

Hochdrucktechnik in der Chemie III

Spezielle Probleme bei der meß- und regeltechnischen Erfassung hoher Drucke*

Von G. E. BRIXEL

Timeus & Co., Zürich

Was man im konkreten Fall unter «speziell» zu verstehen hat, hängt weitgehend vom Standpunkt des Betrachters ab. Einem Regeltechniker werden die folgenden Betrachtungen gewiß nicht allzuviel Neues bringen. Einem Chemiker aber, der sich notgedrungen nur am Rande mit solchen Fragen beschäftigen kann, werden sie vielleicht doch einige Anregungen vermitteln.

Aufgabe der folgenden Ausführungen soll es sein, einige in der Praxis vorkommende Probleme zu skizzieren und Lösungsmöglichkeiten mit heute handelsüblichen Geräten aufzuzeigen.

Ein Eingehen auf Sonderausführungen und Spezialgeräte wird dabei bewußt vermieden, da damit der Rahmen dieser Betrachtungen gesprengt würde.

Man wird weiterhin bemerken, daß es für den Regeltechniker oft nicht leicht ist, die Diskrepanz in den Anforderungen, die auf der einen Seite von den Chemikern und auf der anderen Seite von den Verfahrenstechnikern an ihn herangetragen werden, zu überbrücken.

Eine weitere Beschränkung soll dadurch gegeben sein, daß bei der Behandlung von kontinuierlich arbeitenden Regelanlagen nur über pneumatische Geräte gesprochen werden soll, da die schweizerische Industrie diese bis heute erfahrungsgemäß eher bevorzugt.

Warum?

Nun, es gibt hierfür einige sehr triftige Gründe! Zwar liegt eine schnellere Meßwertverarbeitung in der Natur elektronischer Geräte, aber trotz beachtlicher Fortschritte in Richtung auf elektromagnetisch betätigte, progressiv wirkende Regelventile ist es noch immer die unzureichende Stellgeschwindigkeit der herkömmlichen Stellglieder, welche die Vorteile der Elektronik nicht voll zur Wirkung kommen läßt. Ein anderer Grund für die weite Verbreitung pneumatischer Meß- und Regelgeräte ist sicher darin zu suchen, daß man für deren Installation, Inbetriebsetzung und Wartung nicht besonders geschulte Elektroniker heranziehen muß, sondern in den

meisten Fällen mit erfahrenen Mechanikern auskommt. Die inhärente Explosionssicherheit pneumatischer Geräte verhindert das allzufrühe Entstehen mancher grauer Haare. Der gegenüber elektronischen Anlagen wesentlich günstigere Preis gereicht nicht zuletzt auch dem Kaufmann zur Freude. Das soll aber nicht heißen, daß man grundsätzlich keine elektronischen Anlagen installieren soll, sondern daß man sie nur dort verwendet, wo sich der höhere Preis durch prinzipielle Vorteile rechtfertigen läßt, – oder, wo eine vernünftige Lösung erst durch die Elektronik gewährleistet werden kann.

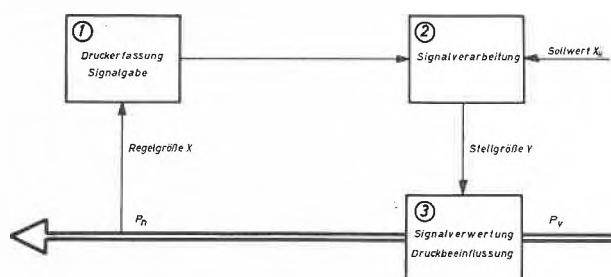


Abb. 1. Vereinfachte Darstellung eines Regelkreises

Sehen wir uns den grundsätzlichen Aufbau einer Druckregelanlage einmal genauer an. Man kann sie in drei Hauptteile gliedern:

1. in Geräte für Druckerfassung und Signalgabe
2. in Geräte für die Signalverarbeitung
3. in Geräte für die Signalwertung und Druckbeeinflussung

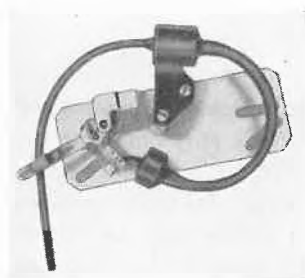
Mit dieser Gliederung hätten wir die Hauptpunkte der nun folgenden Betrachtungen bereits kurz umrissen. Bevor nun auf Kapitel 1 «Geräte für die Druckerfassung und Signalgabe» eingegangen wird, sei eine kleine Zwischenbemerkung gestattet. In einer kontinuierlich arbeitenden Regelanlage wird man die drei Komponenten des Blockschemas immer wieder finden. Spricht man von Steuerungen, so sind diese drei grundsätzlichen Anlage-

* Vortrag gehalten am «Symposium über Hochdrucktechnik in der Chemie», 26. Oktober 1963, Zürich.

teile meist auch vorhanden, wobei es aber möglich ist, daß man von der Signalgabe direkt zur Signalverwertung übergeht. Nur bei einer rein örtlichen Anzeige fallen die Geräte der Gruppen 2 und 3 fort und die Regelgröße X wird zur reinen Meßgröße.

Wie sehen diese Geräte zur Meßwerterfassung, d.h. in unserem Fall zur Druckerfassung in der Praxis aus, und nach welchen Gesichtspunkten wird ihre Verwendbarkeit für den konkreten Anwendungsfall beurteilt?

Von primärer Bedeutung ist das Meßsystem und dessen Eignung für spezifische Betriebsbedingungen. Erst in zweiter Linie interessiert die weitere Verwendung der



Rohrfeder
(Bourdonrohr): bis
etwa 1500 kp/cm²*
Werkstoffe: Stahl,
Nirostahl 18/8/2,5

Spiral- oder
Schneckenfeder: bis
etwa 200 kp/cm²*
Werkstoffe: Bronze,
Beryllium-Kupfer,
Nickellegierung, Stahl,
Nirostahl 18/8/2,5



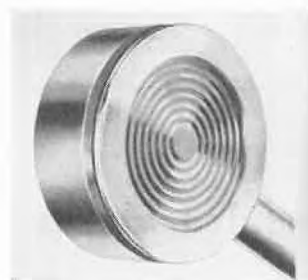
Wendelfeder: bis
etwa 1500 kp/cm²*
Werkstoffe: Bronze,
Beryllium-Kupfer,
Nickellegierung, Stahl,
Nirostahl 18/8/2,5

Wendelfeder:
bis etwa 6000 kp/cm²*
Werkstoffe:
Nirostahl 18/8/2,5, Spezialstahl

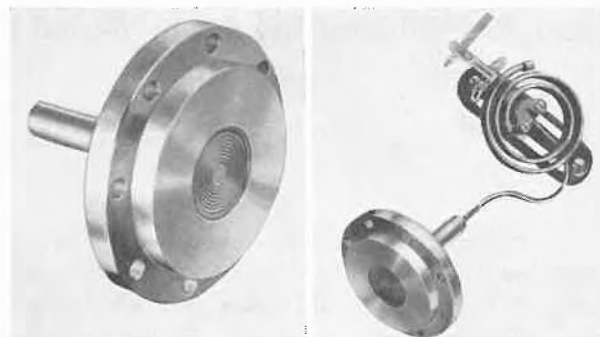


Abb. 2. Mechanische Druckmeßwerke

* Standardmäßig erhältliche Meßbereiche.



Werkstoffe der medium-berührten Teile: standardmäßig: Nirostahl 18/8/2,5, Hastelloy C, Reinnickel, Tantal/Hastelloy C; für spezielle Anforderungen: Monel, Inconel, Columbium usw.



Druck/Temperatur-Grenzwerte: bis 100 kp/cm² und 350°C,
bis 200 kp/cm² und 200°C, bis 100 kp/cm² und 800°C
mit NaK-Füllflüssigkeit



Abb. 3. Übertragungssysteme bis 200 kp/cm²

Meßgröße, sei es in Form einer örtlichen Anzeige in einem Manometer, oder das Betätigen pneumatischer oder elektrischer Schaltglieder in einem Pressostaten, oder schlußendlich die Umwandlung in ein elektrisches oder pneumatisches Einheitssignal in einem Transmitter.

Halten wir zunächst fest: jede Druckmessung muß auf eine sekundäre Auswirkung des Druckes zurückgeführt werden. Dazu zählen beispielsweise die elastische Deformation einer Rohrfeder, eine Kraftwirkung, oder die Änderung elektrischer Eigenschaften bei Strain-Gages und piezoelektrischen Gebern.

Abb. 2 zeigt eine Auswahl der für die Erfassung höherer Drucke hauptsächlich in Betracht kommenden mechanischen Druckmeßwerke. Die zur Anwendung gelangenden Werkstoffe richten sich u. a. auch nach dem gewählten Meßbereich, wobei für höhere Drucke die Auswahl normalerweise auf Nirostahl 18/8/2,5 oder Spezialstahllegierungen beschränkt bleibt. Bei stärkeren

Fluktuationen des Betriebsdruckes ist besonders auf eine hohe Dauerstandfestigkeit der verwendeten Werkstoffe zu achten. Es kann dann geschehen, daß die Alternative «Korrosionsbeständigkeit oder Ermüdungsfreiheit» heißt.

Die genannten Meßwerke bedingen, daß das zu messende Medium in diese eintritt. Außer der Materialfrage entstehen dadurch zusätzliche Probleme. Es sei dabei besonders an die Verstopfung durch stark verschmutzte oder auskristallisierende Medien sowie an die meist unerwünschte Notwendigkeit, produktführende Meßleitungen über längere Distanzen zu verlegen, gedacht. Diese Faktoren beeinträchtigen die Betriebssicherheit. Abhilfe schuf man durch die Entwicklung speziell konstruierter Druck-Übertragungssysteme. Abb. 3 illustriert die praktische Verwirklichung dieser Konstruktionsidee, Abb. 4 zwei typische Montagebeispiele und Abb. 5 die dem letzten Stand entsprechende, bis 1100 kp/cm² einsetzbare Hochdruckausführung mit sogenanntem «Knopf»-Fühler.

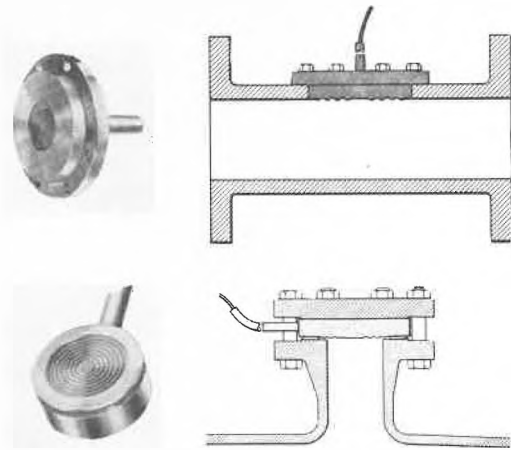
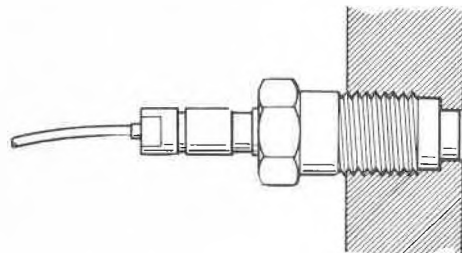
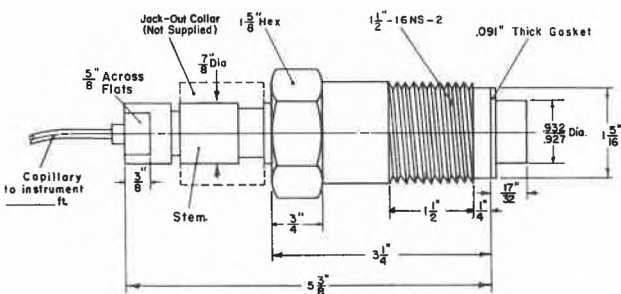
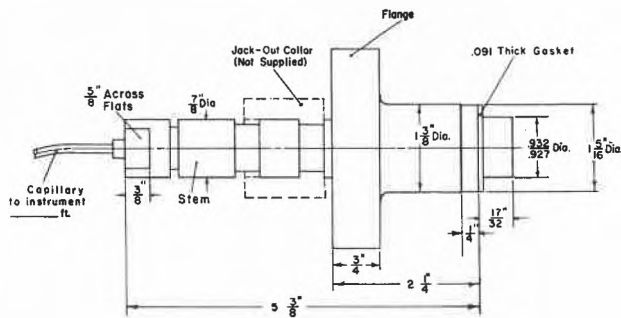
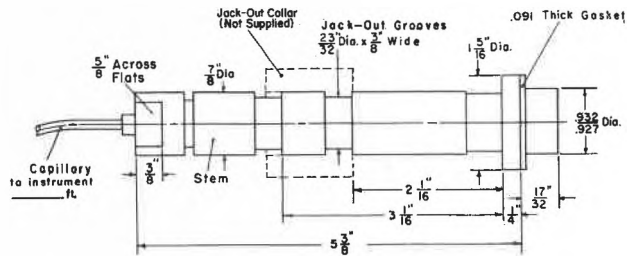


Abb. 4. Montagebeispiele

Auch diese volumetrischen Druckmeßsysteme verwenden zur Druckerfassung die in Abb. 2 gezeigten Meßwerke. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß die Druckbeaufschlagung nicht durch das zu mes-



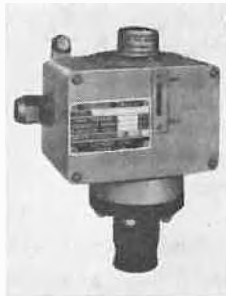
Werkstoffe für medienberührte Teile: standardmäßig: Nirostahl 18/8/2,5, Inconel, Hastelloy B und C; für spezielle Anforderungen: Monel, Columbium usw.



Druck/Temperatur-Grenzwerte: bis 100 kp/cm² und 350°C, bis 700 kp/cm² und 300°C, bis 1000 kp/cm² und 100°C

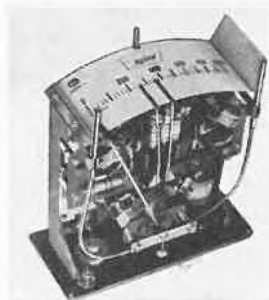
Abb. 5. Übertragungssysteme bis 1100 kp/cm²

sende Medium selbst, sondern durch eine im Übertragungssystem hermetisch eingeschlossene Füllflüssigkeit erfolgt. Die sich aufdrängende Frage nach dem Temperatureinfluß kann dahingehend beantwortet werden, daß die heute zur Verfügung stehenden Füllflüssigkeiten es in den meisten Fällen gestatten, den zu erwartenden Meßfehler in tolerierbaren Grenzen zu halten.



Pressostat (700 kp/cm²)

Ex-geschütztes Fernsendemanometer
(bis 1000 kp/cm²)



Transistor-Kontaktmanometer
mit induktivem Abtastsystem und
gedruckter Schaltung (bis
1000 kp/cm²)

Kreisblattschreiber
(bis 1500 kp/cm²)

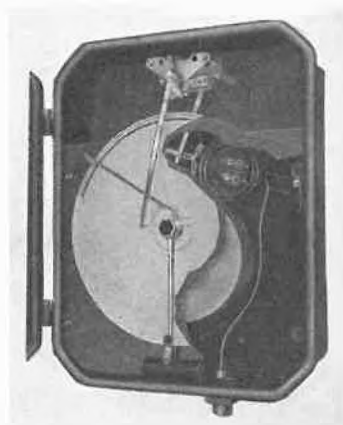


Abb. 6. Diverse Geräte zur Signalgabe

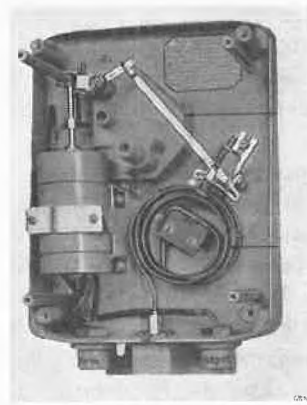


Abb. 7. Pneumatischer Transmitter mit volumetrischem
Druckmeßsystem (bis 1100 kp/cm²)

Die Entwicklung solcher Druckübertragungssysteme ist keinesfalls abgeschlossen. Es darf daher erwartet werden, daß diese in naher Zukunft zur Erfassung noch höherer Drucke herangezogen werden können. Bereits heute hört man von Entwicklungen mit oberer Einsatzgrenze von etwa 2500 bis 3000 kp/cm².

Die beiden folgenden Abbildungen 6 und 7 zeigen einige der gebräuchlichsten Ausführungsformen der zur Signalgabe in Betracht kommenden Geräte unter Verwendung der vorgenannten Druckmeßsysteme.

Bevor auf das nächste Kapitel «Signalverarbeitung» eingegangen wird, sei der Vollständigkeit halber auf die besondere Bedeutung der «Strain-Gages» als elektrische Druckumformer hingewiesen. Zur Anwendung im Gebiet der Höchstdrucktechnik haben diese eine weite Verbreitung gefunden.

Wenn auch bei der Signalverarbeitung – mit Ausnahme von selbsttätig wirkenden Reglern – die mediumseitigen Verhältnisse nicht direkt auf die eingesetzten Apparate einwirken, so ist es doch gerade dieser Anlagenteil, welchem besondere Bedeutung zukommt. Hier entscheidet sich, ob bei der Auslegung der Instrumentierung alle wesentlichen Prozeßkenndaten ihre entsprechende Berücksichtigung gefunden haben. Meist ist es noch relativ einfach, geeignete Druckerfassungsgeräte und Stellglieder zu bestimmen. Die Wahl des zur Signalverarbeitung einzusetzenden Gerätes wird jedoch durch das dynamische Verhalten der Regelstrecke diktiert.

Das heutige Marktangebot bietet für nahezu jedes Problem eine sowohl technisch als auch ökonomisch vertretbare Lösung. Die Schwierigkeit ist nur die, aus dieser Vielzahl das Richtige zu wählen. Es bleibt meist dem Regeltechniker vorbehalten, gestützt auf die ihm zur Verfügung stehenden Daten und seine eigene prak-

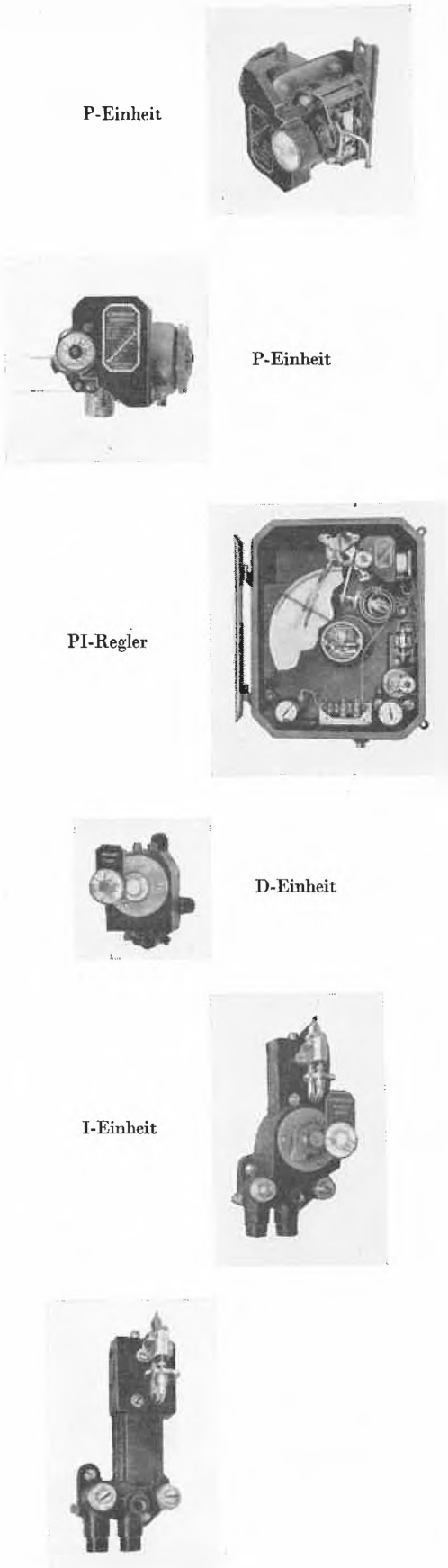
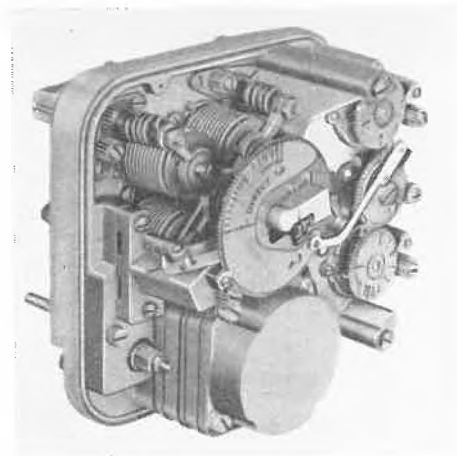


Abb. 8. Wegvergleichsregler mit zugehörigen Bauteilen



PID-Regler

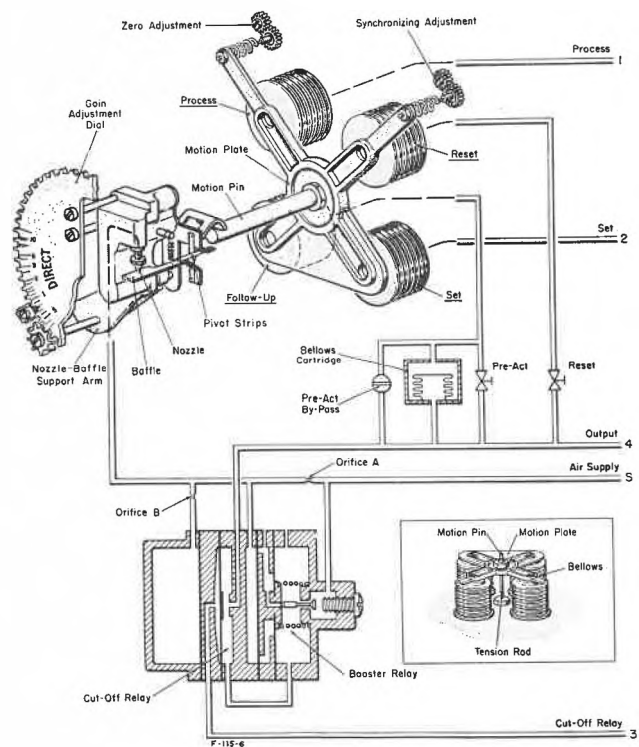
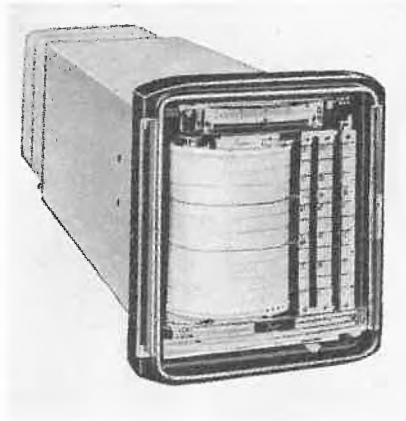


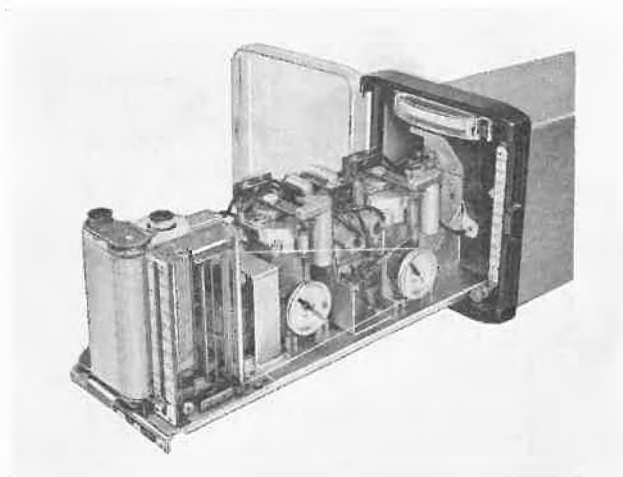
Abb. 9. Kraftvergleichsregler

tische Erfahrung, die richtige Wahl zu treffen. Wie wird dabei vorgegangen?

Ausgangspunkt für die optimale Auslegung der Korrekturglieder wäre theoretisch die Kenntnis der genauen Übergangsfunktion der Regelstrecke. Praktisch ist dieser Idealfall leider nur selten anzutreffen. Glücklicherweise ist man trotzdem nicht ganz hilflos. Mit genügender Erfahrung läßt sich aus den zur Verfügung stehenden Angaben mit ziemlicher Sicherheit beurteilen, ob eine einfache Zweipunktregelung ausreicht oder ob auf eine stetige Regelung übergegangen werden muß. Hat man sich für die letztere entschieden, so drängt sich die Frage nach dem zu wählenden Zeitverhalten des Reglers auf.



Regler aufgesteckt



Schreibendes Leitgerät

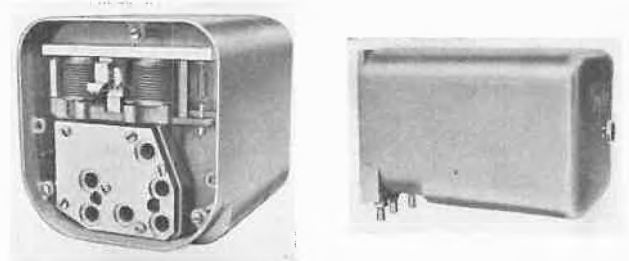
Abb. 10. Regelstation

Diese läßt sich meist nicht mehr so leicht beantworten, und man ist in solchen Fällen wiederum mehr oder weniger auf Erfahrung und Fingerspitzengefühl angewiesen.

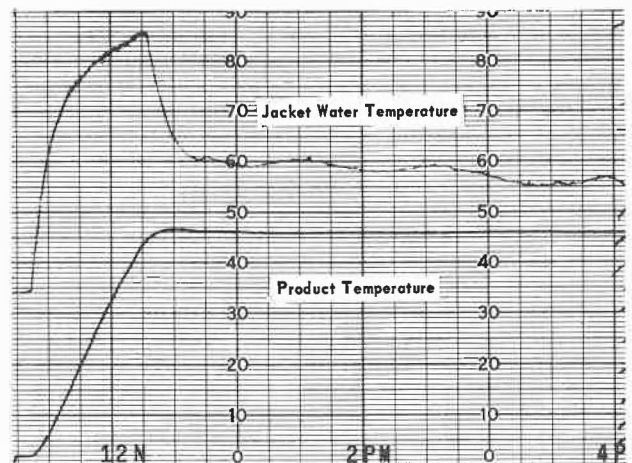
Das klingt zwar ein wenig nach Hasardspiel, entspricht aber der in der täglichen Praxis geübten Methode, nachdem der Aufwand für die mathematische Vorausbestimmung der Übergangsfunktion der Regelstrecke im allgemeinen nicht vertretbar ist. Es bleibt somit der Inbetriebsetzung vorbehalten, die Richtigkeit der ersten Annahme zu beweisen.

Die Gerätehersteller wissen um diese Schwierigkeiten. Einige unter ihnen sind bereits vor geraumer Zeit zum Baukastensystem übergegangen und erleichtern dadurch die Aufgabe des Regeltechnikers. Der Aufbau dieser Geräte ist derart einfach, daß nachträgliche Änderungen des Zeitverhaltens ohne großen Aufwand vorgenommen werden können. Daß bei modernen Geräten der Regelsinn durch einen einfachen Handgriff umgekehrt werden kann, ist selbstverständlich.

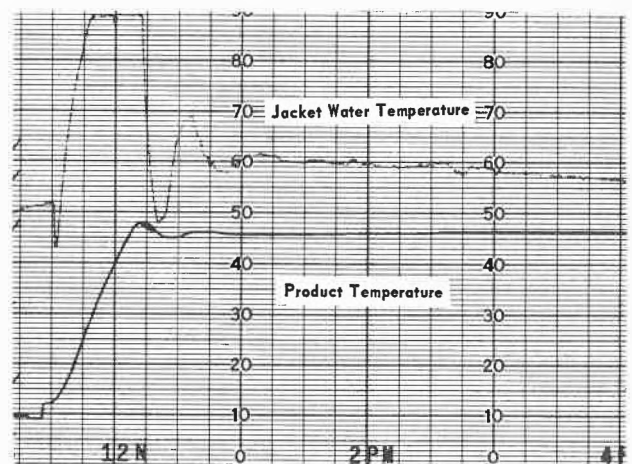
Abb. 8 zeigt einen nach dem Wegvergleichsprinzip arbeitenden Regler mit gleichzeitiger Registrierung der geregelten Variablen auf einem Kreisblatt, Abb. 9 einen nach dem Kraftvergleichsprinzip arbeitenden, steckbaren Einheitsregler. In Abb. 10 ist der gleiche Regler in Verbindung mit einem schreibenden Leitgerät dargestellt, Abb. 11 zeigt einen für besonders kritische Regelaufgaben entwickelten PD + PI-Regler, d. h. einen PI-



Regelkurven am Beispiel einer Autoklavenregelung

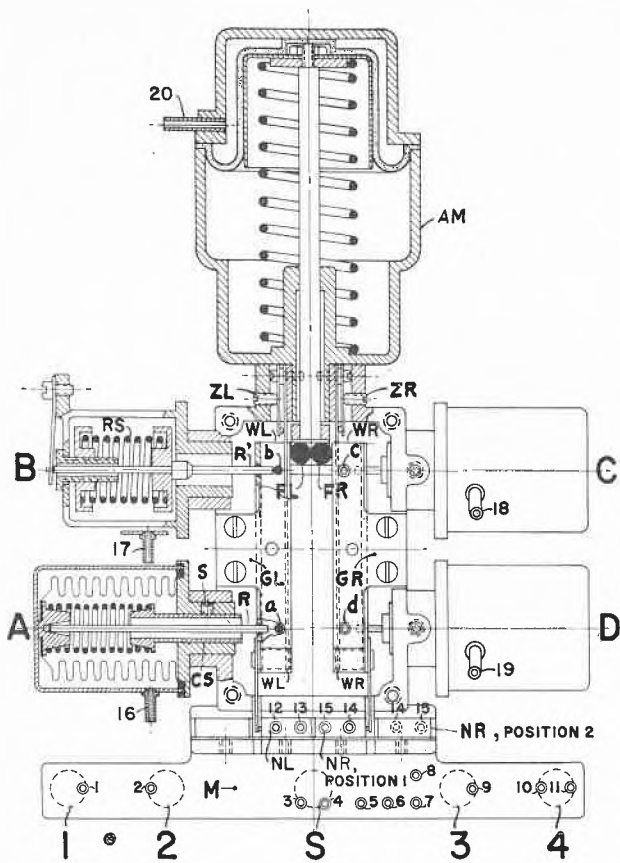


PD + PI-Regler



Konventioneller PID-Regler mit Strukturumschaltung

Abb. 11. PD + PI-Regler



Grundgleichung: $A \cdot B = C \cdot D$

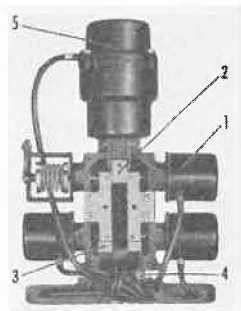


Abb. 12. Pneumatischer Analogkleinrechner

Regler mit vorgeschaltetem PD-Teil, ohne abrupt wirkendes Strukturumschaltrelais.

Oft ergeben sich aber auch Aufgaben, die weitergehende Anforderungen an die Geräte für Signalverarbeitung stellen. Denken wir beispielsweise an Kaskadenregelsysteme bei Hochdruckautoklaven mit exothermen Reaktionen, an Chargenprozesse mit zeitprogrammgesteuerter Sollwerteingabe, usw. Die erhältlichen Standardgeräte schließen diese Möglichkeiten ein.

Selbst noch komplexere Vorgänge lassen sich heute mit pneumatisch arbeitenden Anlagen beherrschen. Jede auf die Wheatstonsche Grundgleichung zurückführbare Rechenoperation ist damit lösbar. Als Anwendungsbeispiel möge eine temperatur- und druckkompensierte Gasmengenregelung dienen. Abb. 12 illustriert die praktische Ausführung eines solchen Gerätes.

Der folgende Abschnitt ist der «Signalverwertung» gewidmet. Der eigentliche Eingriff in den Prozeß erfolgt durch ein Stellglied. In der Verfahrenstechnik ist dies aus verschiedenen Gründen meist ein pneumatisch betätigtes Ventil, sei es mit Auf/Zu- oder Regelcharakteristik. Bei der Dimensionierung spielt der zulässige Druckabfall über dem Ventil eine ausschlaggebende Rolle. Daraus ergibt sich praktisch zwangsläufig die Ventilgröße. Die richtige Wahl der Ventilkennlinie – Auf/Zu, linear oder gleichprozentig – ist ein weiterer Gesichtspunkt. Die Berücksichtigung dieser Kriterien bietet meistens keine allzu großen Schwierigkeiten. Anders steht es jedoch mit den Anforderungen an Werkstoffe und Konstruktionsdetails, die häufig von der chemischen Industrie gestellt werden. Spezialausführungen lassen sich dann oft nicht vermeiden.

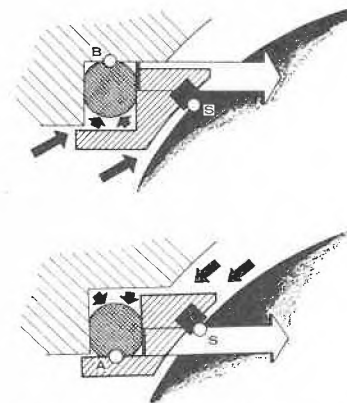
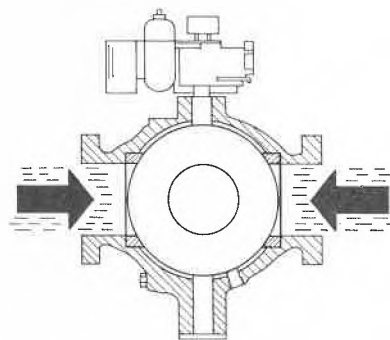
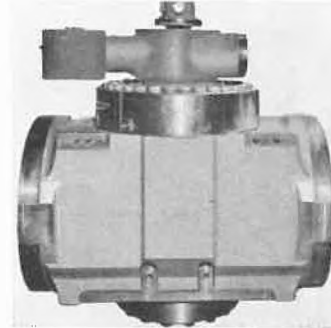
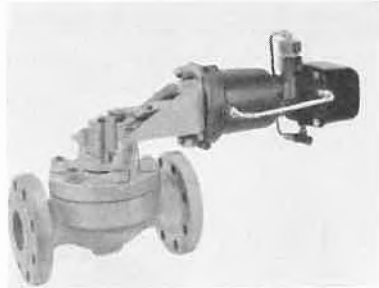
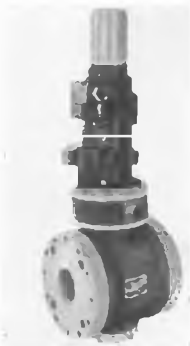


Abb. 13. Kugelhahn (Dichtsystem)

Neue Möglichkeiten eröffnen die Kugelhähne. Das nahezu vollständige Fehlen von Taschen und Toträumen verhindert unerwünschte Ablagerungen. Außerdem gewährleistet das verwendete Dichtsystem – siehe Abb. 13 – eine einwandfreie Abdichtung in beiden Strömungsrichtungen. Zur Durchföhrung des vollen Durchlaßbereiches genügt eine 90°-Drehung. In Verbindung mit pneumatischen Zylinderantrieben erreicht man dadurch bei Auf/Zu-Ventilen Schließ- und Öffnungszeiten in der Größenordnung von einer halben Sekunde, mit ölh-



Mit Vakuumisoliermantel

Mit hydraulischem Antrieb
(Schließzeit 20 msec)Mit pneumatischem
AntriebMit hydraulischem Antrieb
(Schließzeit 300 msec)

Mit elektrischem Antrieb

Abb. 14. Kugelhähnen (Ausführungsformen)

draulischen oder elektrischen Antrieben sogar von einigen Millisekunden. Auch im Einsatz für stetige Regelaufgaben finden Kugelhähnen eine zunehmende Verbreitung.

Abb. 14 illustriert einige Ausführungsformen dieser Kugelhähnen.

Im Rahmen dieses Kurzvortrages war es leider nicht möglich, den einzelnen Problemen die Aufmerksamkeit zu schenken, die sie an sich verdienen. So sind diese Ausführungen hauptsächlich dafür gedacht, dem Nichtregeltechniker wenigstens einen kleinen Einblick in dieses interessante Spezialgebiet zu vermitteln.