

Erwin Samal

Grundriss der praktischen Regelungstechnik

Erwin Samal

Grundriss der praktischen Regelungstechnik

bearbeitet von
Dirk Fabian und Christian Spieker

DE GRUYTER
OLDENBOURG

ISBN 978-3-486-71290-2
eISBN 978-3-486-85464-0

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

A CIP catalog record for this book has been applied for at the Library of Congress.

© 2014 Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH
Rosenheimer Straße 143, 81671 München, Deutschland
www.degruyter.com
Ein Unternehmen von De Gruyter

Lektorat: Dr. Gerhard Pappert
Herstellung: Tina Bonertz
Druck und Bindung: CPI buch bücher.de GmbH, Birkach

Gedruckt in Deutschland
Dieses Papier ist alterungsbeständig nach DIN/ISO 9706.

Vorwort

Der „Samal“ ist seit mehr als vierzig Jahren als ein Standardwerk der regelungstechnischen Literatur etabliert. Er liegt nun in der 22. Auflage vor. Auch in dieser Auflage wird dem Leser der Zugang zur Regelungstechnik auf eine anschauliche, anwendungsorientierte Weise verschafft, die weitgehend auf theoretischen, mathematischen Aufwand verzichtet. Sowohl der Inhalt als auch der Charakter des Buchs wurden im Wesentlichen nicht verändert. Gegenüber den früheren Auflagen wurde jedoch die Zahl der Beispiele deutlich verringert und zum Teil auf Inhalte verzichtet, die bezüglich dem gegenwärtigen Stand der Technik im Rahmen einer anwendungsorientierten Einführung in die Regelungstechnik wenig relevant sind. Der Leser erhält damit eine übersichtliche, konzentrierte Einführung in die Problematik der Regelungstechnik. Im Zuge der Überarbeitung wurden die Bezeichnungen für die Signale des Regelkreises an die in der regelungstechnischen Literatur überwiegend verwendete Bezeichnungsweise angepasst. Diese Bezeichnungsweise weicht sowohl von der in der vorigen Auflage verwendeten Norm DIN 19226 als auch von der aktuell gültigen Norm DIN ICE 60050-351 ab. Sie hat sich jedoch in Vorlesungsskripten und Lehrbüchern soweit durchgesetzt, dass ein Großteil der Leser des vorliegenden Buchs sich an eine normgerechte Bezeichnungsweise erst gewöhnen müsste.

Wir bedanken uns bei Herrn Doktor Gerhard Pappert vom Oldenbourg Verlag für die freundliche Zusammenarbeit.

Kassel, im Februar 2014

D. Fabian und C. Spieker

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Teil I. Grundlagen der Regelungstechnik	1
1 Grundbegriffe	3
1.1 Einleitung.....	3
1.2 Benennungen und Begriffe	4
1.3 Aufgabe der Regelung	4
1.4 Die Regelstrecke	6
1.5 Das Stellglied und der Stellantrieb.....	8
1.6 Der Regler.....	14
1.7 Die Messeinrichtung	15
1.8 Der Regelkreis	16
1.9 Das Verhalten der Regelgröße bei Störung und Führung	17
1.9.1 Das Störverhalten.....	17
1.9.2 Führungsverhalten	19
1.10 Anwendungsschwerpunkte der Regelungstechnik.....	20
1.11 Aufgabe des Regelungstechnikers	20
1.12 Regelungstechnische Begriffe zu Abschnitt 1	23
2 Die Regelstrecke	25
2.1 Das Verhalten von Regelstrecken im Beharrungszustand	25
2.1.1 Das Kennlinienfeld der Regelstrecke.....	26
2.1.2 Die Abweichung vom Arbeitspunkt	27
2.1.3 Die Übertragungsbeiwerte der Regelstrecke.....	28
2.1.4 Der Stellbereich	29
2.1.5 Regelstrecken ohne Beharrungszustand.....	30
2.2 Stell- und Stör-Sprungantworten der Regelstrecke.....	30
2.3 Regelstrecken mit Ausgleich	32
2.3.1 Verzögerungsarme Regelstrecken.....	34
2.3.2 Regelstrecken mit einer Verzögerung (1. Ordnung)	36
2.3.3 Regelstrecken mit zwei Verzögerungen (2. Ordnung).....	40

2.3.4	Regelstrecken mit schwingendem Verhalten.....	41
2.3.5	Regelstrecken nur mit Totzeit.....	42
2.3.6	Regelstrecken mit vielen Verzögerungen (Regelstrecken höherer Ordnung).....	43
2.4	Regelstrecken ohne Ausgleich.....	45
2.5	Kennwerte von Regelstrecken	48
2.6	Aufnahme der Sprungantwort.....	49
2.7	Atlas von Sprungantworten idealer Regelstrecken	51
2.8	Grenzen in der Anwendung der Sprungantworten.....	52
2.9	Regelstrecken mit mehreren in Reihe geschalteten, verzögerungsbehafteten Gliedern	54
2.10	Formelzeichen und regelungstechnische Begriffe zu Kapitel 2.....	57
3	Stetige Regler (P- und I-Regler)	59
3.1	Einteilung der Regler.....	59
3.1.1	Hilfsenergie	61
3.1.2	Allgemeines zu den verschiedenen Reglerbauarten.....	62
3.2	Der P-Regler (Proportionaler Regler).....	62
3.2.1	Der klassische Drehzahlregler als Beispiel eines stetigen Reglers	62
3.2.2	Der Proportionalbereich (P-Bereich).....	65
3.2.3	Kennlinie des P-Reglers	66
3.2.4	Gleichung des P-Reglers	67
3.2.5	Die bleibende Regeldifferenz	69
3.2.6	Sprungantwort des P-Reglers	70
3.3	Der I-Regler (Integraler Regler)	71
3.3.1	Regler mit Steuerkolben als Beispiel eines I-Reglers mit Hilfsenergie.....	71
3.3.2	Kennlinie des I-Reglers	73
3.3.3	Sprungantwort des I-Reglers	74
3.3.4	Gleichung des I-Reglers	75
3.3.5	Gegenüberstellung von P- und I-Regler.....	77
3.4	Regelungstechnische Begriffe zu Kapitel 3.....	78
4	Stetige Regler (PI-, PD- und PID-Regler)	79
4.1	Der PI-Regler.....	79
4.1.1	Sprungantwort des PI-Reglers	79
4.1.2	Gleichung des PI-Reglers	79
4.1.3	Erzeugen des PI-Verhaltens.....	81
4.1.4	Starre Rückführung.....	82
4.1.5	Nachgebende Rückführung	84
4.1.6	PI- und PID-Regler mit sehr großen Proportionalbereichen.....	87
4.2	Der PD- und PID-Regler	88
4.2.1	Anstiegsantwort des PD- und PID-Reglers	89

4.2.2	Erzeugen des D-Verhaltens.....	91
4.2.3	Vorhaltverstärkung, Vorhaltüberhöhung	93
4.2.4	Gegenüberstellung von P-, I-, PI- und PID-Regler	98
5	Regelkreise mit stetigen Reglern	99
5.1	Allgemeines zur Arbeitsweise von Regelkreisen mit stetigen Reglern.....	99
5.1.1	Das Anfahren des Regelkreises	100
5.1.2	Stabiles und instabiles Verhalten des Regelkreises.....	100
5.1.3	Das Störverhalten des Regelkreises	103
5.1.4	Das Führungsverhalten des Regelkreises.....	103
5.2	Das rechnerische Einschleusen der Störgrößen in den Regelkreis.....	104
5.2.1	Der Angriffspunkt der Störgrößen	104
5.2.2	Umrechnen der Störgrößen auf die Stellgröße.....	106
5.3	Das statische Verhalten des Regelkreises	106
5.3.1	Ermittlung des statischen Verhaltens mit Hilfe der Kennlinien.....	106
5.3.2	I-, PI- oder PID-Regler bei Regelstrecken mit Ausgleich.....	107
5.3.3	Berechnung der bleibenden Regeldifferenz (P- oder PD-Regler).....	108
5.4	Das dynamische Verhalten des Regelkreises.....	110
5.4.1	Das dynamische Verhalten bei P-Reglern.....	111
5.4.2	Das dynamische Verhalten bei I-Reglern	120
5.4.3	Das dynamische Verhalten bei PI- und PID-Reglern.....	124
5.4.4	Welcher Regler passt zu welcher Regelstrecke?.....	125
5.5	Optimale Reglereinstellung	126
5.5.1	Die Regler-Parameter	126
5.5.2	Die Stabilitätsgrenze als Grenze der Regeleinstellung	126
5.5.3	Gibt es eine allgemeingültige, optimale Reglereinstellung?	129
5.5.4	Maßstäbe für die Regelgüte bei einer sprungweisen Störung bzw. Führungsgrößenänderung.....	130
5.5.5	Die verschiedenartigen Anforderungen an die Regelgüte.....	131
5.5.6	Die wichtigsten Methoden für die optimale Reglereinstellung bei einer sprungweisen Störung	132
5.5.7	Gründe, warum in der Praxis die optimale Reglereinstellung oft ziemlich unscharf ist	135
5.6	Regelungstechnische Begriffe zu Abschnitt 5	136
6	Unstetige Regler ohne Rückführung	137
6.1	Vergleich zwischen stetigen und unstetigen Reglern.....	137
6.2	Zweipunktregler ohne Hilfsenergie	137
6.2.1	Sprungschaltung, Schaltdifferenz	138
6.2.2	Kennlinie des Zweipunktreglers	139
6.3	Dreipunktregler ohne Hilfsenergie.....	140
6.3.1	Kennlinie des Dreipunktreglers	141
6.4	Zwei- und Dreipunktregler mit Hilfsenergie.....	142

7	Regelkreise mit unstetigen Reglern ohne Rückführung	143
7.1	Verlauf der Regelgröße nach Schließen des Regelkreises.....	143
7.1.1	Regelstrecken mit einer Verzögerung (1. Ordnung).....	143
7.1.2	Regelstrecken mit vielen Verzögerungen (höherer Ordnung).....	147
7.1.3	Der Einfluss des Stellbereiches	150
7.1.4	Regelstrecken ohne Ausgleich.....	154
7.2	Maßnahmen zum Verkleinern der Schwankungsbreite	156
7.2.1	Verringern der Schaltdifferenz	156
7.2.2	Verkleinern der Verzugszeit und Totzeit.....	156
7.2.3	Vergrößern der Ausgleichszeit	156
7.2.4	Herabsetzen des Leistungsüberschusses.....	157
7.2.5	Grundlast	157
7.2.6	Dreipunktregler.....	158
7.2.7	Rückführung.....	159
7.3	Das Stör- und Führungsverhalten des Regelkreises.....	159
7.3.1	Störverhalten.....	160
7.3.2	Führungsverhalten	163
8	Regelkreise mit unstetigen Reglern mit Rückführung (Quasistetiges Verhalten)	165
8.1	Vor- und Nachteile des Zweipunktreglers ohne Rückführung	165
8.2	Die schubweise Energiezufuhr als Ursache der Schwankungsbreite.....	166
8.3	Zweipunktregler mit verzögerter, einseitiger Rückführung (PD-Verhalten).....	167
8.4	Zweipunktregler mit verzögerter, doppelseitiger Rückführung (PD-Verhalten)	170
8.5	Zweipunktregler mit verzögerter, nachgebender Rückführung (PID-Verhalten).....	171
9	Dreipunktregler mit quasistetigem Verhalten	175
9.1	Gründe, warum Elektromotoren als Stellantriebe an vielen Stellen bevorzugt werden	175
9.2	Grenzwerteinheit	175
9.3	Grenzwertregler (I-Verhalten).....	177
9.4	Schrittregler (PI-Verhalten).....	178
10	Mehrschleifige Regelkreise zum Verbessern der Regelgüte	183
10.1	Arbeitsweise und Blockschemata der wichtigsten mehrschleifigen Regelkreise.....	183
10.1.1	Störgrößenaufschaltung	183
10.1.2	Aufschaltung von Hilfsregelgrößen.....	184

10.1.3	Hilfsstellgrößen.....	185
10.1.4	Grob/Fein-Regelung	185
10.2	Beispiele von mehrschleifigen Regelkreisen	185
Teil II. Digitale Regelungstechnik		187
11	Einführung	189
11.1	Vorbemerkungen	189
11.2	Unterschiedliche Arten digitaler Regelsysteme	189
11.3	Der digitale Regelkreis	190
11.4	Vor- und Nachteile digitaler Regelungen	191
12	Analoge und digitale Signale	193
12.1	Analoge Signale.....	193
12.2	Digitale Signale.....	195
13	Digitale Regelung	199
13.1	Abtastvorgang.....	199
13.1.1	Zusätzliche Totzeiten.....	199
13.1.2	Analoge Filter (Anti-Aliasing-Filter).....	200
13.2	Regelalgorithmus.....	203
13.2.1	P-Regler	203
13.2.2	PD-Regler	204
13.2.3	I-Regler.....	205
13.2.4	PI-Regler.....	205
13.2.5	PID-Regler.....	205
13.3	Geschlossener digitaler Regelkreis	206
13.4	Einfluss der Quantisierung.....	209
14	Zusammenfassung	211
14.1	Schlussbemerkung	211
Sachverzeichnis		213

Teil I. Grundlagen der Regelungstechnik

1 Grundbegriffe

1.1 Einleitung

Aufgabe der Regelung ist es, bestimmte Größen wie z. B. Temperatur, Drehzahl, Druck usw. auf vorgeschriebene Werte zu bringen und auf diesen entgegen allen Störeinwirkungen zu halten. Diese so einfach aussehende Aufgabe beinhaltet aber in sich eine erstaunliche Fülle von Problemen, wie man sie auf den ersten Blick gar nicht vermuten würde. Der praktisch tätige Regelungstechniker, der etwas gründlicher in die Regelungstechnik eindringen möchte, gewinnt beim Durchblättern regeltechnischer Zeitschriften und Bücher leicht die Meinung, dass ein tieferes Eindringen in die Regelungstechnik ohne umfangreiche mathematische Kenntnisse ausgeschlossen ist. Der Praktiker schlägt dann, nachdem er über mehrere Differentialgleichungen, die komplexe Rechnungsweise, die Laplace-Transformation oder über das Hurwitz- und Nyquist-Kriterium gestolpert ist, meist resigniert die beschaffte Literatur wieder zu.

Dieser Eindruck ist aber falsch. Die Erfahrung zeigt immer wieder, dass es bei hinreichender Bemühung um die Form der Darstellung gelingt, auch Zusammenhänge, die scheinbar nur aufgrund umfangreicher mathematischer Kenntnisse zu begreifen sind, verständlich zu machen. Wir können ja auch Auto fahren, elektrische Geräte benutzen und kleinere Störungen an diesen Einrichtungen selbst beheben, ohne dazu ihre genaue, mathematisch gefasste Theorie zu beherrschen. Zum Verlegen einer einfachen elektrischen Leitung ist auch nicht die Kenntnis der elektrischen Leitungstheorie erforderlich.

Worauf es bei der Lösung von Regelungsaufgaben eigentlich ankommt, ist nicht die Kenntnis vieler Formeln und Rechenverfahren, sondern das Erfassen der *wirkungsmäßigen Zusammenhänge* im Regelkreis. Daneben muss man sich – wie bei jeder Technik – eine Reihe von Zahlenwerten aneignen. Den Leser an diese Dinge heranzuführen, soll Aufgabe dieses Buchs sein.

Die Grundgesetze der Regelungstechnik gelten in gleicher Weise für alle Regelkreise, ganz unabhängig davon, wie verschieden sie im Einzelnen auch apparativ aufgebaut sein mögen. Um das besonders zu betonen, sind die im Buch gebrachten Beispiele bewusst den verschiedensten Gebieten der Technik entnommen. Einige besonders anschauliche Beispiele durchziehen dagegen wie ein roter Faden das ganze Buch. Alle beschriebenen Geräte sind schematisch gezeichnet, da eine solche Darstellung das Wesentliche am besten erkennen lässt. Eine große Zahl von Zeichnungen – die Sprache des Ingenieurs – mit ausführlichen Erklärungen soll das Eindringen in den Stoff erleichtern.

Der gebrachte Stoff ist ausschließlich nach seiner Bedeutung für die Praxis ausgewählt. Rein theoretische Betrachtungen, so interessant sie auch sein mögen, die keinen unmittelbaren Bezug auf die praktische Anwendung haben, sind weggelassen worden.

Im Text sind jeweils neue, erstmalig gebrachte Begriffe und wichtige Wörter, auf die es besonders ankommt, kursiv gedruckt. Am Schluss der meisten Abschnitte befindet sich je-

weils eine Zusammenstellung der in diesem Abschnitt neu gebrachten Begriffe mit einer Erklärung dazu. Diese Zusammenstellung ist auch als kurze Wiederholung gedacht.

Die zahlreichen gebrachten Bilder sind nicht laufend, sondern abschnittsweise durchnummeriert und mit einem den Abschnitt kennzeichnenden Zusatz versehen.

1.2 Benennungen und Begriffe

Für die Signale von Regelkreisen wurden Formelzeichen und Begriffe vom Deutschen Institut für Normung in der Norm DIN ICE 60050-351 festgelegt. Jedoch wird diese Norm sowohl in Deutschland als auch im Ausland in regelungstechnischer Literatur kaum verwendet. Für die wichtigsten Signale des Regelkreises, die Führungsgröße, die Regelgröße, die Regelabweichung, die Störgröße und die Stellgröße, wird stattdessen überwiegend die folgende Bezeichnungsweise verwendet:

Führungsgröße: w

Regelgröße: y

Regelabweichung: e

Stellgröße: u

Störgröße: z

Im vorliegenden Buch wird ebenfalls diese Bezeichnungsweise verwendet.

1.3 Aufgabe der Regelung

Nach DIN 19226 ist das *Regeln* – die *Regelung* – ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (z. B. eine Temperatur, eine Drehzahl, eine Spannung), fortlaufend erfasst und mit einer anderen vorgegebenen Größe gleicher Art (der Führungsgröße, s. Abschn. 1.6) verglichen wird. Abhängig vom Ergebnis dieses Vergleichs wird durch den Regelvorgang eine Angleichung der zu regelnden Größe an den Wert der vorgegebenen Größe vorgenommen.

Regelgrößen sind zum Beispiel Temperaturen, Drehzahlen, elektrische Spannungen usw. Das Wort Regelgröße wird hier als Gattungsbegriff für verschiedene Arten von zu regelnden physikalischen Größen verwendet.

Neben den genannten Regelgrößen kommt in der Technik eine Fülle weiterer Regelgrößenarten vor. Tabelle 1.1 gibt eine Übersicht.

Die Regelgröße wird im Allgemeinen von einer Vielzahl von Größen beeinflusst. Ändern sich diese Größen, so ändert sich auch die Regelgröße. Betrachtet man zum Beispiel in einem gasbeheizten Ofen die Temperatur als Regelgröße y , die u. a. vom Gasstrom, vom Gasdruck, dem Heizwert des Gases, der Umgebungstemperatur und insbesondere auch vom schwankenden Wärmebedarf des Ofens beeinflusst wird. Auf die meisten dieser Größen hat der Betreiber der Anlage keinen oder nur eingeschränkten Einfluss. Die Änderungen dieser Größen sind Störungen, die die Temperatur verändern, ohne dass dies beabsichtigt war. Um

Störungen entgegenzuwirken, wählt man eine leicht zu ändernde Einflussgröße (z. B. den Gasstrom), die man - gemäß einem geeigneten Regelalgorithmus - so verstellt, dass trotz der Störungen die Temperatur konstant bleibt. Diese Größe bezeichnet man als *Stellgröße* u.

Tabelle 1.1: Die wichtigsten Regelgrößenarten in den verschiedenen Gebieten der Technik

Mechanische Technik (Maschinenbau)	Einheit:
Kraft	N(Newton) ¹
Materialspannung, Druck	N/m ² , bar ¹
Drehmoment	Nm
Geschwindigkeit	m/s
Drehzahl, Drehfrequenz	1/min, 1/s
Beschleunigung	m/s ²
Hub, Stand, Lage	m, Grad
Elektrotechnik	
Spannung	V
Strom	A
Wirk- und Blindleistung	W, Var
Phasenwinkel	Grad
Frequenz	Hz
Verstärkung	Zahl
Verfahrenstechnik, Chemie	
Temperatur	K(°C)
Druck	N/m ² , bar
Menge	l, m ³ bzw. kg, t
Durchfluss, Massenstrom	l/h, m ³ /h bzw. kg/h, t/h
Gemisch- oder Durchflussverhältnis	%
Niveau	m
Ionenkonzentration	pH
elektrische Leitfähigkeit von Flüssigkeiten	μS/cm
Lichtdurchlässigkeit	%
Gaszusammensetzung	Volum.-%
absolute und relative Feuchte	g/m ³ bzw. %
Heizwert	kJ/kg, kJ/m ³ ²
Beleuchtungstechnik	
Beleuchtungsstärke	Ix
Fahrzeugtechnik	
Geschwindigkeit	m/s, km/h
Beschleunigung	m/s ²
Kurs	Grad
Höhe	m
Seitenlage	Grad

¹ Zur Umrechnung gilt: 1N = 0,102 kp bzw. 1 kp = 9,81 N und 1 bar = 10⁵ N/m² = 1,02 kp/cm².

² J = Joule. Zum Umrechnen in die überholte Kalorie (cal) gilt: U = 1 Ws = 0,239 cal.

Betrachtet man die Drehzahl eines Elektromotors, so findet man als Einflussgrößen die Ankerspannung des Motors, den Erregerstrom und insbesondere den unterschiedlichen Drehmomentenbedarf der vom Motor angetriebenen Arbeitsmaschine. Man kann dann beispielsweise den Erregerstrom als Stellgröße wählen und diesen stets so verändern, dass damit die störenden Einflüsse von Ankerspannungsschwankungen und Drehmomentschwankungen ausgeglichen werden.

In einem anderen Anwendungsfall kann es u.U. sinnvoll sein, die Ankerspannung des Motors als Stellgröße zu wählen. Dann zählt der Erregerstrom des Motors zu den Störgrößen. Eine Regelung benötigen wir aber offenbar nur dann, wenn die Regelgröße nicht von selbst auf dem gewünschten Wert konstant bleibt, sondern infolge der Änderungen der Störgrößen das Bestreben hat „davonzulaufen“. Störgrößen, die während des Betriebes ihren Wert konstant halten, stellen keine Störungen im eigentlichen Sinne dar und brauchen von uns weiter nicht berücksichtigt zu werden.

Bei jeder Regelaufgabe müssen wir uns zuerst mit dem „Dreigestirn“

Regelgröße – Stellgröße – Störgrößen

auseinandersetzen.

Ganz gleich, welche Regelaufgabe zu lösen ist, immer müssen wir zuerst fragen:

- Was soll geregelt werden, was ist die *Regelgröße* ?
- Welche Größen beeinflussen die Regelgröße?
- Welche dieser Einflussgrößen ist die geeignetste *Stellgröße* ?
- Welche Einflussgrößen verbleiben dann als *Störgrößen* und wie wirken sie sich aus?

Was als Regelgröße anzusehen ist, dürfte meist ziemlich klar sein. Die am besten geeignete Stellgröße liegt dagegen nicht immer so klar auf der Hand. Die Störgrößen müssen oft geradezu aufgespürt werden!

1.4 Die Regelstrecke

Der Teil der geregelten Anlage, in dem die Regelgröße konstant zu halten ist und an dem die Stellgröße und die Störgrößen angreifen, wird als *Regelstrecke* bezeichnet.

Bei dem Beispiel eines temperaturgeregelten, gasbeheizten Ofens ist also der Ofen die Regelstrecke. Beim drehzahlgeregelten Motor stellt dieser zusammen mit der Arbeitsmaschine die Regelstrecke dar. Bei regelungstechnischen Überlegungen ist es zweckmäßig, die Regelstrecke durch ein Kästchen, einen „Block“, anzudeuten und an diesem Block, wie in Bild 1.1 gezeichnet, die Stellgröße und die Störgrößen symbolisch angreifen zu lassen, wobei die Regelgröße das Ausgangssignal des Blockes darstellt.

Diese Darstellung hat den Vorteil, gedanklich von dem apparativen Aufbau der jeweilig betrachteten Regelstrecke loszukommen. Nur das für die Regelungstechnik Wichtige wird hingezeichnet.

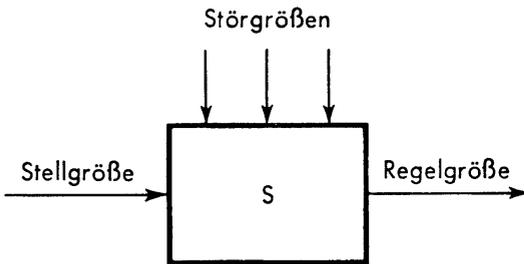


Bild 1.1: Blockdarstellung der Regelstrecke mit der Regelgröße, der Stellgröße und den Störgrößen. S: Regelstrecke.

Nun einige Beispiele von Regelstrecken:

Beispiel 1: Temperatur-Regelstrecke (Bild 1.2)

Die Temperatur in einem gasbeheizten Ofen soll konstant gehalten werden. Bild 1.2 zeigt eingerahmt die Regelstrecke. Regelgröße ist die Temperatur [°C], Stellgröße, wie schon gesagt, der Gasstrom [m³/h], Störgrößen sind der sich ändernde Gasdruck [mbar], der schwankende Heizwert des Gases [kJ/m³] und besonders der unterschiedliche Wärmebedarf des Ofens [kJ/h].

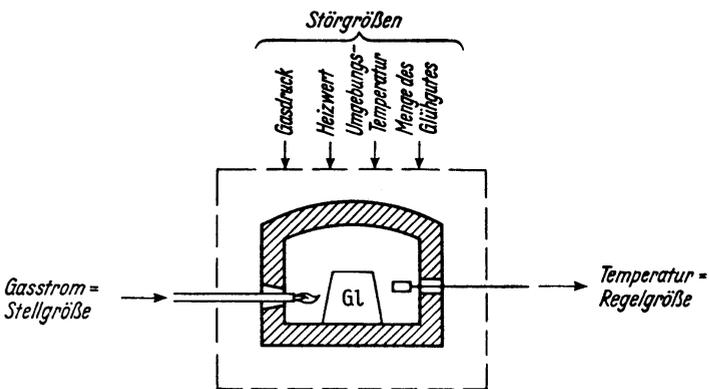


Bild 1.2: Gasbeheizter Ofen als Temperatur-Regelstrecke. Gl Glühgut.

Beispiel 2: Drehzahl-Regelstrecke (Bild 1.3)

Die Drehzahl einer Turbine oder Dampfmaschine ist konstant zu halten. Regelgröße ist hier die Drehzahl [1/min], Stellgröße der Dampfstrom [t/h]. Als Störgrößen sind anzusehen: Der Dampfdruck [bar], die Dampftemperatur [°C] und besonders das schwankende Drehmoment [Nm] des angetriebenen Generators, wie auch der Gegendruck bei einer Turbine.

Beispiel 3: Flüssigkeitsstand-Regelstrecke (Niveau-Regelstrecke, Bild 1.4)

Der Flüssigkeitsstand in einem Behälter oder Becken soll unabhängig von der schwankenden Entnahme durch den Zufluss auf einer bestimmten Höhe gehalten werden. Regelgröße ist hier der Flüssigkeitsstand [m], Stellgröße der Zufluss [m³/h], Hauptstörgröße ist der schwankende Abfluss [m³/h], der von außen vorgegeben ist und über die Regelstrecke den Flüssigkeitsstand beeinflusst.

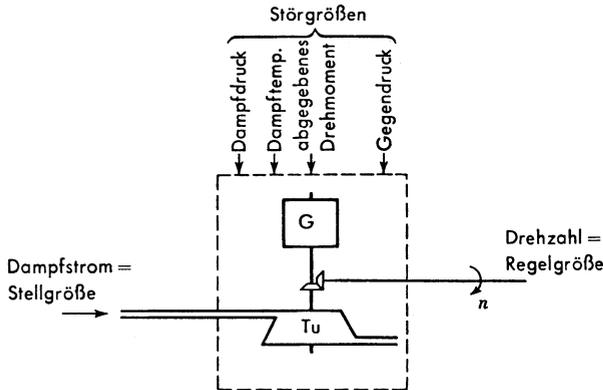


Bild 1.3: Dampfturbine als Drehzahl-Regelstrecke. Tu Turbine, G Generator.

Beispiel 4: Spannungs-Regelstrecke (Bild 1.5)

Die Spannung eines Gleichstromgenerators soll konstant gehalten werden. Regelgröße ist hier die Spannung U [V]. Als Stellgröße dient die Größe des Erregerwiderstandes R_E bzw. der dadurch beeinflusste Erregerstrom I_E [A]. Hauptstörgrößen sind der schwankende Belastungswiderstand R_B des Netzes, bzw. damit verbunden der unterschiedliche Strom I [A] des Generators, und die schwankende Antriebsdrehzahl n [1/min].

In den vier Beispielen waren die Regelstrecken: Ein Glühofen, eine Dampfturbine, ein Behälter, ein Gleichstromgenerator. Diese Regelstrecken stellen aber nur einen kleinen Ausschnitt aus der fast unübersehbaren Zahl praktisch vorkommender Regelstrecken dar.

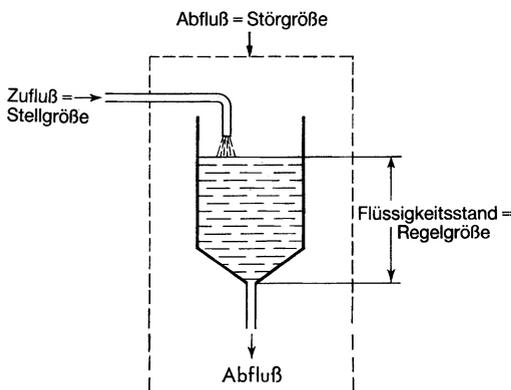


Bild 1.4: Behälter als Flüssigkeitsstand-Regelstrecke.

1.5 Das Stellglied und der Stellantrieb

Um die Regelgröße beeinflussen zu können, müssen wir, wie wir eben gesehen haben, die Stellgröße verändern können. Dazu wird meist ein besonderes Organ benutzt, das als *Stellglied* bezeichnet wird. Das Stellglied hat dabei die Aufgabe, einen Massen- oder Energiestrom zu dosieren. Die Massenströme haben entweder gasförmige, flüssige oder feste Beschaffenheit. Beispiele für Massenströme sind: Erdgas, Dampf, Heizöl, Wasser, Kohle usw.

Bei den Energieströmen handelt es sich um elektrische oder mechanische Energie. Stellglieder werden wir durch die in Bild 1.6 gezeichneten Sinnbilder darstellen. Bei der Temperaturregelung von Beispiel 1 wird man zweckmäßig als Stellglied eine Klappe verwenden. Bei der Drehzahlregelung von Bild 1.3 und der Flüssigkeitsstand-Regelung von Bild 1.4 wird zweckmäßig ein Ventil als Stellglied verwendet. Bei der Spannungsregelung von Bild 1.5 ist das Stellglied ein einstellbarer Widerstand. Tabelle 1.2 gibt eine Übersicht der am häufigsten verwendeten Stellglieder für Gase, Dämpfe, Flüssigkeiten, Schüttgüter und für elektrische Energie.

Das Stellglied wird oft durch einen besonderen *Stellantrieb* betätigt. Ein Stellantrieb ist dann erforderlich, wenn der Regler nicht in der Lage ist, das Stellglied unmittelbar zu betätigen, weil er entweder zu wenig Stellenergie abgeben kann oder weil die vom Regler gelieferte Energieform nicht für das Verändern der Stellgröße geeignet ist. In solchen Fällen steuert der Regler zweckmäßiger einen mit mechanischer, pneumatischer, hydraulischer oder elektrischer Energie gespeisten Stellantrieb. Tabelle 1.3 zeigt die wichtigsten Stellantriebe. Stellglied und Stellantrieb bilden zusammen das *Stellgerät*.

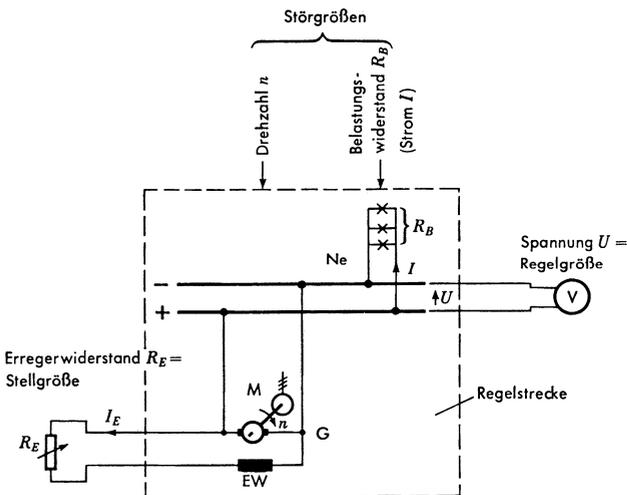


Bild 1.5: Gleichstromgenerator mit angeschlossenem Netz als Spannungs-Regelstrecke. G Gleichstromgenerator, M Antriebsmotor, Ne Netz, EW Erregerwicklung, R_E Erregerwiderstand.

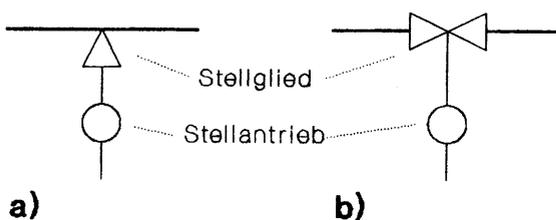
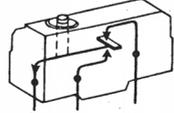
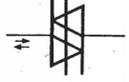
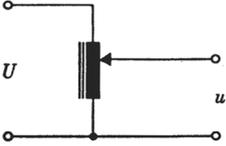
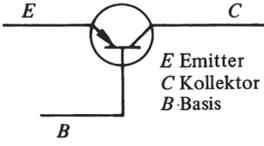


Bild 1.6: Zeichen für das Stellgerät mit Stellglied und Stellantrieb nach DIN 19227 und DIN 19228. a) allgemein, b) Ventil

Tabelle 1.2: Stellglieder für Massen- und Energieströme

Art des Massen- bzw. Energie- stromes	Stellglied	Schematisch
a) Massenströme		
Flüssigkeiten	Dosierpumpe	
Gas Dampf Flüssigkeiten	Ventil	
	Klappe	
	Schieber	
	Abzugschieber	
Schüttgüter	Förderband und Zuteiler mit einstellbaren Getrieben	
	Vibratorkrinne	

Art des Massen- bzw. Energie- stromes	Stellglied	Schematisch	
b) Energieströme			
Elektrische Energie	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 4em; margin-right: 10px;">{</div> <div style="margin-right: 10px;">{</div> <div style="margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-right: 10px;">}</div> </div>		
		Kippschalter (Mikroschalter)	
		Schaltschütz, Relais	
		Thyristor (gesteuerte Diode)	
		Triac (Zweirichtungs- Thyristortriode)	
unstetig			
Elektrische Energie	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 4em; margin-right: 10px;">{</div> <div style="margin-right: 10px;">{</div> <div style="margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-right: 10px;">}</div> <div style="margin-right: 10px;">}</div> </div>		
		Stelltransformator	
		PNP-Transistor als Stromsteuerer	 <p style="margin-left: 150px;">E Emitter C Kollektor B Basis</p>
stetig			