

Inhalt

- 1. Aufgabe.....1
- 2. Größen, Einheiten, Indices.....1
- 3. Grundlagen.....2
 - 3.1. Wesen der Regelung.....2
 - 3.2. Regelstreckentypen.....4
 - 3.3. Beispiele für Regelstrecken.....6
- 4. Versuchsvorbereitung.....9
 - 4.1. Versuchsbedingungen.....9
 - 4.2. Versuchsprotokoll.....10
- 5. Versuchsdurchführung.....11
 - 5.1. Die schiefe Ebene.....11
 - 5.2. Der balancierende Stab.....11
 - 5.3. Der Heißluftballon.....12
 - 5.4. Das Stabpendel.....12
- 6. Versuchsauswertung.....13

Contents

- Scope.....1
- Variables, units, indexes.....1
- Basics.....2
 - Nature of control.....2
 - Plant types.....4
 - Examples for plant types.....6
- Exercise preparation.....9
 - Exercise conditions.....9
 - Exercise protocol.....10
- Exercise performance.....11
 - The inclined level.....11
 - The balancing staff.....11
 - The hot-air balloon.....12
 - The staff pendulum.....12
- Exercise evaluation.....13

1. Aufgabe

Die Aufgabe des Laborversuchs "Regelstrecken" besteht im Kennenlernen, Charakterisieren und praktischem Beherrschen von unterschiedlichen dynamischen Systemen aus dem Bereich der Technik.

Scope

The aim of the exercise 'plant types' is to get knowledge and experience in handling and classification of dynamics systems in technical applications.

2. Größen, Einheiten, Indices

Variables, units, indexes

Dargestellte Größe	Zeichen mark	Einheit unit	variable usage
Sprungantwort	$h(t)$		step response
Störgröße	n	-	noise, disturbance
Massenstrom	q, Q		mass flow
Sollwert	w	-	set point
Regelgröße	x	-	control variable
Regeldifferenz ($w-x$)	x_d	-	control deviation
Stellgröße	y	-	manipulating variable

Tabelle 1: Verwendete Größen und ihre Einheiten.

Table 1: Referenced variables.

Bedeutung	Indizes mark	description
Austritt....	a	outlet....
Eintritt...	e	inlet...
Heizen/Kühlen-Medium	K	media for heating or cooling
gemessene Größe	m	measured value
auf Stellglied bezogen	s	actuator related
Tabelle 2: Verwendete Indizes. Table 2: Referenced indexes.		

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.

Basics

In the following we will summarize the basic topics which are necessary to workout 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.

3.1. Wesen der Regelung

Das Wesen einer Regelung im technischen Sinne besteht darin, eine physikalische Größe auf einen gewünschten Wert oder Werteverlauf einzustellen. Die einzustellende physikalische Größe bezeichnet man als **Regelgröße x** und den gewünschten Wert (Verlauf) für sie als **Sollwert w** . Die Regelgröße lässt sich gewöhnlich nicht unmittelbar verändern, vielmehr bedarf es einer Einflussmöglichkeit auf die Regelgröße, der so genannten **Stellgröße y** . Der Signalverarbeitungsprozess einer Regelung lässt sich schematisch als ein Vorgang in einem geschlossenen Wirkungskreis beschreiben, wie dies in Bild 1 dargestellt ist; man bezeichnet ihn auch als **Regelkreis**.

Nature of control

The nature of a regulation in the technical sense consists of stopping physical dimension to a desired value or curve of values. This physical dimension is called **control variable x** and the desired value is named **set point w** . The control variable cannot be changed normally directly, on the contrary it requires an influence possibility, the so called **manipulating variable y** . The signal processing process of a regulation can be described schematically as a process in a closed sphere of activity, how this is represented in fig. 1; one calls it also automatic **control loop**.

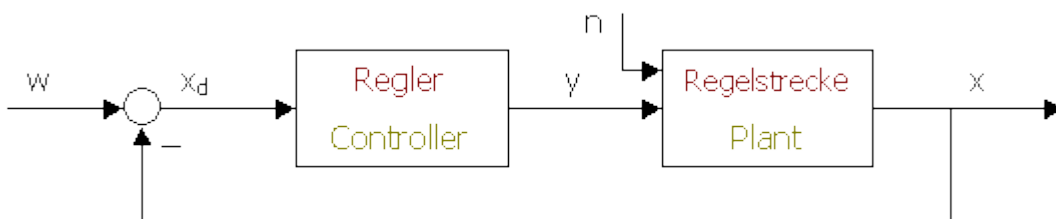


Abb./Fig. 3.1: Der Regelvorgang als Wirkungskreislauf.
The process of regulation as a closed sphere of activity.

Der dargestellte Regelvorgang als Regelkreis enthält drei wesentliche Bestandteile, die als Regelkreisglieder bezeichnet werden. Beginnen wir von Links mit dem **Soll/Ist-Vergleich**, der die **Regeldifferenz x_d** als Maß für die Abweichung des momentanen Wertes der Regelgröße im Vergleich zum gewünschten Sollwert bestimmt. Mit diesem Maß der Abweichung hat der **Regler** als weiteres Regelkreisglied eine geeignete **Stellgröße** vorzugeben, um die Regelgröße in Richtung des gewünschten Sollwertes zu beeinflussen. Den Wirkungszusammenhang zwischen der Stellgröße und der Regelgröße fasst man in dem Regelkreisglied **Regelstrecke** zusammen. Seine nähere Ausprägung ist wesentlicher Gegenstand des vorliegenden Laborversuchs. Sollte neben der Stellgröße auch noch andere, nicht beeinflussbare oder auch nicht bekannte Größen, die Regelgröße beeinflussen, so fassen wir diese in der **Störung n** zusammen.

Das Ziel jeder Regelung liegt damit in der Erreichung einer möglichst kleinen Regeldifferenz.

Befasst man sich näher mit der konkreten Umsetzung einer Regelaufgabe, so spielt die "Art" der zu regelnden Regelstrecke eine zentrale Rolle. Was dabei unter "Art" gemeint ist, hängt von den unterschiedlichsten Aufgabenstellungen ab und soll in diesem Laborversuch etwas näher beleuchtet werden.

The represented control procedure as automatic control loop contains three substantial constituents, which are called automatic control loop members. We begin from left with the comparison between desired and the momentary control variable which result in the so called **control deviation x_d** . With this measure of the deviation the automatic **controller** has to give a suitable **manipulating variable y** to move the control variable toward the desired value. The relation between the known manipulating variable and an usually unknown disturbance with the control variable is summarized in the control loop member **plant**. The several types of this relation is the substantial subject of this lab exercise.

The target of each regulation is suited thereby in the reaching of small control deviations.

If one deals in more detail with the concrete realization of a control strategy, the type of plant becomes more and more essential. The way of looking for the "type" is rather control related and will be subject of this lab exercise.

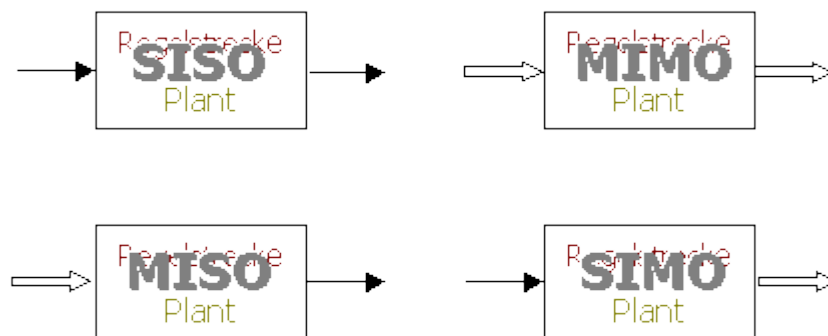


Abb./Fig. 3.2: Die Grundstrukturen einer Regelstrecke.
Basic I/O-structures of control plants.

Gehen wir zunächst von der sehr äußerlichen Betrachtung einer Regelstrecke aus, indem wir auch mehrerer Stellgrößen und Regelgrößen zulassen, so kann man sich grundsätzlich vier Strukturen einer Regelstrecke vorstellen (siehe Bild 2).

- Eine **SISO**-Regelstrecke (*Single Input, Single Output*) zeichnet sich dadurch aus, dass sie nur eine Stellgröße und eine Regelgröße aufweist. Diese einfachste Form wird auch Gegenstand der weiteren Betrachtungen sein.

If we proceed first from the very outward view of a controlled system, and take into account that multiple variables may be applicable, then we can suggest the four different structures (as indicated in fig. 2).

- A **SISO**-plant (*Single Input, Single Output*) is characterized by the fact that it indicates only one manipulating variable as input and one controlled variable as output. This simplest form will be also the subject of further views.

- Eine **MIMO**-Regelstrecke (*Multiple Input, Multiple Output*) ist die allgemeinste Form, da hierbei mehrere Stellgrößen und Regelgrößen vorkommen. Typischerweise ist die Anzahl der Stell- und Regelgrößen gleich groß; man kann sich aber auch Abweichungen von dieser Regel vorstellen.
- Eine **MISO**-Regelstrecke (*Multiple Input, Single Output*) besitzt mehrere Stellgrößen, die zur Beeinflussung einer Regelgröße eingesetzt werden. Regelkonzepte für solche Anwendungen sind oftmals komplex und meist sehr anwendungsspezifisch. Es kommt auch vor, dass man einen nichtlinearen Einfluss einer Stellgröße in mehrerer - in festem mathematischen Zusammenhang stehende - lineare Stelleingriffe zerlegt.
- Eine **SIMO**-Regelstrecke (*Single Input, Multiple Output*) ist eigentlich eher unüblich, da man mit einer Stellgröße kaum mehrere Regelgrößen auf gewünschte Werte beeinflussen kann (unter bestimmtes System). Dennoch gibt es hierfür Beispiele (Kaskadenregelung), wo z.B. eine Regelgröße als "wirkliche Regelgröße" und die zweite als "Hilfsregelgröße" mit eingeschränkten Anforderungen verwendet wird.
- A **MIMO**-plant (*Multiple Input, Multiple Output*) is the most general form, since here several manipulating variables and control variables occur. Typically the number of input and output variables is equivalent; one can imagine quite possible deviations from this rule.
- A **MISO**-plant (*Multiple Input, Single Output*) possesses several manipulating variables which are used to influence the control variable. Control concepts for such applications are often complex and usually very user-specific. It may also occur that one divides a nonlinear influence of a manipulating variable into several - in fixed mathematical relation - linear ones.
- A **SIMO**-plant (*Single Input, Multiple Output*) is actually rather uncommon, since one can influence several control variables hardly with only a single manipulating variable (under-certain-system). Nevertheless there is an example for it the cascade control structure, where an additional control variable is used as a first of all information for the main control variable.

3.2. Regelstreckentypen

Wie bereits erwähnt, beschränken wir uns hier auf die Behandlung von SISO-Regelstrecken, d.h. wir haben nur eine Stell- und eine Regelgröße. Bevor wir aber weiter in das Innere der Regelstrecke vordringen, ist zu fragen, welche Arten von äußeren Verhaltensweisen (Signalverhalten) kann man antreffen.

Eine übliche Methode der Charakterisierung betrachtet die sog. **Sprungantwort $h(t)$** der Regelstrecke, d.h. das Verhalten der Regelgröße nach einer sprunghaften Änderung der Stellgröße, wie dies in den Bildern 3 dargestellt ist.

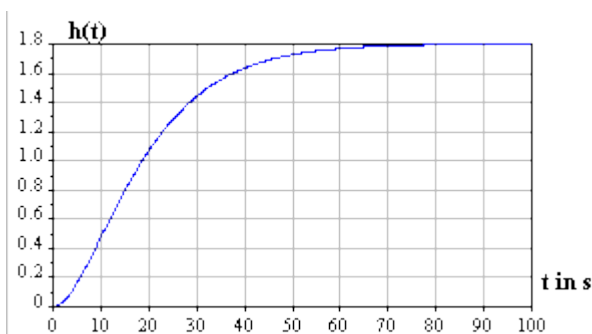


Abb./Fig. 3.3: Sprungantwort - aperiodisch – mit Ausgleich.
Step response - aperiodic - with balance.

Plant types

As previously mentioned, we focus here to the handling of SISO controlled systems, i.e. we have only one manipulating and one control variable. Before we penetrate far inside the plant we concentrate on the outer behavior of such systems, described by the input and output signal behavior.

A typical way of characterizing is therefore the so called **step response $h(t)$** behavior, i.e. the response of the control variable due to stepwise change of the manipulated variable (load change). This is represented for various typical systems in figs. 3.

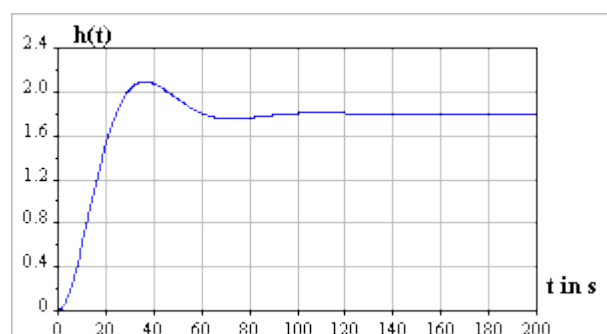


Abb./Fig. 3.4: Sprungantwort - periodisch – mit Ausgleich.
Step response - periodic - with balance.

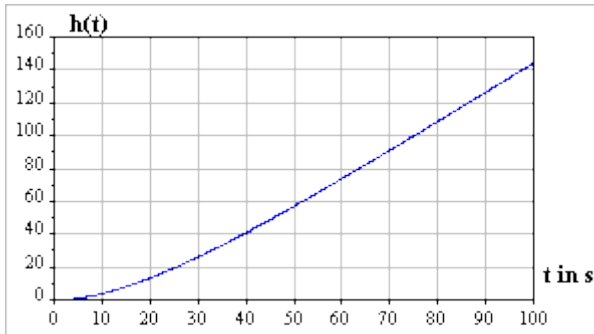


Abb./Fig. 3.5: Sprungantwort - aperiodisch – ohne Ausgleich.
Step response - aperiodic – without balance.

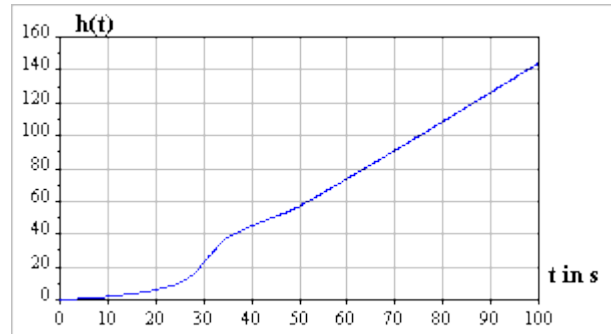


Abb./Fig. 3.6: Sprungantwort - periodisch – ohne Ausgleich.
Step response - periodic – without balance.

- **Abb. 3.3** zeigt das Verhalten des meist verbreitetsten Regelstreckentyps der Verfahrenstechnik, den sog. Verzugsprozess. Er ist durch aperiodisches Verhalten mit Ausgleich gekennzeichnet.
- **Abb. 3.4** zeigt die Reaktion einer Regelstrecke mit Ausgleich mit periodischem Verhalten.
- **Abb. 3.5** zeigt die Reaktion einer Regelstrecke ohne Ausgleich mit aperiodischem Verhalten.
- **Abb. 3.6** zeigt die Reaktion einer Regelstrecke ohne Ausgleich mit periodischem Verhalten.

Erläuterungen:

- Ein **aperiodisches Verhalten** liegt vor, wenn keine Neigung zu schwingendem Verhalten besteht.
- Ein **periodisches Verhalten** liegt vor, wenn die Neigung zu schwingendem Verhalten besteht.
- Ein **Verhalten mit Ausgleich** liegt vor, wenn zu jeder konstanten Stellgröße - nach abgeklungener Anpassung - sich eine konstante Regelgröße (ein Gleichgewicht) einstellt.
- Ein **Verhalten ohne Ausgleich** liegt vor, wenn sich zu einer konstanten Stellgröße keine konstante Regelgröße (Gleichgewicht) einstellt. Man sagt auch die Regelgröße läuft weg.

Darüber hinaus gibt es noch weitere Charakteristika, die Ihrer Bedeutung wegen hier nur kurz angeführt seien:

- Ein **sprungfähiges Verhalten** liegt vor, wenn nach einer Stellgrößenänderung eine unmittelbare Reaktion der Regelgröße erfolgt. Dieses Verhalten ist in technischen Anwendungen recht selten, da eine Reaktion meist zeitlich verzögert erfolgen kann (endliche Laufzeiten, aber auch Messverzögerungen).
- Ein **Allpassverhalten** liegt vor, wenn nach einer Stellgrößenänderung die Regelgröße sich zunächst in die entgegengesetzte Richtung bewegt, wie etwa bei Rudereingriffen an Schiffen oder Flugzeugen. Dieses Verhalten ist insbesondere für die Auslegung eines Reglers kritisch, da er durch die Reaktion der Regelstrecke zunächst getäuscht werden kann.

- **Fig. 3.3** shows the most common type of plant behavior in the process engineering field, the so called delayed plant. It's characterized by aperiodic behavior with balance.
- **Fig. 3.4** shows the response of a plant with balance and periodic behavior.
- **Fig. 3.5** shows the response of a plant without balance and aperiodic behavior.
- **Fig. 3.6** shows the response of a plant without balance and periodic behavior.

Explanations:

- An **aperiodic behavior** is present, if no inclination to oscillations exists.
- A **periodic behavior** is present, if the inclination to oscillations exists.
- A behavior **with balance** is present, if to each constant manipulating variable a steady control variable is reached (an equilibrium).
- A behavior **without balance** is present, if to a constant manipulating variable no steady control variable is reached; we call it a runaway effect or instability phenomena.

Beyond that there are still further characteristics, which are briefly described in accordance to their importance.

- A **direct access behavior** is present, if after a change in the manipulating variable the control variable reacts simultaneously. This behavior is quite rare in technical applications, since a reaction can take place usually time delayed (finite reaction times and additional measuring delays).
- A **non minimum phase behavior** is present, if after a change in the manipulating variable the system reacts first into the opposite direction for a while. This phenomena can be found for instance with rudder interventions at ships or airplanes. This behavior is in particular critical for the design of an automatic controller, since it can be first deceived by the reaction of the controlled system.

3.3. Beispiele für Regelstrecken

Eine Aufzählung von Regelstrecken-Beispielen muss zwangsläufig unvollständig sein, da es allein in technischen Anwendungen unzählige unterschiedliche Arten gibt. Diese zunächst abschreckende Tatsache relativiert sich allerdings durch die Tatsache, dass sehr unterschiedlich anmutende Regelstrecken in gänzlich unterschiedlichen Anwendungsgebieten ein durchaus vergleichbares Verhalten zeigen. Deshalb werden nachfolgend exemplarisch drei Beispiele aus der Verfahrenstechnik angesprochen werden.

Examples for plant types

An enumeration of plant type examples must be inevitably incomplete, since there are innumerable different types alone in technical applications. This fact however seems to be illusion at first, but getting more and more experience we find rather different type of plants behaving quite similar due to their signal representation. Therefore exemplary three examples from process engineering applications will be addressed in the following.

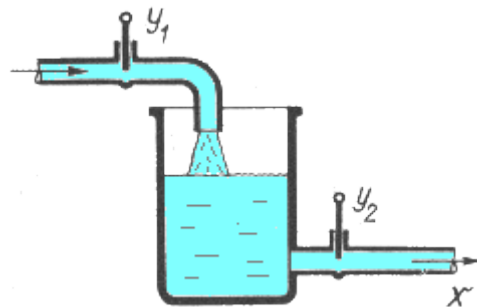


Abb./Fig. 3.7: Vorlagenbehälter für Flüssigkeiten.
Storage container for liquids.

In **Abb. 3.7** ist ein einfacher Vorlagenbehälter für Flüssigkeiten dargestellt, der sich grundsätzlich in die Anlagenteile "Befüllung", "Speicher" und "Entnahme" aufgliedert.

Vertiefung: Vorlagenbehälter werden immer dann eingesetzt, wenn eine Produktmenge (Flüssigkeitsstrom) benötigt wird, die nicht unmittelbar in jeder gewünschten Größe verfügbar ist, d.h. um unabhängig von der Bereitstellung zu werden, wird ein Zwischenspeicher als sog. Puffer eingesetzt.

Aus regelungstechnischer Sicht handelt es sich um eine **MISO-Regelstrecke**, da wir neben der einen Regelgröße X (Entnahmestrom) zwei Stellgrößen Y_1 (Befüllventilstellung) und Y_2 (Entnahmeventilstellung) haben.

Vertiefung: Da es grundsätzlich einfacher ist, eine SISO-Regelstrecke zu regeln, teilt man die Aufgabenstellung (Wie ist y_1 und y_2 zu wählen, damit der gewünschte Entnahmestrom x sich einstellt?) in zwei Teilaufgaben und damit in zwei SISO-Regelstrecken auf. Die erste Aufgabe besteht darin, den Speicher gefüllt zu halten, d.h. y_1 ist so zu wählen, dass der Füllstand annähernd konstant und genügend hoch ist. Hierzu muss der Füllstand natürlich erfasst/gemessen werden. Die zweite Aufgabe besteht dann darin, den gewünschten Entnahmestrom x zu erreichen, indem y_2 geeignet eingestellt wird.

Fig. 3.7 represents a simple storage container for liquids, which subdivides itself into the components "filling", "storage" and "extraction".

In detail: Storage containers are used whenever a fluid product is needed which is not directly available in each size, i.e. to become independent of the supply. We call this a product buffer for decoupling purposes.

From control point of view the storage container is a **MISO-plant**, because of the one control variable X (outlet flow) and two manipulating variables Y_1 (inlet valve position) and Y_2 (outlet valve position).

In detail: Since it is basically simpler to control a SISO-plant, we divide the task (How to set y_1 and y_2 to get the desired outlet flow?) into two sub tasks to get two simpler SISO-plants to control.

The first sub task is to keep the storage filled, i.e. y_1 is to be selected in such a way that the filling level becomes rather constant and is high enough to fulfill worst case outlet conditions. To do this we naturally need to measure the fluid level in the storage.

The second sub task is to select y_2 in such a way that the desired outlet flow X is realized.

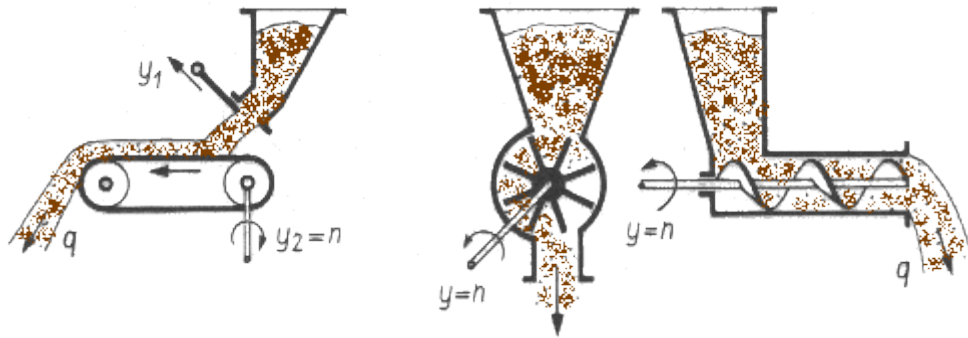


Abb./Fig. 3.8: Vorlagenbehälter und Zuteilungsvorrichtung für körnige und breiige Stoffe.
Storage container and dispatcher for granular or viscous/pasty materials.

In **Abb. 3.8** sind drei verschiedene Ausführungen von Vorlagenbehälter für Schüttgüter dargestellt, wobei die Befüllung des Speichers/Silo nicht aufgeführt ist, wir also von einem gefüllten Silo ausgehen. Handelt es sich bei den beiden rechten Beispielen um jeweils eine SISO-Regelstrecke, so erscheint der linke Fall als eher ungewöhnliche MISO-Regelstrecke.

Vertiefung: Würden wir nur die eine Stellgröße y_1 verwenden, so bekämen wir erst eine verzögerte Reaktion in der Produktmenge, da die Änderung der Schütthöhe zunächst entlang des Förderbandes laufen muss (Zeit !; auch Totzeit genannt), bevor man eine veränderte Produktmenge erhalten kann. Benutzt man aber zusätzlich die Förderbandgeschwindigkeit als zweite Stellgröße, so kann man bis zum Eintreffen der veränderten Schütthöhe die Bandgeschwindigkeit so ändern, dass man die Produktmenge ohne Verzögerung verändern kann.

Fig. 3.8 shows three different types of storage containers with dispatchers for granular or pasty materials. We assume here, that the storage is pretty filled as described before in the 1st sub task. Having there two SISO-plants in the right of the figure, the left indicated type seems to be a quite unusual MISO-plant.

In detail: If we would use only the one manipulating variable y_1 , then we would get a delayed reaction for the product quantity because of the transportation time of the conveyor (the so called dead time effect). If one uses however additionally the conveyor rate as a second manipulating variable, then one can vary the product quantity by changes of conveyor speed up to the reaction of modified y_1 . So we can get a quite faster reaction with a minimum of delay.

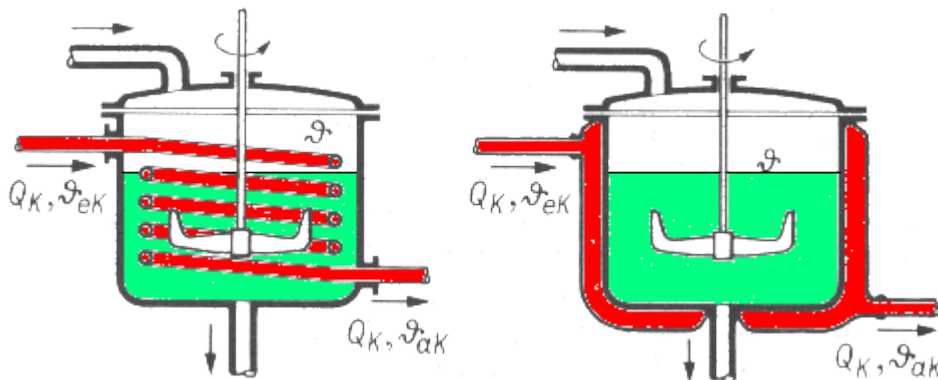


Abb./Fig.3.9: Rührkesselreaktor mit Heiz- oder Kühlschlange (links) oder Mantel (rechts).
Tempered reactor with heating or cooling surface of inside coil (left) or outside coat (right).

In **Abb. 3.9** sind zwei Ausführungen für gebräuchliche Rührkesselreaktoren dargestellt, die sich nur dadurch unterscheiden, dass der Wärmeintrag/-austrag über eingebaute Rohre oder über einen Außen angebrachten Mantel erfolgt. Die Regelaufgabe besteht u.a. darin, die im Kessel befindliche Flüssigkeit auf einer gewünschten Temperatur (Regelgröße ϑ) zur halten. Als Stelleingriff kann die zu- oder abgeführte Wärmemenge verändert werden, indem die Heiz-/Kühlmittelmenge Q_K und/oder deren Temperatur ϑ_{eK} verändert wird.

Fig. 3.9 shows two typical tempered reactors which are simply different in the way of thermal load/discharge method. The control task is to stabilize the inside temperature (control variable ϑ) at a desired value. To do this the loaded or discharged thermal energy is influenced by the quantity Q_K and/or the temperature ϑ_K of the heating/cooling media.

An diesem Beispiel lässt sich auch sehr anschaulich erkennen, dass eine Änderung im Stellgriff sich nicht unmittelbar sofort in der Regelgröße ϑ bemerkbar machen wird, was einerseits am Wärmeübergang durch die Wand und an der Wärmekapazität der Flüssigkeit im Kessel liegt. Man fasst dieses verzögerte Verhalten unter dem Begriff **Trägheit** zusammen.

This example shows very descriptive that a modification in the manipulating variable will not directly result in changes of the control variable. This happens due to the heat transfer in the wall and the thermal capacity of the fluid mass. One summarizes this delayed behavior under the term **inertia**.

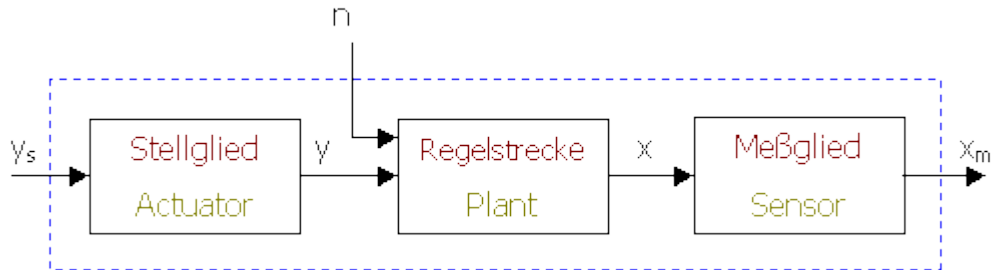


Abb./Fig. 3.10: Stell- und Messglied als Bestandteil der Regelstrecke.
Actuator and sensor as component of the plant dynamics.

Wenn man das unterschiedliche Verhalten von Regelstrecken betrachtet darf man dabei nicht vergessen, dass eigentlich noch mehr zur Regelstrecke als Solche gehört. Denn nehmen wir z.B. die Regelgröße X , so meinen wir natürlich die physikalische Größe wie Länge, Niveau oder Temperatur. Wollen wir nun diese auf ein gewünschtes Maß bringen, so müssen wir sie zunächst messen, d.h. wir können nur die Messgröße X_m versuchen auf den gewünschten Wert einzustellen. Da jede Messeinrichtung Toleranz behaftet ist und eine gewisse dynamische Verfälschung der Regelgröße bewirkt wird ihr Verhalten zum Verhalten der Regelstrecke hinzuge-rechnet (siehe **Abb. 3.10**).

Ganz ähnlich, aber von der Auswirkung her meist gravierender, verhält es sich mit der Stellgröße der Regelstrecke, da man die physikalische Größe meist nur indirekt beeinflussen kann Neben dynamischen Verfälschungen kommen hier insbesondere auch nichtlineare Eigenschaften des statischen Verhaltens hinzu, die man teilweise zu kompensieren versucht.

Fazit dieser Überlegungen ist, das zum Verhalten einer Regelstrecke auch das Stellglied- und Messglied-Verhalten hinzuzurechnen ist.

If we talk about the different behavior of several plants, we have to keep in mind that much more has to be taken into account than the simple plant itself. If we look e.g. at the control variable X , we think about the physical amount like length, level or temperature. If we want to influence this variable by a technical system due to desired assumptions, we have to measure it and get the measured control variable X_m . So what we really manipulate to a desired value is the measured and not the physical variable. And finally if we realize that each measuring equipment has its own dynamic (typically delay), we must consider to handle both, the plant and the measuring dynamics for our control task.

Quite similar, but from the effect usually more seriously is the way of influencing the plant by the manipulating variable Y . This is often done in a more indirect way with the variable Y_s . The dynamical relation between these two variables is often delayed but more crucial in fact is the quite usual nonlinear type of dynamic and static (more or less good compensated by electronics or software) relation. Result of these considerations is to include the actuator and sensor behavior to the pure plant behavior to get the overall plant dynamics.

4. Versuchsvorbereitung

Bevor wir uns auf die einzelnen Versuch stürzen, seien hier zunächst die Versuchsgegebenheiten etwas näher beschrieben, insbesondere die Bedienung der einzelnen Versuchs-Applets.

Darüber hinaus wird ein Vorschlag beschrieben, wie die Versuchsergebnisse geeignet zu dokumentieren sind und auf was man dabei achten sollte.

Exercise preparation

Before we go into detail with the several test equipments, here the attempt conditions are somewhat closer described, in particular the user interface of the test applets.

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.

4.1. Versuchsbedingungen

Es werden insgesamt vier verschiedene Nachbildungen von Versuchsanordnungen ("Schiefe Ebene", "Balancierender Stab", "Heißluftballon" und "Stab-Pendel") verwendet, deren Bedienung annähernd gleich gestaltet ist.

Exercise conditions

Altogether four different experimental assemblies ("inclined level", "balancing staff", "hot-air balloon" and "staff pendulum") are used, whose user interface is quite comparable and will be explained so far.

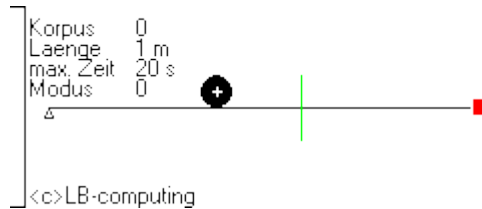


Abb./Fig. 4.1: Anfangsdarstellung "Kugel auf schiefer Ebene".
Initial representation of "solid ball on a inclined level".

Die Anfangsdarstellung (**Abb. 4.1**) enthält neben den gewählten Konfigurationsdaten (*Korpus: Kugel, Zylinder oder Rohr; Länge: die Balkenlänge; max. Zeit: die maximale Simulationszeit; Modus: z.Zt. ohne Bedeutung*) und der schiefen Ebene eine rote Fläche, die zum Start des Versuchs anzuklicken ist. Die Lage des Balkens lässt sich dann über die vertikale Position der Maus beeinflussen. Verlässt der Mauszeiger das Anzeigefeld, so bleibt die Lage des Balkens erhalten und die Simulation geht weiter.

The initial representation (see **Fig. 4.1**) of the applet shows besides the chosen configuration (*Korpus: ball, tube or cylinder; Länge: the beam length; max. Zeit: maximum simulation time; Modus: not yet used*) and the inclined level a red surface, which is to be clicked for starting the experiment. The position of the beam (level inclination) can be influenced over the vertical position of the mouse cursor in the display area. If the mouse leaves this area, the inclination is preserved and simulation is going on.

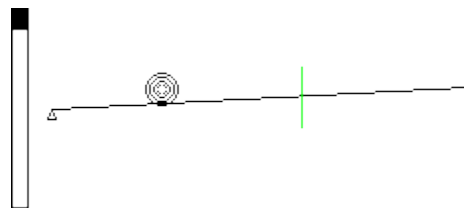


Abb./Fig. 4.2: Simulationsdarstellung "Zylinder auf schiefer Ebene".
Test sequence of a configuration with a cylinder.

Während des Versuchsablaufs (**Abb. 4.2**) wird am linken Rand ein Balken dargestellt, der die bisher verstrichene Versuchszeit anzeigt. Der Versuch wird beendet, wenn die maximale Versuchszeit abgelaufen ist, in das Darstellungsfenster geklickt wird oder der Korpus an einem der beiden Balkenenden angelangt ist.

During the test sequence (see **Fig. 4.2**) a side bar indicates the expired time so far. The test (simulation) is terminated, if maximum time has expired, the body reaches a boundary or when a click into the display area is made.

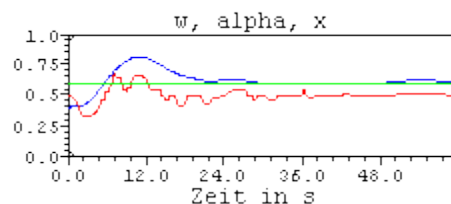


Abb./Fig. 4.3: Signalverläufe eines Versuchs "Schiefe Ebene".
Interpretation of test results by graphic signal charts.

Nach dem Versuchsablauf erfolgt die Versuchsauswertung durch Darstellung der zeitlichen Signalverläufe. Hierbei ist grün die **Sollposition (Sollwert)**, blau die **Istposition (Regelgröße)** des Korpus und rot die **Neigung des Balkens (Stellgröße)** dargestellt.

Ein Klick in das Darstellungsfenster erzeugt einen Wechsel zur Anfangsdarstellung.

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.

After the test has terminated, interpretation of results take place by graphic signal charts (see **Fig. 4.3**). Herein is indicated the **desired position (set point)** of the body in green, the **body position (control variable)** in blue and the **inclination of the beam (manipulating variable)** in red.

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

5.1. Die schiefe Ebene

Gegeben sind zwei Versuchsanordnungen (5.1-A, 5.1-B), die das Rollverhalten einer massiven Kugel (5.1-A) und eines Rohres (5.1-B) auf einer schiefen Ebene darstellen.



- ▶ Ermitteln sie die Sprungantwort für 5.1-A und 5.1-B.
- ▶ Führen sie für 5.1-A und 5.1-B einen Regelversuch durch, indem sie den Körper jeweils auf Sollposition bringen und dort bis zum Versuchende halten.

- ▶ Determine the step response function for assembly 5.1-A and 5.1-B.
- ▶ Examine a control experiment with assembly 5.1-A and 5.1-B, by bringing the body position to the desired position (green line) and hold it until termination.

5.2. Der balancierende Stab

Gegeben sind zwei Versuchsanordnungen, die das Verhalten eines balancierenden Stabes von 50m Länge (5.2-A) und 150m Länge (5.2-B) auf einem beweglichen Wagen (Schlitten) darstellen. Vereinfachend wird hier angenommen, dass der Stab lediglich in der Lotrechten zu halten ist und seine Position unwichtig ist.



- ▶ Ermitteln sie die Sprungantwort für 5.2-A und 5.2-B.
- ▶ Führen sie für 5.2-A und 5.2-B einen Regelversuch durch, indem sie den Stab in die Lotrechte bringen und dort bis zum Versuchsende halten.

- ▶ Determine the step response function for assembly 5.2-A and 5.2-B.
- ▶ Examine a control experiment with assembly 5.2-A and 5.2-B, by bringing the staff into a vertical line and hold it up to termination.

Exercise performance

The inclined level

Two experimental assemblies are given, which represent the rolling behavior of a solid ball (5.1-A) and a tube (5.1-B) on an inclined level.

The balancing staff

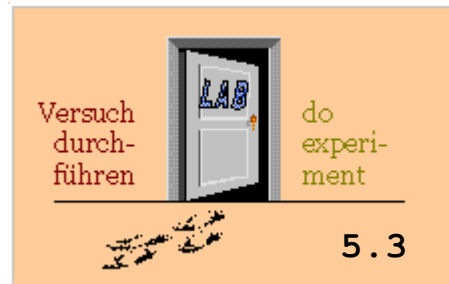
Two experimental assemblies are given, which represent the behavior of a balancing staff - with length of 50m (5.2-A) and 150m (5.2-B) - on a movable vehicle. Simplifying it is assumed here that the staff should only be held in the vertical line regardless of his horizontal position.

5.3. Der Heißluftballon

Gegeben ist eine Versuchsanordnung (5.3), die das Höhenverhalten eines Heißluftballons darstellt. Die richtige Höhe (Augenhöhe der Ballonfahrer als "+"-Zeichen) wird durch geeignetes Drücken und Loslassen der Leertaste (Brennersteuerung) erzielt.

The hot-air balloon

The experimental assembly (5.3) is given, which represent the altitude behavior of a hot-air balloon. The relevant point for the altitude (height of the balloon drivers eyes are sign with a "+"-character) should be influenced by suitable heating up of the balloon air. The heating is switched on whenever the blank-key is hold down.



- ▶ Ermitteln sie die Sprungantwort für die Versuchsanordnung 5.3.
- ▶ Führen sie einen Regelversuch durch, indem sie den Korb auf Sollhöhe bringen und dort bis zum Versuchsende halten.
- ▶ Determine the step response function for assembly 5.3.
- ▶ Examine a control experiment, by bringing the balloon position ("+"-character) to the desired altitude (green line) and hold it until termination.

5.4. Das Stabpendel

Gegeben sind zwei Versuchsanordnungen, die das Verhalten eines alten (5.4-A) und neuen (5.4-B) stabförmigen Pendels nachbilden, welches an einem beweglichen Schlitten aufgehängt ist. Die Aufgabe besteht darin, das Stab-Ende (blauer Punkt) an die gewünschte Position zu bringen.

The staff pendulum

Two experimental assemblies are given, which represent the behavior of an old (5.4-A) and a new (5.4-B) staff pendulum, which is connected to a mobile trolley. The task of control is to position the blue end of the staff on the green set point line and hold it there stable.



- ▶ Ermitteln sie die Sprungantwort für die Versuchsanordnungen 5.4-A und 5.4-B.
- ▶ Führen sie einen Regelversuch für 5.4-A und 5.4-B durch, indem sie das Stabende jeweils auf Sollposition bringen und dort bis zum Versuchsende halten.
- ▶ Determine the step response functions for assemblies 5.4-A and 5.4-B.
- ▶ Examine a control experiment for 5.4-A and 5.4-B, by bringing the staff end (blue) to the desired position (green line) and hold it until termination.

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:

- Um welche Art von Regelstrecke handelt es sich ?
 - Welche Größen sind hierbei die Regelgröße, Stellgröße und der Sollwert ?
-
- Darstellung der beiden Sprungantworten
 - Welche der beiden Regelstrecken ist schneller und warum ?
 - Um welchen Regelstreckentyp handelt es sich ?
 - Liegt ein sprungfähiges Verhalten vor ?
 - Liegt ein Allpassverhalten vor ?

-
- Darstellung der beiden Regelversuche
 - Welche Regelstrecke erreicht eher die Sollposition ?
 - Welche Regelstrecke überschreitet (Überschwingweite) dabei die Sollposition stärker ?
 - Welche Regelstrecke lässt sich besser (enger) auf der Sollposition halten ?

Zu 5.2:

- Um welche Art von Regelstrecke handelt es sich ?
 - Welche Größen sind hierbei die Regelgröße, Stellgröße und der Sollwert ?
-
- Darstellung der beiden Sprungantworten
 - Welche der beiden Regelstrecken ist schneller und warum ?
 - Um welchen Regelstreckentyp handelt es sich ?
 - Liegt ein sprungfähiges Verhalten vor ?
 - Liegt ein Allpassverhalten vor ?

-
- Darstellung der beiden Regelversuche
 - Welche Regelstrecke überschreitet (Überschwingweite) dabei die Sollstellung stärker ?
 - Welche Regelstrecke lässt sich besser (enger) auf der Sollstellung halten ?
 - Um welchen Art von Regelstrecke handelt es sich, wenn neben der Lotrechten Stellung des Stabes auch noch seine Position eingehalten werden soll ?
 - Trauen sie sich dann noch die manuelle Regelung zu ?

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:

- Which kind of structure for the plant is present here ?
 - Which elements are associated with the control variable, the manipulating variable and the set point ?
-
- Diagram of the two step responses
 - Which of the two plants is faster and why ?

- Which type of plant does it concern ?
- Is there direct access behavior present ?
- Is there non minimum phase behavior present ?

-
- Diagram of the two control trials
 - Which plant reaches the set point first ?

- Which plant overshoots the set point more strongly ?
- Which plant is easier controllable, i.e. keep more closely to the set point ?

Top 5.2:

- Which kind of structure for the plant is present here ?
 - Which elements are associated with the control variable, the manipulating variable and the set point ?
-
- Diagram of the two step responses
 - Which of the two plants is faster and why ?

- Which type of plant does it concern ?
- Is there direct access behavior present ?
- Is there non minimum phase behavior present ?

-
- Diagram of the two control trials
 - Which of the plants overshoot the set point more strongly ?

- Which plant is easier controllable, i.e. keep more closely to vertical line ?
- Which kind of structure for the plant will be present if besides the orientation to the vertical line the staff position should also be reached at a desired point ?
- Could you imagine to do this control task manually further more?

Zu 5.3:

- Um welche Art von Regelstrecke handelt es sich ?
- Welche Größen sind hierbei die Regelgröße, Stellgröße und der Sollwert ?

-
- Darstellung der Sprungantwort
 - Um welchen Regelstreckentyp handelt es sich ?
 - Liegt ein sprungfähiges Verhalten vor ?
 - Liegt ein Allpassverhalten vor ?

-
- Darstellung des Regelversuchs
 - Welche Taktik der Brennersteuerung haben sie gewählt ?
 - Welche Hilfsmittel/Informationen würden ihre Regelung verbessern helfen ?
 - Was fällt ihnen nach diesem Versuch zum Begriff Trägheit ein ?

Zu 5.4:

- Um welche Art von Regelstrecke handelt es sich ?
- Welche Größen sind hierbei die Regelgröße, Stellgröße und der Sollwert ?

-
- Darstellung der beiden Sprungantworten
 - Wie und warum unterscheiden sich die beiden Regelstrecken ?
 - Um welchen Regelstreckentyp handelt es sich ?
 - Liegt ein sprungfähiges Verhalten vor ?
 - Liegt ein Allpassverhalten vor ?

-
- Darstellung der beiden Regelversuche
 - Welche Regelstrecke erreicht eher die Sollposition ?
 - Welche Regelstrecke überschreitet (Überschwingweite) dabei die Sollposition stärker ?
 - Welche Regelstrecke lässt sich besser (enger) auf der Sollposition halten ?

Abschließende Bemerkungen:

- Zusammenfassende Anmerkungen, Interpretationen und Bewertungen

Top 5.3:

- Which kind of structure for the plant is present here ?
- Which elements are associated with the control variable, the manipulating variable and the set point ?

-
- Diagram of the step response
 - Which type of plant does it concern ?
 - Is there direct access behavior present ?
 - Is there non minimum phase behavior present ?

-
- Diagram of the control trial
 - Which tactics did you perform for the burner manipulation ?
 - Which kind of information/measurement would be helpful for an advanced control result ?
 - What do you think about "inertness" after having this experience ?

Top 5.4:

- Which kind of structure for the plant is present here ?
- Which elements are associated with the control variable, the manipulating variable and the set point ?

-
- Diagram of the two step responses
 - How do these two plants show different behavior and why does this happen ?
 - Which type of plant does it concern ?

- Is there direct access behavior present ?
- Is there non minimum phase behavior present ?

-
- Diagram of the two control trials
 - Which plant reaches the set point first ?

- Which plant overshoots the set point more strongly ?

- Which plant is easier controllable, i.e. keep more closely to the set point ?

Final remarks:

Summarizing comments, interpretations and assessments