

79 2803

VERFAHRENSTECHNIK



**Regelungstechnik
für Verfahrenstechniker I**

VERFAHRENSTECHNIK ⁸⁰⁸⁵³⁰⁸

Ein Lehrwerk für Universitäten und Hochschulen

Herausgeber:

- Prof. Dr.-Ing. habil. G. Gruhn, Merseburg
- Prof. Dr.-Ing. habil. W. Fratzscher, Merseburg
- Prof. Dr.-Ing. H. Krug, Freiberg
- Doz. Dr.-Ing. K. E. Müller, Dresden
- Prof. Dr.-Ing. I. ...
- Prof. Dr.-Ing. I. ...

TP272 7962803
H1
V.1

Regelungstechnik für Verfahrenstechniker 1



TP272
H.1
V.1

7962803
Regelungstechnik
für Verfahrenstechniker I

Autoren:

- Prof. Dr. rer. nat. A. Helms, Merseburg (Federführung)
- Dr.-Ing. F. Anders, Dresden
- Dr.-Ing. D. Auerbach, Karl-Marx-Stadt
- Dr. paed. W. Döll, Merseburg
- Dr.-Ing. M. Grauer, Merseburg
- Doz. Dr. rer. nat. H.-J. Hörig, Merseburg
- Dr. rer. nat. G. Lorenz, Merseburg
- Doz. Dr.-Ing. H. Reinhardt, Freiberg

3., bearbeitete Auflage

Mit 136 Bildern und 17 Tabellen



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie · Leipzig

Als Lehrbuch für die Ausbildung an Universitäten und Hochschulen der DDR anerkannt.

Berlin, Oktober 1977

Minister für Hoch-
und Fachschulwesen

Das Lehrbuch »Regelungstechnik für Verfahrenstechniker I« ist ein Arbeitsmittel für Studierende, das ihnen in Einheit mit dem gleichnamigen Arbeitsbuch die systematische Aneignung der Grundlagen der Regelungstechnik ermöglicht. Im Vordergrund der Ausführungen steht der einschleifige Regelkreis, der sowohl als Ganzes als auch in seinen Teilen Regelstrecke und Regler ausführlich behandelt wird. Darüber hinaus werden die Studierenden auch über mehrschleifige Regelkreise, Mehrgrößenregelungen und nichtlineare Regelungen ausreichend informiert. Zur Erhöhung des Verständnisses und zur besseren Veranschaulichung wurden zahlreiche verfahrenstechnische Beispiele in das Lehrbuch aufgenommen. Gegenüber den vorangegangenen Auflagen erfolgte nicht nur eine gründliche Bearbeitung des Inhalts, sondern es wurde auch eine inhaltliche Erweiterung durch die Abschnitte 6.5. (Stelleinrichtungen) und 10.5. (Abtestregelungen) vorgenommen.

3., bearbeitete Auflage

Copyright by VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1973

Bearbeitete Auflage: © VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1978

VLN: 152-915/34/78

LSV: 3604

Printed in the German Democratic Republic

Lektor: H. Gausche

Satz und Druck: Gutenberg Buchdruckerei, 53 Weimar, Marienstraße 14

Redaktionsschluß: 1. 5. 1978

Bestell-Nr.: 541 161 2

DDR 13,50 M

Vorwort

Für den Verfahrenstechniker ist es aus mehreren Gründen notwendig, die Grundlagen der Regelungstechnik zu beherrschen. Einerseits müssen regelungstechnische Gesichtspunkte bei der Auslegung von Verfahren und Anlagen berücksichtigt werden, zumal regelungstechnische Einrichtungen direkter Bestandteil verfahrenstechnischer Anlagen sind. Das Betreiben solcher Anlagen setzt in jedem Fall regelungstechnische Kenntnisse voraus. Schließlich trägt die Regelungstechnik zur Vermittlung wichtiger allgemeiner ingenieurtechnischer Arbeitsmethoden bei.

Die zunehmende Bedeutung der Automatisierungstechnik und in diesem Rahmen auch der Regelungstechnik für die Auslegung und den Betrieb von Verfahren und Anlagen in der stoffwandelnden Industrie ist durch Entwicklungstendenzen der Technologie in diesem Bereich bedingt. Die Entwicklung zu Anlagen hoher Leistung, die Anwendung extremer Prozeßbedingungen, die Gewährleistung höherer Qualitätssforderungen für die Produkte, die zunehmende Komplexität der Produktionssysteme, höhere Anforderungen hinsichtlich Umweltschutz und technischer Sicherheit und Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Menschen im Produktionsprozeß sind solche Entwicklungen, die ohne die Automatisierungstechnik nicht beherrscht werden können.

Der allgemeine Beitrag der regelungstechnischen Ausbildung im Rahmen des Verfahrenstechnikstudiums ist in folgendem zu sehen:

Bei der Behandlung regelungstechnischer Problemstellungen tritt als allgemeiner Aspekt ingenieurtechnischer Tätigkeit die Frage nach der notwendigen Genauigkeit technischer Modelle, den zweckmäßigen Wegen ihrer Erarbeitung und ihrer Aussagekraft auf, die ebenso wie in anderen Bereichen der Ingenieurwissenschaften stets im Hinblick auf die Erzielung einer für den jeweiligen Anwendungsfall ausreichenden Aussage zu beantworten ist.

Die Regelungstechnik bedient sich in vielfacher Weise der Mathematik. Damit wird einer aktuellen Entwicklung in den Ingenieurwissenschaften entsprechend die Anwendung mathematischer Betrachtungsweise im Studium gelehrt und geübt.

Hinsichtlich ihrer Stellung im Studienablauf hat die Regelungstechnik somit einerseits eine vorbereitende Funktion für verfahrenstechnische Gebiete, die die Auslegung und Gestaltung von Prozessen, Verfahren und der zugehörigen Ausrüstungen – eben auch unter Einschluß automatisierungstechnischer Aspekte – zum Gegenstand haben. Andererseits wird eine vollständige Nutzung der im vorliegenden Lehrbuch mitgeteilten Grundlagen der Regelungstechnik durch die Verfahrenstechniker erst nach Erlangung der notwendigen Kenntnisse über spezielle Prozesse und Verfahren der stoffwandelnden Industrie möglich sein und damit ein Ergebnis des gesamten Studiums darstellen.

Das vorliegende Lehrbuch erscheint in Verbindung mit dem zugehörigen Arbeitsbuch »Regelungstechnik für Verfahrenstechniker II«. Beide Titel sind für den gemeinsamen Gebrauch im Hochschulstudium aufeinander abgestimmt.

Für eine gründliche Durchsicht des Manuskriptes, für zahlreiche kritische Hinweise und nützliche Anregungen danken die Autoren Herrn Prof. Dr. sc. techn. G. BRACK.

Herausgeber und Autoren

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen	9
1. Einleitung	11
1.1. Verfahrenstechnik und Automatisierungstechnik	11
1.2. Grundbegriffe der Regelungstechnik	13
2. Struktur und Übertragungsfunktionen des Regelkreises	18
2.1. Struktur des Regelkreises	18
2.2. Übertragungsfunktion eines Regelkreisgliedes	22
2.3. Übertragungsfunktionen des Regelkreises	30
2.4. Aufstellen und Auswerten von Signalflußbildern	33
3. Verhalten des Regelkreises	45
3.1. Einführendes Beispiel – Füllstandsregelung	47
3.2. Verhalten des Regelkreises bei sprungförmigen Störsignalen	52
3.3. Regelgüte bei sprungförmigen Störsignalen	58
3.4. Verhalten des Regelkreises bei sinusförmigen Störsignalen	60
3.5. Regelgüte bei sinusförmigen Störsignalen	67
4. Beschreibung und Eigenschaften linearer Übertragungsglieder	71
4.1. Beschreibung der Grundglieder	72
4.1.1. Proportionalglied (P -Glieder)	72
4.1.2. Integralglied (I -Glieder)	74
4.1.3. Differentialglied (D -Glieder)	75
4.1.4. Verzögerungsglied 1. Ordnung (T_1 -Glieder)	76
4.1.5. Verzögerungsglied 2. Ordnung, schwingend (T_{2s} -Glieder)	78
4.1.6. Totzeitglied (T_t -Glieder)	83
4.2. Allpaßglieder	84
4.3. Kombinierte Glieder	86
4.3.1. Reihenschaltung	86
4.3.2. Parallelschaltung	87
4.3.3. Rückführschaltung	89

5.	Analyse der Regelstrecke	91
5.1.	Theoretische und experimentelle Analyse	91
5.2.	Graphische und grapho-analytische Methoden	93
5.2.1.	Verwendung von Zeitfunktionsatlanten	93
5.2.2.	Tangentenmethode	94
5.2.3.	Auswertung mit Hilfe empirischer Kennwerte	95
5.2.4.	Zerlegung in Elementarfunktionen	98
5.2.5.	Flächenmethode	100
5.3.	Analytische und kombinierte Methoden	102
5.4.	Analyse einer verfahrenstechnischen Regelstrecke	103
6.	Regler	107
6.1.	Regler und Regeleinrichtung	107
6.1.1.	Elemente der Regeleinrichtung	107
6.1.2.	Hilfsenergie	109
6.1.3.	Meßgrößenregler und Einheitsregler	111
6.1.4.	Regler und Rückführung	113
6.2.	Elektronische Regler	115
6.2.1.	Elektronischer Verstärker mit Rückführung	115
6.2.2.	Vergleichsglied, Sollwertgeber und Leistungsverstärker	118
6.3.	Pneumatische Regler	119
6.3.1.	Pneumatischer Verstärker mit Rückführung	119
6.3.2.	Kraftvergleichsregler	122
6.3.3.	Momentenvergleichsregler	125
6.4.	Hydraulische Regler	128
6.5.	Stelleinrichtungen	129
6.5.1.	Stellglieder	129
6.5.2.	Stellantriebe	134
7.	Stabilität und Dimensionierung des Regelkreises	138
7.1.	Stabilität und Güte der Regelung	138
7.2.	Untersuchungen am geschlossenen Regelkreis	143
7.3.	Untersuchungen im Zeitbereich am offenen Regelkreis	148
7.4.	Untersuchungen im Frequenzbereich am offenen Regelkreis	152
8.	Störgrößenaufschaltung und mehrschleifiger Regelkreis	155
8.1.	Regelkreis mit Störgrößenaufschaltung	156
8.2.	Regelkreis mit Hilfsregelgröße	158
8.3.	Regelkreis mit Hilfsstellgröße	160

9.	Mehrgrößenregelung	162
9.1.	Definition und Gleichungen der Mehrgrößenregelung	162
9.2.	Stabilität von Mehrgrößenregelungssystemen	166
9.3.	Entkopplung von Mehrgrößenregelungen	170
10.	Nichtlineare Regelkreise und Abtastregelungen	173
10.1.	Beschreibung nichtlinearer Regelkreise	173
10.2.	Zweipunktregelungen	175
10.3.	Beschreibung nichtlinearer Regelkreise mit Hilfe der harmonischen Linearisierung	177
10.4.	Analyse nichtlinearer Regelkreise mit Hilfe der Zustandsdiagramme..	182
10.5.	Abtastregelungen	186
	Literaturverzeichnis	191
	Anhang	192
	Sachwörterverzeichnis	198

Verzeichnis der Formelzeichen

a	Konstante; FOURIER-Koeffizient
A	Amplitude der Arbeitsbewegung
A_{Rd}	Amplitudenvorrat
b	Konstante; FOURIER-Koeffizient
c, C	Konstante
$C(p)$	charakteristischer Faktor
D	Dämpfungsgrad; Determinante
f	Frequenz
$G(p)$	Übertragungsfunktion
$G_o(p)$	– des offenen Regelkreises
$G_r(p)$	– der Rückführung in einer Rückführschaltung
$G_v(p)$	– des Vorwärtszweiges in einer Rückführschaltung
$G_R(p)$	– des Reglers bzw. der Regeleinrichtung
$G_S(p)$	– der Regelstrecke
$G_{SY}(p)$	– für das Stellverhalten der Regelstrecke
$G_{SZ}(p)$	– für das Störverhalten der Regelstrecke
$G_{St}(p)$	– der Steuereinrichtung
$G_W(p)$	– für das Führungsverhalten des Regelkreises
$G_Z(p)$	– für das Störverhalten des Regelkreises
$G(j\omega)$	Frequenzgang
$h(t)$	Übergangsfunktion
J	Beschreibungsfunktion
J_o	normierte Beschreibungsfunktion
k	Konstante
K	proportionaler Übertragungsfaktor, Verstärkung
K_{krit}	kritische Kreisverstärkung
K_o	Kreisverstärkung
K_v	Verstärkung im Vorwärtszweig einer Rückführschaltung
K_D	differentialer Übertragungsfaktor
K_I	integraler Übertragungsfaktor
K_S	proportionaler Übertragungsfaktor der Regelstrecke
K_R	proportionaler Übertragungsfaktor des Reglers bzw. der Regeleinrichtung
K_V	K_V -Zahl
$\mathcal{L}\{x(t)\}$	LAPLACE-Transformation von $x(t)$
p	komplexe Variable
P_i	i -ter Pfad im Signalflußbild
R_{stat}	statischer Regelfaktor
R_{stoch}	stochastischer Regelfaktor
$R(\omega)$	dynamischer Regelfaktor
\bar{R}	Übertragungsmatrix der Regeleinrichtung
$\bar{S}_k^{(i)}$	k -te Schleife i -ter Ordnung im Signalflußbild
$S(\omega)$	spektrale Dichte
\bar{S}	Übertragungsmatrix der Regelstrecke
t	Zeit

T	Zeitkonstante; Schwingungsdauer
T_a	Ausgleichszeit
T_A	Abtastperiodendauer
T_{an}	Anregelzeit
T_{aus}	Ausregelzeit
T_D	Zeitkonstante des D -Gliedes
T_H	Haltedauer
T_I	Zeitkonstante des I -Gliedes
T_{krit}	kritische Schwingungsdauer
T_N	Nachstellzeit
T_{per}	Periodendauer der Arbeitsbewegung
T_t	Totzeit
T_u	Verzugszeit
T_V	Vorhaltzeit
u	Ansprechempfindlichkeit
V	Verstärkung
w	Führungsgröße
x	Regelgröße
x_a	Ausgangsgröße
x_{ao}	Amplitude der sinusförmigen Ausgangsgröße
x_e	Eingangsgröße
x_{eo}	Amplitude der sinusförmigen Eingangsgröße
x_H	Hilfsregelgröße
x_k	Sollwert der Regelgröße
x_o	Sprunghöhe der Sprungfunktion
x_w	Regelabweichung
x_{wB}	bleibende Regelabweichung
x_{wmax}	maximale Regelabweichung
$x_{wü}$	Überschwingweite
\bar{x}	Mittelwert von x
$X(p)$	LAPLACE-Transformierte von $x(t)$
y	Stellgröße; Ventilstellung
y_H	Hilfsstellgröße
z	Störgröße
$Z(j\omega)$	komplexer Widerstand
δ	Realteile der Variablen p
$ \delta _{min}$	Stabilitätsreserve
τ	Zeitkonstante
φ	Phasenwinkel, Phasenverschiebung
φ_{Rd}	Phasenvorrat
ω	Kreisfrequenz; Imaginärteil der Variablen p
ω_d	Eigenfrequenz des gedämpften Systems
ω_0	Eigenfrequenz des ungedämpften Systems
ω_r	Resonanzfrequenz

1. Einleitung

1.1. Verfahrenstechnik und Automatisierungstechnik

Eine ständige Entwicklung der Technik wie auch vieler anderer Gebiete ist seit Beginn des Jahrhunderts offensichtlich, in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts schreitet die Entwicklung auf vielen Gebieten sogar äußerst stürmisch voran, zum Beispiel in der Raumfahrttechnik und der Elektronik, in der Chemieindustrie und im Bauwesen. Auch die Gebiete in der Industrie, in denen der Verfahrenstechniker bei der Entwicklung und Planung, beim Entwurf, bei der Errichtung und betrieblichen Leitung der Prozesse der Stoffwandlung und Stoffverarbeitung tätig ist, haben sich schnell entwickelt und werden sich weiter verändern:

- Neue Rohstoffe wie Erdöl und Erdgas ermöglichen neue und effektivere Technologien.
- Probleme der Energiewandlung und des Energiebedarfs werden in neuer Weise gelöst.
- Es gibt vorwiegend nicht einzelne, isoliert produzierende Anlagen, sondern eine Kopplung vieler Anlagen zu einem Produktionskomplex.
- Die einzelnen Anlagen werden größer, der Durchsatz erhöht sich.
- Die in den Anlagen ablaufenden Prozesse werden intensiver (höherer Druck, größere Temperatur).

Diese Weiterentwicklung zu hocheffektiven Produktionseinheiten bringt auch für die Automatisierungstechnik neue und schwierigere Aufgabenstellungen. Ein Vergleich der Produktion in einem Reaktor der »Alchimistenküche« mit der kontinuierlichen Produktion in einem Rührkesselreaktor unserer Zeit soll das verdeutlichen. Würde man im mittelalterlichen Reaktor »wissenschaftlich« produzieren, genügte es sicher, die Werte der folgenden Größen in der »Rezeptur« festzulegen und im Prozeßverlauf einzuhalten:

- Massen der einzuwiegenden Stoffe
- zeitlicher Temperaturverlauf während des Prozesses, beeinflussbar durch die Heizleistung (Blasebalg).

Als Meßgeräte wären Waage und Thermometer erforderlich.

Für die Produktion im Rührkesselreaktor sind von Bedeutung:

- Masseströme in den Zuflüssen und im Abfluß
- Temperatur, Druck und Konzentration der einzelnen Komponenten im Reaktor
- Intensität der Durchmischung im Reaktor
- Massestrom und Temperatur des Kühlmittels oder entsprechender Größen eines Heizsystems.

Es ist ersichtlich, daß in einer modernen Anlage weit mehr Größen auf das Produktionsergebnis Einfluß nehmen. Die Werte dieser Größen sind oft in engen Toleranz-

bereichen zu halten, um die Produktion effektiv, ökonomisch durchführen zu können. Genaues Einhalten der Werte setzt aber eine gut entwickelte Meßtechnik voraus, die auch noch sicher Informationen über die Werte einer Größe innerhalb des entsprechenden Toleranzbereiches liefert. Weiterhin sind Vorrichtungen zum Eingreifen in Energie- und Stoffströme zu entwickeln und zweckmäßig in den Anlagen vorzusehen. Die Aufgaben im Zusammenhang mit der Produktion sind umfangreicher, vielseitiger und schwieriger geworden. Die Automatisierungstechnik bietet ihre Hilfe in vielfacher Weise für die Erfüllung dieser Aufgaben an [7]:

Prozeßüberwachung und -sicherung: Erfassung der wichtigen Prozeß- und Produktgrößen und Signalisierung der Größen, deren Werte vorgegebene Schranken verlassen haben.

Prozeßbilanzierung: Bilanzierung des Material- und Energieverbrauches für die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Produktion.

Prozeßstabilisierung: Verminderung der Abweichungen der Prozeßgrößen von vorgegebenen Werten infolge von Störgrößenauswirkungen.

Prozeßführung: Gezielte Veränderungen der Werte der Prozeßgrößen bei An- und Abfahrvorgängen und weiteren geforderten Veränderungen des Produktionsregimes.

Prozeßoptimierung: Berechnungen zur Ermittlung des optimalen Prozeßregimes und Empfehlung oder Einleitung geeigneter Maßnahmen zur Herstellung der optimalen Produktionsweise.

Der Mensch wird sich durch die Automatisierung von formalisierbarer, ständig wiederkehrender geistiger Arbeit entlasten (z. B. Einhaltung von Druck, Temperatur und Konzentration im Reaktor, Überwachung des Kühlsystems). Er wird technischen Mitteln die Tätigkeiten übertragen, menschliche Arbeitskraft steht im größeren Maße für schöpferische Tätigkeit zur Verfügung (Einführung neuer Technologien, Optimierung der Produktion nach technisch-ökonomischen Gesichtspunkten). Die Automatisierung ist damit wie jede Rationalisierung ein Weg zur Erhöhung der Arbeitsproduktivität, ist Weg – nicht Ziel.

Auch wenn sich die weiteren Abschnitte vorwiegend oder sogar ausschließlich mit der technischen Seite der Automatisierung beschäftigen, soll hier noch einmal betont werden, daß die Automatisierung viele bedeutende gesellschaftliche Aspekte enthält, die unter Nutzung der Vorzüge der sozialistischen Gesellschaftsordnung zu beachten sind:

- Die Stellung des Menschen im Produktionsprozeß verändert sich. Die körperliche Arbeit nimmt ab, die geistig schöpferische zu.
- Für die schöpferisch geistige Arbeit sind die Werktätigen planmäßig zu qualifizieren.
- Die Teilnahme der Werktätigen an der Planung und Leitung der Produktion wird durch die Lösung der unmittelbaren Bindung an die Produktion möglich und notwendig.
- Unter Berücksichtigung der erhöhten Arbeitsproduktivität wird die Verkürzung der Arbeitszeit vorbereitet, die Freizeit ist sinnvoll für die Qualifizierung und für die Befriedigung der zunehmenden kulturellen Bedürfnisse einzusetzen.
- Eine Verbesserung der Umweltbedingungen ist erreichbar.

Der Mensch als Ziel aller gesellschaftlichen Prozesse im Sozialismus hat die Automatisierung zur Festigung und zur Weiterentwicklung der sozialistischen Produktionsverhältnisse zu meistern.

1.2. Grundbegriffe der Regelungstechnik

In diesem Abschnitt werden die Grundgedanken und Grundbegriffe der Regelungstechnik erläutert. Als Beispiel dient die Stabilisierung bzw. die Führung des Prozesses in einem kontinuierlich arbeitenden Rührkesselreaktor mit exothermer Reaktion. Es werden die einzelnen Aufgabenstellungen und ihre Lösungen mit Hilfe von Steuerungen und Regelungen gezeigt.

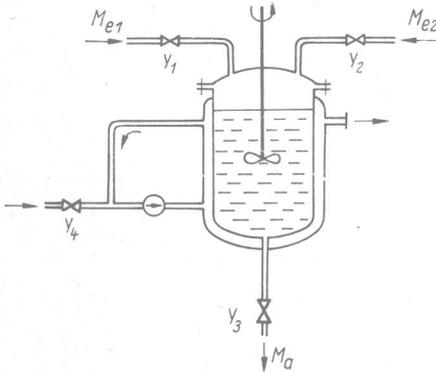


Bild 1.1. Kontinuierlicher Rührkesselreaktor

Prozeßbeschreibung

In den Rührkesselreaktor (s. Bild 1.1) fließen über die Zuleitungen zwei Reaktionspartner mit den Masseströmen M_{e1} und M_{e2} ein. Die bei der exothermen Reaktion entstehende Wärme wird über das Kühlsystem abgeführt bzw. mit dem den Kessel verlassenden Produkt (Massestrom M_a) abtransportiert.

Bei Kenntnis des mathematischen Modells, das die Zusammenhänge zwischen den Eingangsgrößen (z. B. M_{e1} , M_{e2}) und den Ausgangsgrößen (z. B. Temperatur im Reaktor, Füllstand im Reaktor) durch mathematische Gleichungen beschreibt, kann der Verfahrenstechniker den für die Produktion günstigen Arbeitspunkt berechnen. Aufgabe der Prozeßstabilisierung ist es, die zeitlich veränderlichen Werte dieser und anderer ausgewählter Größen (Istwerte) an die berechneten günstigen Werte (Sollwerte) anzugleichen.

Störeinflüsse

Die den Arbeitspunkt des Prozesses festlegenden Größen (Eingangsgrößen) werden unterteilt in Steuergrößen (manipulierbare Größen) und Störgrößen (nicht manipulierbare Größen). Die Werte der Störgrößen schwanken zeitlich, eine Beeinflussung dieser Größen ist nicht möglich oder bei der konkreten Aufgabenstellung nicht beabsichtigt.

So wird zum Beispiel der Massestrom M_{e1} beeinflusst durch die manipulierbare Ventilstellung (Steuergröße y_1) und den zeitlich schwankenden Druck in der Zuleitung 1 (Störgröße p_1). Diese Wirkzusammenhänge werden als Signalflußbild (Signalflußplan) im Bild 1.2a) dargestellt. Dabei muß angenommen werden, daß eine Änderung der Steuergröße y_1 keine Druckänderung p_1 hervorruft. Das Bild 1.2a) sagt aus, daß die Ausgangsgröße M_{e1} abhängig ist von Veränderungen der Störgröße p_1 (Störeinfluß) und Veränderungen der Steuergröße y_1 (Steuerwirkung¹⁾).

¹⁾ Für den nicht mit den Symbolen von Signalflußbildern vertrauten Leser sei auf den Abschnitt 2., Bild 2.15 verwiesen.

Im Gesamtprozeß »Reaktor« wirken viele Störgrößen (u. a. Masseströme, Temperaturen und Konzentrationen der zuzuführenden Reaktionspartner, Massestrom und Temperatur des zuzuführenden Kühlmittels), die über stoffliche und energetische Verflechtungen viele wichtige und auch unwichtige Größen beeinflussen (u. a. Temperatur, Konzentration und Füllstand im Reaktor, aber auch Temperatur des abfließenden Kühlmittels).

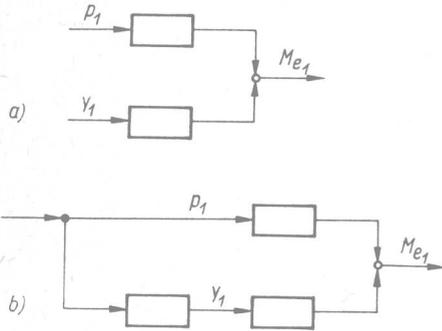


Bild 1.2. Wirkzusammenhänge beim Massestrom M_{e1} als Signalfußbild

- a) gegebene Beeinflussung (Störung durch p_1)
 b) Kompensation der Störung durch Führungssteuerung

Prozeßstabilisierung durch Steuerung

Gemäß Bild 1.2a) ist das Konstanthalten des Massestromes M_{e1} trotz Störgrößenwirkung (Veränderung des Druckes p_1) möglich, wenn im Sinne einer Kompensation zeitlich gleichlaufend mit dem Störsignal die Steuergröße verstellt wird (Führungssteuerung). Dazu sind notwendig:

- genaue und schnelle Messung des Störsignals (Druck p_1)
- Kenntnis der zum Entgegenwirken notwendigen Veränderung der Steuergröße y_1
- technische Einrichtung zur Realisierung der geschilderten Messung und Steuerung.

Das Signalfußbild dieser Steuerung (Bild 1.2b) erleichtert die funktionelle Betrachtungsweise. Der hinzugefügte Block entspricht in der gerätetechnischen Betrachtung dem Gerät »Steuereinrichtung«. Bei richtiger Auslegung (Dimensionierung) ermöglicht die Steuereinrichtung automatisch das Stabilisieren des Massestromes, obwohl sich die Störgröße verändert. Wirken weitere, in der Führungssteuerung nicht berücksichtigte Störgrößen, so gelingt die Prozeßstabilisierung nicht. Das Ergebnis der Steuerung, die Konstanz des Massestromes, muß nicht meßtechnisch festgestellt werden.

Prozeßstabilisierung durch Regelung

Die gleiche Aufgabe, zeitliche Konstanz des Massestromes M_{e1} trotz Druckänderungen in der Zuleitung, kann auch durch die folgende Strategie gelöst werden:

- **Beobachten** (Messen) des Istwertes des Massestromes M_{e1}
- **Vergleichen** des Istwertes M_{e1} mit dem Sollwert ($M_{e1}o$), d. h. Bilden der Differenz $M_{e1} - (M_{e1}o)$ (Regalabweichung)
- **Entscheiden**, ob und in welcher Weise das Ventil (Stellglied) zu betätigen ist
- Ausführen der Operation des **Stellens**.

Diese Tätigkeiten können durch technische Mittel bewirkt werden, es wird automatisch geregelt (Festwertregelung).

Das Bild 1.3a) verdeutlicht den Signalfluß, Kennzeichen des Regels ist im Signalflußbild der geschlossene Kreis (Regelkreis).

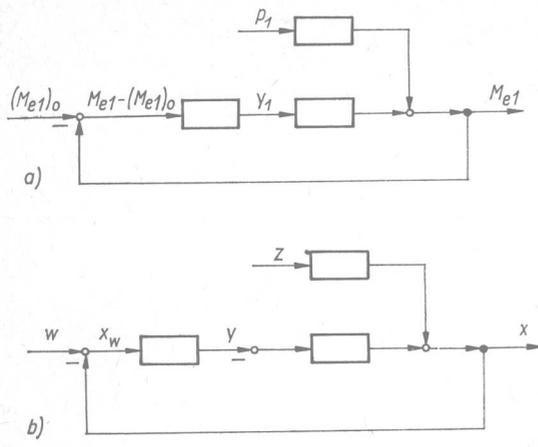


Bild 1.3. Signalflußbild eines Durchflußregelkreises
 a) für die Festwertregelung von M_{e1}
 b) in allgemeiner Darstellung

Wichtig für die Regelung sind:

- geringe Meßfehler und Meßunsicherheiten
 Meßfehler führen unter Umständen direkt zu einer ungenügenden Lösung der Aufgabe, da die Regelabweichung fehlerhaft gebildet wird und aufgrund dieser Desinformation das Stellen nicht zielgerichtet den Störeinflüssen entgegen gerichtet ist.
- Auswahl einer geeigneten Stellgröße
 Durch die Betätigung von Stellgliedern (z. B. Ventile, Schieber, Drosselklappen, Stelltransformatoren, Schalter) wird direkt in Stoff- oder Energieströme eingegriffen. Der Verfahrenstechniker hat die Stellglieder vorzusehen und für ein gutes Stellverhalten der Anlage zu sorgen.
- Verarbeitung der Regelabweichung
 Aus der Regelabweichung wird durch eine technische Einrichtung (Regler) nach einem vorgegebenen Algorithmus die Stellgröße gebildet. Die Auswahl eines günstigen Algorithmus bedingt Kenntnisse des mathematischen Modells der Anlage, die jedoch meist geringer sein können als bei der Führungssteuerung.

In der Regelungstechnik werden folgende **Begriffe** und **Symbole** verwendet:

- x Regelgröße
 Größe, die aufgabengemäß im Regelkreis beeinflusst wird.
- w Führungsgröße
 Größe, an deren Wert der Wert der Regelgröße angeglichen werden soll. Eine zeitlich konstante Führungsgröße nennt man auch Sollwert der Regelgröße.
- x_w Regelabweichung
 Differenz von Regelgröße und Führungsgröße bzw. von Istwert und Sollwert der Regelgröße: $x_w = x - w$.
- y Stellgröße
 Größe, die durch Verarbeitung der Regelabweichung entsteht.
- z Störgröße
 Größe, die in ungewollter und meist unvorhersehbarer Weise den Prozeßablauf beeinflusst und zu Regelabweichungen führt.

Bild 1.3b) ist eine allgemeinere Darstellung des Regelkreises. Um die den Störgrößen entgegenwirkende Tätigkeit des Regelkreises zu betonen, ist eine Vorzeichenumkehr bei der Stellgröße eingeführt worden.

Weitere Aufgaben zur Prozeßstabilisierung

Um den im Reaktor (s. Bild 1.1) stattfindenden Prozeß trotz des Wirkens vieler Störgrößen konstant zu halten, sind weitere Regelungen notwendig:

– Regelung des Behälterstandes

x_3 : Füllstand im Behälter

y_3 : Ventilstellung im Abfluß

– Regelung der Temperatur im Reaktor

x_4 : Temperatur im Reaktor

y_4 : Ventilstellung im Zufluß des Kühlmittels

– Regelung der Konzentration im Reaktor

Da die Regelgröße ständig gemessen werden muß, wird zunächst die Aufgabengröße »Konzentration im Reaktor« auf eine geeignete, kontinuierlich meßbare Größe abgebildet (z. B. pH-Wert, Dichte, Viskosität), die damit zur Regelgröße wird.

x_2 : pH-Wert im Reaktor (Ersatzregelgröße)

y_2 : Ventilstellung im Zufluß 2

Bild 1.4 zeigt das technologische Schema mit den ausgewählten Regelungen.

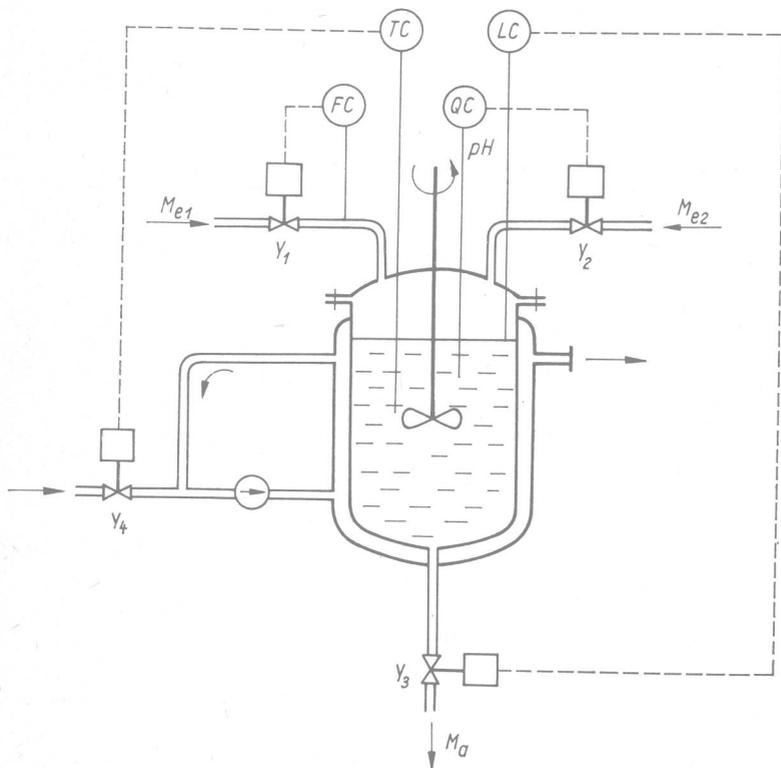


Bild 1.4. Kontinuierlicher Rührkesselreaktor mit ausgewählten Regelungen