

## Inhalt

- 1. Aufgabe.....1
- 2. Größen, Einheiten, Definitionen.....1
- 3. Grundlagen.....2
  - 3.1. Der Universal-PID-Regler.....2
  - 3.2. Modellbildung der Regelstrecke.....4
  - 3.3. Reglerentwurf mit Einstellregeln.....7
  - 3.4. Die J-BCASE Versuchsumgebung.....8
  - 3.5. Der CDC-2000 Assistent.....9
- 4. Versuchsvorbereitung.....10
  - 4.1. Versuchsbedingungen.....10
  - 4.2. Versuchsprotokoll.....17
- 5. Versuchsdurchführung.....18
  - 5.1. Regelung mit konstanten Rücklauf-Verhältnis.....18
  - 5.2. Regelung mit veränderlichem Rücklauf-Verhältnis.....19
  - 5.3. Regelung mit Messstörungen.....20
- 6. Versuchsauswertung.....21

## Contents

- Scope.....1
- Variables, units, definitions.....1
- Basics.....2
  - The universal PID-controller.....2
  - Modeling the Controlled System.....4
  - Controller design using tuning rules.....7
  - The J-BCASE Test-Environment.....8
  - The CDC-2000 wizard.....9
- Exercise preparation.....10
  - Exercise conditions.....10
  - Exercise protocol.....17
- Exercise performance.....18
  - Control with constant reflux ratio .....18
  - Control with varying reflux ratio .....19
  - Control with measuring noise.....20
- Exercise evaluation.....21

## 1. Aufgabe

Die Aufgabe des Laborversuchs "Stetige Regelung" besteht im Kennenlernen und praktischen Erproben einfacher Regelungsvorgänge mit stetigen Regeleinrichtungen und ihre Einstellung. Die dabei gewählten Beispiele und Aufgabenstellungen wurden bewusst einfach gehalten, um einen gewissen Grad von Vollständigkeit hierbei erzielen zu können.

## Scope

The aim of the exercise 'steady control' is to get knowledge and experience in simple control mechanisms by using steady controller units. The chosen examples and exercise targets have their focus on simplicity and as well on completeness.

## 2. Größen, Einheiten, Definitionen

## Variables, units, definitions

Dargestellte Größe	Zeichen mark	Einheit unit	variable usage
Anzahl der Simulationsschritte	Nstep	-	number of simulation steps
Simulationsschrittweite	$T_s$	s	simulation step size
Volumenstrom	Q		volume flow
Volumenstrom (linearisiert)	q	[Q]	volume flow (linearized)
Füllstand	H	m	filling level
Rücklaufverhältnis	r	-	reflux ratio
Ausfluss Koeffizient	$\varepsilon$	m / [Q] <sup>2</sup>	outflow coefficient
Querschnittsfläche	$A_{sp}$	m <sup>2</sup>	cross-section area

### 3. Grundlagen

Im Folgenden werden nochmals kurz die notwendigen Grundlagen zur Bearbeitung des Laborversuchs dargestellt, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden kann. Bedingt durch den begrenzten Umfang einer Versuchsbeschreibung muss teilweise auf eine vertiefte Darstellungen verzichtet werden, sofern sie nicht unbedingt zur Bearbeitung notwendig ist. Es sei hierfür auf die einschlägige Literatur oder maßgebliche Vorlesungsunterlagen verwiesen.

#### 3.1. Der Universal-PID-Regler

Die Aufgabe eines Reglers besteht darin, merkliche Abweichungen zwischen den Sollwert  $W$  und der Regelgröße  $X$  durch geeignete Wahl einer Stellgröße  $Y$  auszugleichen. Dabei kann die Abbildung (*mathematisch gesehen*) der Regeldifferenz  $X_d$  auf die Stellgröße  $Y$  auf ganz unterschiedliche Weise erfolgen, jedoch hat sich in der industriellen Anwendung der sog. PID-Regler als stetiger Regler weitgehend durchgesetzt.

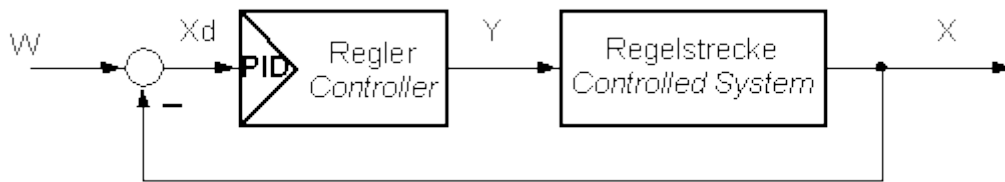


Abb./Fig. 3.1: Das einfache Regelkreis-Schema.  
The simple control system scheme.

Warum dies so ist, oder besser warum andere Konzepte sich nur in Randbereichen etablieren konnten, soll hier nicht näher behandelt werden. Fakt ist, dass der PID-Regler mit seinen drei Komponenten ausreichend robust und doch noch recht einfach zu handhaben ist.

So bewertet der P-Anteil die momentane Abweichung der Regelgröße vom Sollwert, der I-Anteil die zurückliegende (*Vergangenheit*) Situation und der D-Anteil die sich abzeichnenden (*Zukunft*) Vorgänge; so gesehen ein umfassender Ansatz.

Für die Wahl der Parameter eines PID-Reglers ist jedoch zu beachten, dass 'PID' nicht gleich 'PID' ist. Vernachlässigen wir dabei einmal die Tatsache, dass industrielle PID-Regler diverse nichtlineare Elemente beinhalten und dynamisch wirksam werden, oder die Tatsache, dass der D-Anteil eines Reglers als  $DT_1$  realisiert wird, so gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze der Realisierung wie dies in Abb. 3.2 dargestellt ist.

### Basics

In the following we will summarize the basic topics which are necessary to work out this lab exercise. Due to the limited size of this lab documentation we disclaim deeper representations if it is not absolutely necessary for the handling. In case of further interest, please refer to other lecture notes or external literature on system control techniques.

#### The universal PID-controller

The task of a controller consists in compensating for noticeable differences between the set point  $W$  and the control variable  $X$  by a suitable choice of the manipulated variable  $Y$ . The mapping (seen mathematically) of the control difference  $X_d$  can be carried out on the control variable  $Y$  in quite different ways, but only the so-called PID controller has gained acceptance largely in industrial applications.

Why is this, or better why other concepts could establish themselves only in dedicated areas, is not treated here. However fact is, that PID controller with his three components acts sufficiently and robust enough and is still quite simply to handle.

So the P-action judges the short-term difference between the control variable and the set point, the integral action reacts on past situations and the derivative term predicts for future response; all in all a comprehensive approach.

It has to be taken into account for the choice of the parameters of a PID controller that 'PID' isn't 'PID' at once. If we neglect once the fact that industrial PID controllers contain various nonlinear elements and they get dynamically into effect or the fact that the D-action of a controller is realized as  $DT_1$ , then there are two in principle different approaches of the realization as represented in Fig. 3.2 nevertheless.

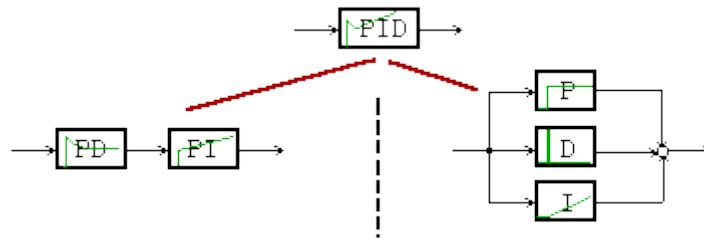


Abb./Fig. 3.2: Die Realisierung von PID-Reglern in Parallel- und Serien-Struktur.  
Implementation of PID controllers in parallel and serial structure.

Wie bekannt, erhält man für die Parallel-Struktur die Übertragungsfunktion zu:

As known one gets the transfer function for the parallel structure:

$$F_{PID}(p) = K_R \left( 1 + T_V p + \frac{1}{T_N p} \right) \quad (3.1)$$

und für die Serien-Struktur:

and for the serial structure:

$$\begin{aligned} F_{PID}^*(p) &= K_R^* (1 + T_V^* p) \cdot \left( 1 + \frac{1}{T_N^* p} \right) \\ &= K_R^* \left( 1 + \frac{T_V^*}{T_N^*} + T_V^* p + \frac{1}{T_N^* p} \right) \end{aligned} \quad (3.2)$$

wenn wir \* als Kennzeichnung der Serien-Struktur verwenden. Führen wir abkürzend  $k^* = (1 + T_V^*/T_N^*)$  ein, so erhalten wir für Gl. 3.2:

when we use \* to mark the serial structure. Introducing the abbreviation  $k^* = (1 + T_V^*/T_N^*)$ , Eqs. 3.2 can be written as:

$$F_{PID}^*(p) = K_R^* k^* \left( 1 + \frac{T_V^*}{k^*} p + \frac{1}{T_N^* k^* p} \right) \quad (3.3)$$

Macht man einen Koeffizientenvergleich zwischen der Parallel-Struktur in Gl. 3.1 und der Serien-Struktur in Gl. 3.3, so erhält man den Zusammenhang der Parameter beider Strukturen zu:

If one compares the coefficients of the parallel structure in Eqs. 3.1 and the serial structure in Eqs. 3.3 we can determine the relation between their parameters in the formulas:

$$K_R = K_R^* \left( 1 + \frac{T_V^*}{T_N^*} \right) \quad ; \quad T_V = \frac{T_V^* T_N^*}{T_V^* + T_N^*} \quad ; \quad T_N = T_V^* + T_N^* \quad (3.4)$$

Für Anwendungen als P-Regler ( $T_N^* = \infty, T_V^* = 0$ ), als PI-Regler ( $T_V^* = 0$ ) oder PD-Regler ( $T_N^* = \infty$ ) zeigen die Gln. 3.4 keinen Unterschied zwischen der Serien- oder Parallel-Struktur des Reglers. Erst beim PID-Einsatz sind die nichtlinearen Zusammenhänge wirksam.

Applying this for a P-controller ( $T_N^* = \infty, T_V^* = 0$ ), a PI-controller ( $T_V^* = 0$ ) or a PD-controller ( $T_N^* = \infty$ ) the Eqs. 3.4 show no difference between the serial and parallel ones. The nonlinear relations are effective only at PID use.

Hat man die Reglerparameter in Serien-Struktur vorliegen, so ist die Bestimmung der Parallel-Struktur-Parameter nach Gln. 3.4 unmittelbar zu berechnen. Ist der umgekehrte Weg notwendig, so sind die Zusammenhänge weitaus schwieriger, mehrdeutig und ggf. nicht realisierbar.

One has the controller parameters in series structure, it's easy to determine the parallel ones out of Eqs. 3.4. If the reversed way is necessary, then the relation is far more difficult, ambiguous and if necessary not realizable.

### 3.2. Modellbildung der Regelstrecke

### Modeling the Controlled System

Bei der Ermittlung geeigneter Reglerparameter ist eine mehr oder weniger gute Kenntnis der zu regelnden Strecke (*auch Prozess genannt*) notwendig.

Betrachtet man sich typische industrielle Anwendungen, so findet man sehr häufig Regelstrecken mit Ausgleich (stabil), die nicht zu Schwingungen neigen (aperiodisch), d.h. ein ausgeprägtes Verzögerungsverhalten aufweisen. Man nennt diese Art auch Verzugs-Regelstrecken oder Verzögerungssysteme.

Solche Strecken zu beschreiben, wird gern das Übergangsverhalten herangezogen, d.h. die Reaktion des Ausgangs der Regelstrecke auf eine sprungförmige Änderung am Eingang.

At the determination of suitable controller parameters a more or less good knowledge of the controlled system (*also called process*) is necessary.

Looking at typical industrial applications one can find very frequently controlled systems with compensation (stable), which don't tend to vibrations (aperiodic), i.e. show a distinctive delay behavior. One also mentions this type as delay controlled systems or shorter delay systems.

In case of describing such systems it's well usual to consult the transition behavior, i.e. the reaction of the output of the controlled system to a stepwise change to its input.

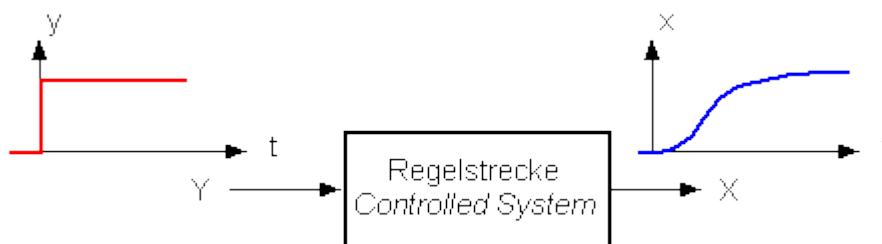


Abb./Fig. 3.3: Das Übergangsverhalten der Regelstrecke.  
The transition response of the controlled system.

Zur Beschreibung dieses Verhaltens ist ein Modell der Regelstrecke nötig, das man entweder durch theoretische Überlegungen (*theoretische Modellbildung*) oder durch praktische Betriebserfahrungen bzw. eigens durchgeführte Versuche (*experimentelle Modellbildung*) ermitteln kann.

For the description of this behavior a model of the controlled system is necessary, which can be evaluated either by theoretical considerations (*theoretical modeling*) or by experimental test (*experimental modeling*) especially.

#### Die theoretische Modellbildung:

Gehen wir einmal davon aus, dass als Ergebnis einer theoretischen Modellbildung das dynamische Verhalten der Regelstrecke durch eine normalerweise nichtlineare Differentialgleichung

$$X(t) = F\left(\frac{dX(t)}{dt}, \frac{d^2X(t)}{dt^2}, \dots, \frac{d^nX(t)}{dt^n}, Y(t)\right) \quad (3.5)$$

beschrieben werden kann, so erhält man aus Gl. 3.5 unter Weglassung aller zeitlichen Ableitungen die Arbeitspunktgleichung zu

#### The theoretical modeling:

Let's assume that the result of a theoretical modeling of the dynamic behavior of a controlled system is usually described by a nonlinear differential equation

then we get from Eqs. 3.5 by eliminating all temporal deviations the operating equation in the form

$$X_0 = F(Y_0) \quad (3.6)$$

Für die weitere Behandlung betrachten wir nur noch kleine Änderungen (x,y) um einen Arbeitspunkt (X<sub>0</sub>,Y<sub>0</sub>), der dem späteren betriebliche Einsatz möglichst nahe kommt. Durch die Einführung dieser Änderungen gemäß

$$\begin{aligned} X(t) &= X_0 + x(t) \\ Y(t) &= Y_0 + y(t) \end{aligned} \quad (3.7)$$

und Einsetzen in Gl. 3.5 erhält man die linearisierte Beschreibung der Regelstrecken-Dynamik zu

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + x = b_0 y \quad (3.8)$$

Diese Differentialgleichung lässt sich nun unmittelbar mit dem Laplace-Operator **p** als Übertragungsfunktion

$$F(p) = \frac{b_0}{1 + a_1 p + \dots + a_n p^n} = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (3.9)$$

darstellen und durch die reellen Eigenwerte bzw. Wurzeln **p<sub>i</sub>** des charakteristischen Polynoms

$$A(p) = 0 \quad (3.10)$$

in die sog. PT<sub>n</sub>-Form (*Verzögerung n-ter Ordnung*)

For further considerations we focus only on small changes (x,y) around a steady operating point (X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>), which should be close enough to later application. This we do by introducing these changes by

and substitute these in Eqs. 3.5, one gets the linearized description of the process dynamic in

Introducing the Laplace operator **p** this differential equation can be directly transformed into the transfer function

and with the real eigenvalues and respectively the roots **p<sub>i</sub>** of the characteristic polynomial

transformed into the so-called PT<sub>n</sub> formula (*delay system of n<sup>th</sup> order*)

$$F(p) = \frac{b_0}{(p-p_1)(p-p_2)\dots(p-p_n)} \quad (3.11)$$

bringen. Für diese Form kennt man das Übergangsverhalten **h(t)** als Reaktion der Regelstrecke auf eine sprungförmige Änderung (*von 0 auf 1*) am Eingang zu

For such systems it's known the transfer response **h(t)** as a reaction of the controlled system to stepwise change (*from 0 to 1*) at its input to

$$h(t) = C_0 + C_1 e^{p_1 t} + \dots + C_n e^{p_n t} \quad (3.12)$$

mit:

with:

$$\begin{aligned} C_0 &= [F(p)]_{p=0} = b_0 \\ C_i &= \left[ \frac{1}{p-p_i} F(p) \right]_{p=p_i}, \quad i=1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.13)$$

Man hat damit die analytische Beschreibung des linearisierten Übergangsverhaltens, das als Ausgangspunkt für die Ermittlung notwendiger Kennwerte dienen kann.

One has the analytical description of the linearized transfer behavior which can serve as a starting point for evaluating necessary characteristics.

### Die experimentelle Modellbildung:

Ist kein theoretisches Modell vorhanden, oder die Erstellung zu aufwendig, stellt man zur Bestimmung des Übergangsverhaltens die Bedingungen aus Abb. 3.3 experimentell nach, d.h. der Streckeneingang wird durch eine möglichst große sprungförmige Änderung von  $Y$  verstellt und die Reaktion  $X$  am Ausgang aufgezeichnet.

Problematisch dabei ist die Festlegung von welchem Wert  $Y_{\text{vor}}$  ausgegangen werden soll und auf welchen Wert  $Y_{\text{nach}}$  sich der Eingang ändern soll.  $Y_{\text{vor}}$  und  $Y_{\text{nach}}$  bestimmen dabei zwei stationäre Betriebspunkte, die dem späteren Einsatz möglichst nahe kommen sollten. Andererseits darf durch den Versuch keine unzulässige Situation in der Regelstrecke auftreten, wie etwaige Grenzüberschreitungen oder Überlastungen. Für die bessere Auswertung sollte zudem noch die Änderung ( $Y_{\text{nach}} - Y_{\text{vor}}$ ) am Eingang möglichst groß sein.

Hat man den Versuch erfolgreich durchgeführt, können in der nachfolgenden Auswertung die erforderlichen Kennwerte ermittelt werden.

Ist eine sprungförmige Verstellung am Eingang nicht möglich (z.B. bei langsamen Ventilen), so reicht eine genügend steile rampenförmige Veränderung des Eingangs aus, sofern diese schnell genug im Vergleich zur Dynamik der Regelstrecke erfolgen kann.

Ist eine solch schnelle Verstellung nicht möglich oder das Streckenverhalten zu schnell, bleibt noch die Möglichkeit nach Abb. 3.4.

### The experimental modeling:

If there is no theoretical model available or the construction is too effortful one puts the conditions of Fig. 3.3 into an experimental environment to record the step response. This is done by a big stepwise change of  $Y$  if possible to get a significant reaction at the output.

Problems might occur in choosing the initial value  $Y_{\text{vor}}$  before the step and the final value  $Y_{\text{nach}}$  afterwards because they correspond to two different operating points which have to be close to later application. On the other hand their might arise restriction in invalid levels of the process reaction. So a compromise must be found in valid test conditions, enough stimulation and representative results.

After the successful completion of the experiment the characteristics needed for later design can be evaluated out of the recorded data.

If a stepwise change at the input is not possible (e.g. for slow reacting valves) one can try to use a sufficient steep ramp whenever it's fast enough in comparison to the process dynamics.

In minor cases, where such an approach isn't acceptable a specialized possibility is given, as indicated in Fig. 3.4.

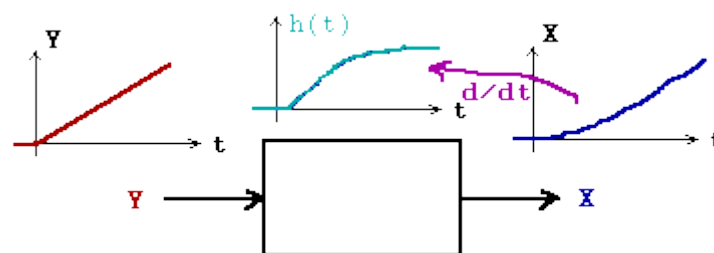


Abb./Fig. 3.4: Das Übergangsverhalten der Regelstrecke bei Anregung mit einer Rampe.  
The transition response of the controlled system for stimulation with a ramp signal.

Hier wird die Regelstrecke bewusst mit einer langsamen, rampenförmigen Verstellung des Eingangs  $Y$  angeregt und die Reaktion  $X$  am Ausgang aufgezeichnet. Man erhält daraus das genäherte Übergangsverhalten, indem die erste zeitliche Ableitung der Reaktion  $X$  berechnet wird, was bei merkwürdig gestörten Messsignalen nicht zu empfehlenswert ist.

Diese Methode basiert allerdings auf der Annahme, dass die Regelstrecke sich annähernd linear verhält.

Within here the process is stimulated by a rather slow ramp signal  $Y$  at the input where the output  $X$  is recorded. To get the desired step response the first temporal derivate has to be calculated with respect to a small noise level on the measured signal. Otherwise results may vary too much for later use.

This method is based on the assumption that the controlled system behaves roughly linearly, though.

### 3.3. Reglerentwurf mit Einstellregeln

### Controller design using tuning rules



Angesichts der Schwierigkeiten, eine geeignete Reglereinstellung für eine gegebene Regelstrecke (*Prozess*) zu ermitteln, gibt es viele Ansätze dies in mehr oder weniger aufwendiger Form durchzuführen, mit leider auch mehr oder weniger zufriedenstellenden Ergebnissen (*Regelverhalten*).

Wir wollen uns hier auf die gebräuchlichste Form beschränken, aus Kennwerten der Regelstrecke über bekannte Einstellregeln die gewünschte Reglereinstellung (*Parameter*) direkt zu ermitteln.

In view of the difficulties of finding a suitable controller setting for a given controlled system (*process*) there are many attempts with results (*control response*) that satisfying unfortunately more or less .

We want to confine ourselves here to the most common form to find the desired controller setting (*parameter*) out directly from characteristic values of the controlled system response by known rules.

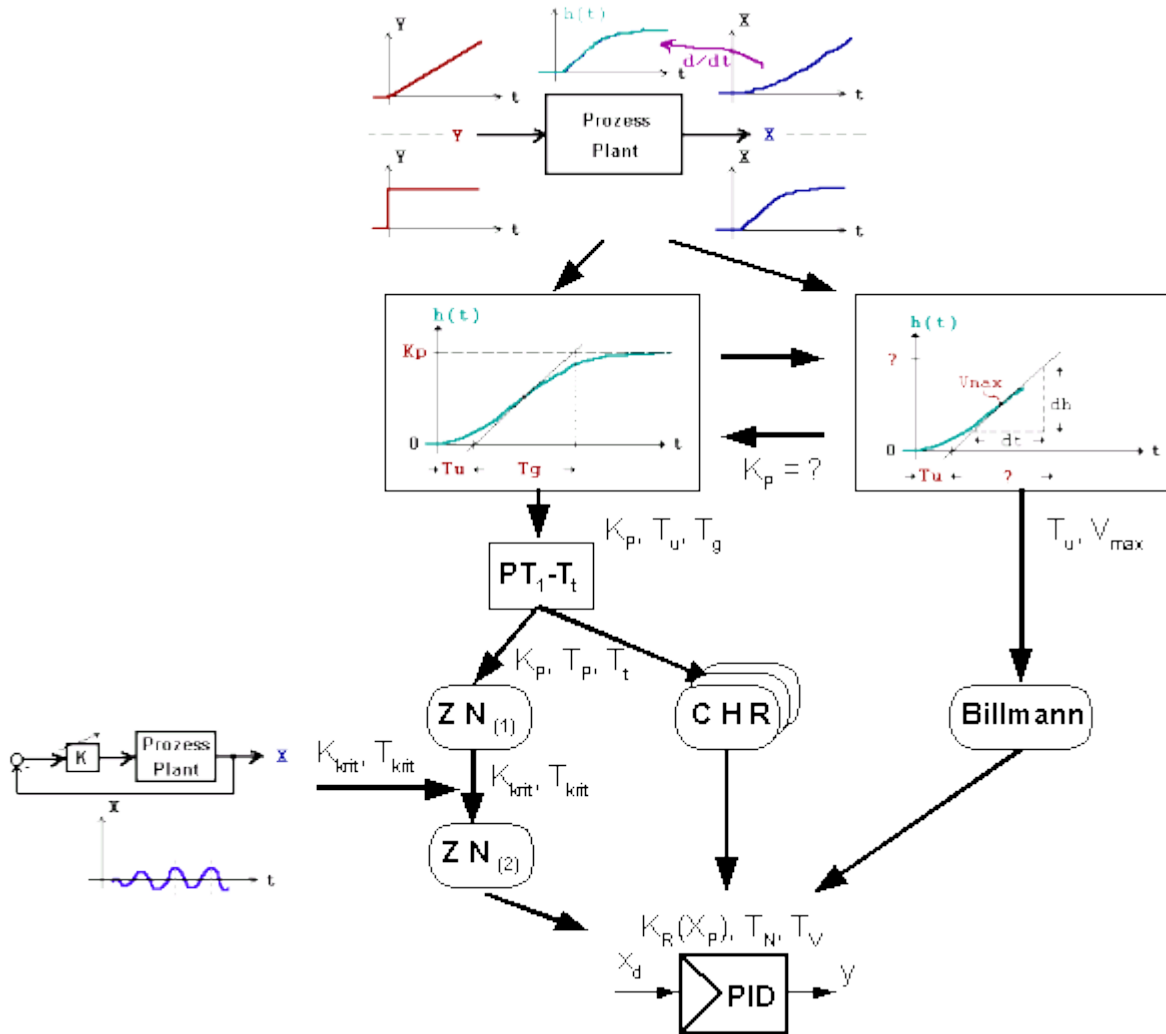


Abb./Fig. 3.5: Die unterschiedlichen Wege vom Prozess-Wissen zur Reglereinstellung.  
 The different approaches from the process knowledge to the controller settings.

Der klassische Weg führt über eine sog.  $T_u/T_g$ -Beschreibung des Übergangsverhaltens der Regelstrecke und deren Näherung durch die Kennwerte eines  $PT_1-T_t$  Systems. Aus diesen Kennwerten ( $K_p$ ,  $T_u$ ,  $T_t$ ) geben unterschiedliche Autoren direkte Formeln zur Bestimmung der Reglerparameter an.

The classic way leads across a so-called  $T_u/T_g$  description of the transition behavior of the controlled system and its approximation by the characteristics of a  $PT_1-T_t$  system. Different authors indicate direct formula from these values ( $K_p$ ,  $T_u$ ,  $T_t$ ) to the setting of the controller parameters.

Als Hauptvertreter sind hier die Regeln nach Ziegler/Nichols (ZN) und Chien/Hrones/Reswick (CHR) zu nennen, die neben verschiedenen Reglerstrukturen eines PID-Reglers (P, PD, PI, PID) auch nach dem Einsatz für Führungsregelung (häufig *ändernde Sollwerte*) oder Festwertregelung (*kaum veränderliche Sollwerte*) unterscheiden.

Eine Sonderstellung nehmen die Einstellregeln nach Ziegler/Nichols ein, die nicht unbedingt das Übergangsverhalten der Regelstrecke benötigen, sondern durch einen Regerversuch mit einem P-Regler im geschlossenen Kreis bis an die Stabilitätsgrenze sich heran tasten. Aus der dabei benutzten Verstärkung des Reglers  $K_{krit}$  und der dabei auftretenden Periodendauer  $T_{krit}$  der entstehenden Dauerschwingung werden unmittelbar Regeln zum Ermitteln der Reglerparameter angegeben. Wesentlicher Nachteil dieser Vorgehensweise ist darin zu sehen, dass für langsame Regelstrecken der Vorgang bis zum Erreichen der Dauerschwingung zu viel Zeit benötigt; also nur für schnelle Regelstrecken geeignet ist.

Eine weitere Sonderstellung haben die Einstellregeln nach Billmann, da diese gerade für langsame Regelstrecken nicht die vollständige Sprungantwort benötigen, sondern diese nur bis zu ihrem Wendepunkt. Aus den daraus bestimmbaren Kennwerten für  $T_u$  und  $V_{max}$  (max. Anstiegsgeschwindigkeit) werden unmittelbar Regeln zur Einstellung angegeben (*man spart hierdurch zwischen 60% und 75% der Versuchszeit!*).

**Anmerkung:** Da man aus dem kürzeren Versuch nicht die Verstärkung der Regelstrecke ermitteln kann, ist für eine evtl. Simulation ein typischer Wert (1...7) anzunehmen. An den Regelparametern ändert sich dadurch aber nichts.

### 3.4. Die J-BCASE Versuchsumgebung

Hierzu sei auf den Versuch „Schaltende Regelung“ verwiesen, in dem bereits die J-BASE Umgebung, als auch deren Bedienung, ausführlich beschrieben wurde.

As the two major players herein we've to mention the methods by Ziegler/Nichols (ZN) and Chien/Hrones/Reswick (CHR), who give a formula for different structures of a PID-controller (P, PD, PI, PID) for use in reference control (*frequent changing set points*) as well as in noise control (*hardly changes in set point*) applications.

A special position take the setting rules by Ziegler/Nichols, which don't need the transition behavior of the controlled system absolutely, but base on a closed loop control test with a P-controller and is tuned close to the stability limit. Knowing the amplification of the controller at stability limit  $K_{krit}$  and the corresponding length of period  $T_{krit}$  of the arising oscillations, the rules show directly determination of the expected controller parameters. Main disadvantage of this method is the waste of time for slowly reacting controlled systems. So it's preferable used for fast systems.

Another special position is taken by the setting rules of Billmann since they only need the step response of the controlled system up to its turning point. This results in much less experimental time effort (*about 60% to 75% less!*) and is therefore predestined to slow systems. Evaluating the characteristics  $T_u$  and  $V_{max}$  from the response, the rules directly determine the corresponding controller parameters.

**Remark:** Since one cannot find the amplification of the controlled system out from the shorter test, a typical value (1...7) has to be assumed for a possible simulation. At the rule parameters, however, nothing changes through this.

### The J-BCASE Test-Environment

For this, reference is given to the lab experiment “switching control”, where detailed descriptions of the J-BCASE environment as well as its operating interface can be found.



### 3.5. Der CDC-2000 Assistent

Bei dem vorliegenden Control-Design-Center handelt es sich um ein Werkzeug zur Einstellung von Reglern für die zunächst einmal häufigste Anwendung der Verzugs-Regelstrecken.

Da es sowohl für Regelstrecken unterschiedliche Beschreibungsformen gibt, als auch beim Reglerentwurf die verschiedensten Einstellregeln zur Anwendung kommen, werden die gebräuchlichsten Verfahren hier behandelt.

Die PID-Reglerstruktur ist für P, PI, PD oder PID wählbar und es wird auch auf die unterschiedliche Realisierung als serieller oder paralleler PID-Regler eingegangen.

#### Schritt 1: Streckenvorgabe

Die Vorgabe der Regelstrecke kann in einer der vier möglichen Beschreibungsformen erfolgen. Die Umrechnung in die anderen Beschreibungsformen erfolgt nach einem Klick auf den entsprechenden „Enter“-Button automatisch.

### The CDC-2000 wizard

The Control-Design-Center on hand is a tool for setting controller parameters for the most frequent type of application the delay controlled systems.

Since there are different description forms for controlled systems and also many different setting rules coming to application, the most common procedures are treated here.

Due to the possibilities of a PID-controller all structures like P, PI, PD or PID can be chosen and furthermore serial and parallel realization on PID is taken into account.

#### Step 1: Process definition

The initial definition of the controlled system can be carried out in one of the four possible description forms. The conversion in the other description forms is carried out after a click on the corresponding "Enter" button automatically.

Abb./Fig. 3.6: Die Bedienoberfläche bei der Streckenvorgabe.  
The user interface during process definition.

Die Angabe einer angenommenen Verstärkung  $K_p$  in der  $T_u/V_{max}$ -Beschreibung ist nur optional und nur für die spätere Darstellung der Regelverläufe notwendig.

The detail of a suggested amplification  $K_p$  in the  $T_u/V_{max}$  description is only optional and necessary only for the later representation of the control courses.

#### Schritt 2: Reglerentwurf

Der Entwurf der Reglerparameter erfolgt durch Auswahl der gewünschten Einstellregel und Reglerstruktur. Die Parameter werden für alle Reglerstrukturen und Realisierungsformen automatisch ermittelt. Welche man konkret verwendet, ist Sache des Anwenders.

#### Step 2: Controller design

The design of the controller parameters is made by selection of the desired setting rule and controller structure. The parameters are found out automatically for all controller structures and realization forms. Which ones one concrete uses, is up to the user.

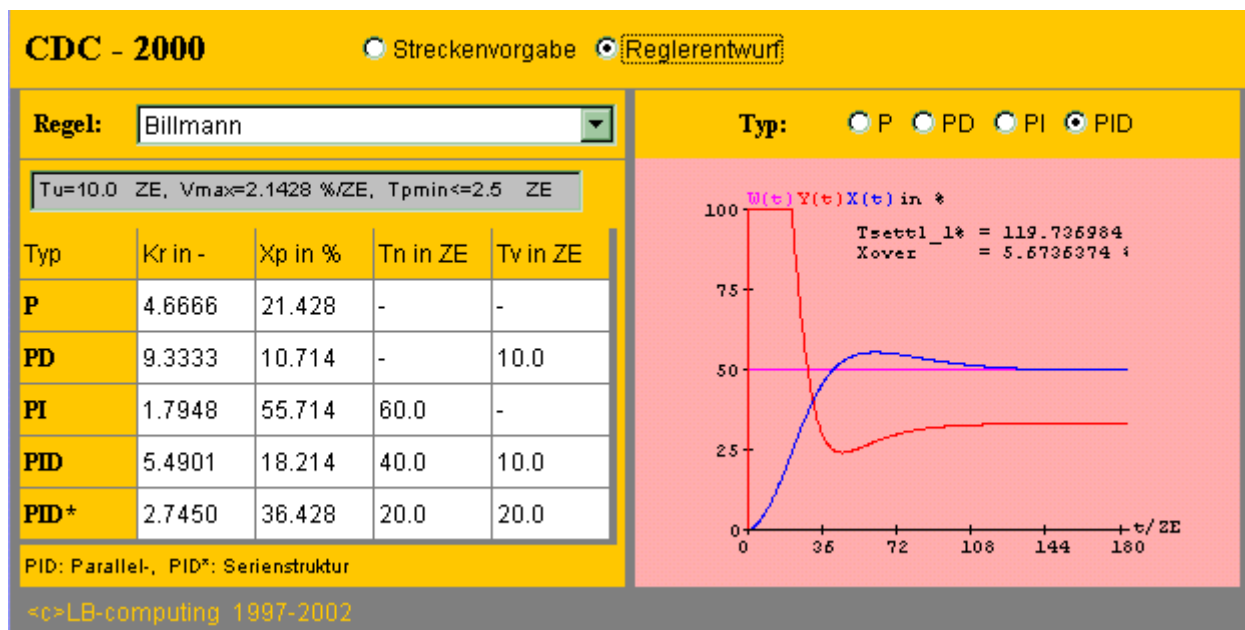


Abb./Fig. 3.7: Die Bedienoberfläche beim Reglerentwurf.  
 The user interface during controller design.

## 4. Versuchsvorbereitung

Bevor wir uns auf die einzelnen Versuche stürzen, seien hier zunächst die Versuchsgegebenheiten etwas näher beschrieben, insbesondere die Dynamik der Regelstrecke. Darüber hinaus wird ein Vorschlag beschrieben, wie die Versuchsergebnisse geeignet zu dokumentieren sind und auf was man dabei achten sollte.

### 4.1. Versuchsbedingungen

Schwerpunkte der Versuche sind die Regelung des Durchflusses und die Auslegung eines geeigneten PID-Reglers für eine Rührkessel-Anordnung, die sich durch nichtlineares Verhalten und eine Dynamik höherer Ordnung auszeichnet. Wir werden dazu zunächst eine vereinfachte Betrachtung für einen einzelnen Rührkessel anstellen, um dann die Versuchsanordnung mit zwei gekoppelten Rührkesseln einfacher ableiten zu können.

#### Der Einzel-Rührkessel:

Betrachten wir zunächst die vereinfachte Anordnung nach Abb. 4.1 eines Rührkessels mit zwei Produkt-Zuflüssen ( $Q_{e1}$ ,  $Q_{e2}$ ) und einem Abfluss ( $Q_a$ ), der sich unmittelbar aus dem statischen Druck der Füllhöhe ( $H$ ) bestimmt.

## Exercise preparation

Before we go into detail with the several test equipments, here the attempt conditions are somewhat closer described, in particular the dynamic used for our experimental process. Beyond that a suggestion is described, how the test results can be documented suitably and hints are given on which one should be payed attention.

### Exercise conditions

Main emphases of the tests are the control of the flow and the design (parameter setting) of a suitable PID controller for a mixing boiler which stands out for nonlinear behavior and a dynamics of higher order.

At first we will make a simplified consideration for a single mixing boiler to this before we switch over to the more complex case of two coupled mixing boilers.

#### The single mixing boiler:

At first we view the simplified system of Fig. 4.1 of a single mixing boiler with the two product influxes ( $Q_{e1}$ ,  $Q_{e2}$ ) and a drain ( $Q_a$ ) which immediately determines itself from the static pressure of the level ( $H$ ).

Wir beschränken uns hierbei lediglich auf die Behandlung der Stoffströme (*Volumenbilanz*), d.h. Konzentration, chemische Reaktionen oder thermische Effekte bleiben hier vereinfachend unbeachtet.

We confine ourselves to the treatment of the material flows (volume balance), i.e. concentration merely, chemical reactions, or thermal effects remain here unnoticed for simplicity.

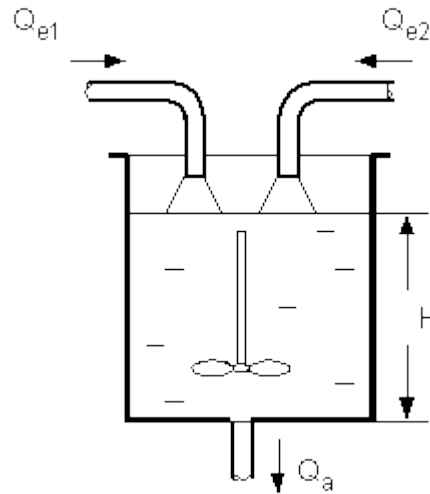


Abb./Fig. 4.1: Anlagenskizze für einen Einzel-Rührkessel.  
Plant scheme of a single mixing boiler.

Beschränken wir uns auf die Volumenbilanz, so ist die zeitliche Änderung des im Behälter vorhandenen Volumens  $V_{sp}$  durch die Differenz aus Zu- und Abfluss bestimmt.

We confine ourselves to the volume balance then the temporal change of the product volume  $V_{sp}$  in the boiler determines by the difference from influx and drain flow.

$$\frac{dV_{sp}}{dt} = Q_{e1} + Q_{e2} - Q_a \quad (4.1)$$

mit der Querschnittsfläche  $A_{sp}$  gilt dann

with the cross-section area  $A_{sp}$  is valid

$$V_{sp} = A_{sp} \cdot H$$

und wir erhalten

and we get

$$A_{sp} \frac{dH}{dt} = Q_{e1} + Q_{e2} - Q_a \quad (4.2)$$

Da der Abfluss durch den statischen Druck bestimmt wird gilt

with the cross-section area  $A_{sp}$  is valid

$$Q_a \sim \sqrt{H}$$

und damit der Zusammenhang

and together with the relation

$$H = \epsilon \cdot Q_a^2$$

mit dem Ausfluss Koeffizienten  $\epsilon$ . Einsetzen in Gl. 4.2 liefert dann

with the outflow coefficient  $\epsilon$ . Inserting this in Eqs. 4.2 leads finally to

$$A_{sp} \epsilon \frac{dQ_a^2}{dt} + Q_a = Q_{e1} + Q_{e2} \quad (4.3)$$

Es handelt sich um eine nichtlineare DGL 1. Ordnung mit den beiden Zuflüssen als Eingangssignale und dem Abfluss als Ausgangssignal.

Setzen wir diese um, so erhalten wir den nichtlinearen Signalflussplan zu:

It is a nonlinear DE of 1<sup>st</sup> order with the both inlet flows as inputs and the outlet flow as output.

Converting this, we get the nonlinear signal function plan in the form:

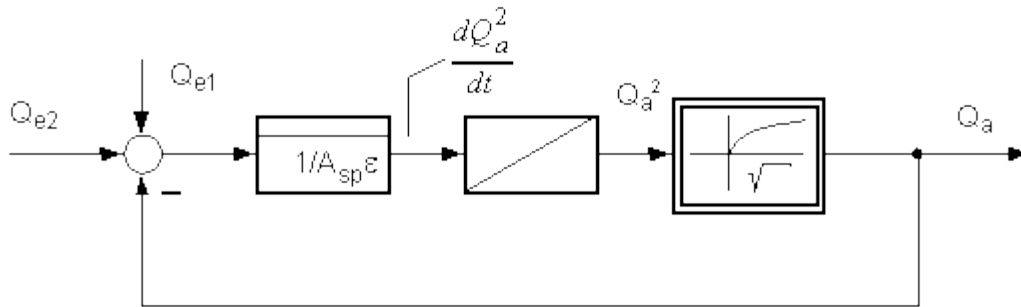


Fig./Abb. 4.2: Signalflussplan der Volumenbilanz des Einzel-Rührkessels.  
Signal flow plan of the volume balance for the single mixing boiler.

Um das Regelverhalten besser zu verstehen, und mit unseren bekannten Mitteln der linearen Signaltheorie weiter bearbeiten zu können, führen wir eine Linearisierung der Gl. 4.3 durch. Hierzu ersetzen wir in der Gleichung die Ein- und Ausgangsgrößen durch die Summe aus einem konstanten Anteil (*Betriebspunkt*) und eine kleine Änderung um diesen.

Mit

For better understanding of the control behavior and to prepare for further methods of the well known linear signal theory, we've to linearize Eqs. 4.3 first. Doing so we substitute each input and output variable in the equation by superposition of a steady-state value (operating point) and a small change around this.

With

$$\begin{aligned} Q_{e1} &= Q_{e10} + q_{e1} \\ Q_{e2} &= Q_{e20} + q_{e2} \\ Q_a &= Q_{a0} + q_a \end{aligned} \quad (4.4)$$

erhalten wir

we get

$$A_{sp} \epsilon \frac{d(Q_{a0} + q_a)^2}{dt} + Q_{a0} + q_a = Q_{e10} + q_{e1} + Q_{e20} + q_{e2} \quad (4.5)$$

Beachten wir, dass zeitliche Ableitungen von konstanten Betriebspunktgrößen Null ergeben und kleine Änderungen höherer Ordnung näherungsweise zu Null angenommen werden, erhalten wir

Taking into account that derivative to time of steady operating point variables are zero and small changes of higher degree can be assumed as negligible, we get

$$2 A_{sp} \epsilon Q_{a0} \frac{dq_a}{dt} + Q_{a0} + q_a = Q_{e10} + q_{e1} + Q_{e20} + q_{e2} \quad (4.6)$$

Mit der stationären Lösung von Gl. 4.3, der sog. Betriebspunktgleichung

Using the steady solution of Eqs. 4.3, the so called operating point equation

$$Q_{a0} = Q_{e10} + Q_{e20} \quad (4.7)$$

lässt sich Gl. 4.6 vereinfachen zu der linearen DGL 1. Ordnung:

we can simplify Eqs. 4.6 into a linear DE of 1<sup>st</sup> order:

$$2 A_{sp} \epsilon Q_{a0} \frac{dq_a}{dt} + q_a = q_{e1} + q_{e2} \quad (4.8)$$

Es handelt sich demnach um ein sog. PT1-Verhalten mit der Verstärkung 1 und einer Betriebspunkt abhängigen Zeitkonstanten, wie in dem linearen Signalfussplan dargestellt.

This represents a typical proportional delayed PT1 behavior with amplification of 1 and a operating point dependent time constant, as shown in the signal flow plan below.

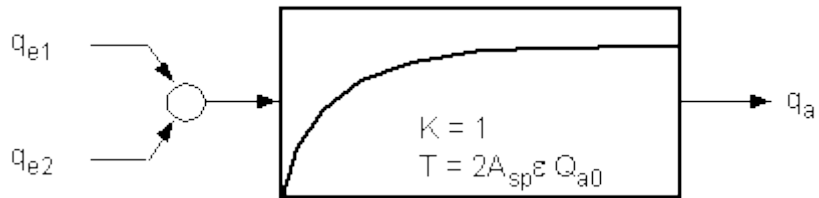


Abb./Fig. 4.3: Signalfussplan der linearisierten Volumenbilanz des Einzel-Rührkessels.  
Signal flow plan of the linearized volume balance for the single mixing boiler.

**Vertiefung:** Während Abb. 4.3 sich nur mit den sog. „Kleinsignalen“, also den kleinen Änderungen um einen Betriebspunkt, beschäftigt und Abb. 4.2 die „Großsignale“, in ihrem nichtlinearen Zusammenhang beschreibt, stellt die Darstellung in Abb. 4.4 eine Näherung des Großsignal-Verhaltens durch Überlagerung einer einfachen Linearisierung mit den stationären Zusammenhängen dar.

**In detail:** While Fig. 4.3 only deals with the so called "small signals", namely the small changes around an operating point, and Fig. 4.2 describes the nonlinear interaction of the "large signals", Fig. 4.4 represents an approximated behavior of the large signals using simple linearization and superposed steady state condition.

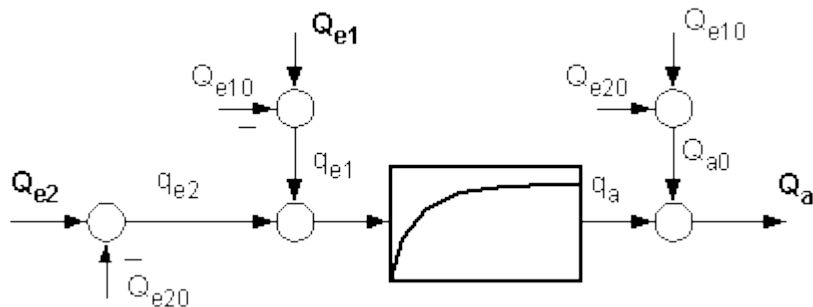


Abb./Fig. 4.4: Signalfussplan der linearisierten Volumenbilanz des Einzel-Rührkessels.  
Signal flow plan of the linearized volume balance for the single mixing boiler.

### Der Doppel-Rührkessel mit Rückführung:

Die eigentliche Versuchsanordnung, wie sie in Abb. 4.5 dargestellt ist, stellt eine Kaskade zweier Rührkessel dar, die mit einem wählbaren Rücklaufverhältnis  $r$  ausgestattet ist.

### The double mixing boiler with reflux:

The actually experimental arrangement, as represented in Fig. 4.5, shows two mixing boilers in a cascade completed with an eligible reflux ratio  $r$ .

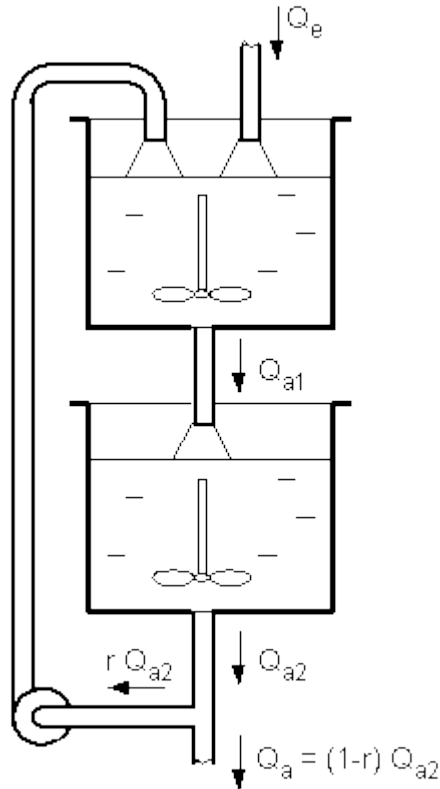


Abb./Fig. 4.5: Anlagenskizze für einen Doppel-Rührkessel mit Rückführung.  
Plant scheme of a double mixing boiler with reflux.

Aus der Anlagenskizze sind direkt die Zusammenhänge für den stationären Zustand, die sog. Betriebspunktgleichung, angebar; wir erhalten

Out of the plant scheme we can directly determine the steady-state relations, the so called operating equations we get by

$$\begin{aligned}
 Q_{a10} &= Q_{e0} + r_0 Q_{a20} \\
 Q_{a20} &= Q_{a10} \\
 &= Q_{e0} + r_0 Q_{a20} \\
 (1 - r_0) Q_{a20} &= Q_{e0} \\
 Q_{a20} &= \frac{1}{1 - r_0} Q_{e0} \quad , \quad 0 \leq r_0 < 1 \quad !!
 \end{aligned}$$

und schließlich den erwarteten Zusammenhang zu: and finally the expected relation to:

$$\boxed{Q_{a0} = (1 - r_0) Q_{a20} = Q_{e0}} \quad (4.9)$$

Für das instationäre Verhalten könnten wir nun die Gl. 4.3 für beide Behälter anwenden und zu zwei gekoppelten nichtlinearen DGL's erster Ordnung gelangen. Wir gehen hier aber den einfacheren Weg über den Signalflussplan nach Abb. 4.2, den wir in zweifacher Ausfertigung für die gegebene Anordnung verschalten.

In order to get the non steady behavior we could apply Eqs. 4.3 for both boilers to get two nonlinear coupled DE's of first order. In contrast to this we go the more easy way using the signal flow plan of Fig. 4.2, which we use twice for our given plant scheme.



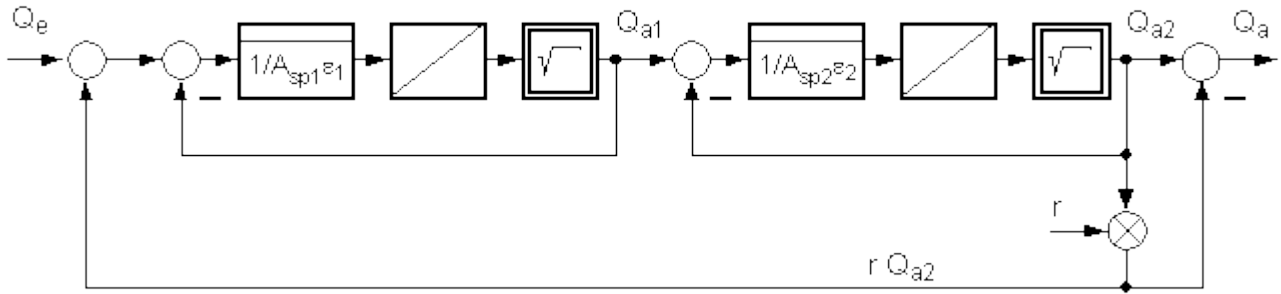


Abb./Fig. 4.6: Signalfussplan der Volumenbilanz des Doppel-Rührkessels mit Rückführung.  
Signal flow plan of the volume balance for the double mixing boiler with reflux.

Gehen wir ganz analog dazu wiederum von Abb. 4.3 aus, so erhalten wir die linearisierte Beschreibung des dynamischen Verhaltens der Volumenströme.

Starting again out quite comparable to this out from Fig. 4.3, so we receive the linearized description of the dynamic behavior of the volume flows in our plant.

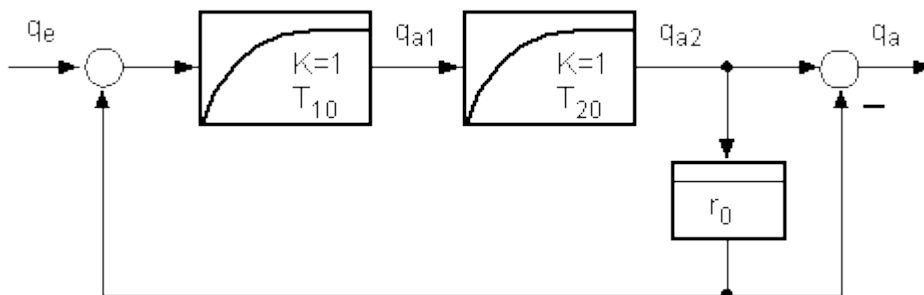


Abb./Fig. 4.7: Signalfussplan der linearisierten Volumenbilanz des Doppel-Rührkessels mit Rückführung.  
Signal flow plan of the linearized volume balance for the double mixing boiler with reflux.

Die beiden Zeitkonstanten bestimmen sich dann zu: Whereas the both time constants are determined by:

$$\begin{aligned}
 T_{10} &= 2 A_{sp1} \epsilon_1 Q_{a10} = 2 A_{sp1} \epsilon_1 \frac{1}{1-r_0} Q_{e0} \\
 T_{20} &= 2 A_{sp2} \epsilon_2 Q_{a20} = 2 A_{sp2} \epsilon_2 \frac{1}{1-r_0} Q_{e0}
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

Da es sich bei dem Signalfussplan um zwei hintereinander geschaltete PT1-Systeme handelt, die aber über eine Mitkopplung (*Rückführung hat positives Vorzeichen*) verschaltet sind, fassen wir die Verschaltung zunächst zusammen

Since the signal flow plan shows two PT1 systems in series, which are interconnected by a positive feedback, we've to combine this structure for further interpretations first into

$$\begin{aligned}
 \frac{q_{a2}(p)}{q_e(p)} &= \frac{1}{1+T_{10}p} \frac{1}{1+T_{20}p} \\
 &= \frac{1}{1 - \frac{1}{1+T_{10}p} \frac{1}{1+T_{20}p} r_0} = \frac{1}{(1+T_{10}p)(1+T_{20}p) - r_0} \\
 &= \frac{1}{1-r_0 + (T_{10}+T_{20})p + T_{10}T_{20}p^2}
 \end{aligned}$$

und damit mit

and ahead with

$$q_a = (1-r_0)q_{a2}$$

für den Ausgangs-Volumenstrom

we get for the outlet volume flow

$$\frac{q_a(p)}{q_e(p)} = \frac{1-r_0}{1-r_0 + (T_{10}+T_{20})p + T_{10}T_{20}p^2}$$

$$\boxed{\frac{q_a(p)}{q_e(p)} = \frac{1}{1 + \frac{T_{10}+T_{20}}{1-r_0}p + \frac{T_{10}T_{20}}{1-r_0}p^2}, \quad 0 \leq r_0 < 1} \quad (4.11)$$

Wie zu erkennen ist, handelt es sich bei Dynamik kleiner Änderungen um einen Betriebspunkt der Volumenbilanz um ein PT2-Verhalten mit der Verstärkung 1 und den beiden Zeitkonstanten, die sowohl vom Betriebspunkt als auch vom Rücklaufverhältnis abhängen.

Ob es sich dabei um aperiodisches (ohne Schwingungen) Verhalten handelt lässt sich aus der Lage der Pole ermitteln.

As we can see from the transfer function of small changes around the operating point, it shows a typical PT2-behavior with an amplification of 1 and two time constants, which depend not only on the operating point but also on the reflux ratio.

If their's an aperiodic (no oscillations) response or not can be determined by the pole locations.

$$1 + \frac{T_{10}+T_{20}}{1-r_0}p + \frac{T_{10}T_{20}}{1-r_0}p^2 = 0$$

$$p^2 + \frac{T_{10}+T_{20}}{T_{10}T_{20}}p + \frac{1-r_0}{T_{10}T_{20}} = 0 \quad (4.12)$$

$$p_{1,2} = -\frac{T_{10}+T_{20}}{2T_{10}T_{20}} \pm \sqrt{\left(\frac{T_{10}+T_{20}}{2T_{10}T_{20}}\right)^2 - \frac{1-r_0}{T_{10}T_{20}}}$$

Da die Pole (Wurzeln) reell sind und negativ, handelt es sich um ein stabiles, aperiodischen Verhalten der Regelstrecke.

Cause the poles (roots) are real and negative, we consider a stable and aperiodic behavior of our controlled system.

Bezüglich der Regelbarkeit des Volumenstroms gibt Abb. 4.8 einen ersten Eindruck für einen PI-Regler mit zwei unterschiedlichen Parameter-Einstellungen. Mit dem einfachen Nyquist-Kriterium lässt sich bereits aus den Detaildarstellungen des Diagramms die unterschiedlichen Verläufe im Bezug zum kritischen Punkt -1 erkennen. Zusätzlich ist jeweils noch die Sprungantwort der Führungsübertragungsfunktion angegeben, die die Nyquist-Aussage untermauert.

According the aspect of controllability, Fig. 4.8 gives a draft impression for using a PI-controller to control the outlet flow for the plant. This is done by simple Nyquist criterion, whereas the plot shows in the detailed areas the crossing of the critical point -1 for a stable and an unstable parameter setting of the controller. In addition there's given the step response of the reference transfer function respectively that underlines the suggestions out of the Nyquist analysis.

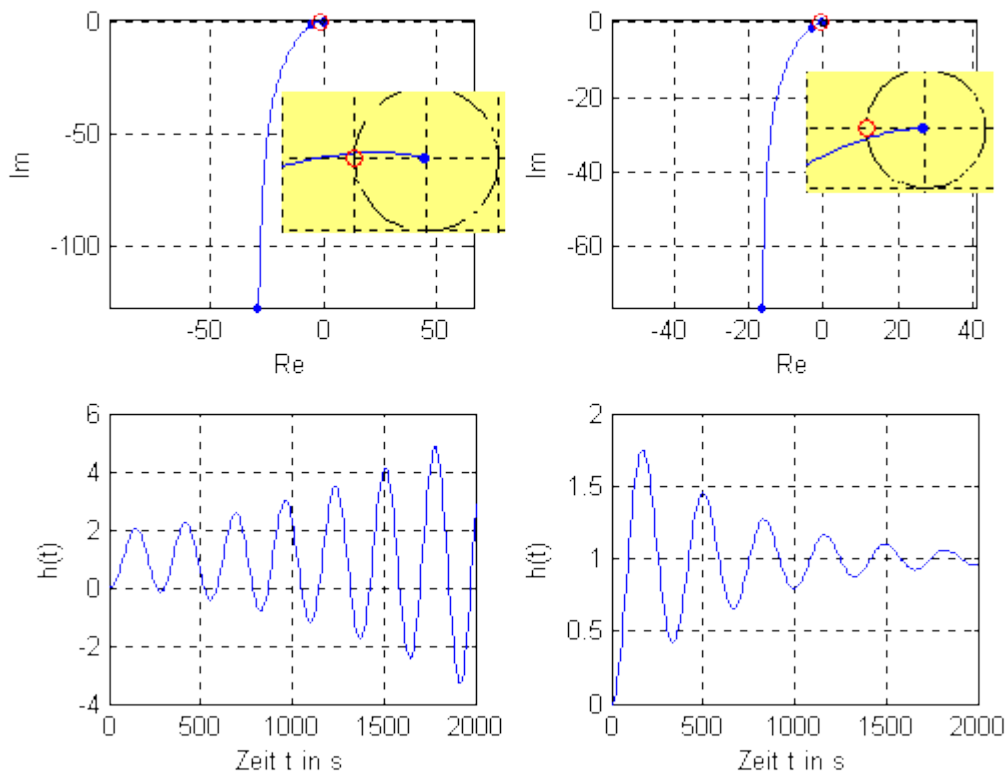


Abb./Fig. 4.8: Nyquist-Diagramm des offenen Kreises für einen PI-Regler mit stabiler und instabiler Parametrierung zur Regelung des Doppel-Rührkessels mit Rückführung.  
*Nyquist plot of the open loop for a PI-controller with stable and unstable parameter setting to control the double mixing boiler with reflux.*

## 4.2. Versuchsprotokoll

Das Versuchsprotokoll stellt die Basis des später zu erstellenden Versuchsberichts dar und ist eine Mitschrift über Randbedingungen und Ergebnisse mehrerer Teilversuche.

Da die Versuche am Rechner durchgeführt werden, empfiehlt sich das zu verwendende Textprogramm für das Protokoll parallel auszuführen, um eine aktuelle Mitschrift des Versuchsablaufs zu gewährleisten. Einige Angabe kann man auch direkt mittels Cut/Paste aus der Versuchsvorschrift übernehmen, ergänzen oder auf die besonderen Bedürfnisse anpassen. Versuchsergebnisse (z.B.: Grafiken) lassen sich am besten per Hardcopy in das Textprogramm übernehmen, indem man sie auf die interessierenden Bereiche zuschneidet und ggf. mit Text ergänzt.

## Exercise protocol

The exercise protocol represents the logging of several test conditions and test results will be the basis for the later on written lab-practice report.

Since the experiments are handled at the computer it's recommended to start your text program in parallel to simply switchover between testing and logging. Some one can take over specifications out of this practice documentation or results by cut and paste function using the clipboard of the computer. Graphic results, like signal charts a applet, can be easily copied by hard-copy function of the computer and fitting them to interested areas by the text program or a individual graphic program.

## 5. Versuchsdurchführung

## Exercise performance

### 5.1. Regelung mit konstanten Rücklauf-Verhältnis

### Control with constant reflux ratio

Gegeben ist die Versuchsanordnungen nach Abb. 4.5 des Doppel-Rührkessels mit Rückführung, dessen Ausgangs-Volumenstrom  $Q_a$  mit einem stetigen Regler geregelt werden soll. Als Stellgröße dient dazu der Zulauf-Volumenstrom  $Q_e$ , während das Rücklaufverhältnis  $r$  (wenn Änderungen überhaupt) eine Störgröße darstellt.

Given is the test environment according Fig. 4.5 of a double mixing boiler with reflux whose outlet volume flow  $Q_a$  is to be controlled by a steady PID controller. The inlet flow  $Q_e$  is used as manipulated variable whereas the reflux ratio  $r$  (if changes at all) acts as a disturbance.



#### BCASE-D Setup:

- ▶ Zum Laden der Versuchsumgebung klicke man im „Experiments“-Bereich zunächst auf J-BCASE, um die Framework-Seite zu starten. Von diesem aus starte man das Simulationsprogramm BCASE-D und das Darstellungsprogramm BCASE-P.
- ▶ Die benötigte Versuchsumgebung erhalten wir über den Menüpunkt „File-->Examples-->Double Mixing Boiler“. Wir erkennen den Regelkreis mit dem stetigen PID-Regler und die Regelstrecke (PROCESS) als unterlagertem Teilsystem (*betreten mit Rechts-Klick, verlassen mit ESC*). Weiterhin ist der SIGCHART-Block erkennbar, der die Signalverläufe über 400 Simulationsschritte darstellen kann, sowie der vcl4-Block, der die Signale in einer Datei vcl4.xml speichert, um sie dann genauer mit dem Darstellungsprogramm BCASE-P anzuzeigen.
- ▶ Über den Menüpunkt „Sim/Debug-->Setup...“ stelle man die Schrittweite  $T_s=6s$  und die Anzahl der Simulationsschritte  $N_{step}=400$  ein.

#### BCASE-D Setup:

- ▶ To load the test environment just click on the J-BCASE link in the “Experiments” section, to get the desired framework page. From there start the simulation program BCASE-D and the signal representation program BCASE-P.
- ▶ We get the needed test environment via the menu “File-->Examples-->Double Mixing Boiler”. We recognize there the control system with the steady PID-controller and the controlled system (PROCESS) as an underlying subsystem (*enter with right click, exit with ESC*). Furthermore the SIGCHART block is recognizable which can represent the signal courses for 400 simulation steps as well as which the vcl4-block to store them additionally into the file vcl4.xml for detailed representation by the BCASE-P program afterwards.
- ▶ Via the menu “Sim/Debug-->Setup...” we've to set the simulation step size  $T_s=6s$  and the number of simulation steps  $N_{step}=400$ .

### Versuchsläufe:

- ▶ Da der Regler sich im Hand-Betrieb befindet ( $L_{hand}=1$ ), ist der Regelkreis nicht geschlossen und der Regler gibt als Stellgröße  $Y$  den Handwert ( $Y_{hand}$ ) aus. Aus einem Simulationslauf (Menü „Sim/Debug-->Simulate“) erkennt man, dass ein stationärer Betriebspunkt von  $Y=Q_{e0}=Q_{a0}=20\%$  zu jedem Beginn einer Simulation vorliegen wird.
- ▶ Man nehme die Sprungantwort für einen Sprung von  $Y=20\%$  auf  $Y=40\%$  auf, indem man  $Y_{hand}=40$  einstellt und simuliert. Mit BCASE-P die Signale darstellen und mit der Wendetangente die Kennwerte  $K_p$  (*kennen wir mit 1*),  $T_U$  und  $T_G$  grafisch ermittelt (*BCASE-P auf maximale Fenstergröße, Lineal anlegen und mit Scan die Zeiten ermitteln*).
- ▶ Man wiederhole dies nochmals für Sprünge von 20% auf 60% und 20% auf 80% und vergleiche die ermittelten Kennwerte. Womit lassen sich ihre Unterschiede erklären ?
- ▶ Man ermittle mit dem CDC-Assistenten die jeweiligen (*für alle drei Sprunghöhen*) Parameter eines PID-Reglers ( $X_p$ ,  $T_n$ ,  $T_v$ ) in Parallelstruktur mit den Einstellregeln nach Chien/Hrones/Reswick für Führungsregelung ohne Überschwingen und notiere auch die Angaben über die zu erwartende Anregelzeit ( $T_{settle}$ ) auf 1% und die Überschwingweite ( $X_{over}$ ).
- ▶ Man führe einen Regelversuch für einen Sollwert ( $Q_{a_soll}$ ) von 40% durch. Hierzu schalten man den Regler in Automatikbetrieb ( $L_{hand}=0$ ), wähle den geeignetsten ermittelten Regler-Parametersatz aus und geben diesen am Regler ein, bevor die Simulation erneut gestartet wird. Die Wahl des Parametersatzes ist zu begründen.
- ▶ Mit der gleichen Reglereinstellung wiederhole man dies für Sollwerte von 60% und 80% und vergleiche die Regel-Ergebnisse. Haben sich die Erwartungen bzgl. der Anregelzeit und der Überschwingweite bestätigt ?

## 5.2. Regelung mit veränderlichem Rücklauf-Verhältnis

Mit der gleichen Versuchsanordnung soll nun der Einfluss sich ändernder Rücklauf-Verhältnisse untersucht werden. Da wir den Versuch über einen längeren Zeitraum durchführen wollen und dabei das Rücklauf-Verhältnis mehrfach ändern wollen, benutzen wir den sog. Debug-Modus einer fortlaufenden Simulation.

### Experimental tests:

- ▶ Since the controller is in manual mode ( $L_{hand} = 1$ ) the control system isn't closed and the controller sets his output  $Y$  to the desired manual value ( $Y_{hand}$ ). One recognizes from a simulation run (menu "Sim/Debug-->Simulate") that stationary conditions  $Y=Q_{e0}=Q_{a0}=20\%$  appear at every initial of a simulation run.
- ▶ One takes the process response for a step of  $Y = 20\%$  on  $Y = 40\%$ , by adjusting  $Y_{hand} = 40$  and doing a simulation run. Representing the signal courses by BCASE-P and using the turn tangent one can identify the characteristics  $K_p$  (*already known to 1*),  $T_U$  and  $T_G$  in a graphical way (*use BCASE-P with maximized window, place a ruler as turn tangent and measure time with scan facility*).
- ▶ One repeats this for skips from 20% to 60% and 20% on 80% again and compares the determined identification values. How can her differences be explained ?
- ▶ One determines with the CDC-wizard the corresponding (*all three step-sizes*) parameters of a PID-controller ( $X_p$ ,  $T_n$ ,  $T_v$ ) for parallel controller structure with the setting rules of Chien/Hrones/Reswick for reference control without overshooting and records the details on the expected rise time ( $T_{settle}$ ) on 1% and the about overshooting ( $X_{over}$ ).
- ▶ One performs a control experiment for a set point ( $Q_{a_soll}$ ) of 40%. For this the controller should work in automatic mode ( $L_{hand}=0$ ) and a suitable parameter setting has to be chosen before the simulation takes place again. The choice of the parameters should be explained.
- ▶ With the same controller setting one repeats this for set points of 60% and 80% and compare the results. Where the expectations confirmed according the rise time and the overshooting ?

## Control with varying reflux ratio

With the same test order the influence of varying reflux ratios shall be examined now. Since we want to execute the simulation on a longer time period and change the reflux ratio repeatedly, we take advantage of the so-called Debug mode of an ongoing simulation.

### Versuchsläufe:

- ▶ Der Sollwert ( $Q_{a\_soll}$ ) ist wieder auf 40% einzustellen und der Debug-Mode über die Menüfunktion „SIM/Debug-->Init Debug Session“ zu starten. Durch Drücken der Tastenkombination Shift+A startet (*fortsetzen*) die Simulation und mit Shift+B hält sie wieder an.

Man starte mit der Simulation und stoppe bei etwa 1000s, ändere  $r$  auf 0,4 und setze fort bis 2000s. Dort setze man  $r$  wieder auf 0,5 und setze fort bis 3000s, wo man schließlich  $r$  auf 0,6 setzt und bis 4000s simuliert. Um den Versuch nun ordentlich zu beenden und die Daten auch in die Datei zu schreiben, beendet man den Debug-Mode mit der Menüfunktion „Sim/Debug-->Terminate Session“.

Man stelle anschließend die Ergebnisse mit BCASE-SE-P dar und interpretiere das Regelverhalten.

### Experimental tests:

- ▶ The set point ( $Q_{a\_soll}$ ) has to be adjusted to 40% and the Debug mode started via the menu function "SIM/Debug -->Init Debug Session". By pushing the key combination Shift+A the simulation starts (continue) and it stops with pressing Shift+B again.

One starts with the simulation and stops at about 1000 s, changes  $r$  on 0.4 and puts away to 2000 s. There one puts  $r$  on 0.5 again and continues to 3000 s where one finally puts  $r$  on 0.6 and runs till 4000s. To conclude the test properly now and write the data also into the file one ends the Debug mode with the menu function "Sim/Debug-->Terminate Session".

One then represents the results with BCASE-P and interprets the control response.

## 5.3. Regelung mit Messstörungen

Mit der gleichen Versuchsanordnung soll nun der Einfluss von Messstörungen untersucht werden, wobei wir wie unter Kapitel 5.1 die Simulation in einem Rutsch über 2400 s durchführen.

Störungen können über den Parameter  $K_{noise}$  konfiguriert werden, der bislang auf dem Wert 0 eingestellt war. Der Wert von  $K_{noise}$  besagt, dass eine zufällige Messstörung mit maximal  $\pm K_{noise} \%$  auf das Messsignal addiert wird.

### Versuchsläufe:

- ▶ Mit einem Sollwert von 40% und einer Störung von 0,5% ( $K_{noise}=0.5$ ) führe man einen Regelversuch mit den bisherigen PID-Parametern durch und dokumentiere den Verlauf.
- ▶ Da die Störungen sich sehr stark auf das Stellsignal  $Y$  auswirken und dies ein Stellglied zu stark beanspruchen würde, entnehme man dem CDC-Assistenten eine vergleichbare (siehe 5.1) Parametereinstellung für einen PI-Regler. Mit diesem führe man den Versuch erneut durch und vergleiche die Ergebnisse des Regelverhaltens bzgl. des Stellglieds und der Regelgüte.

## Control with measuring noise

With the same test order the influence of measuring noise shall be examined now. Since we want to execute the simulation in one shot for 2400 s as used in chapter 5.1, we use not longer the debug mode.

Noise can be configured about the parameter  $K_{noise}$  which was adjusted on the value 0 till now. A value of  $K_{noise}$  means, that a measuring disturbance with maximum  $\pm K_{noise} \%$  is added up on the measuring signal  $X$  (control variable).

### Experimental tests:

- ▶ With a set point of 40% and a noise of 0.5% ( $K_{noise} = 0.5$ ) one executes a control test with the previous PID parameters and documents the course.
- ▶ Since the noise has strongly affect to the manipulating variable  $Y$  and thus strongly burden the actuator unit, one consult the CDC wizard again for a comparable parameter setting for a PI-controller. With this one executes the test once more and compares the results of the control response concerning the manipulating variable and the control accuracy.



## 6. Versuchsauswertung

Die Versuchsauswertung ist eine kurz gefasste Zusammenfassung der ermittelten Ergebnisse, Auswertung und Interpretation. Als Hilfestellung sind nachfolgend stichpunktartig die notwendigen Inhalte Aufgeführt.

### Zu 5.1.:

- Darstellung der drei Sprungantworten, ggf. in einem Diagramm überlagert
- Die ermittelten Kennwerte ( $K_P, T_U, T_G$ ) für die drei Sprunghöhen und eine Erläuterung dazu
- Die ermittelten PID-Reglerparameter für die drei Sprunghöhen mit Erläuterung, welche Einstellung verwendet wird und warum
- Darstellung der Regelversuche für die drei Sollwerte, ggf. in einem Diagramm überlagert
- Die ermittelten Kenngrößen ( $T_{\text{settle}}, X_{\text{over}}$ ) für die drei Sollwerte und deren Erläuterung

### Zu 5.2.:

- Darstellung des Regelverhaltens über 4000s mit den verschiedenen Änderungen im Rücklaufverhältnis und eine kurze Interpretation dazu

### Zu 5.3.:

- Darstellung des Regelverhaltens mit PID-Regler bei gestörtem Messsignal
- Darstellung des Regelverhaltens mit PI-Regler bei gestörtem Messsignal, Angabe der verwendeten PI-Parameter und Erläuterungen zum Vergleich der beiden Regelergebnisse bzgl. Stellsignal und Regelgüte.

### Abschließende Bemerkungen:

- Zusammenfassende Anmerkungen, Interpretationen und Bewertungen

## Exercise evaluation

The exercise evaluation is a brief summary of the received results, evaluations and interpretations. As a support the necessary contents are listed below.

### Top 5.1:

- representation of the three step responses, if necessary in one diagram by overlapping.
- the determined characteristics ( $K_P, T_U, T_G$ ) for the three step-sizes and an adequate explanation
- the determined PID-controller parameters for the three step-sizes with explanation for the chosen overall setting.
- signal courses of the control test for all three set-points, if necessary in one diagram by overlapping.
- the determined characteristics ( $T_{\text{settle}}, X_{\text{over}}$ ) for the three set-points and some comments

### Top 5.2:

- representation of the control test over 4000s with the different changes in the reflux ratio and a short explanation

### Top 5.3:

- representation of the control response of a PID-controller using noise corrupted measurements
- representation of the control response of a PI-controller using noise corrupted measurements; documentation of the parameters used and comparing remarks towards the manipulating variable and the control accuracy

### Final remarks:

Summarizing comments, interpretations and assessments