingen.

AUFGABE 4.4.21: Berechnen Sie die Reglerparameter für das Führungsverhalten mit dem PI-Regler aus der Tabelle ohne Überschwingen.

**AUFGABE 4.4.22:** Berechnen Sie die Reglerparameter für das Störverhalten mit dem PI-Regler aus der Tabelle mit 20% Überspringen.

**AUFGABE 4.4.23:** Berechnen Sie die Reglerparameter für das Störverhalten mit dem PI-Regler aus der Tabelle ohne Überspringen.

Die Reglerparameter für das Stör- und Führungsverhalten sind unterschiedlich. Bei der Auslegung eines Regelkreises muss festgelegt werden, ob der Regelkreis hauptsächlich auf Sollwert- oder auf Störwertänderungen reagieren soll.

Wenn bei der Regelung sowohl Sollwertänderungen als auch Störungen auftreten, muss bei den Reglerparametern ein Kompromiss gefunden werden.

**AUFGABE 4.4.23:** Bestimmen Sie Reglerparameter für den PI-Regler, die für das Stör- und das Führungsverhalten geeignet sind.

Geben Sie einen Führungssprung von 2,5 l/min auf 3 l/min vor und eine Störung (Handventil von 100% auf ca. 80% stellen).

**AUFGABE 4.4.24:** Berechnen Sie die Reglerparameter für das Führungsverhalten mit dem PID-Regler aus der Tabelle ohne Überspringen.

#### 4.4.8 REGLEREINSTELLUNG NACH FAUSTFORMELN FÜR STRECKEN MIT AUSGLEICH

Die folgenden Faustformeln wurden aus dem Buch von Josef Uphaus, Grundlagen der Regelungstechnik, Dümmler Verlag entnommen.

Regler	$K_v$	$T_n$	$T_v$
P	$T_g / (K_s \cdot T_u)$		
PI	$0,8 \cdot T_g / (K_s \cdot T_u)$	$3 \cdot T_u$	
PID	$1,2 \cdot T_g / (K_s \cdot T_u)$	$2 \cdot T_u$	$0,42 \cdot T_u$

**AUFGABE 4.4.25:** Berechnen Sie die Reglerparameter  $K_s$ ,  $T_g$  und  $T_u$  für den PID-Regler aus der Tabelle.

**AUFGABE 4.4.26:** Berechnen Sie die Reglerparameter  $K_s$ ,  $T_g$  und  $T_u$  für den PI-Regler aus der Tabelle.

## 4.5 TEMPERATURREGELUNG

Gehen Sie auf die Seite *Temperatur-Regelung*. Hier haben Sie die Möglichkeit, die Regelung im Hand- und Automatik-Betrieb zu betreiben, den Reglertyp auszuwählen und die Reglerparameter einzustellen. Als Regler stehen hier P-, PI-, PID- und Zweipunkt-Regler zur Verfügung.

Die Temperatur wird mithilfe eines Heizstabs geregelt. Die Heizleistung des Heizstabs kann nicht analog verstellt werden. Er kann nur an- oder ausgeschaltet werden. Soll die Regelung analog erfolgen, muss eine pulsweiten modulierte Regelung realisiert werden oder es kann eine Zweipunktregelung eingesetzt werden.

Der Heizstab ist so verriegelt, dass er nur angeschaltet werden kann, wenn der Behälter mindestens halb voll ist (Füllstandschalter *B2* erreicht).

Bei der pulsweiten modulierten Regelung wird ein Zeitintervall (Zykluszeit) festgelegt, in dem der Heizstab prozentual abhängig vom Stellsignal des Reglers ein- bzw. ausgeschaltet wird.

Wenn Sie die Temperaturregelung auf *Auto* stellen, reagiert das An- und Ausschalten des Heizstabs folgendermaßen: Abhängig vom Stellsignal (0 – 100%) wird der Heizstab in dem vorgegebenen Zeitintervall der Pulsweitenmodulation (Zykluszeit) entsprechend prozentual ein- bzw. ausgeschaltet.

Wird bei der Simulation die Pumpe *M4* angeschaltet, dann verhält sich die Simulation so, als wenn sich in der Umwälzleitung ein Kühler befindet. Die Temperatur der Wassers kühlt bei eingeschalteter Pumpe *M4* schneller ab.

Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage durchgeführt.

Der Füllstand betrug 20cm und die Pumpen *M1*, *M2* und *M3* waren ausgeschaltet.

Zunächst soll der Regelkreis prinzipiell bestimmt werden.

**AUFGABE 4.5.1:** Formulieren Sie, was geregelt werden soll, wodurch geregelt wird und welche Störgrößen Einfluss nehmen.

**AUFGABE 4.5.2:** Bestimmen Sie für diesen Regelkreis den Sollwert, den Istwert, das Stellsignal (Stellgröße) und die Störgröße und geben Sie die jeweiligen Einheiten an.

**AUFGABE 4.5.3:** Erstellen Sie einen Signalflussplan (Blockstruktur) für die Temperaturregelung.

**AUFGABE 4.5.6:** Stellen Sie den Regelkreis auf *Hand* und versuchen Sie durch Verstellen des Stellsignals  $y$  eine vorgegebene Solltemperatur zu erreichen.

#### 4.5.1 UNTERSUCHUNG DER TEMPERATURREGELUNG MIT DEM P-REGLER

Untersuchen Sie die Temperaturregelung mit dem P-Regler.

Die folgenden Aufgaben wurden mit der simulierten Anlage und den oben genannten Einstellungen durchgeführt. Die Umwälzpumpe *M4* sei nicht eingeschaltet. Die Zeit für die Pulsweitenmodulation betrage 10s. Der Füllstand sei auf 20cm eingestellt.

**AUFGABE 4.5.7:** Die Regelung sei auf *Hand* gestellt. Die Isttemperatur betrage 20°C, die Solltemperatur sei auf 30°C eingestellt. Stellen Sie die Verstärkung des P-Reglers auf 5 und schalten die Regelung auf *Auto*. Beobachten Sie das Verhalten. Beschreiben Sie das Verhalten der Regelung. Betrachten Sie insbesondere den Zusammenhang zwischen Isttemperatur und Solltemperatur (Istwert und Sollwert).

**AUFGABE 4.5.8:** Erhöhen Sie die Verstärkung des P-Reglers auf 20 und auf 50 und beobachten Sie das Verhalten. Beschreiben Sie das Verhalten der Regelung. Betrachten Sie insbesondere den Zusammenhang zwischen Isttemperatur und Solltemperatur (Istwert und Sollwert).

#### 4.5.2 UNTERSUCHUNG DER TEMPERATURREGELUNG MIT DEM PI-REGLER

Warten Sie bis die Temperatur im Behälter konstant ist (z.B. 20°C). Wenn Sie mit der simulierten Anlage arbeiten, können Sie durch Drücken von *Reset Simulation* die simulierte Anlage in einen definierten Anfangszustand bringen, bei dem die Temperatur im Behälter 20°C beträgt.

Die Pumpe *M4* ist bei den folgenden Aufgaben eingeschaltet und die Kühlleistung auf 50% gestellt. Der Füllstand sei auf 20cm eingestellt.

**AUFGABE 4.5.9:** Stellen Sie eine Verstärkung von 50 und eine Nachstellzeit von 10s ein. Erhöhen Sie den Sollwert von 20°C auf 30°C. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

**AUFGABE 4.5.10:** Verändern Sie die Parameter des PI-Regler und versuchen Sie schneller und ohne Überschwingen auf den Sollwert zu kommen.

#### 4.5.3 UNTERSUCHUNG DER TEMPERATURREGELUNG MIT DEM PID-REGLER

Warten Sie bis die Temperatur im Behälter konstant ist (z.B. 20°C). Wenn Sie mit der simulierten Anlage arbeiten, können Sie durch Drücken von *Reset Simulation* die simulierte Anlage in einen definierten Anfangszustand bringen, bei dem die Temperatur im Behälter 20°C beträgt.

Die Pumpe *M4* ist für die folgenden Aufgaben eingeschaltet und die Kühlleistung auf 50% gestellt. Der Füllstand sei auf 20cm eingestellt.

**AUFGABE 4.5.11:** Stellen Sie folgende Parameter ein: Verstärkung = 50, Nachstellzeit = 10s, Vorhaltezeit = 2s.

Geben Sie einen Sollwertsprung von 20°C auf 30°C vor. Beobachten Sie den

**AUFGABE 4.5.12:** Verändern Sie die Parameter des PID-Reglers und versuchen Sie mit dem Istwert schnell und ohne Überspringen auf den Sollwert zu kommen.

---

#### 4.5.4 UNTERSUCHUNG DER TEMPERATURREGELUNG MIT DEM ZWEIPUNKT-REGLER

Warten Sie bis die Temperatur im Behälter konstant ist (z.B. 20°C). Wenn Sie mit der simulierten Anlage arbeiten, können Sie durch Drücken von *Reset Simulation* die simulierte Anlage in einen definierten Anfangszustand bringen, bei dem die Temperatur im Behälter 20°C beträgt.

Die Pumpe *M4* ist bei der folgenden Aufgabe nicht eingeschaltet. Der Füllstand sei auf 20cm eingestellt.

**AUFGABE 4.5.13:** Wählen Sie 0,2 als Hysterese für den Zweipunkt-Regler und geben Sie einen Sollwertsprung von 20°C auf 30°C vor. Beobachten Sie den Regelkreis und beschreiben Sie sein Verhalten.

#### 4.5.5 REGLEREINSTELLVERFAHREN FÜR TEMPERATURSTRECKEN NACH MÜLLER

Beim Verfahren von Müller wird die Sprungantwort auf einen Stellwertsprung der Strecke untersucht. Hierzu muss sich Ihre Regelstrecke in einem stabilen Arbeitspunkt befinden. Sie müssen den Regler auf *Hand* stellen und das Stellsignal und die Regelgröße dürfen sich nicht mehr ändern. Geben Sie eine sprungartige Änderung des Stellsignals vor und betrachten Sie das Verhalten der Temperaturstrecke.

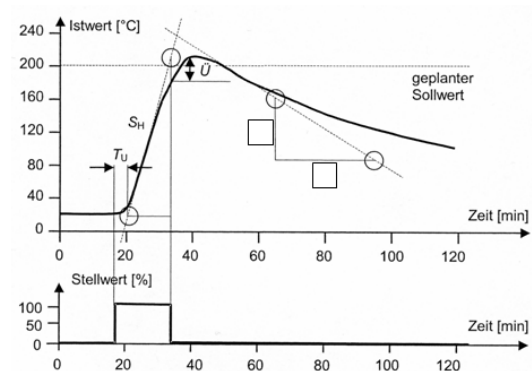
Die Umwälzpumpe *M4* sei ausgeschaltet.

Zum Bestimmen der Reglerparameter werden Verzugszeit  $T_U$  und Steigung  $S_H$  benötigt.

### Methode der maximalen Anstiegsgeschwindigkeit (für Temperatur-Strecken (nach Müller))

Vorgehensweise: Testfunktion = Rechteckfunktion

- I. Ausgangstemperatur der Strecke:  
Raumtemperatur
- II. Stellsprung 100%.
- III. Abwarten, bis  $T$  etwa 10% unter dem geplanten Betriebspunkt liegt
- IV. Reduktion des Stellwertes auf 0%.
- V. Ermittlung der Steigung  $S_H$  aus  $S_H = \Delta x / \Delta t$
- VI. Ermittlung der Reglerparameter gemäß folgender Tabelle



Regler-Typ:	$K_{PR}$	TN	TV
<b>P-Regler</b>	$100 / (S_H \cdot T_U)$		
<b>PI-Regler</b>	$83 / (S_H \cdot T_U)$	$4 \cdot T_U [s]$	
<b>PD-Regler</b>	$120 / (S_H \cdot T_U)$		$0,2 \cdot T_U [s]$
<b>PID-Regler</b>	$220 / (S_H \cdot T_U)$	$2 \cdot T_U [s]$	$0,4 \cdot T_U [s]$

Abbildung 2 Methode der maximalen Anstiegsgeschwindigkeit nach Müller (aus einem Kursus „Regelungstechnik“ von Prof. Hass, Hochschule Furtwangen)

Die Reglerparameter können Sie aus der Einstelltabelle nach Müller mithilfe von  $T_U$  und  $S_H$  errechnen. Im Folgenden wird der alte Bezeichner aus der Abbildung durch den neuen Bezeichner  $T_e$  ( $T_U$ ) ersetzt.

Für unsere Strecke ergibt sich folgendes Verhalten (Abb. 16) auf einen Stellwertsprung.

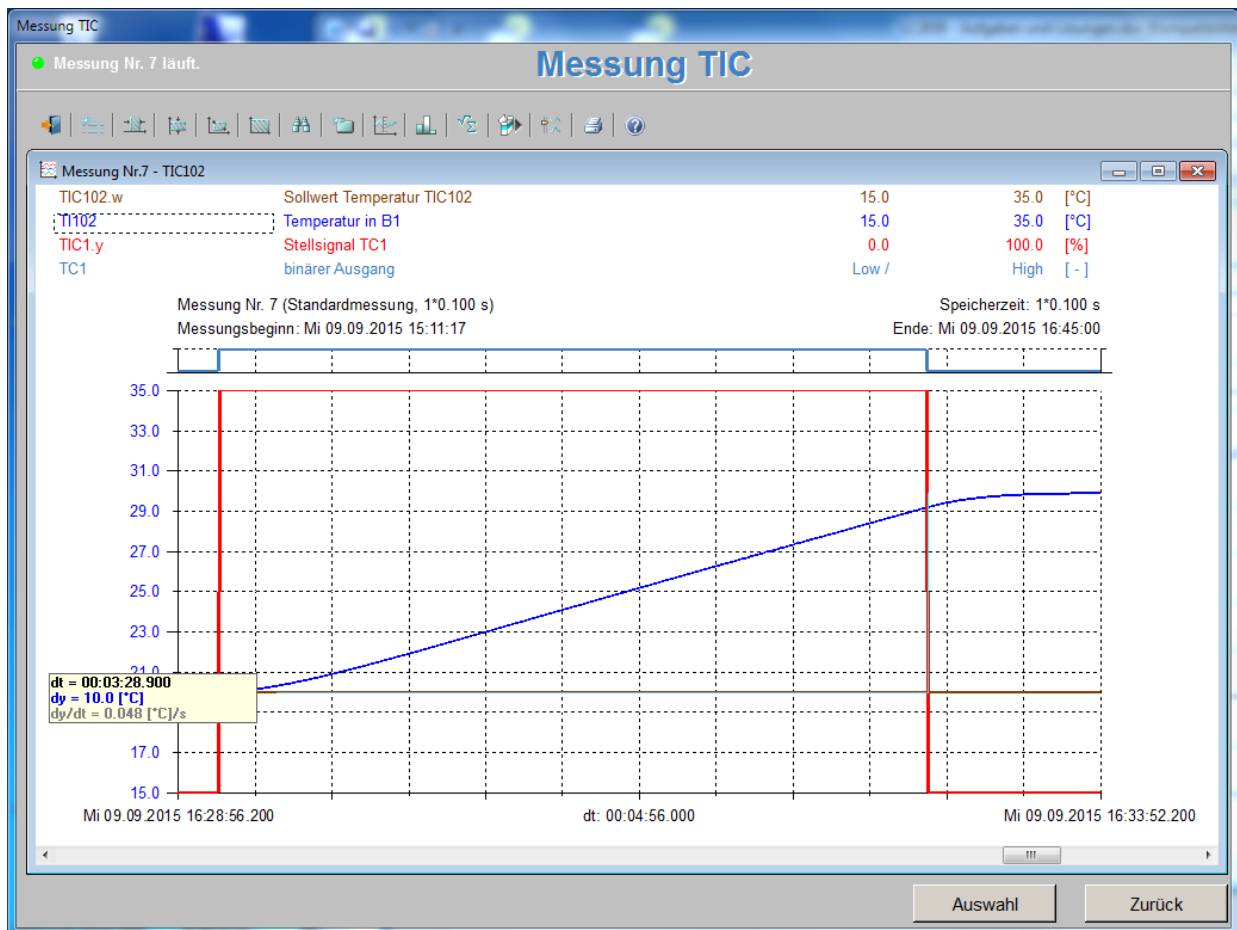


Abb. 16 Streckenantwort zum Bestimmen der Parameter nach Müller

AUFGABE 4.5.14: Berechnen Sie  $T_u$  und  $Sh$ .

AUFGABE 4.5.15: Berechnen Sie die Reglerparameter für den PI-Regler und den PID-Regler aus der Tabelle und untersuchen Sie das Einschwingverhalten.

Die Pumpe *M4* sei ausgeschaltet und der Füllstand auf 20cm eingestellt.

Haben Sie Fragen und Anmerkungen oder wünschen Sie Informationen über unsere weiteren Praktika oder über das Prozessleit- und Simulationssystem WinErs wenden Sie sich bitte an:

Ingenieurbüro Dr.-Ing. Schoop GmbH  
Riechelmannweg 4  
D-21109 Hamburg  
Tel.: 040 / 754 922 30  
[www.schoop.de](http://www.schoop.de)  
Email: [info@schoop.de](mailto:info@schoop.de)