HANSER

Taschenbuch der praktischen Regelungstechnik

Norbert Große, Wolfgang Schorn

ISBN 3-446-40302-7

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
http://www.hanser.de/3-446-40302-7 sowie im Buchhandel

1 Grundlagen

1.1 Einführung

Wolfgang Schorn, Norbert Große

1.1.1 Merkmale der Regelungstechnik

Der Begriff **Regeln** kennzeichnet das Einhalten von gewünschten Prozessverläufen oder Zuständen, auf welche Störungen einwirken können, durch zielgerichtete Maßnahmen. Ermöglicht werden Regelungen durch das Erfassen von Gegebenheiten und den Vergleich mit Vorgaben im Sinne einer **Rückkopplung**, wodurch sich ein **Regelkreis** ergibt (→ Bild 1.1).

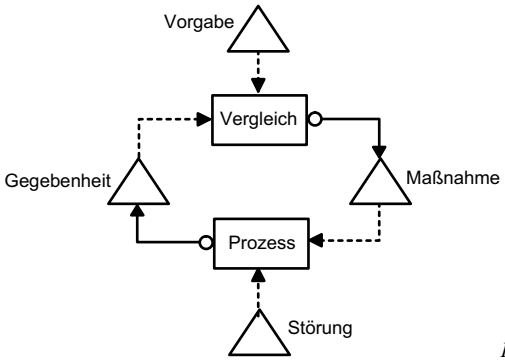

Bild 1.1 Allgemeine Regelkreisdarstellung

In Bild 1.1 (einem **Phasenmodell**, → SCHORN, GROßE [1.1] und Abschnitt 8.2) wird folgende Symbolik verwendet:

- Rechtecke bedeuten Vorgänge.
- Dreiecke repräsentieren Informationen, d. h. Kenntnisse über Sachverhalte.
- Durchgezogene gerichtete Linien kennzeichnen den Fluss einer gemessenen Information (Statusinformation).

- Gestrichelte gerichtete Linien stellen den Fluss einer Vorgänge beeinflussenden oder auslösenden Information dar (Steuerinformation).

Regelungsvorgänge finden sich in nahezu allen Bereichen der Wirklichkeit, siehe z. B. FRANK [1.2] und v. CUBE [1.3]:

- Ein bekanntes Beispiel aus der Physiologie ist die Regelung der menschlichen Körpertemperatur auf ca. 37 ^{o}C, welche bei Erkrankungen ansteigen kann. Unklar ist hier allerdings, woher diese Sollvorgabe stammt.
- Zielgerichtete Lernvorgänge sind ebenfalls Regelungen. Vorgaben erfolgen vom Lehrenden oder auch – bei einem Selbststudium – vom Lernenden. Das Einhalten der Vorgaben kann durch Kontrollfragen oder Klausuren überprüft werden; Defizite lassen sich durch Erklärungen und Wiederholungen ausgleichen.
- Technische Regelungen finden in von Menschen geschaffenen technischen Gebilden (z. B. Produktionsanlagen) statt.

Die **theoretische Regelungstechnik** befasst sich mit der Erforschung und Beschreibung abstrakter Regelungsvorgänge. In der **praktischen Regelungstechnik** wendet man diese Erkenntnisse auf technische Regelungen an.

Zur Erfüllung ihres Zwecks bedient sich die Regelungstechnik unterschiedlicher Hilfsmittel:

- Zur Analyse von Vorgängen und Zusammenhängen verwendet man mathematische Methoden. Zeitbezogene Darstellungen werden mit Differenzialgleichungen beschrieben, bei Betrachtungen im Frequenzbereich zieht man die FOURIER-Analyse und die LAPLACE-Transformation hinzu. Für komplexe Zusammenhänge wie etwa bei umfangreichen Modellen wird die lineare Algebra – im Wesentlichen das Matrixkalkül – benötigt. Zur Beschreibung regelloser Vorgänge verwendet man statistische Verfahren.
- Das Gewinnen von Informationen (Messen und Rechnen) und das Eingreifen in den Prozess (Stellen) erreicht man über Erkenntnisse der Physik mit Mitteln der Elektrotechnik.
- Während man zur Konstruktion von Regeleinrichtungen bis Mitte der siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts analoge Elemente wie elektronische Operationsverstärker und pneumatische Bauteile verwendete, kommen heute für universelle Zwecke fast ausschließlich Mikroprozessoren, zunehmend auch PCs zum Einsatz. Das Verhalten von Regeleinrichtungen wird mit Hilfe von Programmierspra-

chen festgelegt. Die Regelungstechnik wird somit wesentlich von Methoden der Informatik sowie der numerischen Mathematik geprägt.

- Moderne Verfahren der Regelungstechnik bilden Lernvorgänge nach, welche auf Erkenntnissen der Physiologie bzw. Biologie basieren (Neuronenmodelle).

Das vorliegende Buch hat als Gegenstand die praktische Regelungstechnik. Damit liegt der Schwerpunkt nicht auf der Entwicklung, sondern auf der Anwendung bekannter Methoden; auf mathematische Herleitungen und Beweise von Lehrsätzen wird bewusst weitgehend verzichtet, die Anwendung steht im Vordergrund.

1.1.2 Regelungstechnik als Teilgebiet der Kybernetik

1.1.2.1 Kybernetik und System

Bereits im Jahr 1834 verwendete AMPÈRE den Begriff **Kybernetik** im Zusammenhang mit der Kunst der Staatslenkung. Sprachliche Wurzel ist das griechische Substantiv κυβερνήτης (*kybernetes*), welches Steuermann oder Lenker bedeutet. 1947 schlug WIENER [1.4] den Terminus als Bezeichnung für eine interdisziplinäre Wissenschaft vor, und zwar als die Wissenschaft der „Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und in der Maschine“.

Nach SACHSSE [1.5] ist die Kybernetik „die Wissenschaft von den Wirkungsgefügen“.

Anstatt von einem Wirkungsgefüge spricht man heute meist von einem **System**. Dieser Terminus ist von zentraler Bedeutung und u. a. in DIN 19226-1 [1.6] festgelegt:

Unter einem **System** versteht man eine von der Umgebung abgegrenzte Menge von Komponenten oder Objekten, welche miteinander in Wechselwirkung stehen, d. h. einander wechselweise beeinflussen. Solche Objekte können aus den unterschiedlichsten Begriffswelten stammen und sowohl konkrete Gegenstände als auch z. B. Personen, Prozesse oder philosophische Ideen sein; sie müssen sich aber an Hand eines gemeinsamen Merkmals als dem System zugehörig identifizieren lassen. Die Kommunikation mit der Umgebung erfolgt über festgelegte Schnittstellen.

So ist es beispielsweise üblich, von einem Gesellschaftssystem, einem Prozessleitsystem, einem Differenzialgleichungssystem, einem PC-Betriebssystem usw. zu sprechen. Bild 1.2 stellt ein abstraktes System schematisch dar. Die Rechtecke geben Objekte wieder, die gerichteten Pfeile bedeuten Wirkungen. Einen höheren Detaillierungsgrad der Systemdarstellung erreicht man durch die Verwendung von Wirkungsplänen (→ Abschnitt 1.2.2).

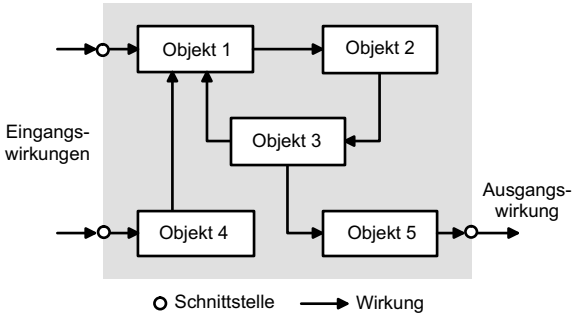

Bild 1.2 Beispiel für ein System

1.1.2.2 Bereiche der Kybernetik

In den letzten Jahrzehnten haben sich nach FRANK [1.2] vier Bereiche der Kybernetik herauskristallisiert:

- **Nachrichtentheorie**: Sie befasst sich abstrahierend von informationsverarbeitenden Systemen zunächst im Rahmen der Zeichentheorie mit elementaren Phänomenen wie Zeichen, Signalen und Nachrichten. Weitere Gebiete sind die Informationstheorie, welche die Begriffsbestimmung und das Messen von Informationsgehalten behandelt, und die Codierungstheorie, welche die Strukturanalyse von Nachrichten zum Ziel hat.
- **Nachrichtenverarbeitungstheorie**: Sie umfasst die BOOLEsche Algebra (Schaltnetztheorie), sequenzielle Logik (Schaltwerktheorie), die Automatentheorie (endliche Automaten, TURING-Maschinen) sowie die Informationstechnologie (IT, d. h. Nachrichtentechnik und Datenverarbeitung). Bei diesen Teilgebieten geht es noch nicht um Möglichkeiten, Einfluss auf die Umwelt des jeweiligen Systems zu nehmen.

- **Kreisrelationstheorie**: Hierbei handelt es sich um Systeme, welche durch Informationsaustausch mit der Umwelt diese beeinflussen. Teilgebiete sind Sensor- und Aktortechnik, Regelungs- und Steuerungstechnik sowie die künstliche Intelligenz (KI), welche auch die Robotertechnik, Expertensysteme und die unscharfe Logik (Fuzzy Logic) beinhaltet.
- **Systemkomplextheorie**: In diesem Bereich werden Wechselspiele zwischen Systemen untersucht. Soziokybernetik (Unternehmensforschung und kybernetische Pädagogik), Spieltheorie und Biokybernetik einschließlich künstlicher neuronaler Netze (KNN) sind die wichtigsten Teilgebiete.

1.2 Begriffe der Prozesstechnik

Wolfgang Schorn, Norbert Große, Norbert Becker

1.2.1 Prozess und Information

1.2.1.1 Prozessklassen

Regelungs- und Steuerungstechnik finden Anwendung bei der Automatisierung **produktionstechnischer Prozesse**.

Prozesse sind nach DIN V 19233 [1.7] Vorgänge, mit welchen Stoffe, Energien oder Informationen verarbeitet werden. Je nach Art der zu beeinflussenden Objekte definiert man unterschiedliche **Prozessklassen** (→ SCHORN, GROßE [1.8]).

In der Produktionstechnik unterscheidet man stoffbeeinflussende und energietechnische Prozesse.

- **Stoffbeeinflussende Prozesse** teilt man ein in **Verfahren** und **Fertigungen**. Bei einem Verfahren handelt es sich um das Erzeugen formloser Substanzen; dies sind z. B. Gase, Flüssigkeiten, Pasten u. dgl. Die physikalischen Bedingungen sind entweder weitgehend stationär (Fließ- oder **Kontiverfahren**) oder sie werden mit festgelegten Vorschriften (Rezepten) nach einem Zeitplan geändert (Absatz- oder **Chargenverfahren**). Eine Fertigung (Stückgutprozess) hat als Ziel die Herstellung einzelner Werkstücke mit definierter Form und festgelegten Abmessungen; bei diesen Gütern spielt die geometrische Gestalt die herausragende Rolle. Verfahren

finden in **Anlagen** statt, Fertigungen werden in **Werkstätten** (auch: Anlagen) durchgeführt.

- Bei einem **energietechnischen Prozess** werden gebundene Energien in Energieformen umgesetzt, welche sich unmittelbar in technischen Anwendungen nutzen lassen. Die Energiegewinnung geschieht in Kraftwerken.

Informationstechnische Prozesse sind Abläufe zum Gewinnen, Auswerten und Erzeugen von Informationen. Bei der Automatisierung produktionstechnischer Prozesse gehören hierzu prozessnahe Vorgänge wie das Messen und das Datenerfassen sowie Regelungs- und Steuerungsvorgänge, aber auch prozessfernere Vorgänge wie das Anzeigen, Bedienen, Melden, Protokollieren und das Auswerten. Zur Durchführung der prozessnahen Vorgänge verwendet man eher dedizierte Rechnerkomponenten wie z. B. Prozessregler und Steuerungen, die so genannten **prozessnahen Komponenten** eines Prozessleitsystems, für die prozessferneren Vorgänge werden EDV-Geräte wie Workstations und PCs eingesetzt. Bild 1.3 gibt das Begriffsgebäude der Prozesstechnik wieder; die hier verwendete Symbolik ist in Abschnitt 8.2 erläutert.

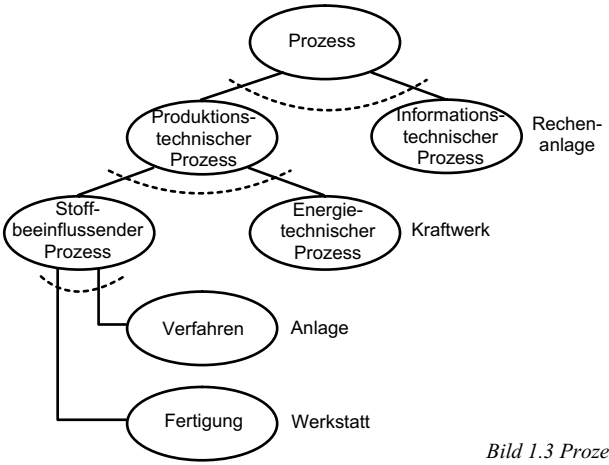

Bild 1.3 Prozessklassen

1.2.1.2 Begriffe der Informationstheorie

Regelungs- und Steuerungsvorgänge gehören zu den informationstechnischen Prozessen. Daher sind hier einige Begriffe der Informationstheorie von Bedeutung (→ SCHORN, GROßE [1.1]).

Informationen beschreiben Sachverhalte; sie sind darauf ausgerichtet, Wirkungen seitens des Informationsempfängers hervorzurufen.

Im Zusammenhang mit Produktionsprozessen lässt sich Information zunächst als Attribut eines Stoffs oder einer Energie bzw. eines Energieträgers auffassen (**Zustandsinformation**); weiterhin kann sie Eingriffe in den Prozess auslösen (**Steuerinformation**). So bewirkt etwa die Angabe, dass eine Flüssigkeitstemperatur (Stoffattribut) einen gewissen Wert hat, beim Empfänger – z. B. einem Regler – die Bestimmung eines zur Beeinflussung dieser Temperatur geeigneten Stellwerts (→ Abschnitt 1.2.3).

Eine für Übertragungszwecke beschriebene oder gemessene Information nennt man **Nachricht**. Informationsdarstellungen zu Verarbeitungs- und Speicherzwecken bezeichnet man als **Daten**.

Ein **Signal** ist die physikalische Wiedergabe von Nachrichten oder Daten, meist in Form elektrischer Größen (Sensorsignale). Diese Größen werden als **Signalträger** bezeichnet; das Attribut des Signalträgers, welches zur Darstellung verwendet wird, heißt **Signalparameter**. Eine **Größe** beschreibt die Eigenschaft eines Stoffs oder einer Energie qualitativ und quantitativ. Der **Wert** einer Größe ist das Produkt eines Zahlenwerts und einer zugehörigen Einheit.

So ist eine Stofftemperatur ϑ eine thermodynamische Größe, ihren Wert bezeichnet z. B. die Angabe $\vartheta = 17{,}2\ ^{\circ}\mathrm{C}$. ϑ kann durch einen Strom als Signalträger dargestellt werden; als Signalparameter eignet sich z. B. die Amplitude.

Signaltaxonomien. Signale lassen sich nach DIN E 40146 [1.9] und GÖLDNER [1.10] unterschiedlich klassifizieren (→ Bild 1.4):

- Klassifizierung nach dem **Signalort**: **Eingangssignale** liegen am Eingang eines Übertragungsgliedes an, **Ausgangssignale** am Ausgang.
- Klassifizierung nach Art der **Signalwerte**: Bei **wertkontinuierlichen** Signalen kann der Signalparameter alle Werte eines definier-

ten Intervalls annehmen; bei **wertdiskreten** (**digitalen**) Signalen gibt es für den Signalparameter endlich viele Werte eines Intervalls. Einen Spezialfall der Digitalsignale s_D stellen die **binären** Signale s_B dar, welche genau zwei Werte repräsentieren können.

- Klassifizierung nach Art der Zeitdarstellung: Hier unterscheidet man zwischen **zeitkontinuierlichen** Signalen, welche für jeden beliebigen Zeitpunkt definiert sind, und **zeitdiskreten** Signalen s_T, bei welchen die Signalparameterwerte nur in diskreten Zeitpunkten t_k gegeben sind. Zeitdiskrete Signale werden durch **Abtastvorgänge** gewonnen (→ Abschnitt 5.1).
- Klassifizierung nach Art der analytischen Darstellbarkeit: Signale, welche sich – z. B. über eine Differenzialgleichung – analytisch beschreiben lassen, nennt man **deterministische** Signale. Das ist bei regellosen Signalen, deren Werte vom Zufall abhängen, nicht möglich; hier spricht man von **stochastischen** Signalen.

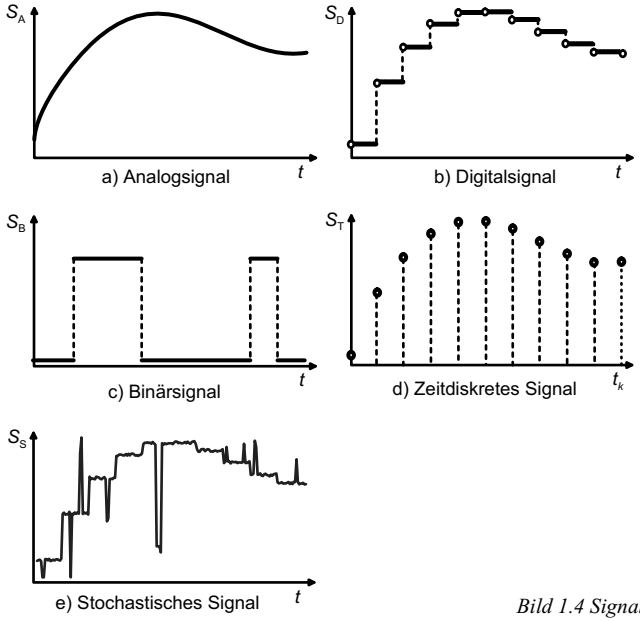

Bild 1.4 Signaltypen

Signale, welche sowohl wert- als auch zeitkontinuierlich sind, nennt man meist **Analogsignale** s_A, weil zwischen dem Signal und der reprä-

sentierten Information jederzeit ein analoger Zusammenhang besteht. In der Regelungstechnik sind die Eingangssignale von Übertragungsgliedern überwiegend analog. Ausgangssignale für Stellglieder können ebenfalls Analogsignale sein; oft verwendet man auch Binärsignale oder Pulse.

1.2.2 Wirkungspläne

1.2.2.1 Elemente von Wirkungsplänen

Mit einem **Wirkungsplan** nach DIN 19226-1 [1.6], DIN 19226-2 [1.11] und DIN 19226-4 [1.12] stellt man Zusammenhänge zwischen einzelnen Objekten in einem System dar. Diese Objekte können wiederum Systeme sein.

Ein Wirkungsplan besteht dabei aus folgenden Elementen (→ Bild 1.5):

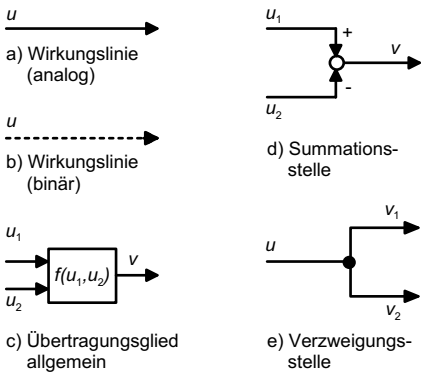

Bild 1.5 Elemente des Wirkungsplans

- Rechtecke (Blöcke) repräsentieren den Zusammenhang zwischen **Eingangsgrößen** u_1 ... u_n (unabhängige Größen) und **Ausgangsgrößen** v_1 ... v_m (abhängige Größen) mit Ausnahme der Summation. Die Verarbeitung der Eingangsgrößen wird innerhalb des Rechtecks textuell (z. B. durch Formeln) oder grafisch kenntlich gemacht. Kreise repräsentieren die Summation mehrerer Eingangsgrößen. Die Vorzeichen (+, −) der Größen werden am Eingang des Kreises eingezeichnet. Die durch Kreise oder Rechtecke symbolisierten Objekte, welche Eingangsgrößen zu Ausgangsgrößen umformen, bezeichnet man als **Übertragungsglieder** $Ü_i$.

- Die durch Signale hervorgerufenen möglichen Wirkungen zwischen Übertragungsgliedern gibt man mit gerichteten Linien (**Wirkungslinien**) wieder, welche bei Analogsignalen durchgezogen, bei Binärsignalen gestrichelt dargestellt werden. An diesen Linien notiert man die Bezeichnungen der zugehörigen Größen. Einfache Linien bedeuten Wirkungen skalarer Größen, doppelte Linien kennzeichnen Wirkungen von Vektoren. Tritt auf einer Wirkungslinie eine mögliche Wirkung tatsächlich ein, nennt man diesen Vorgang **Wirkungsablauf**.
- Die Verzweigung einer (skalaren oder vektoriellen) Größe von einem Übertragungsglied zu mehreren anderen Übertragungsgliedern wird durch einen Punkt auf der betreffenden Wirkungslinie dargestellt.

1.2.2.2 Strukturen

Wirkungswege. Die Wege, auf welchen Signale einen Wirkungsweg durchlaufen können, werden als **Wirkungswege** bezeichnet. Bei für die Regelungs- und Steuerungstechnik relevanten Systemen findet man als elementare Typen die Reihenstruktur, die Parallelstruktur und die Kreisstruktur (→ Bild 1.6). Aus diesen Grundtypen lassen sich komplexe Wirkungsgefüge (Netze) aufbauen.

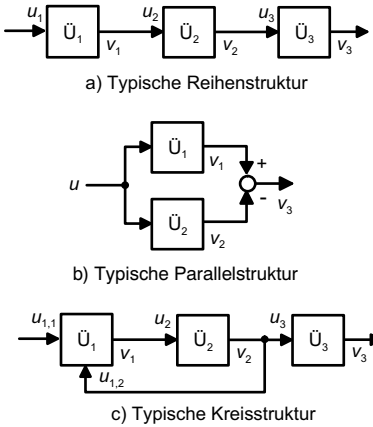

Bild 1.6 Elementare Systemstrukturen

- Bei einer **Reihenstruktur** durchlaufen Größen sequenziell angeordnete Übertragungsglieder. Eingangsgrößen u_k eines Übertra-