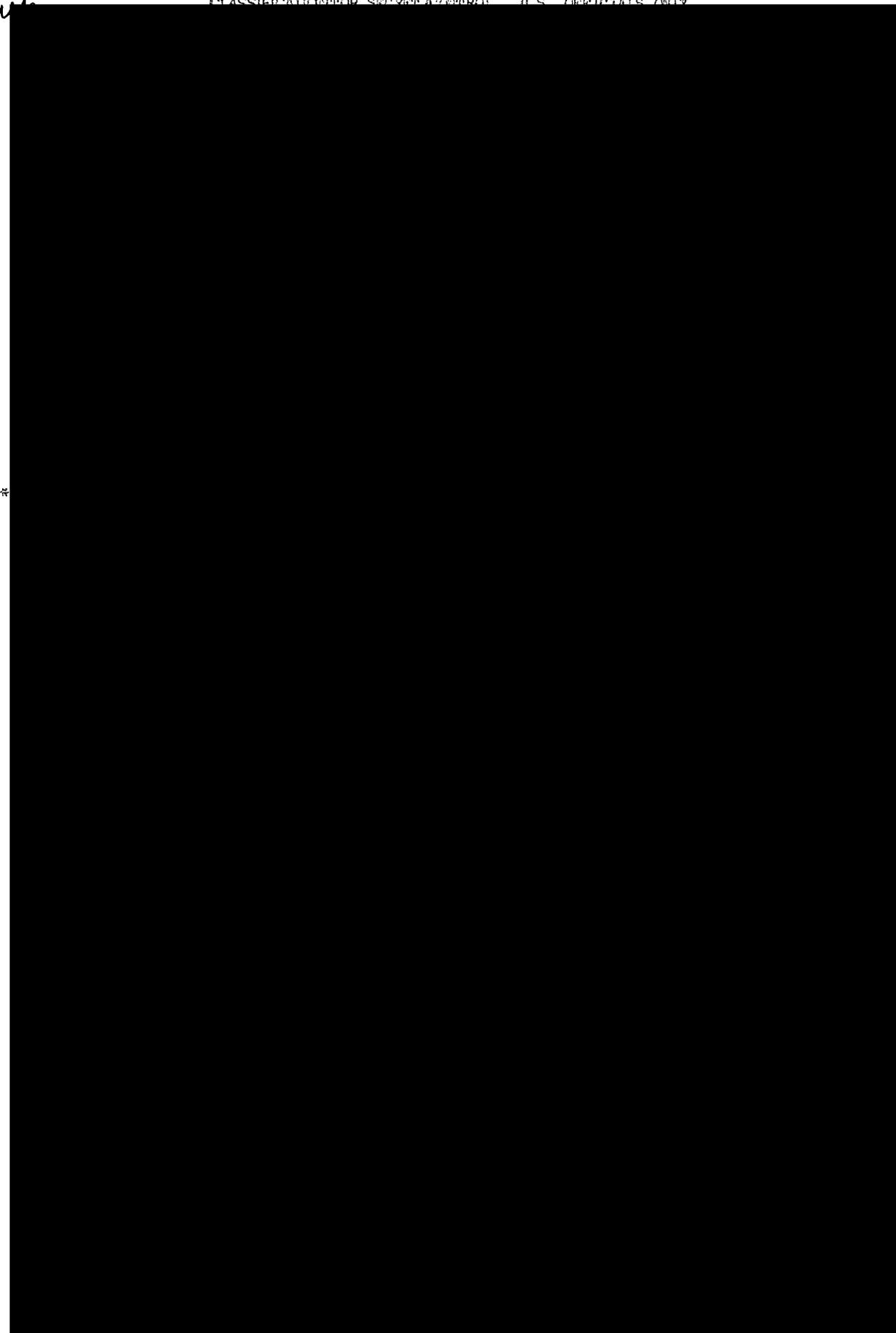


TOP SECRET

CLASSIFICATION TOP SECRET (CUBA) U.S. OFFICIALS ONLY



**Next 1 Page(s) In Document Exempt**

FORM NO. 51-61A  
NOV 1948

CLASSIFICATION RESTRICTED

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

REPORT NO. 

# INFORMATION REPORT

COUNTRY Germany (Russian Zone)

DATE DISTR. 9 June 1949

SUBJECT Publications of the Askania-Werke  
A.G., Berlin-Friedenau

NO. OF PAGES

PLACE ACQUIRED  25X1A

NO. OF ENCLS.  
(LISTED BELOW)

DATE OF IN ACQUIRED

SUPPLEMENT TO REPORT NO.

25X1X

*nd*  
The attached publications of the Askania-Werke are sent to you for retention in the belief they may be of interest.

 ~~25X1A~~

25X1A

25X1X

ASKANIA-WERKE AG



BERLIN-FRIEDENAU

Km/Kö.- 27.4.1949

7/21.4.49A S K A N I A - R E G L E R.

Der heute von den Askania-Werken gebaute hydraulische Regler findet ausschl. in Industrie-Anlagen Verwendung und zwar als Druckregler, Zugregler, Differenzdruckregler, Verhältnisregler und Temperaturregler. Das Anwendungsgebiet dieser Regleranlagen ist näher erläutert in Anlage Nr. 1.

Durch Zusammenfassung der zuerst genannten Regler zu Anlagen werden vollautomatisch gesteuerte Industrie-Aggregate geschaffen und können durch entsprechende Anordnung und Schaltung Martinöfen, Metallöfen, Schmelzöfen, Kessel usw. selbständig gesteuert werden. Das Askania-Prinzip hat gegenüber anderen Reglerarten den Vorteil, daß die Konstruktion nach dem Baukasten-System aufgebaut ist, d.h. man kann durch Austausch von ähnlichen Teilen die verschiedensten Schaltungen durchführen und die Regler für die verschiedensten Verwendungszwecke geeignet machen.

Im Prinzip verwendet der Regler die von empfindlichen Meßsystemen abgegebenen kleinen Bewegungs-Impulse, um grosse Kräfte zur Durchführung des Regelvorganges zu erzielen. Als Hilfsmedium wird Drucköl, in seltenen Fällen Preßluft, verwendet. Die beiliegenden Druckschriften und Sonderdrucke geben Aufschluß über die einzelnen Typen. Druckschriften über komplette Anlagen bestehen nicht, sondern diese werden auf Grund der örtlichen Verhältnisse jeweils von Fall zu Fall als Schaltbilder angefertigt. Für die Regler wird allgemein eine Genauigkeit von  $\pm 1\%$  des Sollwertes garantiert. Für Sonderfälle kann diese Genauigkeit weiter erhöht werden.

ASKANIA-WERKE AG



BERLIN-FRIEDENAU

- 2 -

In den fast 30 Jahren der Verwendung dieses Reglers hat sich eine grosse Zuverlässigkeit herausgestellt, insbesondere in rauen Betrieben ist dieser Regler heute in Europa durch andere Fabrikate nicht übertroffen worden. Als Maßstab für die Zuverlässigkeit darf angegeben werden der geringe Ersatzteil-Bedarf, welcher wertmäßig im Jahresdurchschnitt etwa 0,2% des Umsatzes beträgt.

Weiter dürfte die ausschl. Verwendung des Askania-Reglers bei der deutschen Kriegsmarine nach Erprobung anderer Systeme die Zuverlässigkeit bestätigen. Nach dem Prinzip dieser Regelsteuerung wurden während des Krieges mit Preßluft gesteuerte Regler-Aggregate in Verbindung mit Kreiseln bzw. anderen Kommando-Geräten entwickelt und geliefert. Während des Krieges war Askania mit diesen Geräten an erster Stelle, sowohl bei der Marine als auch bei der Luftwaffe, vertreten bzw. mußten durch Zwangslizenzen andere Firmen diese Systeme nachbauen.

Für die Chemische Industrie, insbesondere bei der Benzin-Synthese, in der Spiritus- und Hefefabrikation verwendet man weniger den Askania-Regler mit Rücksicht auf die Verwendung des Steueröles. In diesen Industrien ist mehr der pneumatische Regler, wie der von der GST Berlin-Wilmersdorf bzw. von der Fa. Steinle & Hartung Quedlinburg gebaute, eingeführt. Diese Regler verwenden Preßluft als Hilfsmedium, welche in der Nähe von Nahrungsmitteln und Chemikalien nicht so störend wirkt wie Öl.

Der Askania-Regler wurde vor und während des Krieges in Tochtergesellschaften, heute in selbständigen Firmen, gebaut. In England von der Firma Reevell in Ipswich und in der USA von der Askania Regulator Company Chicago.



Anwendungsbereich  
für Askania-Regler und -Instrumente  
=====

- Am/Fa  
20.12.1946

Abwasseranlagen

Regler: Verhältnisregler für Verdünnungs-  
und Spülwasser,  
Filter,  
Niveauregler,  
Temperaturregler.

Instrumente: Flüssigkeitsmengenmesser,  
Druckmesser,  
Dichtemesser,  
Temperaturmesser.

Azetylenfabriken (Großanlagen und Großverbraucher)

Regler: Druckreduzierregler,  
Überströmregler,  
Gemischregler,  
Heizwertregler.

Instrumente: Mengemesser,  
Druckmesser,  
Temperaturmesser.

Aluminium-Fabriken

Regler: Verhältnisregler für Gas und Luft,  
Druckregler,  
komplette Glühofenregelung,  
Zugregelung,  
Wannenregelung.

Instrumente: Temperaturmeßanlagen,  
Einstichpyrometer,  
Gasmengenmesser,  
Druckmesser,  
Zugmesser.

Ammoniak-Fabriken

Regler: Druckregler,  
Verhältnisregler,  
Dichteregler,  
Mengenregler,  
Temperaturregler,  
Regler für aggressive Medien und  
Sonderzwecke.

Instrumente: Mengemesser,  
Druckmesser,  
Dichtemesser,  
Pegel,  
Temperaturmeßinstrumente.

Anilin-Fabriken (s. unter chemische Fabriken und Kraftwerke)

Bergwerke

Regler: (s. unter Kraftwerke)  
Instrumente: Depressionsmesser,  
(Luftmengen- und Druckmesser)  
Temperaturmesser.

Bräuereien

Regler: Kesselregleranlagen,  
Druckregleranlagen,  
Gemischregleranlagen.  
Instrumente: Mengemesser,  
Druckmesser,  
Temperaturmesser.

Braunkohlenindustrie (s. auch unter Kraftwerke, falls Schwelerei  
vorhanden.)

Regler: Generatorenregler,  
Fackelregler,  
Gasverteilungsregler.  
Instrumente: Gasmengenmesser,  
Druckmesser,  
Zugmesser.

Brennereien

Regler: Dampfdruckregler,  
Temperaturregler;  
Druckregler für die Hefebottiche.  
Instrumente: Druckmesser,  
Zugmesser,  
Mengemesser,  
Pegel,  
zentrale Temperaturüberwachungen.

RESTRICTED

Cementfabriken

Regler: Herddruckregler,  
vollautomatische Drehofenregelung,  
Windmengenregelung,  
Hochtemperaturregelung.

Instrumente: Windmengenmesser,  
Winddruckmesser,  
Zugmesser,  
Temperaturmesser,  
zentrale Temperaturmeßanlagen.

Cellulose- und Zellstoff-Fabriken

Regler: Papiertrocknungsregler,  
Dichteregler für Sulfat- und Sulfidlaugen,  
Windmengenmesser für Rostöfen,  
Druck- und Temperaturregleranlagen,  
automatische Kocherregelung,  
(siehe auch unter Kraftwerke).

Instrumente: Mengen- und Druckmesser für Laugen  
und Wind an den Rostöfen,  
Temperaturmeßanlage mit zentraler  
Überwachung,  
Dampfmengenmesser.

Chamotte-Fabriken

Regler: Zugregler,  
Generatorenregler.

Instrumente: Zug- und Druckmesser,  
Gasmengenmesser,  
Luftmengenmesser.

Chemische Fabriken (unter Ammoniakfabriken und auch Kraftwerke)Chlorfabriken (s. chemische Fabriken und Ammoniakfabriken)

Für aggressive Chlorgase haben wir besondere Meß-  
verfahren bzw. Schutzstoffe, welche im Dauerbetrieb  
erprobt wurden.

Deich- und Wasserbauämter, Strombauämter, Flußbauämter

(s. auch unter Abwassermessung)

RESTRICTED

Eisengießereien

Regler: Kupolöfenregler,  
Trockenöfenregler,  
Glühofenregler,  
Gasgeneratorenregler.

Instrumente: Windmengen- und Winddruckmesser,  
Zugmesser,  
Gasmengenmesser,  
Gasdruckmesser,  
Temperaturmessanlagen,  
Einstichpyrometer,  
zentrale Temperaturüberwachungsanlage.

Eis- und Kühlanlagen

Instrumente: zentrale Temperaturüberwachungsanlagen  
mit Fühlern in einzelnen Kühlkammern.

Eisenbahnwerke und -werkstätten (siehe auch unter Kraftwerke)

Regler: Gasgeneratorenregler,  
Gasdruckregler,  
Glühofenregler,  
Temperaturregler.

Instrumente: Gasmengen- und Gasdruckschreiber,  
Prelluftmengenmesser,  
Flüssigkeitsmengenmesser,  
Flüssigkeitsstandmesser i. Wasserbehälter,  
Temperaturmesser,  
Einstichpyrometer,  
Anlegepyrometer,  
zentrale Überwachung.

Emaillierwerke

Regler: Gasgeneratorenregler,  
Gasdruck- und Gasgemischregler,  
kompl. Ofenregelung b. Regenerativfeuerung,  
Temperaturregelung mit  
Programmtemperaturregleranlage.

Instrumente: Gasmengen-, Luftmengen- u. Druckmesser,  
Zugmesser,  
Temperaturmesser,  
zentrale Temperaturüberwachungsanlage.

Erddölbetriebe

Regler: Gasdruckreduzierregler,  
Überströmregler,  
Gemischregler,  
Heizwertregler,  
Druckregler für Öl,  
Vesselreduzierregler.

Instrumente: Druckmesser,  
Mengenmesser,  
Flüssigkeitsstandmesser.

RESTRICTED

Erzbergwerke (siehe auch Kraftwerke)

Regler: Zug- und Druckregler für die Öfen,  
Gebüßeregler,  
Regler für die regenerative Feuerung.

Instrumente: Gasmengenmesser,  
Gasdruckmesser,  
Ofenzugmesser,  
Temperaturmesser.

Ferngasversorgung

Regler: Reduzierregler,  
Überströmregler,  
Heizwertregler,  
Gemischregler,  
Verbrennungsregler.

Instrumente: Mengenmesser,  
Druckmesser,  
Temperaturmeßanlagen,  
(siehe auch Gaswerke und Kokereien).

Fleischwarenfabriken

Flußbauämter (siehe auch Abwassermessung und Deichämter)

Gasanstalten (siehe Kokerei-Betriebe)

Gasreinigungsanlagen

Regler: Sicherheitsregler an den Exhaustoren,  
Saugungsregler,  
Druckregler,  
Mengenregler,  
Regler für Parallelbetriebe.

Instrumente: Differenzdruckmesser für die Filter,  
Mengenmesser,  
Druckmesser,  
Zugmesser.

RESTRICTED

-6-

RESTRICTED

Generatorenanlagen

Regler: vollautomatische Gasgeneratorenregler,  
Feindruckregler,  
Gemischregler,  
Verbrennungsregler,  
(siehe auch unter Ofenregelung).

Instrumente: Windmengenmesser,  
Winddruckmesser,  
Temperaturmesser,  
Gasdruckmesser,  
Gasmengenmesser, gereinigtes Gas,  
Feindruckmesser.

Gießereien (siehe Eisen-Gießereien)

Glasfabriken

Regler: Generatorenregler,  
Regler für die Regenerativfeuerung,  
Ofenregler,  
Zugregler.

Instrumente: Zug- und Druckmesser,  
Gasmengenmesser,  
Luftmengenmesser,  
Temperaturmesser,  
Gesamtstrahlungsmesser,  
zentrale Temperaturüberwachungen.

Gummifabriken

Regler: Dampfdruck- und Temperaturregler,  
Programmregler für die Vulkanisierung.

Instrumente: Temperaturmesser,  
zentrale Temperaturüberwachungsanlage,  
Druckmesser.

Hafenanlagen (siehe Abwassermengenmessung und Deichämter)

Heferabriken: (siehe Brauereien und Brennereien)

Hochofenwerke

Regler: Fackelregler,  
Gasdruckregler,  
Gasmengenregler,  
Saugungsregler zur Verhinderung des  
Vakuums in der Absaugleitung,  
Verbrennungsregler an den Cowpern,

RESTRICTED

Hochtemperaturregelung für die  
Reduzierung der Windtemperatur,  
Zugregelung,  
Gebläseregler,  
Pumpgrenzregler,  
Gichtgasverteilungsregler.

Instrumente: Gasmengenmesser,  
Windmengenmesser,  
Gasdruck- und Winddruckmesser,  
Meßanlagen für die Gasverteilung,  
Temperaturmesser für Luft, für Gas,  
für die Überwachung der Kuppeltemperatur,  
Überwachung des Ofenmantels  
und den einzelnen Höhen sowie des Abstieges.

Kalibergwerke (siehe Salzbergwerke)

Kalkwerke (siehe Zementfabriken)

Karbidfabriken

Kaolinwerke (siehe Ziegeleien)

Keramische Industrie (siehe Ziegeleien)

Kesselanlagen (siehe Kraftwerke)

Kokereien

Regler: Absaugungsregler,  
Maschinenregler für die Absaugung,  
Heizgasdruckregler,  
Zugregler,  
Überströmungsregler an den Verdichtern,  
Netzgasdruckregler,  
Verhältnisregler,  
Heizwertregler,  
Gasverteilungsregler,  
(siehe auch Stickstoffwerke).

Instrumente: Zugmesser für die Saugung,  
Zugmesser für den Fuchs,  
Heizgasdruckmesser,  
Heizgasmengenmesser,  
Druckmesser an den Maschinen,  
Mengenmesser für die abgegebene Gasmenge,  
Druck- und Zugmesser an den einzelnen  
Verbraucherstellen sowie Mengenmesser,

RESTRICTED

RESTRICTED

Gastemperaturmesser,  
 Abgastemperaturmesser,  
 Temperaturüberwachungsanlagen  
 für die chemische Auswertung.

Kraftwerke und Kesselhäuser

Regler: Automatische Kesselregler für Belastung,  
 Verbrennung, Feuerraumdruck, Wasser-  
 standstemperatur, Speisewasserdifferenz-  
 druck und Speicher,  
 Dampfdruck- u. Temperatur-reduzierstationen,  
 Speisewasseraufbereitungsregler,  
 Sotgasregler,  
 Verdampferregler,  
 Turbinenregler,  
 Gegendruckregler,  
 Entnahmedruckregler,  
 Stopfbüchsendampfdruckregler.

Instrumente: Zug- und Bruchmesser für den Kessel,  
 Differenzdruckmesser,  
 Temperaturmesser f. Dampf, Rauchgas, u. Luft,  
 Dampfmengen- und Wassermengenmesser,  
 Dampfdruckmesser,  
 dasselbe für die Reduzierstationen  
 und die Turbinen.

Konservenfabriken

Wollseidefabriken

Regler: Druckregler für die Spinnstoffmassen,  
 Temperaturregler,  
 Mengenregler.

Instrumente: Mengemesser,  
 Druckmesser,  
 Temperaturmesser.

Aufbereitungen

Regler: Gebläseregler,  
 Saugregler,  
 Verteilungsregler,  
 Gemischregler,  
 Mengenregler,  
 Druckregler,  
 Zugregler.

Instrumente: Gas mengen- und Gasdruckmesser,  
 Zugmesser,  
 Temperaturmesser für Abgas,  
 Behälterstandsanzeiger für die Flotation.

RESTRICTED

RESTRICTED

Maschinenfabriken

Regler und Instrumente: Der Bedarf bzw. das Verwendungsgebiet richtet sich nach Art der vorhandenen Anlagen, insbesondere von gasbeheizten Öfen, Gasdruck- und Verbrennungsregler, Zugregler, Gaserzeugungsregler, außerdem als Wiederverkaufsgeschäft zu behandeln.

Metallhütten

Regler: Gaserzeugungsregler,  
Gasdruckregler,  
Zugregler.

Instrumente: Mengemesser,  
Druck- und Zugmesser,  
Temperaturmeßanlagen,  
Einstichpyrometer.

Ölgewinnungsanlagen und Raffinerien (siehe auch Erdölbetriebe)Papier- und Zellstoff-Fabriken (siehe auch Cellulose-Fabriken)Petroleumgewinnungs- und  
Verarbeitungsanlagen (siehe auch Erdölbetriebe)Porzellanfabriken (siehe auch Ziegeleien)Pumpwerke

Regler: Wasser- u. Differenzdruckregleranlagen,  
Mengenregleranlagen.

Instrumente: Mengemesser,  
Druckmesser,  
Pegel.

Salzbergwerke

Regler: Laugenmengenregler,  
Verhältnisregler,  
Dichteregler.

Instrumente: Mengemesser, Druckmesser, Freßluftmengen-  
messer bei Untertagebetrieb,  
Depressionsmesser.

RESTRICTED

-10-

Sauerstoff-Fabriken

RESTRICTED

Regler: Druckregler,  
Mengenregler,  
Gemischregler,  
Heizwertregler.

Instrumente: Mengen- und Druckmesser,  
Strömungsteiler,  
Temperaturmesser,  
Schleusenanlagen,  
Pegelapparate und Mengemesser.

Schwefelsäure-Fabriken (siehe chemische Fabriken)

Schweißereien (siehe Sauerstoff-Fabriken)

Schwelereien

Regler: Gasverteilungsregler,  
Generatorenregler,  
Zugregler,  
Überströmregler,  
Fackelregler.

Instrumente: Gasmengemesser,  
Gasdruckmesser,  
Zugmesser,  
zentrale Temperaturüberwachung.

Soda-Fabriken (siehe chem. Fabriken u. Salzbergwerke)

Speicheranlagen

Instrumente: Zug- und Druckmesser für die Belüftung,  
zentrale Temperaturüberwachungsanlage  
für die Temperaturkontrolle  
in den einzelnen Silos.

Spiritus-Fabriken (siehe Brauereien)

Stahlwerke Regler: Vollständige Ofenregleranlagen,  
Gasgemischregler,  
Gasdruckregler,  
Zugregler,  
Hochtemperaturregler.

-11-

RESTRICTED

RESTRICTED

Instrumente: Gasmen-...er,  
Zug-...schmes-  
für...rativfe...  
Temperaturmessung  
in...einzelner...des...  
Linienpyromet...  
Gesamtstrahlungsmeter.

Steinzeugfabriken

(siehe Siegel...)

Stickstoffwerke

(siehe chem... Fabriken)

Tabakfabriken

Instrumente: Zentrale Temperaturüberwachungsanlagen,  
Feuchtigkeitsmess- und Regelanrichtungen.

Textilwerke

Instrumente: Zentrale Temperaturüberwachungsanlagen,  
Feuchtigkeitsmesser und-Regler.

Wasserkraftwerke

Regler: Niveau-Regler.

Instrumente: Wasserstandsanzeiger,  
Wassermengemesser.

Wasserstoff-Fabriken

(siehe auch Sauerstoff-Fabriken)

Wasserwerke

(siehe Pumpwerke)

Gaswerke

Regler: Komplette Ofenregleranlagen für die  
Temperaturerwärmung,  
Gasgemisch-, Gasdruck- und Verbrennungs-  
regleranlagen, Zugregler.

Instrumente: Gasmenge-, Gasdruck- und Zugregler,  
Temperaturmesser,  
Pyrometer, Gesamtstrahlungspyrometer  
(siehe auch Hüttenwerke).

-12-

RESTRICTED

RESTRICTED

Wehranlagen Instrumente: Wassermengenmesser und Pegelapparate.

Wetterwarten Instrumente: Windgeschwindigkeitsmessanlage.

Zellstoff-Fabriken (siehe Cellulose-Fabriken)

Ziegeleien, keramische und Kaolin-Werke

Regler: Zugregler, Generatorenregler,  
Saugdruckregler,  
Verbrennungsregler.

Instrumente: Zugmesser,  
Druckmesser,  
Gasmengenmesser,  
Temperaturmesser,  
hauptsächl. transportable Geräte.

Zinkhütten (siehe Metall- und Kupferhütten)

Zuckerfabriken

Regler: Druck- und Temperaturregler für die  
Diffusionsbatterie,  
Kocherregler,  
Verdampferregler,  
Niveau-Regler.

Instrumente: Mengemesser für Flüssigkeiten,  
Druckmesser,  
Temperaturmeßanlagen  
mit zentraler Zusammenfassung.

RESTRICTED

RESTRICTED

Maschinenhaus: (Ammoniak - Kompressoren)  
 Druckanzeigeeinstrumente in den Ammoniakleitungen vor dem Kompressor und hinter dem Kompressor.  
 Thermometer (Fernanzeige) des Kühlwassers im Ammoniak-Kondensator. Druckregelung des Ammoniaks: entweder Drehzahlregelung des Kompressors 2. Stufe (Booster), Kühlwassermengenregelung am Kondensator oder Abblasen und in ruhigen Zeiten wieder Einholen des Ammoniaks aus einem Reservebehälter. An sämtlichen Kühlschlangen Nadel- und Absperrventile. Nadelventile können Regelventile sein. Anbauthermostat an einem bestimmten Teil der Kühlschlange anbringen. Kühlschlangen in sämtlichen Kellern. Ebenso Kühlgebläse.

CO<sub>2</sub>-Vacuumpumpen: Konstanthaltung des CO<sub>2</sub>-Druckes in den Gär tanks, Lagertanks usw. CO<sub>2</sub> wird von den Pumpen in die CO<sub>2</sub>-Speicher gepumpt. Druckanzeigeeinstrumente vor und hinter Pumpe.

Luftkompressoren für verschiedene Arbeitsspeicher von 2...6 atü. Druck muß in den einzelnen Speichern konstant gehalten werden. Druckanzeigeeinstrumente.

Bierpumpen: Mengenmeß- und Druckinstrumente.

Brauhaus: Temperaturanzeiger und Schreiber an der Maischbütte.  
 Temperaturanzeiger und Schreiber am Brauwassertank.  
 Härtegradanzeiger am Brauwassertank.  
 Temperaturanzeiger und Schreiber am Braukessel.  
 Manometer für Dampfdruck und Temperaturanzeige des Dampfes.  
 Manometer an den Bierpumpen.  
 Temperaturanzeiger und Schreiber am Baudaletkühler.

Keller (Bier): In allen Lagerkellern Temperaturanzeiger u. Schreiber.

|                   |    |                             |
|-------------------|----|-----------------------------|
| Im Solekeller ..  | +3 | -5° R                       |
| Im Gärkeller ..   | +7 | -9° R                       |
| Im Hefekeller .   | ±  | 0° R                        |
| Am Bierkühler .   |    | Druck-, Zug-, Temp.-messer. |
| Im Lagerkeller.   | +1 | -2° R                       |
| Im Höpfenkeller + |    | 10° R kühl u. trocken.      |

Flaschenabzug: Druck- und Temperaturmessung in den Bierleitungen.  
 Druckmessung in den Luft- und CO<sub>2</sub>-Leitungen.  
 Mengenzähler in den Bierleitungen zu den Füllern.  
 Temperaturanzeige der Flaschenpülmittelflüssigkeit (Soda).  
 Temperaturanzeige des Flaschenpülmittels.  
 3 x Temperaturanzeige und Schreiber des Kieselwassers.  
 Regelung des Bierstandes in der Flasche.

Fahabzug:           Temperaturanzeiger und Schreiber,  
Druckanzeige des Bieres,  
Bierstandsregelung im Fass.  
Uhren zur Kontrolle der Stopzeiten der Bierfabrik.  
Verschiedene CO<sub>2</sub>-Druckanzeiger und Regler an  
den Verbrauchstellen.

- - -

Seite 2:           Produktionsindustrie:  
Sicherheitsregler,  
Temperaturmesser.

Seite 4:           Erdfölbetriebe:  
Temperaturmesser.

Seite 5:           Feingasversorgung:  
Gasmengeanlagen (Teilstrommesser).

Seite 6:           Generatorenanlagen:  
Wasserdampfregler.

Hochofenwerke:  
Gemischregler für verschiedene Gasarten.

Seite 9:           Salzbergwerke:  
Temperatur- und Verbrennungsregler  
für Trockenöfen,  
Temperaturmesser für Vorwärmer an Trockenöfen.

RESTRICTION

Die Schriftleitung der Zeitschrift „Die Wärme“ behält sich das Urheberrecht gemäß dem Gesetz vom 11. Juli 1870 vor

Askania-Sonderdruck: B 1016

# Meßwertwaagen / Von Ober-Ing. Dipl.-Ing. KURT BLASIG VDI in Berlin-Steglitz

An Meß- und Regelgeräte werden in bezug auf Genauigkeit und Anwendungsmöglichkeit immer höhere und neue Anforderungen gestellt. In den meisten Fällen kann die Aufgabe nur durch Umformung und Verstärkung der Meßwerte gelöst werden, wobei das Auswägeverfahren steigende Bedeutung gewinnt. Die Abhandlung gibt einen Einblick in dieses Gebiet<sup>1)</sup>.

## Anwendungsgebiete

Die Meßtechnik wird immer häufiger vor die Aufgabe gestellt, Meßwerte aller Art umzuformen. Die Gründe hierfür sind folgende:

1. Viele Meßwerte geben in ihrer ursprünglichen Form so geringe Meßkräfte, daß ihre genaue Anzeige und

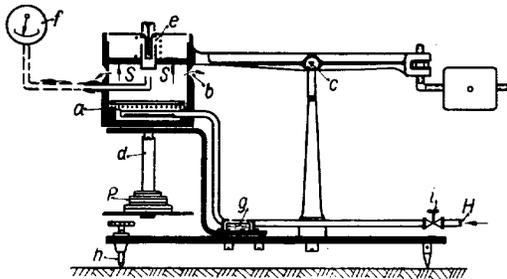


Abb. 1. Eichwaage

vor allem fortlaufende Aufschreibung und Regelung nicht möglich oder zu umständlich ist, z. B. Druckunterschiede von einigen Zehntelmillimeter Wassersäule, Ströme aus Thermoelementen, Strahlungspyrometern, Gasanalysenapparaten.

2. Bei manchen Aufgaben der selbsttätigen Regelung — neuerdings in steigendem Maße in Heizungs- und Speicheranlagen — muß die Einstellung der Regler durch andere Meßwerte verändert werden, die oft in weiter Entfernung von dem Regler abzunehmen sind und sich in ihrer ursprünglichen Form für Einwirkung auf die Regler nicht eignen, z. B. Außentemperatur als Korrekturwert für die Verlaufftemperatur einer Heizung, Wasserstand des Speichers als Korrekturwert für den Speicherdruck usw.
3. Die Ueberwachung ausgedehnter Betriebe erfordert oft die Zusammenfassung vieler wichtiger Meßwerte in einer Meßzentrale. Meßwerte, die sich in ihrer ursprünglichen Form nicht für Fernanzeige, Zählung oder Summierung eignen und mehr oder weniger an die Meßstelle gebunden sind, müssen pneumatisch für mäßige Entfernungen von einigen 100 m oder elektrisch (für alle Entfernungen) fernübertragen, gezählt oder summiert werden.
4. Die Messung von Zug- und Druckkräften durch Anzeige und Registrierung einer Durchfederung, besonders bei bewegter Anordnung, ist konstruktiv oft mit Schwierigkeiten verknüpft, ganz abgesehen davon, daß eine Durchfederung des Angriffspunktes oft nicht erwünscht ist. Die Auswägung solcher Meßwerte in Luftdruck mit ihrer bequemen Messung und Registrierung setzt sich ebenfalls immer mehr durch.

## Grundsätzliche Arbeitsweise

Die Wirkungsweise der Meßwertwaagen kann in folgendem zusammenfassenden Satz gekennzeichnet werden:

Eine Primärkraft wirkt auf einen Kraftumsetzer, der Spannung oder Strömung einer Hilfskraft so steuert, daß deren Rück-

wirkung auf den Kraftumsetzer der Primärkraft das Gleichgewicht hält.

Als Primärkraft kommen alle überhaupt in der Natur vorkommenden Kraftäußerungen in Frage, z. B. Schwerkraft, Winddruck, Zentrifugalkraft, menschliche, tierische oder maschinelle Kraft, Zustände für gas- und dampfförmige, flüssige und feste Körper, wie Strecke, Geschwindigkeit, Druck, Menge, Temperatur, Dichte, Feuchtigkeit, Zusammensetzung, Behälterstand. Alle diese Kräfte oder Zustände werden nach bekannten Meßverfahren als Meßkräfte geeigneter Größenordnung erfaßt und wirken auf die Kraftumsetzer.

Von dem Kraftumsetzer (auch Verstärker oder Relais genannt) wird vor allem verlangt:

1. daß er schon bei geringsten Änderungen der Primärkraft eine entsprechende Steuerung der Hilfskraft auslöst, d. h. möglichst reibungslos gelagert ist;
2. daß für den gesamten Steuerweg nur sehr kleine Stellungsänderungen des Primärsystems nötig sind, um auch bei Meßsystemen mit erheblicher Eigencharakteristik diese fast ganz auszuschalten.

Ein wichtiger, im Arbeitsverfahren begründeter Vorzug aller Meßwertwaagen ist die Unabhängigkeit der Sekundärwerte von Spannungsänderungen der Hilfskraft, da diese vom Kraftumsetzer selbsttätig wieder bis zum Gleichgewicht ausgeregelt werden. Natürlich darf die Spannung der Hilfskraft nicht unter den für die Auswägung nötigen Wert sinken.

## Ausführungsformen

Als Kraftumsetzer für pneumatische oder hydraulische Hilfskraft werden die veränderliche Einlaß- oder Auslaßdrossel in den verschiedensten Formen und der bekannte Freistrahlfeld verwendet. Während beim Freistrahlfeld nur die Rückwirkung der Hilfskraft auf den Kraftumsetzer für Druck- oder Differenzdruck über ein besonderes Meßsystem in Frage kommt, ist bei der Auslaßdrossel bzw. Einlaßdrossel noch zu unterscheiden, ob der Sekundärwert nur

auf die von der Steuerkante umschlossene Fläche oder, wie beim Freistrahlfeld, über ein besonderes Meßsystem auf eine vergrößerte Fläche wirkt. Zur Umsetzung von Meßwerten in elektrische Gegenkraft dienen das Abschirmblech und die Schleifbürste<sup>2)</sup>.

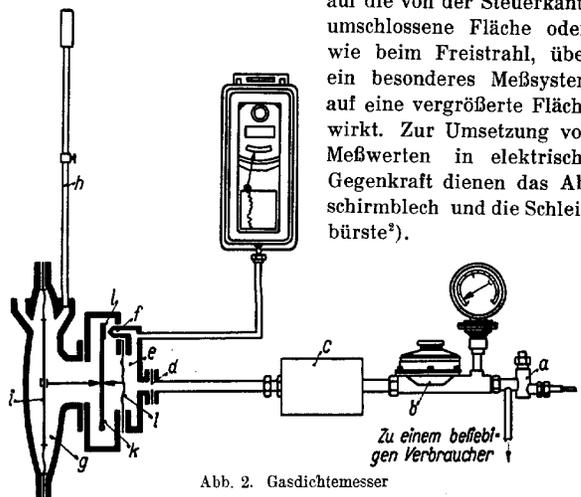


Abb. 2. Gasdichtmesser

<sup>1)</sup> Hersteller der hier beschriebenen Ausführungen: Askania-Werke Akt.-Ges., Bambergwerk, Berlin-Friedenau.

<sup>2)</sup> Im Rahmen dieser Abhandlung können nur einige Anwendungen der Meßwertwaagen beschrieben werden; ihre Verwendungsmöglichkeit ist fast unbeschränkt.

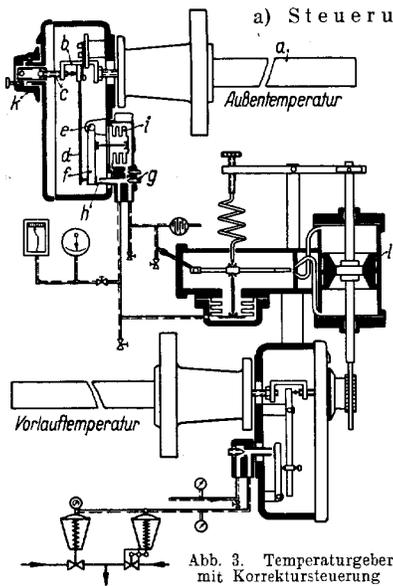


Abb. 3. Temperaturgeber mit Korrektursteuerung

a) Steuerung der Hilfskraft durch Drosselung  
 Abb. 1 zeigt im Schnitt die sogenannte Eichwaage, eine Anwendung der veränderlichen Auslaßdrossel, mit unmittelbarer Rückwirkung auf die von der Steuerkante umschlossene Fläche. Sie wird Eichwaage genannt, weil mit ihr einfach und bequem genaue Druckwerte für die Eichung von Druckmeßgeräten erhalten werden.

Ueber die Drossel *i* wird als Hilfskraft *H* Druckluft zugeleitet, die über ein Beruhigungssieb *a* und den Auslaßring *b* ins Freie strömt. Der Auslaßquerschnitt wird durch den genau passenden, um den Lagerpunkt *c* gut ausgewogenen Deckel gedrosselt. Geeichte Gewichte *P* wirken über ein Gehänge *d*, Luft- und Federpufferung *e* auf den Deckel und suchen ihn zu schließen. Dadurch steigt der Druck unter dem Deckel (Pfeile *S* = Sekundärkraft) so lange, bis die Luft wieder abströmen kann und sich Luftdruck und Gewichtsbelastung genau die Waage halten. Das Meßgerät *f* wird danach geeicht. Mit Libelle *g* und Dreipunktaufstellung *h* wird die Waage genau ausgerichtet.

Abb. 2 zeigt eine Meßwertwaage mit veränderlicher Auslaßdrossel, bei der der erzeugte Sekundärdruck auf eine vergrößerte Fläche wirkt. Hier ist die Aufgabe gestellt, die Dichte von Gasen zu messen und vor allen Dingen fortlaufend zu registrieren. Das zu messende Gas tritt über Drosselventil *a*, Druckregler *b*, Filter *c* und Stauscheibe *d* in den Raum *e*, strömt über den Auslaß *f* in den Raum *g* und von hier über das Standrohr *h* ins Freie, wo es als kleine Flamme verbrennt. Auf der äußeren Seite der Membran *i* steht also atmosphärischer Druck, auf der inneren Seite die Atmosphäre, vermindert um den Unterschied der spezifischen Gewichte von Gas- und Luftsäule der Höhe des Standrohres *h*. In der Regel handelt es sich um die Messung von Gasen, die leichter als Luft sind. Sinkt das spezifische Gewicht des Gases, so wird die Druckdifferenz an der Membran *i* größer; die Primärkraft auf dem Hebel *k* wird größer, die Steuerplatte *l* sucht den Auslaßschlitze *f* zuzudrücken. Dadurch steigt der Druck im Raum *e*, bis die Rückwirkung über die Sekundärmembran der Primärkraft das Gleichgewicht hält. Das Flächenverhältnis von Sekundär- zu Primärmembran beträgt 1 : 60. Bruchteile von 1 mm W.-S. an der Primärmembran werden daher in gut meßbare Gasdrücke mit Meßbereich  $\frac{1}{50}$  mm W.-S. umgesetzt. Für das Standrohr *h* genügt eine Höhe von 1 m, so daß das Gerät überall bequem unterzubringen ist. Temperatur- und Barometerschwankungen werden durch Veränderung der Gassäule berücksichtigt. Bei Ableseung an einer besonderen Eichskala wird die Höhe des Standrohres durch Ineinanderschieben von zwei Rohrteilen

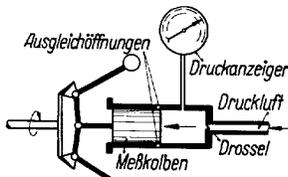


Abb. 4. Ferndrehzahlmesser

bequem den Temperatur- und Barometerschwankungen entsprechend geändert.

Eine weitere Anwendung zeigt Abb. 3. Hier werden Längenänderungen eines Wärmefühlers in Luftdruck umgewandelt. Bei z. B. steigender Temperatur tritt infolge verschiedener Wärmedehnung eines äußeren Metallstabes *a* und eines innenliegenden Quarzrohres eine Bewegung des Bügels *b* mit der Einstellschraube *c* nach rechts ein. Die Schraube *c* drückt auf eine Blattfeder *d*, die an einem dünnen Blech nach Art eines Klingelhammers praktisch reibungslos gelagert ist. Die Längenänderungen des Wärmefühlers werden also zunächst in eine Federkraft umgesetzt, die auf den am Drehpunkt *e* gelagerten Hebel *f* übertragen wird. Ueber Anschluß *a* und Vordrossel *g* wird Druckluft zugeführt, die an der Auslaßdrossel *h* austritt. Der Druck zwischen Vordrossel *g* und Auslaßdrossel *h* wirkt auf eine Membran *i*, deren Kraft am Hebel *f* der Federkraft das Gleichgewicht hält. Die Höhe des auswägenden Luftdrucks kann durch Drehen der Einstellschraube *c* am Einstellknopf *k* verändert werden. Der ausgewogene Luftwert kann nun für Anzeige oder Regelung ausgenutzt werden. Hier wird er z. B. neben Anzeige und Aufschreibung in einem kleinen Strahlrohrregler in Stellungsänderungen des Steuerkolbens *l* umgesetzt, der über einen Zahnradtrieb die Einstellung am Regler für die Vorlauf-temperatur einer Heizungsanlage in einer gewollten Abhängigkeit verändert.

Bei den bisher beschriebenen Ausführungen lag die möglichst reibungslose Lagerung des steuernden Deckels oder der Platte außerhalb der Steuerkante. In vielen Fällen steht die Forderung der völligen Reibungslosigkeit nicht so sehr im Vordergrund, z. B. im Flugzeugbau, wo die von den Motoren her wirkenden Erschütterungen eine sonst störende Reibung so gut wie aufheben. In solchen Fällen kann ohne weiteres ein kleiner Kolben verwendet werden, der den Auslaß steuert.

Abb. 4 zeigt den bekannten Ferndrehzahlmesser für Flugzeuge. Die Wirkungsweise ist ohne weiteres aus dem Bild ersichtlich.

Abb. 5 zeigt eine Kolbenschiebersteuerung, bei der die Kolbenfläche nicht unmittelbar vom Sekundärdruck beaufschlagt wird, sondern die Rückwirkung über eine Membran erfolgt. Hier ist die Aufgabe gestellt, die Ruderdrücke an den Steuerknüppeln eines Flugzeuges während der Fahrt fortlaufend zu messen und aufzuschreiben. Die am Steuergriff *a* nötige Druckkraft wird über ein allseitig bewegliches Gelenk *b* auf den Steuerschieber *c* übertragen. Im unbelasteten Zustand des Steuerknüppels drückt die über Bügel *d* einstellbare kräftige Blattfeder *e* den Steuerschieber *c* mit einer bestimmten Kraft nach links

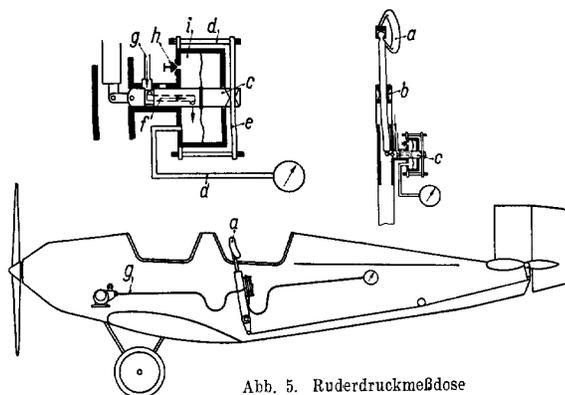


Abb. 5. Ruderdruckmeßdose

und sucht den Einlaßschlitz *g* mehr zu öffnen. Dadurch strömt mehr Preßluft zu, als über das Auslaßventil *h* abströmen kann. Der Druck in der linken Membrankammer *i* steigt so lange, bis sich Gleichgewicht mit der Federvorspannung *e* eingestellt hat. Im unbelasteten Zustand des Steuerknüppels herrscht also ein Meßdruck von ungefähr der Hälfte des größten Sekundärdrucks. Wirkt vom Steuerknüppel *a* jetzt auf den Schieber *f* eine nach rechts gerichtete Kraft gegen die Feder *e*, so wird der Einlaßschlitz *g* mehr versperrt; bis sich zwischen Ruderdruckkraft und Sekundärdruck in der Kammer *i* einerseits, Federspannung *e* andererseits ein Gleichgewicht eingestellt hat. Drückt der Ruderdruck den Schieber *f* nach links, so steigt der Luftdruck in der Kammer *i* so lange, bis Ruderdruck plus Spannung der Einstellfeder von dem Sekundärdruck ausgewogen werden. Auf diese Weise erhält man die Ruderdruckkraft nicht nur in ihrer Größenordnung, sondern in ihrer Richtung.

Wird eine zweite Dose in einer senkrecht zu dieser Wirkungsebene liegenden Ebene eingebaut, so erhält man aus den beiden einzelnen Meßdrücken der Dosen den resultierenden Ruderdruck nach Größe und Lage in der von den beiden Achsen der Ruderdruckdosen gebildeten Ebene.

b) Steuerung der Hilfskraft durch den Freistrahl

Alle bisher beschriebenen Meßwertwaagen arbeiten mit veränderlicher Ein- oder Auslaßdrossel. Besondere Bedeutung hat auf diesem Gebiete der Freistrahle (DRP. und Auslandspatente) erlangt, mit dem Aufgaben von ungeahnter Vielseitigkeit gelöst wurden. Die Arbeitsweise des Freistrahles als Regler kann als bekannt vorausgesetzt werden. Das Wesentliche bei der Anwendung des Freistrahles für Meßwertwaagen sind die Beaufschlagung nur einer Düse und die Rückwirkung des in der Aufnehmerdüse erzeugten Druckes oder Stromes auf das Sekundärsystem.

Abb. 6 zeigt die Anwendung des Freistrahles für Niederdruckmengenmessung. Als primärer Wirkdruck am Meßdruckgeber steht nur ein Differenzdruckbereich von 0 bis 0,5 mm zur Verfügung. Das Strahlrohr wird von der Primärmembran *a* so gesteuert, daß es einen Luftstrom am Sekundärstaurad *b* erzeugt, dessen Wirkdruck am Staurand *b* ein Vielfaches des primären Wirkdrucks ist.

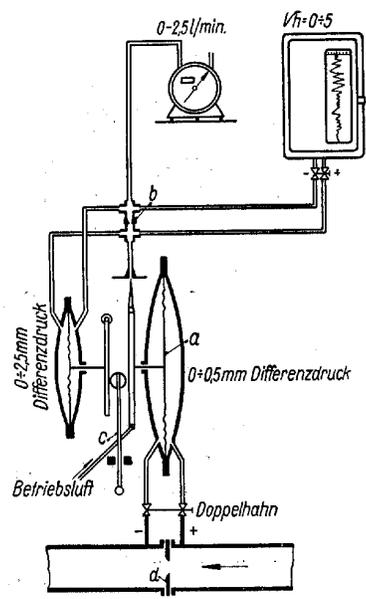


Abb. 6

Abb. 6. Freistrahldruckwaage für Niederdruckmengenmessung. — Abb. 7. Kommandogeber für Kessel. — Abb. 8. Oeldruckwaage für Maschinenregelung

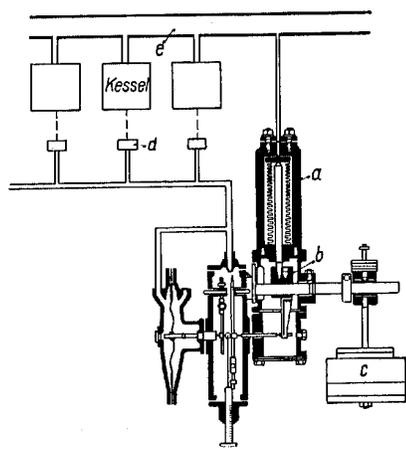


Abb. 7

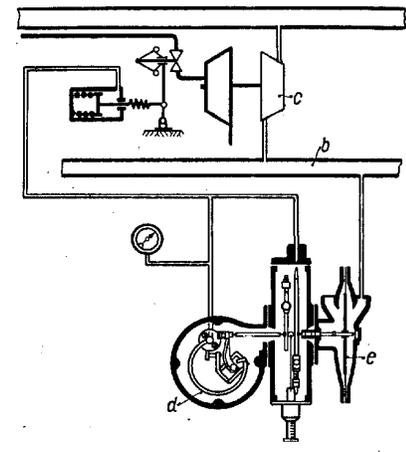


Abb. 8

Das Uebersetzungsverhältnis ist durch die Flächen der Membran und durch die Stellung des Uebersetzungsschiebers *c* festgelegt. Der vom Freistrahle erzeugte Luftstrom steht also in einem festen Verhältnis zu dem zu messenden Gasstrom und kann in einem üblichen Gaszähler summiert und sein Wirkdruck an einem Vh-Schreiber angezeigt und registriert werden.

Derartige Meßwertwaagen sind bei entsprechender Ausbildung des Primärsystems für Mengenmessungen bis 120 at Druck ausgeführt worden. Große Bedeutung haben die Meßwertwaagen mit dem Freistrahle bei der Lösung vieler Reglerprobleme erlangt. So zeigen Abb. 7 und 8 einige besonders häufig ausgeführte Anwendungen.

Abb. 7 ist ein sogenannter Kommandogeber für Kesselregelung, der den Meßwert Dampfdruck + Belastung (Druckabfall in der Dampfsammelleitung) in Luftdruck umwandelt, der als Kommandowert gleichzeitig auf die Regler *d* der einzelnen Kessel geleitet wird. Als Primärsystem ist hier ein Wellrohr *a* gewählt. Der auf diesem lastende Dampfdruck ist über Schneidenlagerung *b* durch Belastungsgewichte *c* annähernd ausgewogen. Eine Längenänderung des Wellrohres von 0,02 mm genügt bereits zur Bestreichung des ganzen Meßbereiches für den Kommandodruck. Ermüdungserscheinungen am Wellrohr sind daher ausgeschlossen, weil es praktisch überhaupt keinen Hub macht, sondern nur Kraft überträgt.

Abb. 8 zeigt die Umwandlung des Gasdrucks in der Saugleitung *b* des Gebläses *c* in Steueröldruck (Drucköl steht bei den meisten Maschinensteuerungen zur Verfügung). Der Sekundärdruck wirkt in diesem Falle über eine Röhrenfeder *d* gegen den Gasdruck an der Membran *e* und wird auf die Drehzahlregelung so zur Einwirkung gebracht, daß die Maschine entsprechend dem Sinken des Gasdrucks auf geringere Drehzahl gefahren und schließlich ganz stillgesetzt wird, falls ein bestimmter Mindestgasdruck erreicht ist und die Gefahr besteht, daß Luft von der Gaserzeugung her angesaugt wird.

Bei den bisher beschriebenen Ausführungen der Meßwertwaagen mit Freistrahle wirken Primär- und Sekundärkraft unmittelbar am Strahlrohr selbst gegeneinander. Bei Bewältigung größerer Kräfte empfiehlt sich diese Anordnung nicht. Es werden dann Primär- und Sekundärsystem unmittelbar gegeneinander geschaltet und nur die bei Gleichgewichtsstörungen eintretenden Verlagerungen des Systems auf das Strahlrohr übertragen, um eine entsprechende Steuerung auszulösen.

So können z. B. (Abb. 9) die an einem Flugzeugmodell in einem Windkanal bei verschiedenen Geschwindigkeiten

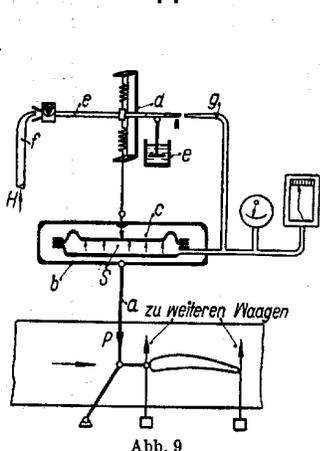


Abb. 9

Abb. 9. Meßwertwaage für große Kräfte.  
— Abb. 10. Strom-Druck-Waage. —  
Abb. 11. Druck-Strom-Waage, Abschirm-  
blech

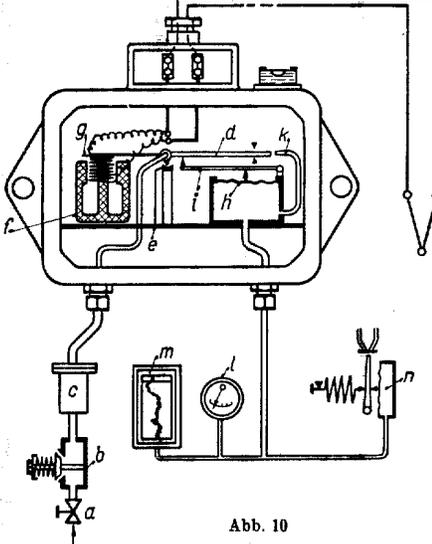


Abb. 10

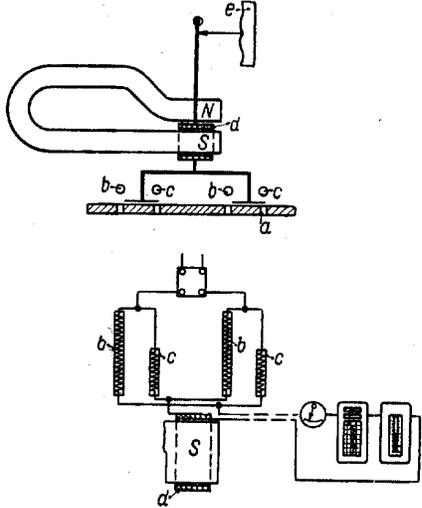


Abb. 11

des Luftstromes auftretenden Kräfte fortlaufend gemessen werden. Die Kraft im Spanndraht *a* wirkt über Uebertragungsbügel *b* auf den Membranteller *c*. Bewegungen desselben werden durch den federnden Uebertragungshebel *d* auf das in Schneiden gelagerte Strahlrohr *e* übertragen, dem über Anschluß *f* Preßluft als Hilfskraft zugeführt wird. Die federnde Uebertragung *d* und Dämpfung *e* verhüten Vibrationen des Strahlrohres bei Flattern des Modells. Bei steigender Kraft *P* wird das Strahlrohr mehr nach unten vor die Aufnehmerdüse *g* gestellt und durch höheren Luftdruck unter der Sekundärmembran *S* die Auswägung vorgenommen.

Zu welchen Leistungen das Strahlrohr als Kraftumsetzer bei leichter Ausführung und sorgfältiger Lagerung fähig ist, beweist die Stromwaage nach Abb. 10, bei der elektrische Ströme in der Größenordnung von 0 bis 0,2 mA völlig proportional in Luftdrücke von 0 bis 50 mm W.-S. umgesetzt werden können. Mit diesen Waagen können Meßwerte von Thermoelementen, Strahlungs-pyrometern, Photozellen in Luftdruck von 0 bis 50 mm W.-S. umgewandelt werden, wodurch fortlaufende Registrierung und Regelung mit einfachsten Mitteln möglich ist. Betriebsluft von 300 mm W.-S. (Schwankungen des Luftdrucks von 200 bis 1000 mm spielen keine Rolle) wird über Drosselventil *a* dem Sicherheits-Ueberströmregler *b* und über Filter *c* dem Strahlrohr *d* zugeleitet. Im Lager *e* schwingt ein völlig ausgewogenes Waagensystem; auf dessen einer Seite wirkt die Richtkraft der vom Gleichstrom durchflossenen, im Kraftfeld des Magneten *f* schwebenden Spule *g*, auf der anderen die Druckkraft der Membran *h* unter Zwischenschaltung einer Hebelübersetzung *i*. (In der schematischen Darstellung ist der Einfachheit halber der Hebel *i* nach unten gelegt, in Wirklichkeit drückt er von oben auf das Strahlrohr.) Bei ansteigendem Strom stellt die Spule *g* das Strahlrohr mehr vor die Düse *k*, der Druck unter der Membran steigt, bis sich Gleichgewicht eingestellt hat. Der Luftdruck kann am Druckmesser *l*, Druckschreiber *m* oder am Regler *n* verwertet werden.

c) Auswägung durch elektrischen Strom

Für die Fernübertragung von Meßwerten bei großer Entfernung hat die elektrische Fernübertragung steigende Bedeutung erlangt. Es geschieht in der Regel so, daß proportional mit Stellungsänderungen eines Meßsystems ein elektrischer Widerstand bzw. ein Widerstandsverhältnis geändert und diese Widerstandsänderung an der Empfänger-

stelle an einem Drehspul-, Kreuzspul- oder Ringeisengerät angezeigt wird. Meßwertänderungen an den Gebern werden also zunächst in einen Weg und dieser dann in möglichst proportionale Widerstandsänderung umgesetzt. Die Genauigkeit der Uebertragung ist also von der Druck-Weg- und von der Weg-Widerstand-Charakteristik bzw. deren Konstanz abhängig. Im Gegensatz hierzu stehen die sogenannten Kompensationsfernübertragungen, bei denen der primäre Meßwert bei kleinsten Bewegungen eines Kraftumsetzers unmittelbar gegen eine elektrische Richtkraft ausgewogen wird. Auf das Arbeitsverfahren von zwei derartigen elektrischen Meßwertwaagen soll an Hand der Abb. 11 und 12 kurz eingegangen werden.

Ueber Luftschlitze *a* sind Widerstandswendeln *b* gespannt, welche mit Gleichstrom gespeist werden. Durch die Erwärmung der Wendeln tritt ein Aufsteigen der Luft ein. Bewegt sich der Halter mit den Abschirmblechen z. B. mehr nach rechts, so wird der Luftstrom an den Widerstandswendeln *c* mehr abgeschirmt; sie werden also heißer und der Widerstand steigt, während der Luftstrom die Widerstandswendeln *b* voller trifft, so daß deren Widerstand sinkt. Die Wendeln liegen in Brückenschaltung. Im Brücken-zweig liegt die im Magnetfeld schwingende Spule *d*, deren Richtkraft sich mit Änderungen des Brückenstromes, d. h. Stellungsänderungen des an der Spule befestigten Abschirmbleches, ändert. Ueber die Membran *e* wirkt ein Gas- oder Luftdruck mit entsprechender Uebersetzung gegen die Spulenkraft. Bei Druckänderung an der Membran *e* werden die Abschirmbleche ausgelenkt, und es entsteht in der beschriebenen Weise sofort eine Gegenkraft an der Spule *d*, die der Membrankraft das Gleichgewicht hält. Der Brückenstrom kann dann zur Fernanzeige, Fernregistrierung oder Fernzählung verwendet werden.

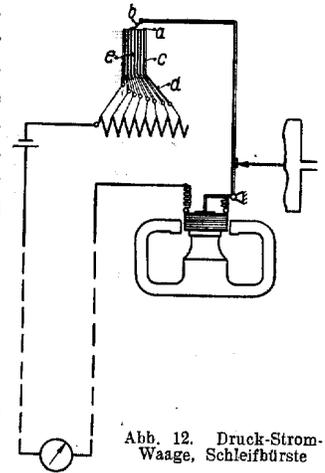


Abb. 12. Druck-Strom-Waage, Schleifbürste

In ganz ähnlicher Weise arbeitet die Meßwertwaage nach Abb. 12, nur daß hier die Widerstandsänderungen nicht

durch Betätigung der Abschirmbleche, sondern durch  
Stellungsänderungen an der Schleifbürste erfolgen. Da die  
Gesamtwiderstandsänderung mit möglichst geringem Aus-  
schlag der Primärmembran bestrichen werden soll, erfolgt  
die Zusammenfassung der Widerstände nach einem beson-  
deren Verfahren über ein Lamellenstück  $e$ , in welchem  
Isolierschichten und die mit den Widerstandsspulen leiten-  
den Schichten auf engstem Raum zusammengefaßt sind. Die  
Unterteilung der Widerstandsspulen braucht nicht sehr weit-  
gehend zu sein, da sich bei dem Spiel des Gerätes zwischen  
Einschaltung der einen Widerstandsspule und der nächsten

und deren Auswirkungen auf die Spule eine Pulsation ein-  
stellt, die einen sehr guten Strommittelwert ergibt. Die  
kleinen Schwankungen hoher Frequenz treten infolge der  
Eigendämpfung der Empfangssysteme überhaupt nicht in  
Erscheinung.

Die Entwicklung der Meßwertwaagen und deren Anwen-  
dungen für die verschiedensten Aufgaben der Meßtechnik  
geht schnell vorwärts. Durch ihre Verwendung ist die Lösung  
vieler meß- und regeltechnischer Aufgaben überhaupt erst mög-  
lich geworden und dies mit einer Genauigkeit, wie es in  
vielen Fällen mit keinem anderen Verfahren möglich wäre.

Askania-Sonderdruck: R 1029.

## Regelung von Turbokompressoren mit dem Strahlrohrregler.

Von Oberingenieur Dipl.-Ing. Kurt Blasig in Berlin-Steglitz.

[Regelung eines durch Drehstrommotor angetriebenen Turbokompressors a) auf gleichbleibenden Förderdruck und b) selbsttätiges Verhüten des Pumpens durch Ausblaserregelung. Regelung eines turbinenangetriebenen Luftturbokompressors a) auf gleichbleibende Fördermenge oder b) auf unveränderten Förderdruck und c) auf selbsttätiges Verhüten des Pumpens durch Ausblaserregelung. Parallelregelung von vier Turbokompressoren a) auf gleichbleibenden Förderdruck und b) auf gleichbleibenden Entnahmedruck der Antriebsturbinen.]

In den letzten Jahren wurden von den Firmen Demag, A. Borsig, Gutehoffnungshütte, C. H. Jaeger & Co. Turbokompressoren geliefert, die mit Reglern der Askania-Werke A.-G. ausgerüstet sind. Diese haben die Aufgabe, entweder Förderdruck oder Fördermenge unverändert zu halten und die Kompressoren gegen das Pumpen zu schützen, d. h. das Zurückschlagen des Förderdruckes bei Unterschreiten eines bestimmten Verhältnisses von Fördermenge zu Förderdruck durch künstliche Erhöhung der Fördermenge zu verhüten. Die Lösungen dieser Aufgaben wurden auf verschiedenen Wegen erreicht, die dadurch bedingt waren, daß es sich einmal um Turbokompressoren handelte, deren Drehzahl nicht regelbar ist, im anderen Falle um turbinenangetriebene Kompressoren mit der Möglichkeit, die Drehzahl in genügenden Grenzen den Anforderungen nach Menge und Druck anzupassen.

Abb. 1 zeigt die Regelung eines durch Drehstrommotor angetriebenen Luft-Turbokompressors der Demag. Die Wirkungsweise des Strahlrohrreglers kann als bekannt vorausgesetzt werden.

Regler I öffnet bei Unterschreiten eines am Staurand a gewonnenen Differenzdruckes als Maß für die Ansaugmenge  $Q$  über Steuerzylinder b das Ausblaseventil c und läßt so viel Luft abblasen, daß die in die Druckleitung und über das Ausblaseventil geförderte Gesamtfördermenge den am Regler eingestellten Wert  $Q_1$  nicht unterschreitet. Eine mechanische Rückführung von Stellung des Steuerzylinders auf die Einstellfeder des Reglers gewährleistet pendelfreies Arbeiten.

Am Regler II ist über die sehr genau ansprechende Wellrohrdose d am Hebel e der Förderdruck durch Gewicht f ausgewogen. Einem Teil der Gewichtsbelastung wird durch die Einstellfeder g die Waage gehalten, an der eine Feineinstellung vorgenommen werden kann und über welche die Rückführung erfolgt. Ohne die Druckregelung (vgl. Kennlinie in Abb. 1) würde bei geringer werdender Menge der Druck nach der Kennlinie ansteigen. Er soll aber auf der Höhe  $H_1$  gehalten werden. An der Drehzahl läßt sich nichts ändern; es muß daher eine Verschiebung der Förderhöhe in das Unterdruckgebiet stattfinden, und zwar um den Betrag, um den sich die Kennlinie über  $H_1$  erhebt. Der Regler muß also bei steigendem Druck über Steuerzylinder h und Drosselklappe i durch Drosselung die Kompressorenansaugleitung mehr oder weniger unter Unterdruck setzen. Ein Anschlag k verhindert völliges Schließen der Drosselklappe. Der Regelbereich liegt innerhalb des Mengenbereiches  $Q_1$  bis  $Q_2$ , d. h. begrenzt durch die Mindestmenge

$Q_1$ , bei der das Ausblasen einsetzt, und die größtmögliche, auf die Druckhöhe  $H_1$  geförderte Menge  $Q_2$ . Um Ueberregelungen zu verhüten, hat auch dieser Regler eine mechanische Rückführung. Man läßt zweckmäßig die Ausblaserregelung schneller laufen und den Druckregler die Druckeinstellung langsamer vornehmen. Die beiden Regler werden durch ein gemeinsames Pumpwerk I mit Drucköl versorgt.

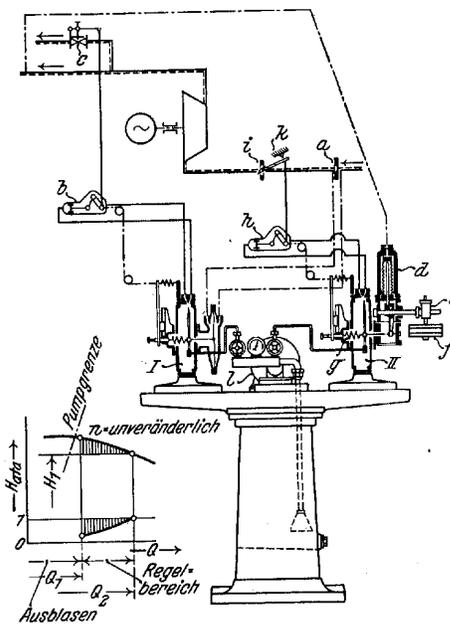


Abbildung 1. Druck- und Ausblaserregelung an einem durch Drehstrommotor angetriebenen Turbokompressor.

Pumpwerk und die beiden Regler stellen auf gemeinsamem Sockel ein einheitliches Ganzes dar und werden in der Nähe des Kompressors aufgestellt.

Abb. 2 zeigt das Regelschema eines turbinenangetriebenen Luftturbokompressors. Die Regelung hat folgende Aufgaben:

1. Den Hochöfen soll eine gleichbleibende Luftmenge zugeführt werden.  
Oder:
2. Der Förderdruck soll unverändert gehalten werden.
3. Der Kompressor soll selbsttätig gegen das sogenannte Pumpen geschützt werden.

1. Regelung auf gleichbleibende Fördermenge.

Die Nutzfördermenge wird in der Druckleitung zu den Hochöfen gemessen, um die beim Abblasen vom Kompressor geförderte Abblasmenge nicht mit zu messen. Da Druck und Temperatur der Luft in der Druckleitung starken Schwankungen unterworfen sind, müssen die Mengen mit einem Gerät gemessen werden, das einen einwandfreien,

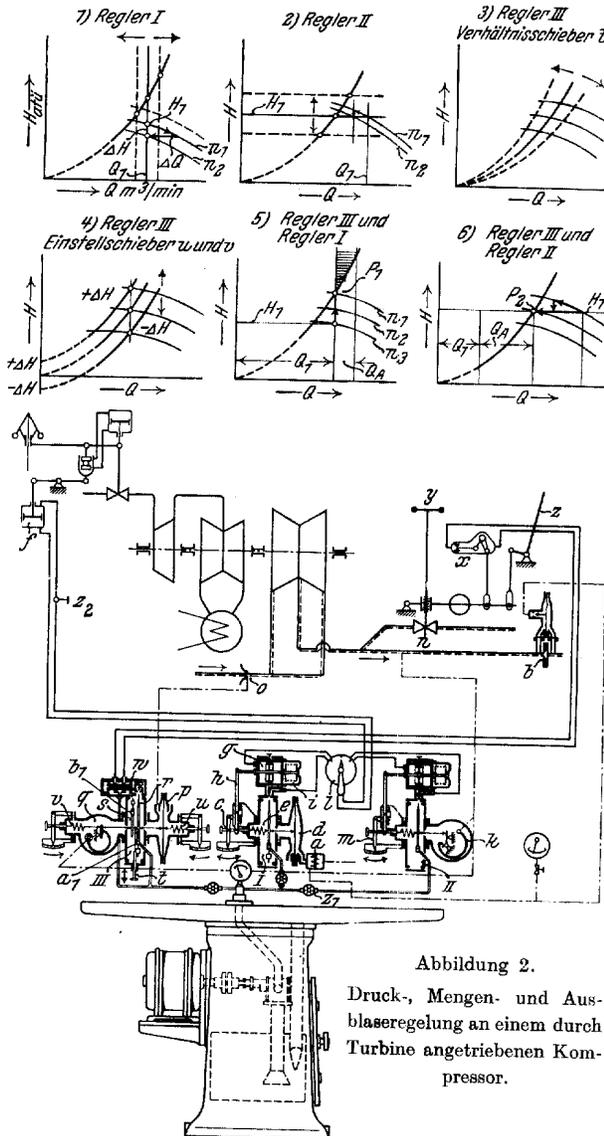


Abbildung 2. Druck-, Mengen- und Ausblasregelung an einem durch Turbine angetriebenen Kompressor.

von Druck- und Temperaturänderungen unabhängigen Meßwert für die augenblickliche Nutzfördermenge als Impuls für den Mengenregler liefert. Das ist mit dem Strömungsteiler b in Abb. 2 möglich. Dieser zweigt einen der Fördermenge verhältnismäßigen Teilstrom ab, der über eine Kapillare a ins Freie strömt.

An Abb. 3 sei die Arbeitsweise des Strömungsteilers b erläutert. Dieser enthält zwei durch eine leicht bewegliche, praktisch masselose Membran getrennte Kammern a und b. Die Membran steuert ein kleines Auslaßventil c. Der Meßanschluß für  $p_1$  führt zur Kammerhälfte b, der Meßanschluß für  $p_2$  zur Kammerhälfte a. In den Meßanschlüssen befinden sich zwei kleine, gleich große Staurändchen d und e. Der Staurand d hat für die Messung große Bedeutung, der Stau-

rand e hat nur den Zweck, bei der Inbetriebsetzung und bei Stößen im Netz die Druckstöße gleichzeitig nach den beiden Kammerhälften a und b gelangen zu lassen. Die Membran f hat nur so viel Hubmöglichkeit, als für die Steuerung des Auslaßventils c nötig ist, und legt sich bei größeren einseitigen Ueberlastungen an die Membranflächen an. Durch diese Maßnahme wird auch bei schnellen Belastungsänderungen eine einwandfreie Arbeitsweise und Ueberlastungen der Membran und des Nadelventils vermieden. Der zunächst größte Druck in der Kammer b öffnet das Nadelventil c so weit, bis durch Ausströmen einer bestimmten Luftmenge und dem damit verbundenen Druckabfall an geeichten Staurand d in den beiden Kammern a und b gleicher Druck  $p_2$  herrscht. Damit wird erreicht, daß in Strömungsrichtung vor Staurand g und d der Druck  $p_1$  herrscht, nach dem Staurand g und e der Druck  $p_2$ .

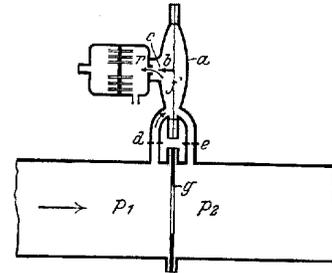


Abbildung 3. Arbeitsverfahren des Teilstrommessers.

Beide Stauränder stehen unter genau den gleichen Strömungsverhältnissen, denn der Differenzdruck, die statischen Drücke und die Temperaturen (der Strömungsteiler ist dicht über der Förderleitung gut isoliert aufgebaut) und damit das spezifische Luftgewicht bei beiden Staurändern sind gleich groß. Es strömt also über den Staurand d ein bestimmter Teilbetrag der durch die Hauptleitung strömenden Gesamtmenge, der nur durch das Verhältnis der beiden Strömungswiderstände bestimmt wird. Das Staurändchen d und Staurand g werden so bemessen, daß die durch die Hauptleitung fließende Menge ein ganzes Vielfaches, etwa das Tausendfache oder Hunderttausendfache der Teilstrommenge ist.

Für die Regelung kommt es nun nicht darauf an, die Teilstrommenge zu zählen und zu messen, sondern einen Wert zu gewinnen für die augenblickliche Durchgangsmenge. Man könnte in die Teilstromleitung hinter dem Anlaßventil r wieder eine kleine Stauscheibe einsetzen und den an ihr auftretenden Druckunterschied als Maß für die Teilstrommenge und damit der Hauptstrommenge auf das Meßsystem III des Mengenreglers leiten. Weil der Differenzdruck an dieser kleinen Stauscheibe aber quadratisch mit der Menge ansteigt, hätte das zur Folge, daß bei 10 % der Höchstmenge nur ein Hundertstel des höchsten Differenzdruckes als Mengenimpuls am Mengenregler zur Verfügung stände. Es besteht die Gefahr, daß bei diesem geringen Differenzdruck der Regler zu unempfindlich arbeitet. Es wurde daher hinter das Anlaßventil eine Kapillare eingeschaltet. (In Abb. 3 ist diese unmittelbar am Strömungsteiler angebaut, in der Ausführung nach Abb. 2 wurde sie unmittelbar an der Reglermembran angebracht.) Der Druck vor der Kapillare steigt verhältnismäßig mit der Fördermenge und wirkt auf das Anzeigergerät c und über das Membransystem d des Reglers I auf das Strahlrohr. Als Gegenkraft wirkt am Strahlrohr die Einstellfeder e; der Einstellschieber c ist mit einer vergrößerten Meßteilung versehen, die in mm WS und  $m^3/min$  geeicht ist. Der Regler verstellt bei Abweichen der Fördermenge von der mit dem Einstellschieber eingestellten Menge einen Oelkolben f in der Steuerung der Antriebsmaschine. Dieser Kolben bewegt die Hilfsschieberbuchse der Fliehkraftregelung und verstellt damit die Drehzahl. Die günstigste Regelgeschwindigkeit

wird am Drosselventil  $Z_2$  eingestellt. Da bei dem großen Maschinensatz Verzögerungen im Regelvorgang durch Massenbeschleunigungen zu befürchten sind und Pendelungen der Maschinendrehzahl unbedingt vermieden werden müssen, ist am Regler noch ein besonderer Rückführkolben  $g$  angebaut. Der Regelvorgang spielt sich folgendermaßen ab (s. Schaubild 1 in *Abb. 2*).

Der Regler ist auf die Mengelinie  $Q_1$  eingestellt. Der Kompressor arbeitet z. B. gegen Druck  $H_1$  mit der Drehzahl  $n_1$ . Differenzdruck und Einstellfeder sind im Gleichgewicht, Rückführkolben  $g$  und Drehzahlverstellkolben  $f$  stehen in Ruhe. Aus irgendeinem Grunde, z. B. Verminderung der Widerstände im Hochofen, fällt der Förderdruck um  $\Delta_H$ . Auf der gleichen Drehzahlkennlinie  $n_1$  würde die Förderleistung um  $\Delta_Q$  steigen. Das geringste Ansteigen der Förderung ergibt jedoch eine Änderung des Druckes vor der Kapillarpatrone. Die Reglermembran drückt das Strahlrohr nach links. Die rechte Kammer des Rückführkolbens erhält höheren Oeldruck. Der Rückführkolben bewegt sich nach links, wobei der Kolben  $f$  an der Drehzahlverstellung eine dem verdrängten Volumen entsprechende Bewegung ausführt. Dadurch wird die Drehzahl der Antriebsmaschine verringert, bis bei der Drehzahl  $n_2$  wieder die eingestellte Mengelinie erreicht worden ist und der Regler wieder im Gleichgewicht steht. Die bei dem Regelvorgang durch die Bewegung des Rückführkolbens über Gestänge  $h$  ausgeübte Rückführung verhindert ein Ueberregeln. Der Rückführkolben gelangt unter Wirkung der Feder  $i$  durch Oelaustausch über die Umlaufdrossel allmählich wieder in seine mittlere Lage zurück, während der Kolben der Drehzahlverstellung in seiner Lage stehenbleibt. Die Mengeneinstellung ist nach Abschluß des Regelvorganges also wieder dieselbe. Da der Regler mit großer Empfindlichkeit schon bei kleinen Mengenänderungen anspricht, wird der Kompressor praktisch immer auf der Linie  $Q_1$  arbeiten. Durch Verstellen des Einstellschiebers  $c$  kann die Mengelinie parallel verschoben werden und schneidet die sogenannte Pumpgrenze in Werten verschiedenen Druckes.

Wenn also einem anderen Regler die Aufgabe gestellt wäre, bei Erreichen eines bestimmten Förderdruckes irgendeinen das Pumpen verhütenden Regelvorgang auszulösen, so müßte dieser Regler bei der Mengeneinstellung von Hand ebenfalls auf die den Schnittpunkten mit der Pumpgrenze entsprechenden Förderhöhen eingestellt werden. Der weiter unten beschriebene Regler III macht dies selbsttätig.

## 2. Regelung auf gleichbleibenden Förderdruck.

Der Meßwert für den Förderdruck wird ebenfalls im Druckstutzen des Kompressors abgenommen und auf die Röhrenfeder  $k$  des Druckreglers II geleitet. Auch dieser Regler arbeitet über einen Rückführkolben auf die Drehzahlverstellung der Antriebsturbine. Ein Handgriff am Umschalthebel  $l$  genügt, um die Regelung auf Druck oder Menge ein- oder ganz auszuschalten.

Die Regelung (s. Schaubild 2 in *Abb. 2*) geht folgendermaßen vor sich:

Der Regler ist auf Drucklinie  $H_1$  eingestellt. Der Einstellschieber  $m$  ist in *atü* geeicht. Der Kompressor fördert bei der Drehzahl  $n_1$  die Menge  $Q_1$ . Angenommen, der Luftbedarf sinkt, so würde bei gleicher Drehzahl der Förderdruck ansteigen. Die auf die Röhrenfeder ausgeübte Kraft steigt. Das Strahlrohr schwenkt nach links. Der Drehzahlverstellkolben  $f$  an der Turbinenregelung regelt auf tiefere Drehzahl, bis bei  $n_2$  der Förderdruck  $H_1$  bei verringerter Fördermenge wieder erreicht ist. Der Rückführkolben wirkt wie unter 1.

Durch Verstellen des Einstellschiebers  $m$  kann die Drucklinie parallel verschoben werden. Diese Linien unveränderten Förderdruckes schneiden die Pumpgrenze in Punkte verschiedener Menge. Wäre einem anderen Regler die Aufgabe gestellt, bei einem dieser Punkte, d. h. bei Erreichen einer bestimmten Menge irgendeinen, das Pumpen verhütenden Vorgang auszulösen, so müßte dieser Mengeregler bei jeder anderen Förderhöheinstellung entsprechend der Pumpgrenze wieder anders eingestellt werden. Das macht selbsttätig Regler III.

## 3. Regler zur Verhütung des Pumpens.

Im Schaubild 3 der *Abb. 2* ist die Pumpgrenze eines Kompressors eingetragen. Der Kompressor darf nur im Bereich rechts dieser Linie arbeiten. Wird die Pumpgrenze bei beliebiger Einstellung des Fördermengen- oder Förderdruckreglers erreicht, so soll das Abblaseventil  $n$ , das in einem Abzweig der Druckleitung eingebaut ist, so weit öffnen, daß eine Gesamtansaugleistung eingeregelt wird, die gerade dem Schnittpunkt des jeweiligen Förderdruckes mit der Pumpgrenze entspricht. Auf den Regler müssen daher sowohl Förderdruck als auch Meßwert für die gesamte Ansaugleistung zur Einwirkung gebracht werden, und zwar so, daß die beiden Meßwerte gerade in der durch die Pumpgrenze festgelegten Abhängigkeit über den ganzen Bereich im Gleichgewicht stehen. Der Verlauf dieser Pumpgrenze läßt erkennen, daß die auf ihr liegenden Werte für die Förderhöhe in einer Parabelfunktion mit der Fördermenge wachsen. Da nun als Meßwert der gesamten Ansaugleistung eine Düse  $o$  im gemeinsamen Ansaugstutzen gewählt ist und die Unterdruckwerte mit der Menge quadratisch steigen, so braucht man nur die beiden Meßwerte für Förderdruck und Unterdruck über geeignete Meßsysteme und geeignete Uebersetzungen gegeneinander wirken zu lassen, um die gewünschte Abhängigkeit zu erzielen.

Das ist am Regler III geschehen, die Kraft des vom Unterdruck in der Ansaugleitung beaufschlagten Membransystems  $p$  und des vom Förderdruck beaufschlagten Röhrenfedersystems  $q$  wirken über Strahlrohr  $r$  mit Drehpunkt  $a_1$  und Gegenhebel  $s$  mit Drehpunkt  $b_1$  gegeneinander. Zwischen beiden Hebeln ist ein sogenannter Verhältnisschieber  $t$  verschiebbar angeordnet. Es ist zu erkennen, daß z. B. bei Herausziehen des Schiebers das Kraftübersetzungsverhältnis anders wird. Die von der Röhrenfeder ausgehende Kraft muß größer werden, um dem Unterdruck das Gleichgewicht zu halten. Die Pumpgrenze kann also auf diese Weise steiler oder flacher eingestellt werden.

Es war bisher vorausgesetzt, daß die Einstellfedern  $u$  und  $v$  gespannt sind, d. h. es wirken keine Zusatzkräfte auf die Meßsysteme. Sämtliche Pumpgrenzen würden also trotz veränderter Neigung durch den Nullpunkt laufen (Schaubild 3 in *Abb. 2*). Es kann jedoch auch nötig werden, die Pumpgrenzeinstellung parallel nach oben oder unten zu verschieben, dazu sind die Einstellfedern  $u$  und  $v$  da. Wird die Einstellfeder  $u$  zusammengedrückt, so muß die Röhrenfeder eine größere Kraft aufwenden, um wieder Gleichgewicht zu erzielen, d. h. der Förderdruck muß steigen, und zwar über den ganzen Bereich um den gleichen Betrag. Die Pumpgrenze wird also parallel nach oben verlegt (Schaubild 4 in *Abb. 2*). Wird dagegen die Einstellfeder  $v$  zusammengedrückt, so wird das Meßsystem für den Förderdruck in seiner Wirkung unterstützt. Der Förderdruck braucht also nicht so hoch anzusteigen, um Gleichgewicht zu erzielen, d. h. die Pumpgrenze wird parallel nach unten verschoben. Die Stellungen, in denen die Federn spannungslos sind, sind an den Einstellschiebern bezeichnet. Die

Meßteilungen sind so geeicht, daß man an ihnen ablesen kann, um wieviel Atmosphären die Pumpgrenze nach oben oder unten verschoben wird.

Dank dieser Anordnung ist man in der Lage, die Kennlinie des Reglers mit fast jeder Pumpgrenze zur Deckung zu bringen; es ergibt sich daraus ein störungsfreier und wirtschaftlicher Betrieb.

#### 4. Regelvorgang.

Es sei angenommen, der Kompressor wird durch Regler I auf gleichbleibende Nutzfördermenge  $Q_1$  geregelt (Schaubild 5 in Abb. 2). Der Kompressor arbeite bei einem Druck  $H_1$  und mit einer Drehzahl  $n_3$ . Der Mengenimpuls am Regler III hat die Oberhand, d. h. das Strahlrohr liegt in der linken Endlage, ebenfalls der Folgeschieber w. Der Kurbelzylinder x hält das Ausblaseventil geschlossen; um z. B. die gleiche Fördermenge gegen höheren Druck (z. B. erhöhte Widerstände im Hochofen) zu fördern, regelt der Regler I auf höhere Drehzahl, bis schließlich Punkt  $P_1$  erreicht wird. An diesem Punkte wäre am Regler gerade Gleichgewicht. Steigt die Drehzahl weiter, so erhält von jetzt ab der Druckimpuls das Uebergewicht, er lenkt das Strahlrohr und damit den Folgeschieber ab und öffnet das Ausblaseventil so weit, daß die Gesamtfördermenge  $Q$  mit dem Druck entlang der Pumpgrenze steigt. Der dem Hochofen zugeführte Mengenanteil bleibt weiter  $Q_1$ . Die Strecken bis zur Pumpgrenze stellen die abgeblasene Menge dar.

Angenommen, der Kompressor werde durch Regler II auf gleichbleibenden Druck  $H_1$  geregelt (Schaubild 6 in Abb. 2). Wenn die Fördermenge sinkt, stellt der Regler, um gleichen Druck zu halten, auf tiefere Drehzahl ein. Wird der Punkt  $P_2$  erreicht, so wird der sinkende Mengenimpuls vom gleichbleibenden Druckimpuls überwunden. Das Ausblaseventil wird wieder geöffnet, bis der Mengenimpuls der Gesamtansaugemenge dem gleichbleibenden Druckimpuls das Gleichgewicht hält. Es mag nun eine beliebige Fördermenge von dem Hochofen abgenommen werden. Stets wird durch das Ausblaseventil so viel Ueberschußmenge abgeblasen, wie die Pumpgrenze bei dem eingestellten Förderdruck vorschreibt. Im äußersten Fall muß also bei  $Q_1 = 0$  das Ausblaseventil die gesamte Ansaugemenge abblasen können.

Das Ausblaseventil kann durch Handrad y verstellt werden und durch einen Schnellöffnungshebel z im Bruchteil einer Sekunde voll geöffnet werden. Handrad, Steuerzylinder und Schnellöffnungshebel sind nebeneinander im Maschinenhaus angeordnet. Die selbsttätige Regelung kann durch Lösen eines Fallkeiles am Steuerzylinder abgekuppelt werden. Handrad- und Schnellöffnungsbetätigung sind jedoch auch bei eingehängtem Steuerzylinder möglich.

Die drei Regler stehen an der Längsseite der Maschine auf einem gemeinsamen Gußsockel, in dem auch die Ölversorgung (Motor, Zahnradpumpe, Ölbehälter, Ansaug- und Ueberlaufstutzen usw.) untergebracht sind. An einem Manometer kann der Förderdruck der Ölpumpe abgelesen werden. Jeder Regler ist durch Absperrventile  $z_1$  abschaltbar.

Sechs Turbokompressoren mit derartigen Regleranlagen in dieser oder ganz ähnlicher Ausführung lieferte die Gutehoffnungshütte für die großen Stahlwerke nach Rußland.

Abb. 4 zeigt eine Anlage vor Verlassen des Werkes. Man sieht links den Steuerzylinder, rechts das Ausblaseventil und die Anordnung der drei Regler auf dem Sockel.

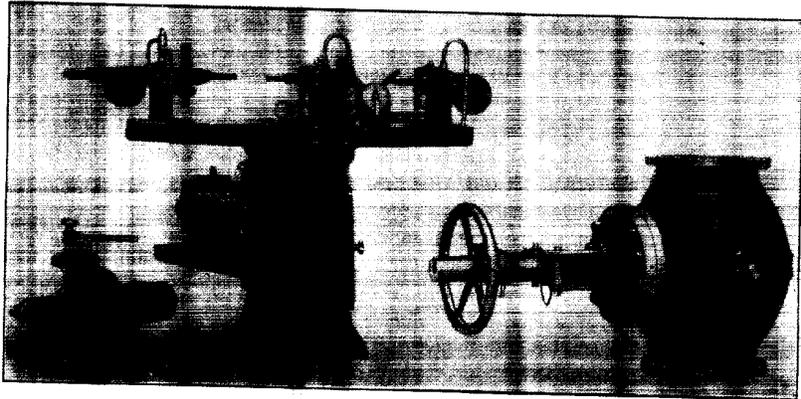


Abbildung 4. Regleranlage für Turbokompressor.

Die Parallelregelung mehrerer Kompressoren in ein gemeinsames Netz stellt besondere Anforderungen an die Regelung. Abb. 5 zeigt das Regelschema für vier parallel geregelte Turbokompressoren für Rauchgas, geliefert an eine russische Aluminiumfabrik. Die Antriebsmaschinen lieferte die Firma A. Borsig in Tegel (größte Leistung bei Nullentnahme 2100 PS und höchstens 3500 U), die Schleudergebläse die Firma C. H. Jaeger & Co. in Leipzig (Leistungsbedarf höchstens 1820 PS für 543 m<sup>3</sup>/min auf 2,5 ata). Um Anfrassungen der Schaufeln durch die im Rauchgas vorhandene schwefelige Säure zu verhüten, wird das Rauchgas vor den Gebläsen gereinigt und vorgewärmt.

Die Regelung hat zwei Aufgaben:

1. Der Druck in der gemeinsamen Förderleitung von 2,5 ata soll durch Leistungsregelung der Gebläseantriebsmaschine unverändert gehalten werden, und zwar soll der Leistungsanteil jeder einzelnen Maschine, gleichgültig wieviel Maschinen in Betrieb sind, nach einem bestimmten Plan einstellbar sein. In der Regel sollen die Maschinen mit gleichem Leistungsanteil fahren.

2. Die Antriebsturbinen sind als Entnahmemaschinen ausgeführt. In der gemeinsamen Entnahmeleitung aller Maschinen soll der Heißdampfdruck durch Parallelregelung aller Ueberströmventile ebenfalls gleichgehalten werden.

Aufgabe 1 wird folgendermaßen gelöst: Der Druck in der gemeinsamen Förderleitung wirkt auf ein Wellrohr und wird durch ein Gewicht ausgewogen. Bei steigendem Förderdruck bewegt sich das Strahlrohr nach rechts und trifft voller vor die Aufnehmerdüse. Dadurch steigt der Steueröldruck, die Wellrohre an den Frischdampf-Steuerungen 3 werden mehr zusammengedrückt und dadurch der Dampf einlaß zu den Maschinen verringert. Das in die Wellrohre geförderte oder aus diesen heraustretende Öl bewegt den Rückführkolben am Regler und übt über die Einstellfeder eine kräftige, aber vorübergehende Rückführung aus.

Aufgabe 2 wird wie folgt gelöst: Bei steigendem Druck in der gemeinsamen Entnahmeleitung stellt der Regler für Entnahmedruck das Strahlrohr nach links von der Aufnehmerdüse weg. Der Steueröldruck sinkt, die Wellrohre an den Ueberströmsteuerungen werden entlastet und dadurch die Ueberströmventile zu den Niederdruckteilen mehr geöffnet. Die Wirkung des Rückführkolbens ist wie bei Regler 1.

Ein selbsttätiger Schutz gegen das Pumpen war bei dieser Anlage nicht nötig, weil die Gesamtleistung nur in seltenen Fällen die Mindestmenge erreicht. Da außerdem nach einem bestimmten Plan gefahren werden kann, werden bei kleineren Mengen vorher ein oder zwei Kompressoren abgeschaltet. Für alle Fälle ist ein von Hand zu betätigendes Ausblaseventil vorhanden; das überschüssige Rauchgas wird in den Schornstein der Kesselanlage geleitet.

Auch hier ist das Kennzeichnende die räumliche Unabhängigkeit des Reglers von der Maschine. Die beiden Regler sind zusammen mit anderen Reglern, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, auf gemeinsamem Sockel zu einer Regelzentrale zusammengefaßt.

Neben seiner Anpassungsfähigkeit und seinen guten regeltechnischen Eigenschaften hat der Strahlrohrregler den Vorteil der räumlichen Unabhängigkeit von allen Steuerungsorganen, die auch bei der Lösung von Regelaufgaben mit schwierigen Stabilitätsverhältnissen, besonders dank der Einführung der hydraulischen nachgiebigen Rückführkolben, erhalten bleibt.

#### Zusammenfassung.

Es werden an einigen Beispielen Regler für Kompressoren mit verschiedenen Antriebsarten beschrieben, die entweder

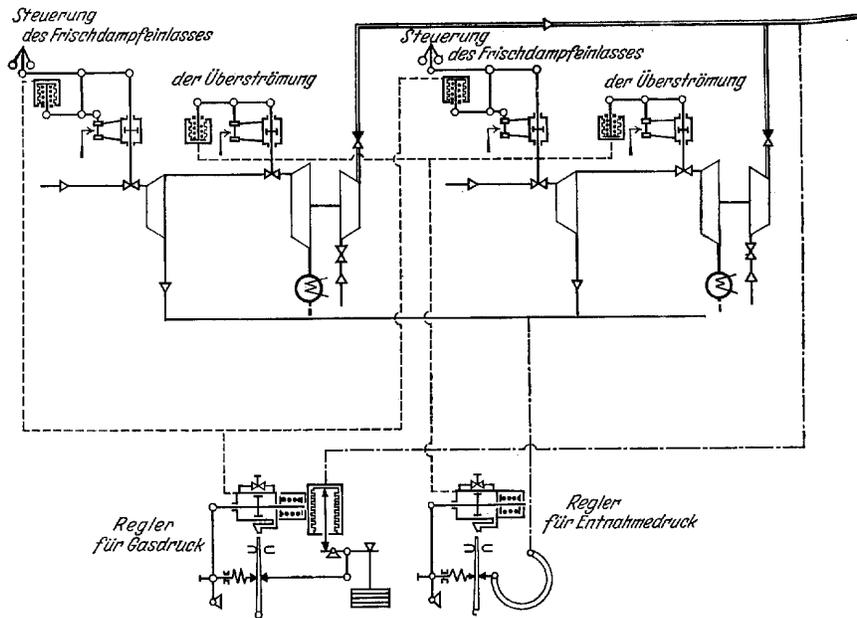


Abbildung 5. Parallelregelung mehrerer Turbokompressoren auf gleichbleibenden Enddruck und gleichbleibenden Entnahmedruck der Antriebsturbinen.

den Förderdruck oder die Fördermenge unverändert halten und die Kompressoren gegen das Pumpen durch künstliche Erhöhung der Fördermenge schützen; außerdem wird die Parallelregelung von vier in ein gemeinsames Netz fördernden Kompressoren geschildert, die an Regler und Steuerungen besondere Anforderungen stellt.

**Askania-Sonderabdruck R 1133**

aus den Hausmitteilungen Die Askania-Warte Nr. 21, S. 15 bis 21

10. II. 40.

Mw.

# Papiertrocknungsregelung

Von Direktor G. Wünsch.

## Die Aufgabe

Die Einhaltung einer bestimmten Endfeuchtigkeit der von der Maschine ablaufenden Papierbahn ist eine sehr schwierige Aufgabe, deren Lösung von den verschiedensten Seiten her versucht worden ist. Für den Papiermacher handelt es sich dabei eigentlich gar nicht um eine bestimmte Endfeuchtigkeit, sondern die Maschine soll so geführt werden, daß ein Papier von großer Gleichmäßigkeit entsteht: daß Festigkeit, Steifigkeit, Quadratmetergewicht usw. immer die gleichen Werte haben, daß es sich in der Nachverarbeitung vollkommen gleichförmig verhält, nicht reißt, daß Druckpapiere möglichst geschmeidig sind, die Farbe gut annehmen, wenig stäuben und ähnliches mehr.

Der Wassergehalt des Papiers ist nur ein Faktor unter vielen anderen, welche diese Eigenschaften beeinflussen. Es erscheint aber als sicher, daß man durch die Stärke der Austrocknung alle diese Werte in günstiger Weise steuern kann und daß die Regelung der Trocknung für die Papierqualität von ausschlaggebender Bedeutung ist. Eine Änderung der Trocknung macht sich in der verschiedensten Weise bemerkbar: es ändert sich das Papiergewicht, die

Papierspannung, seine Steifigkeit, die elektrische Leitfähigkeit, die Dielektrizitätskonstante, die Papiertemperatur, die Feuchtigkeit der umgebenden Luft, das Aussehen des Papiers (Lichtreflexion), die Welligkeit (Faltenbildung) und die Querschrumpfung.

Der Maschinenführer urteilt nach allen diesen Merkmalen (mit Ausnahme der Dielektrizitätskonstante und der Leitfähigkeit). Er richtet sich außerdem nach einem gewissen Handgefühl, welches beim Nähern der Handfläche an die Papierbahn auftritt. Vermutlich handelt es sich hierbei um eine beginnende Benetzung der Handfläche, wenn die Handtemperatur den Taupunkt der Luft unterschreitet. Der Maschinenführer regelt die Dampfzufuhr, d. h. die Stärke der Trocknung so ein, daß das Papier seinem Gefühl nach gleichförmig gute Beschaffenheit hat. Durch Probenentnahme und deren Austrocknung unterstützt er seine subjektiven Beobachtungen.

Eine selbsttätige Regelung setzt nun eine exakte Messung des zu regelnden Zustandwertes voraus. Selbst die beste Regelung kann nicht genauer arbeiten als das verwendete Meßverfahren.

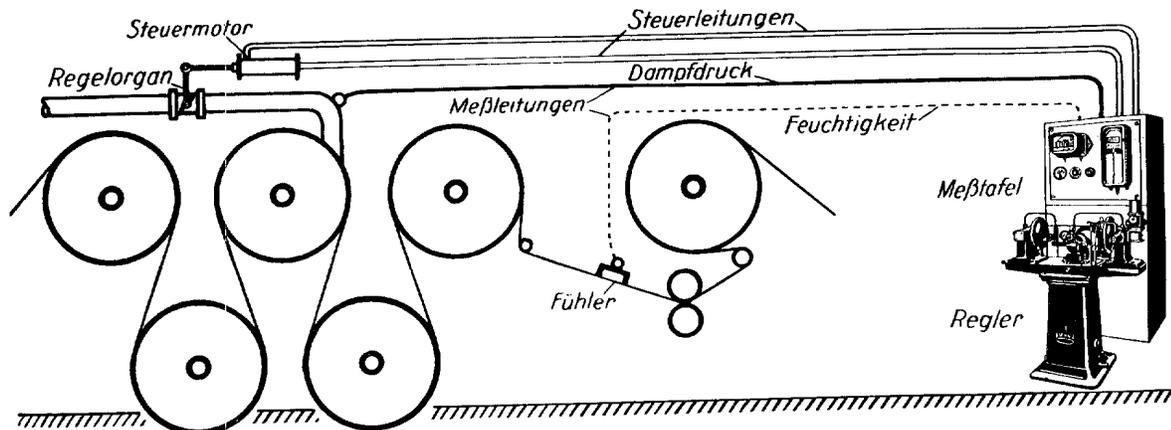


Abb. 1. Schematische Darstellung des Askania-Papiertrocknungsreglers

## Die Meßgrößen

Als Meßgrößen für eine Anzeige oder für eine Regelung sind fast alle oben genannten Werte schon benutzt worden:

Das Papiergewicht ist an der laufenden Papierbahn schwer meßbar. Es ist außer von der Feuchtigkeit auch noch von der Stoffqualität und der Papierdicke abhängig.

Die Papierspannung läßt sich durch eine zwischen zwei Trockenzylindern angebrachte Fühlrolle feststellen. Bei stärkerer Austrocknung wird die Papierspannung größer und die durch die Fühlrolle hervorgerufene Durchbiegung der Papierbahn kleiner. Außer von der Trocknung ist die Spannung aber auch in hohem Maße von der Einstellung der Maschine und von der Stoffbeschaffenheit abhängig.

Die Steifigkeit des Papiers kann durch Rillenwalzen, die mit einem gewissen Druck gegeneinander liegen und zwischen denen die Papierbahn durchläuft, bestimmt werden. Auch hierfür gilt jedoch dieselbe Einschränkung wie für die Papierspannung.

Die elektrische Aufladung der Papierbahn kann durch Bürstenkämme abgegriffen werden, sie ist aber gleichfalls ein sehr unsicheres Maß für die Feuchtigkeit.

Die elektrische Leitfähigkeit läßt sich durch Stichelwalzen messen. Dieses Verfahren ist jedoch nur für dicke Pappen und Zellulose brauchbar. Der Meßwert kann durch Salze und Erden stark verfälscht werden.

Die Dielektrizitätskonstante bildet einen verhältnismäßig brauchbaren Meßwert. Sie kann dadurch gemessen werden, daß die Papierbahn das Dielektrikum zwischen den zwei Belägen eines Kondensators bildet, der mit Hochfrequenzstrom gespeist wird. Da die Dielektrizitätskonstante des Wassers sehr viel größer ist als die der Trockensubstanz, machen sich Änderungen der Feuchtigkeit in der Anzeige gut bemerkbar. Änderungen der Papierdicke und auch einige andere Faktoren beeinflussen jedoch auch das Ergebnis dieses Meßgerätes.

Die Feuchtigkeit der Luft, welche von der Papierbahn mitgerissen wird, steht gleichfalls in Zusammenhang mit dem Wassergehalt, jedoch spielt hierbei auch die Temperatur des Papiers und der Luft sowie deren Sättigungsgrad eine große Rolle.

Das Aussehen des Papiers sowie die Welligkeit lassen sich meßtechnisch schwer erfassen, sie sind eigentlich nur subjektiv zu beurteilen.

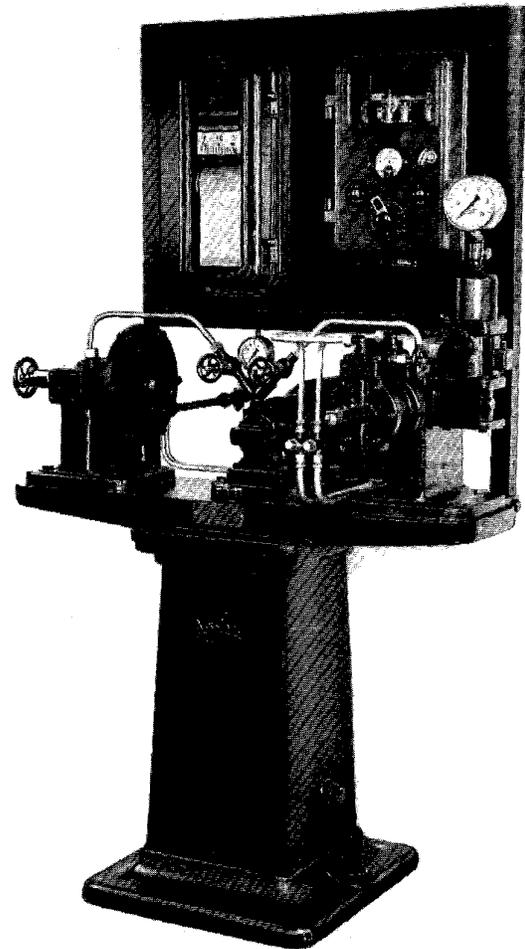


Abb. 2. Askania-Papier-trocknungsregler mit Meßtafel

Dagegen ist die Querschrumpfung der Papierbahn deutlich von der Feuchtigkeit abhängig. Die Unebenheiten der Endflächen der Papierwalze auf dem Tambour sind ein Kennzeichen für die Verschiedenheiten der Trocknung. Die Querschrumpfung ist aber auch wieder von der Einstellung der Maschine und verschiedenem anderen abhängig und auch meßtechnisch nur schwierig zu erfassen.

Dagegen hat sich die Temperatur der Papierbahn an bestimmten Stellen, z. B. hinter dem letzten voll beheizten Trockenzylinder, in sehr vielen Fällen als ein überraschend genaues Maß für die Gleichförmigkeit der Trocknung erwiesen. Auf dem Trockenzylinder hat die Papierbahn eine bestimmte Temperatur, die im wesentlichen durch den Dampfdruck im Zylinder bedingt ist, beim Ablösen vom Zylinder hört die Wärmezufuhr auf, und bei Berührung mit der Luft entsteht eine starke Verdunstung, deren Größe in erster Linie von der

Papierfeuchtigkeit abhängt. Der Wärmebedarf der Verdunstung kühlt das Papier ab, und die Temperatur strebt rasch einem Gleichgewicht mit der umgebenden Luft zu. In einer Entfernung von etwa einem halben Meter vom Ablauf ergeben sich beträchtliche Temperaturunterschiede bis zu etwa 4° je Prozent Änderung der Papierfeuchtigkeit. Ob dieser Meßwert mit der absoluten Papierfeuchtigkeit identisch ist, läßt sich auch heute, nachdem zahlreiche Erfahrungswerte vorliegen, noch nicht mit Bestimmtheit sagen. Es ist auch noch nicht sicher, ob man nicht an heißen und trockenen Tagen auf einen anderen Wassergehalt trocknen muß als an kühlen und feuchten Tagen. Jedenfalls kann aber als eindeutig erwiesen gelten, daß der so gewonnene Meßwert in sehr enger Beziehung zu den eingangs genannten Qualitätsbedingungen für das Papier steht. Von Änderungen der Stoffqualität und der Papierdicke in den üblichen Grenzen ist die Messung praktisch unabhängig. Auch Änderungen der Geschwindigkeit scheinen nur geringen Einfluß zu haben.

### Die Meß- und Regerverfahren

Bevor über weitere Ergebnisse und Erfahrungen berichtet werden kann, sollen erst Verfahren und Bauarten der verschiedenen Regler besprochen werden. Für die Umsetzung eines Meßwertes, der entweder als elektrischer Strom oder Spannungswert oder aber als mechanische Größe (Zeigerstellung) auftreten kann, in Verstelleistung für das (oder die) Regelventil(e) der Maschine sind verschiedene Verfahren und Geräte bekannt. Elektrische Meßwerte können in der bei Temperaturreglern bekannten Weise durch Zeigerkontakte, durch Fallbügelkontaktwerke oder auch über elektrische Röhrenverstärker in Stromstöße umgesetzt werden, die weiterhin einen Stellmotor für die Betätigung des Regelventils steuern.

Eine andere Gruppe von Reglern arbeitet mit Druckluft, indem durch den Meßwert ein kleines Druckluftventil bewegt wird, welches den Zu- oder Abfluß (manchmal auch beides) zu einem Membranstellmotor steuert. Dieser ist dann mit dem Dampfventil der Maschine gekuppelt.

### Der Askania-Strahlrohrregler

Wieder eine andere Gruppe arbeitet mit Drucköl als Betriebskraft. Die Beeinflussung des Stellmotors erfolgt hierbei entweder durch kleine Ventile oder durch ein „Strahlrohr“. Askania-Strahlrohrsteuerungen haben bei dem jetzigen Stand der Technik wohl die größte Betriebssicherheit und infolgedessen auch die größte Verbreitung zu verzeichnen.

Der Trocknungsteil der Papiermaschine ist regeltechnisch schwerer beherrschbar. Im Verhältnis zur Wärmezufuhr (Dampfmenge) ist das Beharrungsvermögen der Trockenpartie sehr groß, die Maschine gehorcht infolgedessen einer gewollten Änderung der Trocknungstemperatur nur sehr träge und verzögert. Außerdem muß das Papier erst durch die Maschine laufen, ehe daran gemessen werden kann, so daß also der jeweils auf der Maschine befindliche Teil der Papierbahn von gewollten Änderungen nur teilweise erfaßt wird. Das bedeutet eine weitere Verzögerung in der Messung, und gerade diese Art Verzögerungen sind die unangenehmsten Hindernisse für eine schnelle und stabile Regelung. Es ist keinesfalls statthaft, bei einer Überschreitung des Sollmeßwertes das Dampfventil auf „Schließen“ bzw. bei einer Unterschreitung auf „Öffnen“ zu steuern. Das würde sofort zu einem völlig unzulässigen Pendeln und einer untragbaren Beunruhigung des Betriebes führen.

In ähnlicher Weise, wie dies bei der Drehzahlregelung von Dampfmaschinen und Turbinen bekannt ist, läßt sich eine ausreichende Dämpfung der Schwingungen, d. h. eine genügende Regelstabilität, dadurch erzielen, daß man jeder Über- oder Unterschreitung des Meßwertes eine bestimmte Stellung des Dampfventils zuordnet. Bei einer normalen Dampfturbine ist die Dampfeinlaßsteuerung bei der Solldrehzahl voll geöffnet und wird fortlaufend zugemacht, bis sie bei 4% Überschreitung der Drehzahl ganz geschlossen ist. Bei der Papiermaschine ist nun aber wegen der unvermeidlichen Verzögerungen eine viel größere Spanne für die Sicherung der Regelstabilität erforderlich. Erfahrungsgemäß braucht man hier nicht 4, sondern ca. 30% Meßwertunterschied zwischen Null und Vollast, wenn die Regelung schwingungsfrei arbeiten soll. Das bedeutet aber, daß man mit einem solchen Regler (gleichgültig, welcher Bauart) nur etwa zwei Drittel der auftretenden Störungen herausregeln kann, daß aber auch bei bestem Arbeiten des Reglers noch etwa ein Drittel der Feuchtigkeitsschwankungen verbleiben, die auch ohne Einschaltung des Reglers (und auch ohne Nachstellung von Hand) im Papier auftreten würden. Diese Spanne ist aber gemeinhin viel zu groß, um die Kosten eines Reglereinbaues empfehlenswert zu machen; bei aufmerksamer Handbedienung kommt man praktisch ebenso weit.

Die bei der Drehzahlregelung gebräuchlichen Verfahren der nachgiebigen Rückführung (Isodrom-Regelung) zur Verminderung der Spanne sind bei der viel größeren Trägheit der Papiermaschine nicht ohne weiteres übertragbar. Durch Verwendung von zwei Reglern in einer besonderen Schaltung ist es jedoch

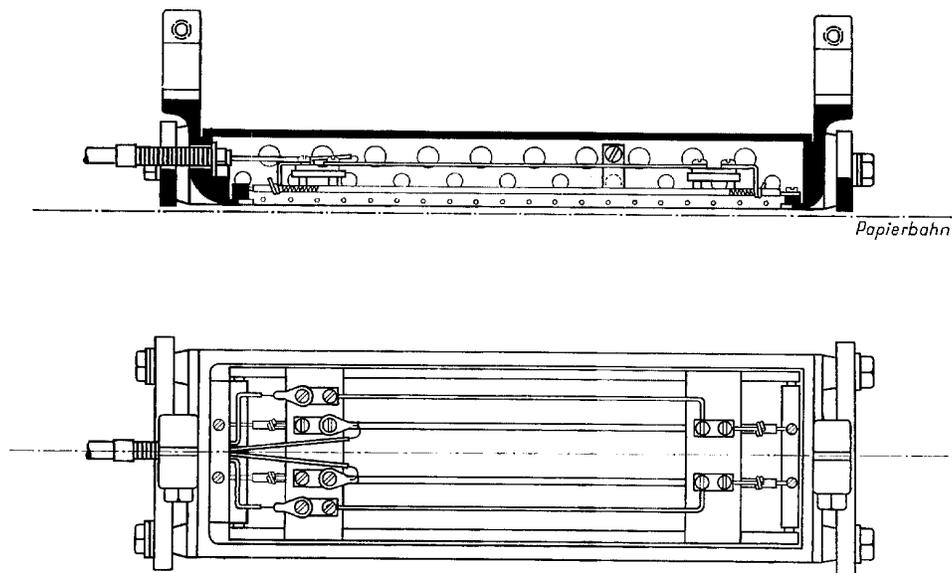


Abb. 3. Der Wärmefühler für die Papiertrocknungsregelung

mit der Askania-Papiertrocknungsregleranlage, Bauart Niethammer, möglich geworden, auch an den größten Papiermaschinen den Feuchtigkeitsmeßwert mit höchster Genauigkeit selbsttätig einzuhalten.

Als Meßgröße dient die Temperatur des von einem der letzten Trockenzylinder ablaufenden Papierstreifens. Die Messung erfolgt durch Platin-Widerstandsthermometer, die in einem kastenförmigen Fühler untergebracht sind. Der Papierstreifen läuft an der offenen Seite vorbei, erzeugt in dem Kasten einen Luftwirbel, der die Temperatur des Papierstreifens auf die Drahtwendeln des Widerstandsthermometers überträgt. Der ganze Temperaturfühler ist am Gestell der Papiermaschine befestigt und kann durch einen Handgriff von der Papierbahn weggeklappt werden, so daß er beim Reißen der Papierbahn das Einführen des Papiers nicht behindert. Gegen mechanische Beschädigungen sind die Drahtwendeln durch ein Drahtgitter geschützt. Der Meßkasten besteht aus Isolierstoff von besonders geringer Wärmeleitfähigkeit, und die Meßdrähte haben eine so geringe Masse, daß die Anzeige dieses Widerstandsthermometers den Änderungen der Papiertemperatur sehr schnell folgt. Die Stromänderungen des Widerstandsthermometers gehen in Brückenschaltung auf einen Wandler, der sie in gleichwertige Luftdrücke umsetzt. Dieser Wandler (Bild 4) ist ein recht interessantes Gerät, das größere Beachtung verdient. Das Hauptstück des Wandlers ist eine Waage; diese trägt auf der einen Seite eine vom Meßstrom durchflossene Spule, welche sich in dem Feld eines starken Magneten bewegt, als Gegengewicht auf der anderen

Seite ein Strahlrohr, das mit Druckluft gespeist wird und an seinem Ende einen scharf gerichteten Luftstrom ausströmen läßt. Dieser Luftstrom trifft dann vor eine Auffangdüse, die mit einer Membrankammer verbunden ist und deren Luftdruck über einen Hebel auf den Waagebalken zurückwirkt. Die Meßbrücke wird durch einen Einstellwiderstand so abgeglichen, daß beim Sollwert der Temperatur der Meßstrom gleich null ist. Steigt jedoch die Papiertemperatur, so tritt ein Meßstrom auf, der bestrebt ist, den Luftstrahl mehr vor die Auffangdüse zu stellen und nun in der Meßkammer unter der Membran einen höheren Luftdruck erzeugt. Dieser wirkt auf

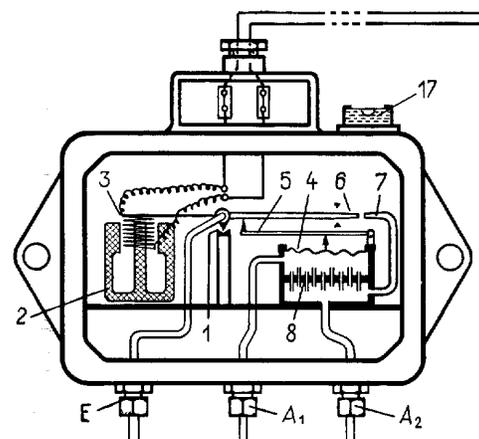


Abb. 4. Die Askania-Stromwaage wird als Wandler bei der Papiertrocknungsregelung verwendet

RESTRICTED

die Waage zurück, und es stellt sich nun ein Gleichgewicht ein, wenn die vom Luftdruck ausgeübte Kraft die vom Meßstrom erzeugte magnetelektrische Kraft gerade auswiegt. Es muß dann also jeder Temperaturabweichung vom Sollwert ein bestimmter Luftdruck entsprechen.

In den Weg des Luftstromes von der Auffangdüse zur Membran sind weiterhin Kapillardrosseln eingeschaltet, an denen ein Druckgefälle auftritt, wenn der Luftdruck sich ändert. Dieses Druckgefälle ist der zeitlichen Änderungsgeschwindigkeit des Luftdruckes verhältnisgleich und, da der Luftdruck immer der Temperatur entsprechen muß, auch ein Maß für die Temperaturänderungsgeschwindigkeit der Papierbahn. Dieser Meßwert stellt somit einen schwingungsmindernden Vorhaltimpuls dar, der in gleicher Weise wirkt wie das Stützruddergeben beim Steuern eines großen Schiffes. Das Zuschalten eines solchen Vorhaltwertes bewirkt, daß beim Sinken der Papiertemperatur das Dampfventil kräftig aufgemacht, dann

aber sofort wieder zurückgenommen wird, wenn die Temperatur zu steigen beginnt. Die im Entstehen begriffene Überschwingung wird in diesem Falle „abgefangen“.

Der Wandler liefert nunmehr zwei Meßwerte, einmal den Luftdruck unter der Membran, welcher immer genau der Temperaturabweichung entspricht, und zweitens den Luftdruck vor den Kapillardrosseln, welcher dem gleichen Wert zuzüglich des Wertes seiner Änderungsgeschwindigkeit entspricht. Der erste Luftdruckwert wird nun einem mit Drucköl betriebenen Strahlrohrregler zugeführt, der andererseits vom Druck in der Dampfzuleitung zur Trockenpartie beaufschlagt wird. Das Strahlrohr betätigt über zwei Druckölleitungen einen Stellmotor, der das Dampfventil oder eine entsprechende Drosselklappe mit großer Kraft bewegt. Der Stellmotor ist in Ruhe, wenn der Dampfdruck vor der Trockenpartie dem Druckluftwert das Gleichgewicht hält. Im ganzen muß also nun jeder Abweichung der Papier-

1. Nachsteuerwerk
2. Hauptsteuerwerk
3. Steuerzylinder
4. Regelorgan
5. Flaschenventil
6. Drosselventil
7. Absperrventil

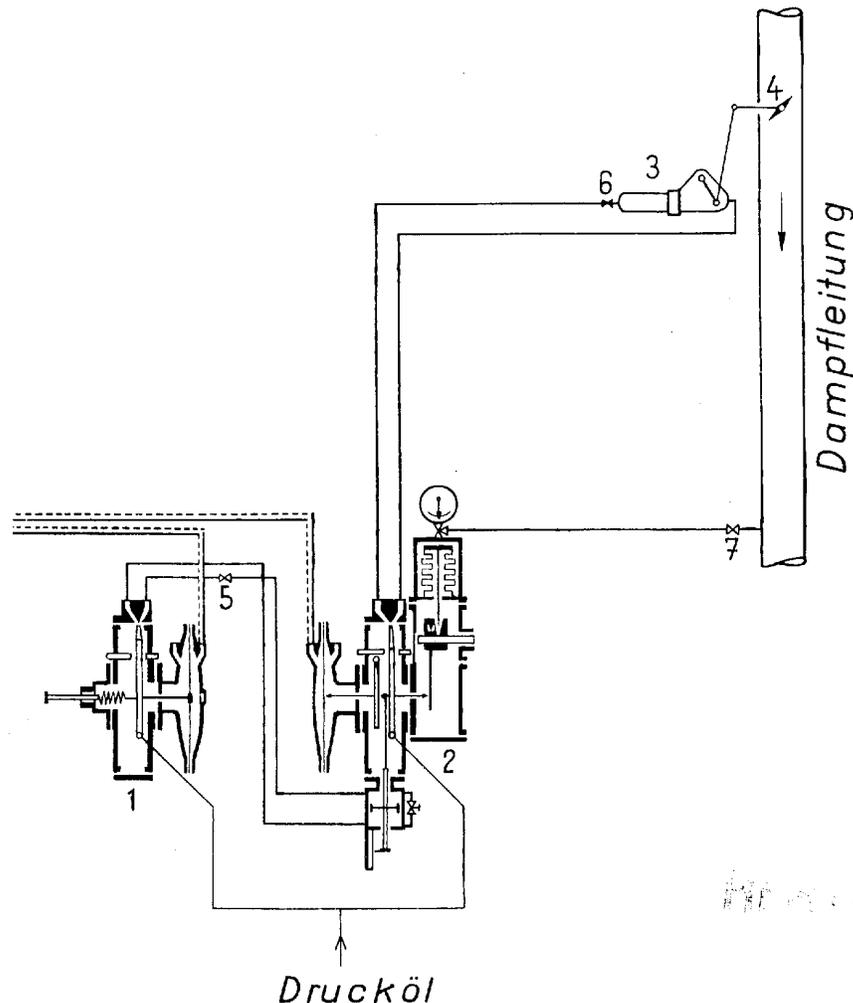


Abb. 5. Anordnung der Strahlrohrregler bei der Papiertrocknungsregelung

temperatur vom Sollwert ein bestimmter Dampfdruck in den Trockenzyklern entsprechen. Auf diese Weise läßt sich auch bei sehr ungünstigen Maschinen eine schwingungsfreie Einstellung des Dampfventils erzielen. Die Regelung wird um so stabiler, je größer man den Dampfdruckeinfluß macht, d. h. eine je größere Feuchtigkeitsänderung nötig ist, um den Dampfdruck um ein bestimmtes Maß zu ändern. Damit wird aber auch die Regelung immer unempfindlicher und ungenauer, und man wird deshalb versuchen, den Dampfdruckeinfluß so gering wie möglich zu halten, und mit der Einstellung bis nahe an die Stabilitätsgrenze herangehen. Erfahrungsgemäß kann man nicht viel weiter gehen, als daß 1% Feuchtigkeitsänderung etwa 3 bis 4% Dampfdruckänderung entsprechen. Das hat dann umgekehrt zu bedeuten, daß die auftretenden Störungen nur zu  $\frac{2}{3}$  bis  $\frac{3}{4}$  herausgeregelt werden. Wie vorher schon erwähnt, ist die somit erzielbare Genauigkeit jedoch nicht ausreichend. Es ist deshalb ein zweiter Strahlrohrregler vorgesehen, der aber nun nicht mehr vom Dampfdruck, sondern nur von dem Luftdruck-Meßimpuls, und zwar zuzüglich des Wertes seiner Änderungsgeschwindigkeit, beaufschlagt wird. Der Stellmotor dieses Steuerwerkes verstellt nun das Übersetzungsverhältnis zwischen den beiden Impulsen des ersten Reglers. Diese Verstellung wird durch eine Drossel besonderer Bauart gedämpft und verläuft so langsam, daß die Stabilität des ersten Reglers dadurch nicht merklich vermindert wird. Gleichgewicht an beiden Reglern ist erst dann vorhanden, wenn der Luftmeßdruck seinen Sollwert erreicht hat, wenn also der Meßstrom des Widerstandsthermometers null ist und damit die Papiertemperatur ebenfalls ihren Sollwert eingenommen hat. Der erste Regler stellt bei dieser Schaltung eine Vorsteuerung dar, die durch einen starken Lasteinfluß stabilisiert wird, der zweite Regler hat die Aufgabe einer Nachsteuerung. Seine Stabilisierung erfolgt durch einen Differentialvorhalt. Auf diese Weise gelingt es, auch bei den schwierigsten Maschinen eine genaue Regulierung und eine ausreichende Regelstabilität zu erzielen.

### Ergebnisse und Erfahrungen

Die Erfahrungen an etwa 100 Trocknungsreglern dieser Bauart lassen erkennen, daß die Temperatur der Papierbahn einen recht brauchbaren Maßstab für die Papiertrocknung darstellt. Über lange Zeit durchgeführte Kontrollmessungen mit einem verbesserten Austrocknungsgerät an einer Zeitungspapiermaschine ergaben an den Proben Wassergehalte, die durchweg innerhalb 10,0 bis 10,1% Wasser lagen. Bei bester Handbedienung war es auch nicht annähernd möglich, solche Gleichmäßigkeit zu er-

zielen, und der mittlere Feuchtigkeitsgehalt mußte um 1—2% Wasser niedriger gehalten werden, um Überschreitungen der zulässigen Feuchtigkeit vermeiden zu können. Abb. 6 zeigt einen bei diesen Erprobungen aufgenommenen Registrierstreifen, aus dem der Genauigkeitsgrad der Regelung im Verhältnis zur Handregelung deutlich zu sehen ist. Zu berücksichtigen hierbei ist, daß die Feuchtigkeitsregelung an dieser Maschine schon längere Zeit in Betrieb war und daß die Maschinenführer durch die vorangegangene Erprobungszeit in der Einhaltung gleichmäßiger Trocknungsgrade auch bei Handbetrieb besonders geübt waren. Die von der Papierfabrik belieferten Druckereien erklärten, daß dieses Papier auf den Rotationsmaschinen sich viel günstiger verhalte, weniger stäube, die Farben besser und gleichmäßiger annähme und auch viel seltener reiße. Auch bei der Nachbearbeitung auf Schneidmaschinen, Kalandern usw. verhält sich das Papier von geregelten Maschinen viel günstiger als das Papier von handgeregelten Maschinen. Die früher häufigen Risse an Schnellkalandern hörten fast vollkommen auf, und die Qualität erreichte eine außerordentliche Gleichförmigkeit. Stapel von geschnittenen Papier liegen vollkommen eben und gleichmäßig, wenn sie von geregelten Maschinen kommen, während Stapel von handgeregeltem Papier eine ausgesprochen hügelige Oberfläche besitzen. Bezeichnend ist auch, daß Endflächen von Papierrollen auf dem Tambour bei geregelter Maschine glatt und wie mit dem Messer geschnitten sind, während sie sofort eine starke Welligkeit aufweisen, wenn der Regler ausgeschaltet wird.

Für den Betrieb der Papiermaschine selbst wirkt sich der Feuchtigkeitsregler ausgesprochen beruhigend aus. Der Regler verstellt das Zudampfventil nur nach Maßgabe des tatsächlich auftretenden Wärmebedarfs, und infolgedessen sind auch alle Temperaturen an der Maschine gleichmäßiger und niedriger als bei ungeregeltem Betrieb. Auffallend ist die längere Haltbarkeit der Filze, was wohl hauptsächlich auf das Wegfallen von Übertrocknungen zurückzuführen ist. Die Zahl der Risse auf der Maschine geht sehr stark zurück; an einer schwierigen Maschine wurden statt durchschnittlich 14 Risse nur noch 1—2 nach Einschalten des Reglers gezählt. Man kann infolgedessen auch notfalls mit etwas geringerem Zellstoffgehalt arbeiten. Der durchschnittlich größere Wassergehalt geregelter Papiere bedeutet bei gleichem Quadratmetergewicht Ersparnis an Trockensubstanz sowie auch einen merklichen Rückgang der erforderlichen Heizdampfmenge. Man kann meistens die Maschinengeschwindigkeit und damit das Ausbringen steigern. Die Nachbefeuchtung kann

viel geringer gehalten werden, und sofern sie nur zum Gleichmäßigmachen angewandt wurde, kann sie fast immer ganz wegfallen. Bei fettlichten Papieren und Strohpapier konnte auf die Nachbefeuchtung an den Kalandern verzichtet werden. Ebenso war es nicht mehr nötig, Kunstdruckpapier zum Ausgleich der Feuchtigkeit nachzulagern.

Die Ersparnisse, die sich für den Betrieb durch die selbsttätige Trocknungsregelung ergeben, rechtfertigen für sich allein schon die Aufwendungen für Anschaffung und Einbau, und zwar auch ohne Berücksichtigung der Qualitätsverbesserungen, die sich bei geregelterm Papier ergeben. Im Verhältnis zum Ausbringen sind die Ersparnisse am größten bei Feinpapieren, wenn auch natürlich die absoluten Geldbeträge bei großen und schnelllaufenden Zeitungspapiermaschinen in Anbetracht ihres großen Ausbringens viel höher sein können.

Am besten scheint sich das Temperaturverfahren für Zeitungs- und Kunstdruckpapiere zu eignen. Bei Papiergewichten unter 12 g und über etwa 300 g/m<sup>2</sup> (sofern die schweren Papiere nur über das Langsieb gearbeitet werden) und bei sehr langsam laufenden Maschinen scheint die Messung unzuverlässiger zu werden. Ebenso sind Störungen beobachtet worden an Papiermaschinen, die in zugigen Räumen oder auch in Räumen mit künstlicher Belüftung stehen. Wenn Gänge oder offene Türen in der Gegend der Trockenpartie münden, so schirmt man die Luftströmungen zweckmäßig durch Vorhänge oder leichte Wände ab. Anfangs traten auch Schwierigkeiten bei der Temperaturmessung in Räumen mit Schwadenbildung auf, jedoch konnten diese durch eine verbesserte Fühlerbauart behoben werden.

Feuchtigkeitsunterschiede in der Breitenausdehnung der Papierbahn können natürlich durch diese Art Regelung nicht beseitigt werden. Der Temperaturfühler wird meistens in etwa 1/3 der Papierbreite angeordnet, und streng genommen kann dann auch nur diese Stelle der Papierbahn gleichmäßige Feuchtigkeit haben. Von da ab gerechnet kann aber der Maschinenführer recht genau die Feuchtigkeitsunterschiede durch sein Handgefühl feststellen, da er ja nun einen Bezugspunkt für die richtige Trocknung an der Stelle, wo der Fühler sitzt, vorfindet,

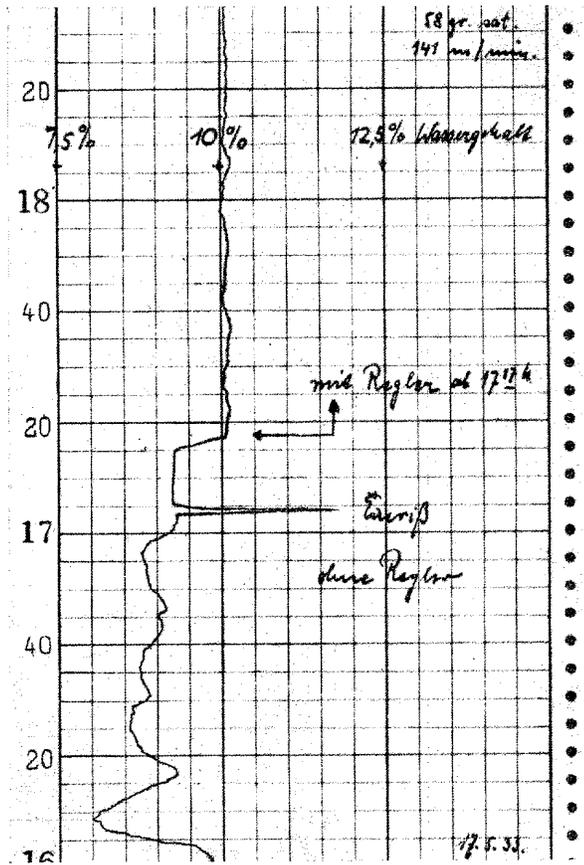


Abb. 6. Registrierstreifen für den Verlauf des Dampfdruckes bei Versuchen ohne und mit Regelung

und er kann danach dann die Filze, Pressen usw. einstellen.

Zur Zeit scheint das geschilderte Temperaturmeßverfahren die zuverlässigsten Werte zur Bestimmung der Trocknung abzugeben. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß künftig noch ein besseres Meßverfahren gefunden wird, und es wäre dann ohne weiteres möglich, diesen neuen Meßwert, der ja irgendwie elektrisch oder mechanisch darstellbar ist, auf den oben beschriebenen Reglersatz zu schalten. Das Askania-Regelverfahren selbst hat in dieser Bauart schon einen so hohen Grad von Vollkommenheit erreicht, daß man m. E. geraume Zeit keinen erheblichen Aufwand für weitere Verbesserungen anzusetzen braucht. —

SONDERDRUCK aus

**„DIE WÄRME“ / Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb**

Zeitschrift des Zentral-Verbandes der Preußischen Dampfkessel-Ueberwachungs-Vereine

Jahrg. 57, Nr. 4 vom 27. Januar 1934

Askania-Sonderdruck: R 1047

**Warum Regeln? / Von Direktor G. WÜNSCH in Berlin**

Neuzeitliche Kessel besitzen Meßeinrichtungen, welche die Verbesserung von Wirkungsgrad und Dampfqualität erleichtern. Die Meßmöglichkeit für Dampfmenge, Luftmenge, Brennstoffmenge sind mangelhaft. Die Entwicklung geht zur Dampferzeugungsmaschine mit Fördereinrichtungen für Luft und Brennstoff, die zwangsläufig das dauernde Wärmegleichgewicht gewährleisten. Regler sind vornehmlich als Teile dieser Fördereinrichtungen anzusehen. Eisenbahn und Marine sind in dieser Entwicklung am meisten vorgeschritten.

„Weshalb soll ich für meinen Betrieb selbsttätige Regler anschaffen? Leute kann und will ich nicht einsparen, und das Gehirn eines tüchtigen Heizers läßt sich doch durch keinen Regler ersetzen.“ Diese Ansicht hört man nicht selten von Betriebsleitern und Fachingenieuren, insbesondere bei größeren Kesselbetrieben oder Elektrokraftwerken. Die Erfahrungen an Anlagen mit vollautomatischer Regelung werden für den eigenen Betrieb nicht immer als maßgebend betrachtet, und die Einrichtung einer Versuchsanlage im eigenen Werk ist mit Kosten und Unbequemlichkeiten verbunden, die man ungern auf sich nimmt. Meistens verhalten sich die älteren Ingenieure besonders ablehnend, während der technische Nachwuchs schon eher geneigt ist, auf die hiermit zusammenhängenden Probleme einzugehen. Dies gilt nicht nur für den eigentlichen Kesselbetrieb, sondern in gleicher Weise auch für die Regelung von großen technischen Öfen oder Arbeitsmaschinen der verschiedenen Art. Im Rahmen dieser Zeitschrift stehen die Kesselprobleme im Vordergrund, und wir wollen uns deshalb auf diese beschränken. Da es für die künftige Entwicklung der Kesselbautechnik von einschneidender Bedeutung sein dürfte, ob der Kessel zum kunstvollen Werkzeug des Heizers oder zum ausgesprochenen Automaten, zur Dampferzeugungsmaschine oder Wärmeumformer wird, erscheint es mir notwendig, diese Fragen von Grund aus zu untersuchen.

**Messen oder Regeln?**

Man hat sich allmählich damit abgefunden, daß ein neuzeitlicher Kessel mit einer ganzen Reihe von Meßgeräten ausgerüstet wird, die zusammen einen recht erheblichen Wert darstellen und die Gesamtanlage zweifellos umständlicher machen. Zum Teil sind diese Meßanlagen zu großartigen Meßwarten ausgebildet, die dem unbefangenen Beobachter oft wichtiger erscheinen als der ganze Kessel selbst. Der Endzweck einer solchen Meßanlage ist

1. die Verbesserung der Qualität, die sich beim Dampfkessel in Dampfdruck und Dampftemperatur ausdrückt und
2. die Verbesserung des Wirkungsgrades.

Dieser bestimmt sich aus dem Verhältnis der in Dampf form angegebenen Kalorien zu den in Brennstoffform zu-

geführten oder angenähert im Brennstoffverbrauch je Tonne Dampf. Die Werte für die Dampfqualität sind einfach zu messen. Temperatur und Druck sollen konstant und möglichst hoch sein. Die Grenze für die Dampftemperatur ist durch die Materialbeschaffenheit der Dampfverbraucher gegeben und im allgemeinen vom Lieferer eindeutig festgelegt. Für den Dampfdruck ist die Grenze durch den Genehmigungsdruck des Kessels gegeben, der nicht überschritten werden kann, da sonst das Sicherheitsventil abblasen würde. Daraus ergibt sich, daß der jeweils erreichbare höchste Dampfdruck vor dem Dampfverbraucher, z. B. der Turbine, durch den Genehmigungsdruck des Kessels — abzüglich des Druckverlustes für die Dampfförderung bis zur Maschine — gegeben ist. Nur im Dampfsammelraum des Kessels, also dort, wo das Sicherheitsventil angeschlossen ist, kann konstanter Druck gehalten werden. An allen anderen Stellen muß notwendigerweise der Druck mit der Belastung schwanken, wenn anders die zulässige Druckbeanspruchung des Kessels voll ausgenutzt werden soll.

Nicht so einfach ist der Wirkungsgrad bzw. der Brennstoffverbrauch meßbar. Naheliegender erscheint die fortlaufende Messung der abgehenden Dampfmenge und der zugeführten Brennstoffmenge, durch deren Vergleich ohne weiteres der Brennstoffverbrauch je Tonne Dampf bekannt sein würde. Durch die unvermeidlichen Wärmespeicherungen im Kessel wird dieses einfache Verhältnis in schwer meßbarer Weise gestört, so daß nur ein Vergleich über längere Zeiten zutreffende Werte liefern kann. Als Hilfsmittel für die Bestimmung des Wirkungsgrades wird meistens die Verlustmessung in der Abgasmenge herangezogen, und zwar durch Messung der Abgastemperatur und des CO<sub>2</sub>-Gehaltes. Beide Messungen erfordern große Sachkenntnis und eine sehr pflegliche Behandlung der Meßeinrichtungen, wenn einigermaßen zutreffende Werte auf die Dauer erhalten werden sollen.

**Regler und Kesselkonstruktion**

Letztlich soll durch all diese Messungen erreicht werden, daß die Wärmeerzeugung stets im Gleichgewicht bleibt mit dem jeweiligen Wärmeverbrauch in Dampf form. Es soll also stets Gleichgewicht sein zwischen Dampfmenge und Brennstoffmenge und Gleichgewicht zwischen Kohle (Gas,

Oel) und Luftsauerstoff. Der unbefangene Techniker wird hier sofort die Frage stellen: „Ja, wenn man alle diese Messungen nur macht, um die zugeführte Brennstoffmenge richtig zu bemessen, warum führt man denn nicht zwangsläufig durch geeignete Fördereinrichtungen dem Kessel je Kilogramm Dampf X Kilogramm Kohle und Y Kilogramm Luft zu, dann wäre doch ohne weiteres das Gleichgewicht immer vorhanden, und man braucht eigentlich gar nichts mehr zu messen.“ Leider sind nur sehr wenige Hersteller von Kesseln und Feuerungen diesen Gedanken zugänglich. Während man zur Not bereit ist, die Vorbedingungen für eine einwandfreie Dampfmengenmessung zu schaffen, kenne ich kaum einen Kessel, bei dem es möglich wäre, gleichzeitig auch Luft- und Kohlenmenge zuverlässig zu messen. Die zwangsläufige Zuführung im dauernden Mengengleichgewicht würde erst möglich sein, wenn die ganze Kesselanlage daraufhin entworfen und gebaut ist.

Bei den jetzigen Kesselkonstruktionen muß man zufrieden sein, wenn Dampfdruck, Dampfmenge, Brennstoff- und Luftmenge erfaßt werden können und als Meßwerte vorliegen. An Hand dieser Meßwerte kann man dann das Gleichgewicht halten:

1. von Brennstoffmenge zu Dampfmenge,
2. von Luftmenge zu Brennstoffmenge.

Da insbesondere bei Kohlekesseln ein gewisser Brennstoffvorrat stets in der Feuerung vorhanden ist, dagegen die zugeführte Verbrennungsluft fast augenblicklich verbraucht wird, so ist es zweckmäßiger, statt dessen ins Gleichgewicht zu setzen:

1. Luftmenge zu Dampfmenge,
2. Brennstoffmenge zu Luftmenge.

Wenn dies in einigermaßen sachgemäßer Weise geschieht, so werden verschiedene Geräte zum Teil entbehrlich. Am wichtigsten ist eine dauernde Nachprüfung durch fortlaufende Bestimmung des Verhältnisses von Dampfmenge zu Brennstoffmenge. Alle anderen Messungen wiegen weniger schwer. Wenn eine gute Verdampfungs-ziffer herausgekommen ist, so ist es wohl interessant, mit welchem CO<sub>2</sub>-Gehalt und welcher Abgastemperatur dieses Ergebnis erreicht wurde; maßgebend für die Wirtschaftlichkeit ist aber allein eben diese Verdampfungs-ziffer. Leider ist die fortlaufende Bestimmung der Brennstoffmenge nur selten genügend einfach und zuverlässig durchführbar. Man kann in ähnlicher Weise die Güte der Verbrennung auch aus den Luftmengen beurteilen, die zur Erzeugung von 1 t Dampf verbraucht wurden. Bei mittlerem Wirkungsgrad des Kessels müssen zur Erzeugung von 1 t Dampf X Kubikmeter Sauerstoff verbrannt werden, die dann in dem Abgas mit gleichem Volumen als CO<sub>2</sub> auftreten. Je geringer nun die Luftmenge je Tonne Dampf festgestellt wird, um so höher muß notwendigerweise der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Abgase gewesen sein; der Verbrennungswirkungsgrad wird einen Höchstwert erreichen, wenn die Tonne Dampf mit der geringsten Luftmenge erzeugt worden ist. Tritt CO im Rauchgas auf, so muß die Abgasmenge je Tonne Dampf anwachsen, da bei der Verbrennung von Sauerstoff zu CO eine viel kleinere Wärmemenge frei wird als bei der Verbrennung zu CO<sub>2</sub>.

Wenn also Kohlenmenge, Luftmenge und Dampfmenge als zuverlässige Meßgrößen vorlägen, so ließen sich feste Bedienungsvorschriften aufstellen, die im wesentlichen die Aufrechterhaltung der gegenseitigen Mengenverhältnisse umfassen. Dann liegt es aber wirklich nahe, die Fördereinrichtungen für Brennstoff und Luft derart auszubilden, daß das richtige Mengenverhältnis zwangsläufig gewährleistet ist, daß also Brennstoffmenge mit Luftmenge und Luftmenge mit Dampfmenge zwangsläufig gekuppelt wird. Es erscheint m. E. verwunderlich, daß von diesen Mitteln

bisher kaum Gebrauch gemacht worden ist. Der Grund dafür ist vielleicht darin zu suchen, daß der Kessel von jeher als Werkzeug des Heizers betrachtet worden ist und daß die gedankliche Umstellung, den Kessel als Wärmeumformer aufzufassen, eine erhebliche Zeit erfordert, daß ferner die ersten Regleranlagen die vorhandenen, teilweise unzureichenden Fördereinrichtungen für Brennstoff und Luft benutzen mußten; daß erst Meßverfahren und -einrichtungen geschaffen werden mußten und daß infolgedessen die Regler dem Betriebsmann als zu teuer und nicht einfach genug erschienen. Von Einfluß war wohl auch immer die durchaus gesunde Empfindung, daß es abwegig sei, die Intelligenz des Heizers durch einen Automaten ersetzen zu wollen. Durch sehr lebhaft angepriesenen insbesondere amerikanischer Hersteller unter dem Schlagwort „das automatische Kesselhaus“ und „Musteranlagen“, bei denen die Heizer in weißen Anzügen im weißgekachelten Kesselhaus herumlaufen — Schürgeräte als Ueberbleibsel einer überwundenen Zeit im Glaskasten —, ist wohl auch der Entwicklung mehr geschadet als genutzt worden. Die Aufgabenstellung ist dadurch künstlich verfälscht worden. Es handelt sich gar nicht um Einführung von Automaten, bedienungslosen Kesseln, sondern lediglich um die Vervollkommnung der Fördereinrichtungen für Brennstoff und Luft. Der Regler soll kein Gehirnersatz sein, sondern er ist nur ein Teil der betreffenden Fördereinrichtung und ergänzt diese, wenn sie nicht ihrer Konstruktion nach schon zwangsläufig arbeitet, nur in der Weise, daß die jeweils zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts erforderliche Fördermenge eingehalten wird. Die menschliche Intelligenz wird bei der Bedienung derart vervollkommneter Kessel nicht entbehrlich; sie ist genau so notwendig wie sonst, wirkt sich aber erfahrungsgemäß viel wertvoller aus. Die Hauptschwierigkeit jeder Kesselbedienung liegt ja darin, daß nur selten und kurzzeitig ein Beharrungszustand vorhanden ist. Die Last wechselt — wenn auch manchmal nur verhältnismäßig wenig, so doch unaufhörlich —, und deshalb müssen auch Luft- und Kohlenmenge dauernd geändert werden, wenn der Gleichgewichtszustand erhalten bleiben soll.

### Regler und Heizertätigkeit

Wird aber diese eine Veränderliche, die schwankende Last, durch Zwangsteuerung der Fördereinrichtung für Luft und Brennstoff ausgeschaltet, so wird die Führung des Kessels ungleich einfacher, denn alle anderen Störgrößen, wie Verschmutzung des Kessels, Änderung des Brennstoffes, der Luftdichte, ändern sich sehr viel langsamer als die Last. Der Heizer kann nunmehr die Auswirkung jeder Maßnahme, die er trifft, einwandfrei beobachten, ohne durch die wechselnden Lastverhältnisse gestört zu werden. Erst jetzt hat er Gelegenheit, seine Intelligenz wirklich auszunutzen und sich um die Erhöhung des Kesselwirkungsgrades zu kümmern. Die Tatsache, daß bei zwangsläufiger Zumessung von Luft und Brennstoff der Kessel dauernd in einem Beharrungs- bzw. Gleichgewichtszustand bleibt, ist nach allen bisherigen Erfahrungen als der Hauptvorteil der Kesselregelung zu betrachten. Die Heizer an geregelten Kesseln sind körperlich etwas entlastet. Sie fühlen sich als kleine Maschinisten und bekommen es durch langsames Ausproben der einzelnen Verstellmöglichkeiten fertig, Dauerwirkungsgrade zu erzielen, deren Höhe sonst nur gelegentlich bei Paradeversuchen erreicht wird. Die Regelung soll jedoch nicht den Zweck haben, Leute zu sparen; das wäre heute Mißbrauch einer an sich guten Sache. Von der Dampferzeugungsmaschine, die der Mitwirkung der menschlichen Intelligenz völlig entraten kann, sind wir sehr weit entfernt.

### Kosten und Anwendung

Die Anschaffungskosten zwangläufiger Regler sind von Jahr zu Jahr gesunken. Sie werden zum Teil dadurch erhöht, daß — wie schon vorher gesagt — beim Bau der Kessel auf die Möglichkeit der Erfassung von Brennstoff- und Luftmenge kaum Rücksicht genommen wird. Die meisten Kesselhersteller stehen beim Entwurf neuer Kessel den Regelproblemen ablehnend gegenüber, und zwar weniger, weil sie die Vorteile nicht anerkennen, sondern weil sie die Kosten des Kessels nur sehr ungern erhöhen wollen, und weil ihrer Ansicht nach der Abnehmer die Mitlieferung der Meß- und Regelgeräte ohne Mehrpreis verlangen würde.

Wenn jedoch Kessel und Feuerung von vornherein unter den oben entwickelten Gesichtspunkten betrachtet und ausgelegt werden, so bedingen die zwangläufigen Fördereinrichtungen einen kaum nennenswerten Mehraufwand. Oft kann auch dieser noch durch Einsparung an den Geräten, die dann verringert werden können, ausgeglichen werden.

Die Erkenntnis, daß die Entwicklung des Kesselhauses in Richtung zur zwangläufigen Dampferzeugungsmaschine, zum Wärmeumformer gehen wird, scheint übrigens in Deutschland am frühesten bei den Behörden, Eisenbahn und Marine geregelt zu sein. Bei der Lokomotiven ist durch planmäßige, geschickte Ausbildung der Dampfbläser erreicht worden, daß die Rauchgasmenge immer der Dampfmenge zwangläufig proportional ist. Der Heizer kann dann den vorgeschriebenen Dampfdruck nur halten, wenn er die eingesaugte Luft zu einem bestimmten Prozentsatz zu CO<sub>2</sub> verbrennt, d. h., wenn er einen gewissen Luftüberschuß in

den Rauchgasen nicht überschreitet. Bei dieser Arbeitsweise ist ein besonderer Regler entbehrlich; sie ist aber auch nur da anwendbar, wo die gesamte Dampfmenge frei ausbläst. Bei Industriekraftwerken kann die gleiche Wirkung durch Messung der Dampfmenge und Steuerung der Luftmenge durch Regler erreicht werden. Auch die Marine hat eine große Anzahl von Schiffskesseln mit selbsttätigen Reglern ausgerüstet. Alle veränderlichen Werte werden durch Regler erfaßt, so daß diese Kessel schon vollständige Dampferzeugungsmaschinen darstellen.

Auch die Entwicklung der ortsfesten Kessel zu immer größeren Spitzenleistungen, höheren Drücken und spezifischen Belastungen dürfte zum Wärmeumformer führen. Dafür ist der Velox-Kessel von BBC ein gutes Beispiel. Die Scheu vor dem Regler wird auch bei der älteren Generation ein wenig schwinden, und zwar um so schneller, je mehr man solche Regler nicht mehr als geheimnisvolle mechanische Wunderwerke, sondern als Teil der Brennstoff- und Luftfördereinrichtungen anzusehen lernen wird. Bei der Kraftmaschine, z. B. der Dampfturbine, ist der Drehzahl- oder Leistungsregler eine glatte Selbstverständlichkeit geworden, und man wird auch kaum mehr einen Kompressor ohne Regelung in einem Druckluftnetz arbeiten lassen. Beim Verbrennungsmotor ist es gleichfalls selbstverständlich, daß bei allen Förderungen das Verhältnis von Luft und Brennstoff zwangläufig auf dem günstigsten Wert gehalten wird. Jeder Autovergaser ist in diesem Sinne ein Regler, so daß es nicht recht zu verstehen ist, weshalb der Dampfkessel, bei dem die Einhaltung der Mengengleichgewichte ebenso wichtig ist, schlechter behandelt werden soll.

Sonderdruck

aus der Zeitschrift

**„DIE WÄRME“ \* Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb**

Organ des Zentral-Verbandes der Preussischen Dampfkessel-Überwachungs-Vereine / Organ für die Deutschen Dampfkessel-Überwachungs-Vereine

Heft 35 vom 30. August 1930

Askania-Sonderdruck: R 1046

# STRAHLROHRREGLER als Druckregler im Turbinenbau\*)

Von Dipl.-Ing. K. BLASIG in Berlin

Die neuzeitliche Reglertechnik wird fast täglich durch Erweiterung und Ausschöpfung der Anwendungsgebiete vor neue Aufgaben gestellt. Nur ein kleiner Ausschnitt ist die Druckregelung im Turbinenbau. Auch hier ist der Strahlrohrregler führend. An einer Reihe ausgeführter Turbinenanlagen wird seine vielseitige Verwendungsmöglichkeit gezeigt.

Die Fortschritte im Reglerbau haben dazu geführt, daß heute von den Abnehmern an die Regelung der Turbinenanlagen Anforderungen gestellt werden, deren Erfüllung noch vor wenigen Jahren den Erbauern die größten Schwierigkeiten gemacht hätte. In dem Bericht<sup>1)</sup> über die Wirtschaftlichkeit einer Gegendruckturbine, Bauart Borsig (Baujahr 1925/26), wurde die genaue Druckregelung mit einem Strahlrohrregler als besonders bemerkenswert erwähnt. Inzwischen wurde dieser Regler weiter verbessert und ist bei fast allen Turbinenfirmen des Inlandes und benachbarten Auslandes als Druckregler eingeführt; es ist heute fast Selbstverständlichkeit geworden, dem Turbinenbau bei der Druckregelung eine Genauigkeit von  $\pm \frac{1}{2} \%$  vorzuschreiben.

Auch die Turbinenfirmen mit eigener Reglerabteilung greifen in besonderen Fällen, z. B. bei der Regelung von Höchstdrücken, Differenzdrücken oder Unterdrücken (0,005 at Genauigkeit), auf den Strahlrohrregler zurück.

Die Erfordernisse der neuzeitlichen Kraft- und Wärme-wirtschaft haben den Bau von Gegendruck- und Anzapfmaschinen immer vielseitiger gestaltet.

Die Vereinfachung der komplizierten Regulierungsgestänge, die Berücksichtigung der verschiedensten Grenzfälle und schließlich die Forderung der Betriebssicherheit, auch bei ungewöhnlichen Betriebszuständen, waren für den Strahlrohrregler ein dankbares Betätigungsfeld.

Die Wirkungsweise des Askania-Strahlrohrreglers dürfte wohl allgemein bekannt sein<sup>2)</sup>.

## Grundsaltungen des Strahlrohrreglers ohne Rückführung

Die Schaltbilder *a* und *b* in Abb. 1 zeigen die Anwendung des Reglers bei doppelt beaufschlagtem Regelorgan. (*S* ist das um Punkt *P* schwenkbare, drucköldurchflossene Strahlrohr, *M* das Meßsystem — bei Turbinenreglern zu 90 % eine Röhrenfeder —, *F* das Einstellsystem, *D* sind Druckknöpfe, die von außen betätigt werden können und das Strahlrohr in eine Endlage drücken. Auf diese Druckknöpfe soll später noch einmal eingegangen werden.) Durch Ablenken nach rechts oder links erzeugt das Strahlrohr Ueberdruck auf der einen oder anderen Seite des Kraftgetriebes und leitet damit eine Regelbewegung ein. Ist der durch Feder *F* eingestellte Sollwert wieder erreicht, so steht das Strahlrohr wieder in Mittelstellung und beaufschlagt beide Leitungen gleich stark. Dem gleichen Meßwert kann also jede beliebige Stellung des Kraftgetriebes entsprechen. Die Regelung erfolgt ohne Ungleichförmigkeit, und es besteht keine Abhängigkeit zwischen Strahlrohrstellung und Stellung des Kraftgetriebes. Diese Schaltung kann daher nicht zur Regelung mehrerer Regelorgane in Abhängigkeit von einem Regler verwendet werden, da diese dann je nach Volumen, Stoptbuchsenreibung usw. auseinanderregeln würden, und das Einhalten einer bestimmten Abhängigkeit der einzelnen Stellungen der Regelorgane unmöglich ist.

Werden große Oelmengen bei hohen Steuergeschwindigkeiten und großen Verstellkräften benötigt, so kommt der sogenannte Folgekolben *K* zur Anwendung (Schaltung *b*). Es ist dies ein Hilfsschieber, der durch Ueberkreuzung der Leitungen in dem vom Strahlrohr *S* beaufschlagten Kolben gezwungen wird, jedem kleinsten Strahlrohr-ausschlag zu folgen, d. h. mit der Strahlrohrspitze hydraulisch gekuppelt ist.

Eine grundsätzlich andere Anwendung des Strahlrohres zeigt Schaltung *c*. Das Meßsystem stellt das Strahlrohr mehr oder weniger vor eine Öffnung und kann unter Berücksichtigung eines gewissen Druck-

\*) Hersteller: Askania-Werke A.-G., Berlin-Friedenau.  
1) „Dampfverbrauch und thermodynamische Wirkungsgrade einer Gegendruckturbine“, „Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure“ 1927, Nr. 24, S. 866.

2) Vgl. z. B. „Die Wärme“ 1926, Nr. 50/51: „Selbsttätige Dampferzeugungs- und Feuerungsregler im Eisenbahnausbesserungswerk Kassel“ von Reichsbahnrat Dipl.-Ing. Oberbeck oder „Die Wärme“ 1928, Nr. 40/41: „Neue Turbokesselspeisepumpen größerer Leistung“ von Dipl.-Ing. Knörlein.

RESTRICTED

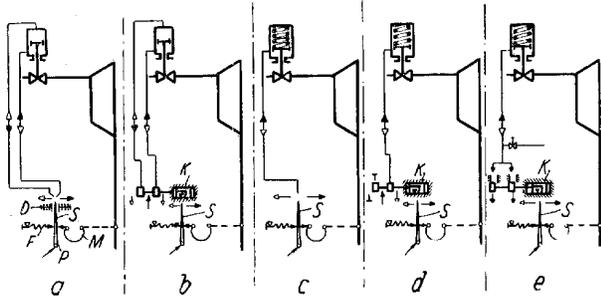


Abb. 1. Grundschialtung des Strahlrohrreglers

verlustes jeden beliebigen Oeldruck unterhalb des dem Strahlrohr zugeführten Oeldruckes in dem einseitig beaufschlagten Regelorgan erzeugen und damit bei geeigneter Bemessung der Federn jeden beliebigen Ventilhub einstellen. Die vom Strahlrohr beaufschlagte Öffnung beträgt meist 2,5 mm Durchmesser. Die Uebersetzung von Strahlrohrspitze bis Angriffspunkt des Meßsystems beträgt 3,5 : 1. Unter der ungünstigen Voraussetzung, daß ein Spitzenausschlag des Strahlrohres von 2,5 mm zur Beherrschung des ganzen Ventilhubes nötig ist, genügt hierfür eine Bewegung von 0,7 mm des Meßsystems. Die für diesen Hub nötige Ungleichförmigkeit ist je nach Eigencharakteristik des Meßsystems und Stärke des Einstellsystems verschieden, ist jedoch in den meisten Fällen unbedeutend.

Unter Verwendung des Folgeschiebers *K* (Schaltung *d*) läßt sich diese Regelungsart auch ohne jede Ungleichförmigkeit verwirklichen. Zwei Öffnungen des Folgeschiebers sind blind verflanscht. Bei Ablenken des Strahlrohres *S* nach rechts wird Oel in das Regelorgan hinein, bei Ablenken nach links herausgelassen. Da bei Abschlußstellung des Folgekolbens im Regelorgan jeder beliebige Druck herrschen kann, und der Abschlußstellung des Folgekolbens stets die gleiche Strahlrohrstellung und damit die gleiche Lage des Meßsystems entspricht, ist bei dieser Regelung trotz starker Eigencharakteristik des Meßsystems keine Ungleichförmigkeit vorhanden.

Schließlich zeigt Schaltung *e* die Anwendung des Folgeschiebers *K* als Drosselorgan (Steuerung der Brown-Boveri-Turbine). Es sind hier beide Steuerkanten für den Durchfluß ausgenutzt. Auch hier ist eine bestimmte Ungleichförmigkeit vorhanden, die von der Eigencharakteristik des Meßsystems und dem größten Hub des Drosselschiebers abhängt.

In *Abb. 1* wurde zur Darstellung die unmittelbare Betätigung eines Hubmotors gewählt. Die Regelorgane können natürlich in jeder beliebigen, im Maschinenbau bekannten Art und Weise beeinflußt werden.

### Anwendung der Grundschialtungen

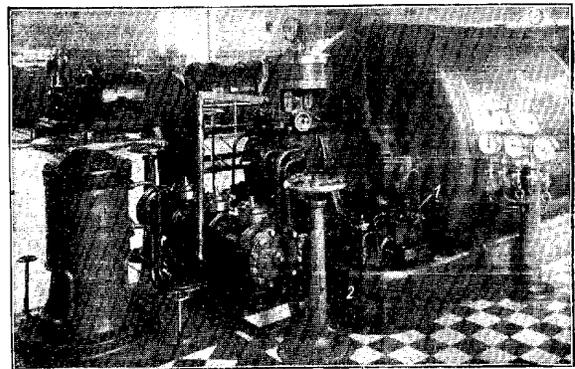
Es sollen nun einige ausgeführte Anlagen beschrieben werden. *Abb. 2* zeigt eine typische Gegendruckmaschine der Siemens-Schuckertwerke, Bauart Thyssen-Roeder.

Verwendung des Reglers *1* nach Schaltung *Abb. 1a*. Der im Grundrahmen versenkt eingebaute Steuerzylinder *2* steuert die Schieberbuchse des Hilfsschiebers, während der Hilfsschieberkolben mit dem FliCHKraftregler gekuppelt ist. In ähnlicher Weise erfolgt auch bei allen anderen Turbinenfirmen die Betätigung des Frischdampfleinlasses, und zwar außer an Turbinen der in dieser Abhandlung genannten Firmen an solchen von Humboldt, Krupp, Maffei, MAN, Brückner, Kanis & Co.

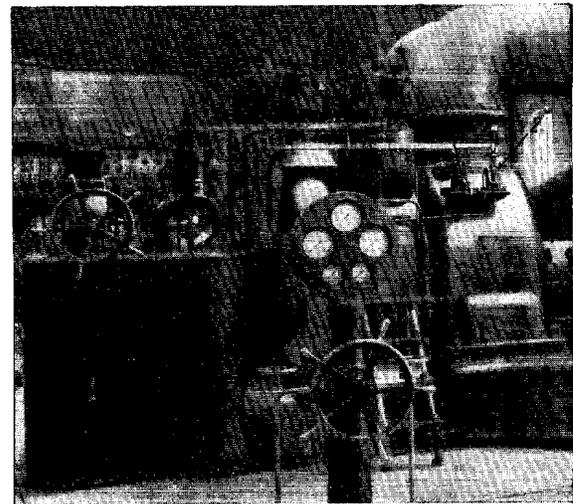
Umfangreicher werden die Steuerungsgestänge schon bei Entnahmemaschinen, besonders dort, wo zur Erzielung eines guten Gleichlaufes der Maschine Frischdampf- und Ueberströmventile vom Leistungsregler im gleichen Sinne, vom Entnahmedruckregler im gegenläufigen Sinne betätigt werden. Eine erhöhte Leistung des Hochdruckteiles soll durch eine entsprechende Leistungsverminderung im Niederdruckteil so ausgeglichen werden, daß die Gesamtleistung der Maschine die gleiche bleibt und ein Grund für das Eingreifen des Leistungsreglers wegfällt.

So zeigt z. B. *Abb. 3* eine Entnahmemaschine der Wumag. Gestängeführung und Betätigung der Hilfsschieber durch den Druckregler *1* bzw. Steuerzylinder *2* sind zu erkennen. Diese Verbundschaltung wurde durch eine verhältnismäßig einfache Gestängeanordnung bei geschicktem Gesamtaufbau der Ventile gelöst.

Bei anderen Bauarten liegen jedoch häufig Frischdampfventile und Entnahmeventile räumlich so weit auseinander, daß die Gestängeverbindungen der einzelnen Ventilgruppen recht umfangreich und kompliziert werden müßten. Es wurden daher erstmalig für die Erste Brünnner Maschinenfabriksgesellschaft und für die Skoda-Werke, Pilsen, Verbundschaltungen an Entnahme-Gegendruck- und Zweifach-Entnahmemaschinen entwickelt, bei denen der Regler alle Gestängeverbindungen überflüssig macht.



1 = Druckregler; 2 = Steuerzylinder  
Abb. 2. Gegendruckmaschine der Siemens-Schuckertwerke



1 = Druckregler; 2 = Steuerzylinder  
Abb. 3. Entnahmemaschine der Wumag

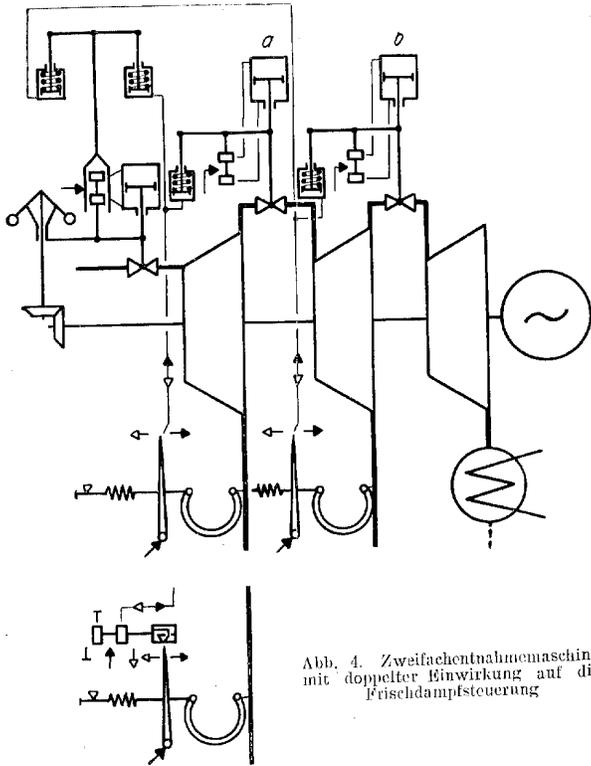
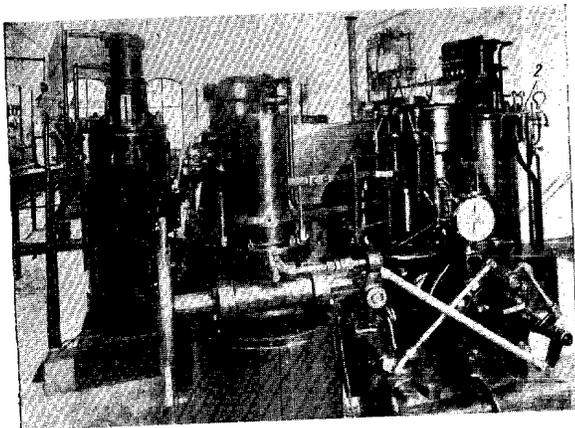


Abb. 4. Zweifachentnahmemaschine mit doppelter Einwirkung auf die Frischdampfsteuerung

Abb. 4 zeigt z. B. den Aufbau einer Zweifach-Entnahmemaschine. Beide Entnahmeregler wirken gleichzeitig auf die Frischdampfsteuerung zurück. Je nach Oeffnung der Entnahmeventile *a* und *b* greifen parallelgeschaltete Federkolben derart an der Frischdampfsteuerung an, daß deren Füllung z. B. um einen Wert vermindert wird, welcher der Summe der Füllungszunahme des Mittel- und Niederdruckteiles entspricht.

Abb. 5 zeigt eine nach diesem Prinzip ausgeführte Zweifach-Entnahmemaschine der Ersten Brünnner Maschinenfabriksgesellschaft. Die Ueberströmventile liegen zu beiden Seiten der Maschine. Die Hilfschieberbetätigungen *1* und *2* sowie die Doppelbetätigung *3* an der Frischdampfsteuerung sind gut zu erkennen. Mechanische Gestängeführung hätte hier viel Schwierigkeiten gemacht und großen Aufwand erfordert (Abb. 6). Die Regler selbst wurden getrennt (eigenartiger-



1 und 2 = Hilfschieber an den Ueberströmventilen; 3 = Doppelbetätigung des Hilfschiebers an der Frischdampfsteuerung  
Abb. 5. Zweifach-Entnahmemaschine der Ersten Brünnner Maschinenfabriksgesellschaft

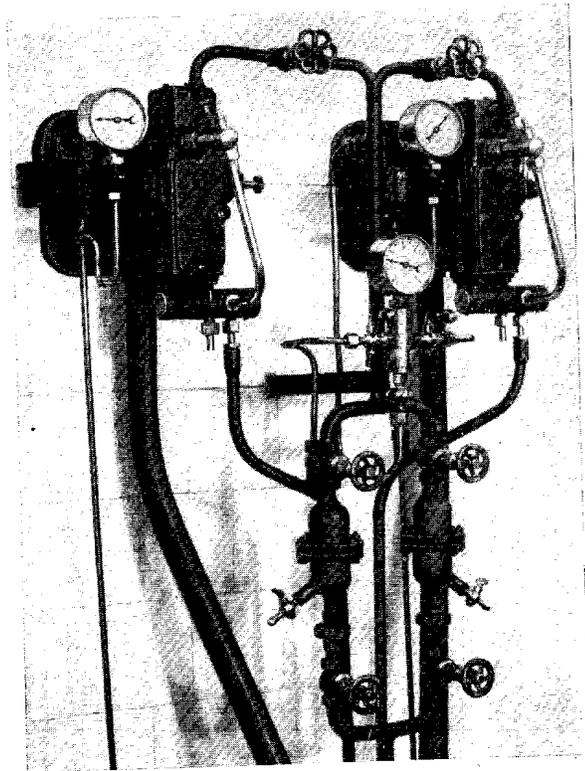


Abb. 6. Wandmontage der Druckregler für Zweifach-Entnahmemaschine

weise hängend) an der Wand befestigt. Es wurde hier die Grundschialtung Abb. 1d gewählt, um auch die geringe bei Besprechung der Grundschialtung Abb. 1c erwähnte Ungleichförmigkeit auszuschalten. Die Manometer zeigen erste Entnahme bei 8 atü, zweite Entnahme bei 1,3 atü, Belichtungsdauer 90 Sekunden. Die Entnahmedrücke wurden trotz starker Entnahmeschwankungen völlig konstant gehalten. Der Gleichlauf der Maschine war recht gut.

Die Anwendung des Folgeschiebers als Durchflußdrossel zeigt Abb. 7. Es handelt sich um eine 100-at-Vor-

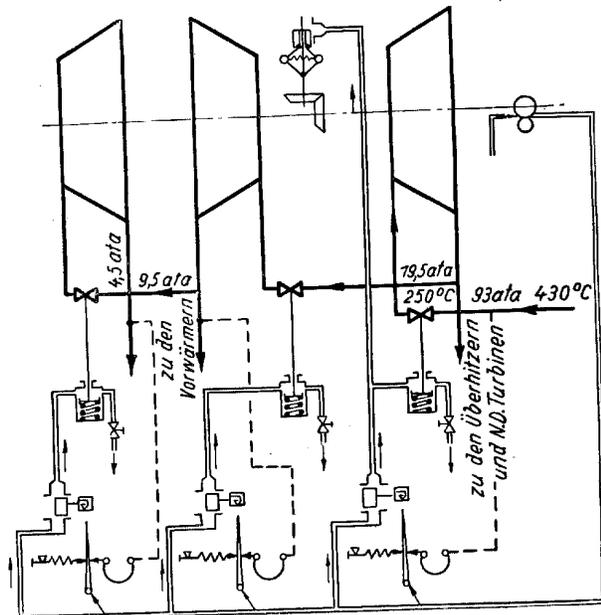


Abb. 7. Schaltungsschema der BBC-Vorschi- und Vorwärmerturbine im Großkraftwerk Mannheim

schallmaschine der Brown, Boveri & Co., aufgestellt im Großkraftwerk Mannheim. Leistungsabgabe auf das Netz je nach der zur Verfügung stehenden Dampfmenge. Der Dampfeintritt wird vom Ueberströmregler geregelt. Der Fliehkraftregler läuft als Sicherheitsregler mit. Ein besonders hydraulisch betätigtes Schnell-schlußventil in der 100-ata-Leitung ist außerdem vorhanden, der besseren Uebersicht wegen aber nicht eingezeichnet. Ein Teil des auf 19,5 ata verarbeiteten Dampfes geht in die Vorwärmerturbine und wird bei 9,5 ata bzw. 4,5 ata zur Speisewasservorwärmung entnommen. Bei dieser Anwendung des Strahlrohrreglers als Durchflußdrossel kann sich unter Umständen, besonders bei großen Durchflußmengen und dadurch nötiger Ablenkung der Strahlrohrspitze von 4 bis 6 mm, eine erhebliche Ungleichförmigkeit störend bemerkbar machen, die sich jedoch durch Wahl größerer Steuerkanten im Folgeschieber und durch Gewichtsauswägung der Röhrenfederspannung bis zu einem bestimmten, etwas unter dem Meßwert liegenden Druck auf ein Kleinmaß beschränken läßt. Bei der vorliegenden Gesamtanordnung der Maschine ist es außerdem zweckmäßig, die Druckregelung für 9,5 und 4,5 ata Anzapfung mit verschiedenen Schlußzeiten einzustellen, da sich Schwankungen an der einen Entnahme auch an der anderen auswirken können. Abb. 8 zeigt die drei Druckregler auf gemeinsamem Sockel aufgebaut neben der Turbine.

### Rückführungen

Der Strahlrohrregler in seinen bisher beschriebenen Anwendungen arbeitet ohne Rückführung, d. h. ohne bleibende (Regelung mit Ungleichförmigkeit) oder vorübergehende (Gleichwertregelung) Rückwirkungen der Stellungen des Regelorgans auf die Einstellung des Reglers. Auch die geringen Ungleichförmigkeiten der Schaltung Abb. 1 e und 1 e können eine Rückführung nicht ersetzen, obwohl sie in manchen Fällen stützend wirken können. In fast allen Fällen der Druckregelung erübrigt sich auch

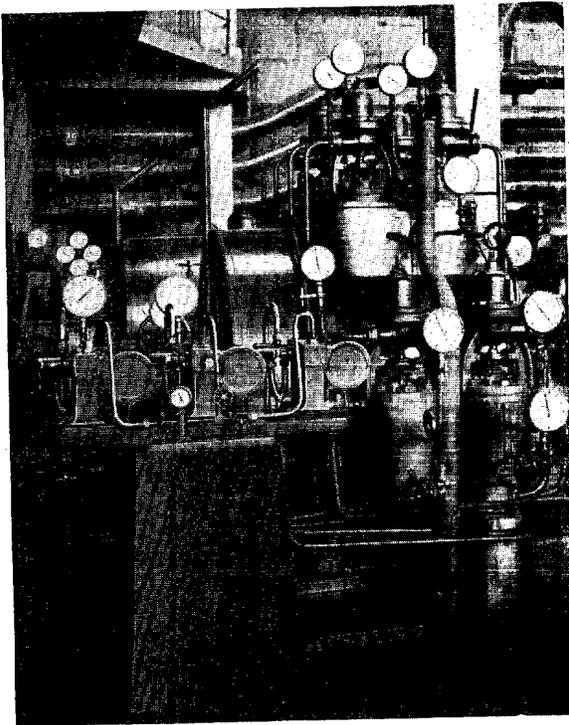


Abb. 8. Druckregler auf gemeinsamem Sockel, aufgebaut neben der Turbine

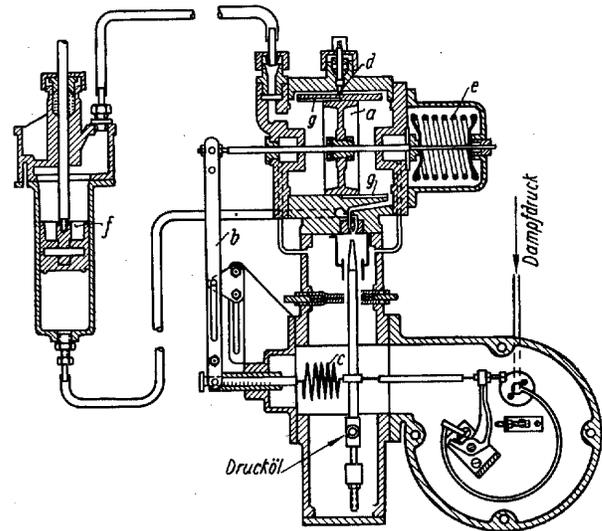
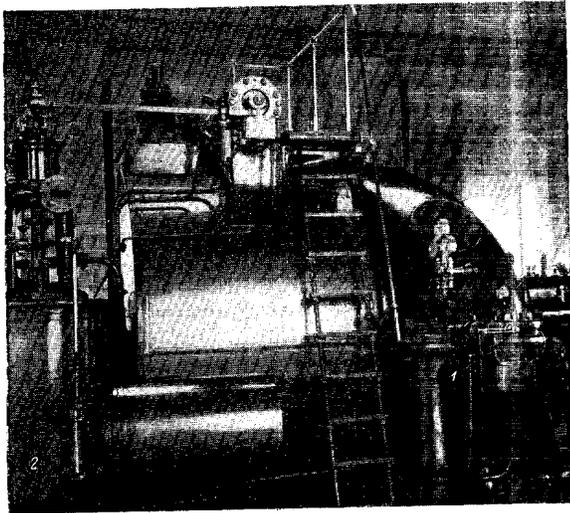


Abb. 9. Druckreglersteuerwerk mit Röhrenfeder und Gleichwertrückführung

eine Rückführung, da die durch Stellungenänderungen des Regelorgans hervorgerufenen Meßwertänderungen ohne nennenswerte Verzögerungen auf das Meßsystem des Reglers rückwirken. Außerdem gehört zum Wesen jeder Druckregelung eine sofort einsetzende Mengenänderung des zu regelnden Mittels, die besonders bei geeigneter Impulsabnahme eigendämpfend wirkt. Voraussetzung ist natürlich stets, daß das Regelsystem die drei Hauptbedingungen erfüllt: 1. Ansprechen auf geringste Abweichungen des eingestellten Meßwertes; 2. Steuerkräfte und Steuergeschwindigkeit proportional der Abweichung des Meßwertes; 3. Steuergeschwindigkeit Null im Augenblick des Durchganges durch den Sollwert.

Es hat sich jedoch auch in der Druckregelung im Turbinenbau bei einigen besonders ungünstigen Fällen die Notwendigkeit einer Rückführung herausgestellt, und zwar handelte es sich um Entnahmemaschinen, bei denen umfangreiche, als Speicher wirkende Entnahmeleitungen oder zu starke Rückwirkungen der Niederdruckleistung auf die empfindliche Frischdampfsteuerung störend wirkten. Es wäre natürlich einfach gewesen, eine mechanische Rückführung anzubringen. Die Regelung des Entnahmedruckes wäre jedoch dann mit einer bestimmten bleibenden Ungleichförmigkeit erfolgt. Aber dies sowie alle Gestängeverbindungen sollen durch Verwendung des Strahlrohrreglers nach Möglichkeit vermieden werden.

Es wurde daher eine hydraulische Rückführung für Gleichwertregelung (Sammelbezeichnung für isodrome, isobare Regelung usw.) entwickelt, deren konstruktiven Aufbau Abb. 9 zeigt. Der Kolben *a* ist in den Oelstrom zum Steuerzylinder eingeschaltet. Bei jeder Ablenkung des Strahlrohres und der dadurch ausgelösten Bewegung des Steuerzylinders tritt also in der einen oder anderen Richtung über das Gestänge *b* und Einstellfeder *c* eine Rückwirkung einstellbarer Größe auf das Strahlrohr ein. Ein Umlauf *d* verbindet die beiden Kolbenseiten. Nach Beendigung der Regelbewegung läuft daher der Kolben unter Einwirkung der Feder *e* bei Oelaustausch durch den Umlauf mit einstellbarer Geschwindigkeit wieder in seine Mittellage zurück. Die Regelung kommt also bei jeder beliebigen Stellung des Steuerkolbens *f* immer wieder auf demselben Einstellwert zur Ruhe. Gelangt der Rückführkolben *a* bis kurz vor seine Endlage, so schließen die Nuten *g* Strahlrohr und Steuerzylinder kurz, so daß bei großen Bewegungen des Regelorgans das Oel



1 = Druckregler mit Rückführkolben; 2 = Steuerzylinder  
 Abb. 10. Regler an einer Entnahmemaschine der Firma Schüchtermann & Kremer

ungehindert hindurchtreten kann. Bei nicht zu großem Volumenunterschied von Steuerzylinder und Rückführzylinder hat diese abgebrochene Rückführung keinerlei Nachteile.

Mit dieser hydraulischen Rückführung, die also räumlich unabhängig vom Regelorgan ist, wurden die Pendelungen restlos beseitigt und die Drücke völlig konstant gehalten. Dieses Prinzip ist berufen, auch auf anderen Regelungsgebieten eine wichtige Rolle zu spielen. Abb. 10 zeigt diesen Regler an einer Entnahmemaschine der Firma Schüchtermann & Kremer.

Mitunter soll kein bestimmter Druck geregelt werden, sondern es sollen ganz bestimmte Abhängigkeiten irgendeiner Einstellvorrichtung von Druck, Menge oder einem anderen Meßwert mit großer Genauigkeit und Betriebssicherheit eingestellt werden. Dies kann proportional oder nach einer beliebigen Abhängigkeit verlangt sein. Mit Hilfe des Strahlrohrreglers lassen sich derartige Bedingungen auf verschiedene Art lösen. Eine Ausführung, die sich bereits bei vielen Anlagen bewährt hat und bei der jede mechanische Verbindung zwischen Einstellvorrichtung und Regler wegfällt, beschrieb ich bereits im „Archiv für Wärmewirtschaft“<sup>3)</sup>.

<sup>3)</sup> Jahrgang 1930, Heft 5: „Sicherheitsregelung für Verdichter in Gaserzeugungsanlagen.“

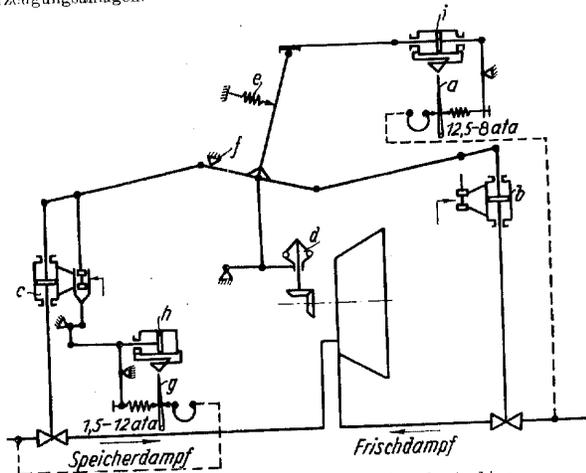


Abb. 11. Steuerungsschema einer Speicherturbine

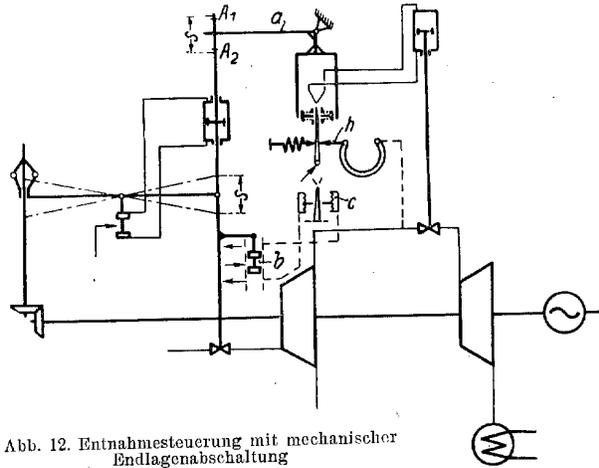
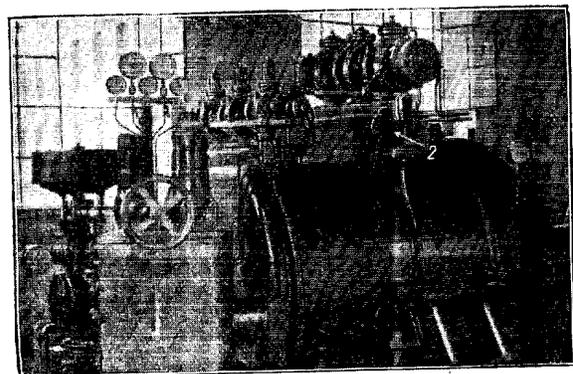


Abb. 12. Entnahmesteuerung mit mechanischer Endlagenabschaltung

Eine andere Ausführung sei an einer Speicherturbine der Firma Escher, Wyß & Co. in Zürich gezeigt (Abb. 11). Ein in Abhängigkeit vom Kesseldruck arbeitendes Wechselsteuerwerk *a* schaltet die Frischdampfventile *b* bzw. die Speicherdampfventile *c* ein. Es arbeitet in der Druckgrenze von 8 bis 12,5 ata. In der Grenze von 10 bis 12 ata soll die Frischdampfsteuerung mit dem Leistungsregler *d* durch die Wechselsteuerung frei spielen. Uebersteigt der Kesseldruck 12 ata, so muß die Turbine im Parallelbetrieb automatisch Ueberlast aufnehmen. Sinkt der Kesseldruck unter 10 ata, so soll der Frischdampf aus- und der Speicherdampf eingeschaltet werden. Sinkt der Kesseldruck unter 8 ata, so arbeitet die Turbine nur mit Speicherdampf. Die Speicherdampfsteuerung wird bei Frischdampfbetrieb durch die Rückstellfeder *e* an Anschlag *f* geschlossen gehalten. Der Steuerkolben hat bei Umschalten diese weiche Rückstellfeder *e* mit zu überwinden.

Durch das Steuerwerk *g* wird der maximale Öffnungsbereich des Speicherdampf-Regulierventils in Abhängigkeit vom Speicherdruck, der in den weiten Grenzen von 12 bis 1,5 ata veränderlich ist, eingestellt.

Ähnlich wie in Abb. 9 sind an dem Steuerwerk Zylinder angebaut. Stellungenänderungen der Kolben *h* und *i* wirken auf die Einstellung des Reglers zurück. Tritt eine Druckänderung ein, so werden diese Kolben durch Ablenkung des Strahlrohres bis zu der Stellung gesteuert, in welcher gerade die der Druckabweichung entsprechende Federspannung eingestellt ist; dann steht das Strahlrohr wieder in Ruhe. Die Rückführwege der Kolben werden



1 = Gabelgestänge; 2 = Druckregler  
 Abb. 13. Steuerung an einer Wumag-Turbine

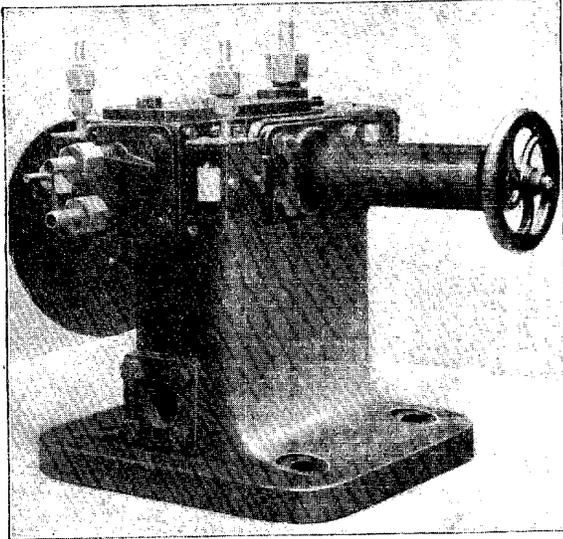


Abb. 14. Druckregler mit Membran-Ölschaltern und Handradeinstellung

nun in geeigneter Weise auf die Steuerung zur Einwirkung gebracht. Gegenkräfte, Reibungen und Klemmungen am Gestänge werden sicher überwunden, da diese Einstellung zwangsläufig mit großer Einstellkraft und den Druckabweichungen genau proportional vor sich gehen muß.

### Selbsttätige Abschaltungen bei außergewöhnlichen Betriebsfällen

Der Ausschlag jedes Strahlrohres ist durch Anschläge festgelegt. Durch federnde Druckstifte *h* (Abb. 9) kann das Strahlrohr von außen unabhängig vom Meßwert in seine Endlage gestellt werden. Diese Druckstifte *h* können auch feststellbar ausgeführt werden, so daß das Strahlrohr durch eine kleine Drehung des Druckstiftes in seiner Endlage fest bleibt. Die Betätigung dieser Druckstifte mechanisch, hydraulisch oder elektrisch läßt sich ohne Schwierigkeiten ausführen.

Abb. 12 zeigt den Aufbau einer Entnahmemaschine. Das von der Spindel des Haupteinlaßventiles kurz vor den Endlagen durch Anschläge  $A_1$  und  $A_2$  mitgenommene Gabelgestänge *a* stellt das Strahlrohr unabhängig vom Entnahmedruck in seine Endlagen. Auf diese Weise wird erreicht, daß bei Abschalten der Maschine auch die Ueberströmventile zwangsläufig geschlossen werden. Dies ist wichtig, weil bei langen Entnahmeleitungen oder bei anderen Speichern trotz Abschaltung der Frischdampfsteuerung die Turbine durch Rückströmen des Dampfes aus der Entnahmeleitung durchgehen kann. Diese Einrichtung ersetzt also eine Rückschlagklappe in der Entnahmeleitung oder wirkt mindestens als zweite wirksame Sicherung der Maschine. Bei Höchstlast werden die Ueberströmventile zwangsläufig geöffnet, um auch den Niederdruckteil voll zu Lastaufnahme heranzuziehen. Auf die Regelung des Entnahmedruckes wird in solchen ungewöhnlichen Betriebszuständen verzichtet.

Abb. 13 zeigt eine derartige Ausführung an einer W u m a g - Turbine. Das Gestänge wird nicht direkt von der Spindel des Haupteinlaßventiles betätigt, sondern von einer

Nockenscheibe, deren Drehung proportional dem Hub des Hauptventiles ist. Im Bereich der freien Entnahmeregelung läuft die Rolle des Hebelgestänges auf dem kreisförmigen Teil der Nockenscheibe. Der Regler betätigt den Drehservomotor der Ueberströmventile unmittelbar.

Die Druckstifte können auch hydraulisch durch kleine Membrankapseln betätigt werden (Abb. 12). Ueber den Hilfschieber wird in den Endlagen der Steuerung dem Drucköl der Weg in die eine oder andere Membrankapsel freigegeben. Abb. 14 zeigt einen derartigen, mehrfach für die Siemens-Schuckertwerke, Mülheim, ausgeführten Druckregler. Die Membrankapseln drücken die Druckstifte über Blattfedern in das Steuerwerk hinein, bis eine Fallklinke einschnappt, so daß auch nach Abstellen der Maschine, d. h. Wegbleiben des Oeldruckes, das Strahlrohr in seiner Schließstellung stehen bleibt, bis die Fallklinke wieder von Hand angehoben wird. Zugleich zeigt diese Abbildung eine einfache Feineinstellung des Dampfdruckes durch Handrad. An einer seitlich angebrachten Skala ist der Druckwert ablesbar.

Schließlich sei noch eine Anwendung der elektrischen Druckknopfbetätigung gezeigt. Abb. 15 zeigt eine Sicherung von Gegendruckmaschinen bei Herausfallen der Maschine aus dem Netz. Wird der Maschinenölschalter vom Differential- und Zeitrelais herausgeschlagen, so wird der Stromkreis des am Regler angebrachten Magneten geschlossen und das Strahlrohr sofort auf Schließen gesteuert. Ist die Schlußzeit des Gegendruckreglers entsprechend kurz, so wird die Maschine trotz eines etwa versehentlich zu hoch eingestellten Fließkraftreglers abgefangen, bevor der Schnellschluß auslöst.

Der Magnet kann je nach Anforderung für Gleichstrom oder Wechselstrom, Ruhe- oder Arbeitsstrom ausgeführt werden.

Auf die Anwendung des Reglers im Dampfmaschinenbau, Kompressorenbau und als Drehzahlenregler soll später noch eingegangen werden.

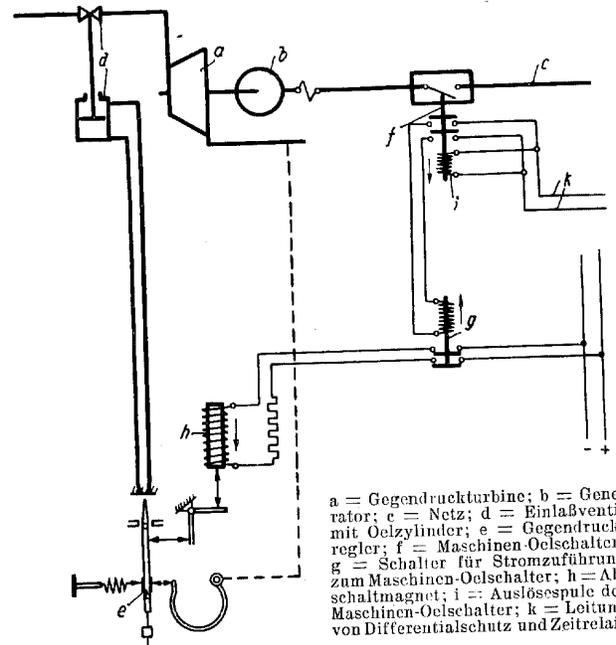


Abb. 15. Gegendruckturbine-regelung mit elektromagnetischer Ausschaltung

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415

**ASKANIA-WERKE**  
**AKTIENGESELLSCHAFT**  
 GEGRÜNDET 1871



STAMMHAUS: BERLIN-FRIEDENAU, KAISERALLEE 86-88

**TOCHTERGESELLSCHAFTEN:**

Askania-Werke G. m. b. H., München 25, Boshetsrieder Straße 59  
 Nautische Werkstätten, Kiel-Kronshagen, Kopperpähler Allee 100  
 Askania-Werke A.G., Überlingen a.B., Nußdorfer Str. 50 (Zweigwerk)

**INGENIEURBÜROS:**

Askania-Werke G. m. b. H., Düsseldorf, Cranachstraße 10  
 Askania-Werke G. m. b. H., Frankfurt a. M., Cretzschmarstraße 13  
 Askania-Werke G. m. b. H., Hannover, Bessemerstraße 2  
 Askania-Werke G. m. b. H., Köln-Bayenthal, Bernhardtstraße 160  
 Askania-Werke G. m. b. H., Neustadt a. d. Haardt, Amalienstr. 26  
 Askania-Werke G. m. b. H., Saarbrücken, Im Heimgarten 21

**AUSLANDSVERTRETUNGEN:**

An vielen Plätzen in Europa und Übersee.  
 Auskunft über bestehende und offene Vertretungen auf Anfrage.



## **ARBEITSGEBIETE UND**

### **Astronomische und astrophysikalische Instrumente**

Passage-Instrumente für astronomische Zeit- und Ortsbestimmung. Meridian- und Vertikal-Kreise zur Positionsbestimmung von Sternen. Mikrophotometer zur Messung der Flächenhelligkeit und Plattenmeßapparate für die Auswertung von Stern- und Spektralaufnahmen, u. a.

### **Geodätische Vermessungsinstrumente**

Mikroskoptheodolite f. Triangul. I. bis 4. Ordg. Nivellier-Instrumente f. einfache Nivellements. Basis-Meßgeräte mit Invarmeßband für Streckenvermessung.

### **Prüf- und Meßgeräte für optische Betriebe**

Dickenmesser und Handsphärometer. Präzisions-Sphärometer mit Dickenmesser. Handspektroskope. Prismenwinkelprüfer. Präzisions-Spektrometer. Kollimatoren zur Justierung optischer Instrumente. Interferenzapparate. Objektiv-Prüfgeräte. Gesichtsfeldmeßgeräte. Optische Flächen- und Winkelprüfer. Lupen-Dynameter. Dioptrienfernrohre. Glasspannungsprüfer.

### **Prüf- und Meßgeräte für Labor und Werkstatt**

Libellenprüfer. Einfach- und Differential-Präzisions-Kathetometer zur Messung von Vertikalabständen. Bohrungsmeßgeräte für kleinste Bohrungen. Universal-Interferometer und Planglasplatten zur Prüfung von Meßflächen. Komparatoren für Vergleichsmessungen von Maßstäben, Gewindespindeln u. dgl. bis 2 m Länge. Kreisteilungsprüfer. Taschenpolarimeter zur Zucker- und Eiweißbestimmung im Harn und für die Zuckerindustrie. Stativ-Mikroskope.

### **Geophysikalische Geräte für die praktische Lagerstättenforschung**

Drehwaagen und Schweremesser für Schwerkräftsmessungen. Feldwaagen für magnetische Untersuchungen. Seismische Geräte für Reflektions- und Refraktions-Meßmethoden.

### **Geophysikalische Instrumente für wissenschaftliche Untersuchungen**

Magnetische Normaltheodolite und Rotations-Inklinatorien zur Bestimmung des magnetischen Erdfeldes auf Observatorien. Magnetische Reisetheodolite für Landesmessungen. Registrier-Variometer für Observatorien und für Feldmessungen.

### **Meteorologische Instrumente**

Ballontheodolite zur Ermittlung der Windgeschwindigkeit mittels Pilotballone (Lieferung nur nach dem Ausland).

### **Ozeanographische Instrumente**

Hochseepegel zur Gezeitenmessung. Strömungsmesser zur Ermittlung von Strömungsrichtung und Geschwindigkeit in Küsten- u. Meeresgewässern. Wellengangpegel. Durchsichtigkeitsmesser zur Erforschung v. Planktonschichten.

### **Schiffskompass und Nautische Geräte**

Magnetkompass, Kompaßhäuser, Peil- und Kompensierungsgeräte für Fischkutter und Binnenschiffe. Ablenkungsapparate zur Bestimmung magnetischer Momente an Kompaßrosen, Stabmagneten o. ä.

RESTRICTED

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R0003100050001-0

## FERTIGUNGSPROGRAMM

25X1A

### **Kinotechnische Geräte**

Normalfilm-Projektoren mit 600-m-Filmtrommeln für Lichtspieltheater. Trick-tisch-Anlagen. Schneide- und Umrolltische. Aufnahme- und Projektions-Objektive. Kugelschalen-Stativ. Kompendien. Kamerazubehör-Koffer.

### **Lose und gefaßte Optik**

Linsen, Planglasplatten, Spiegel, Prismen, Objektive und Okulare für Fernrohre, Mikroskope und für sonstige optische Geräte.

### **Geräte für die Messung mechanischer Schwingungen und Dehnungen**

Tastschwingungsschreiber zum Abtasten von Bauwerken, Maschinen und Motoren auf Schwingungen. Fahrzeug-Schwingungsmesser. Mechanische und elektrische Beschleunigungsmesser und Kraftmesser. Zungenfrequenz-messer zur Frequenzbestimmung periodischer Schwingungen. Induktive statische und dynamische Feindehnungsmesser zur Ermittlung der Spannungsverteilung an festen bzw. beweglichen Konstruktionsteilen. Optische Mehrfachschreiber zur gleichzeitigen Aufzeichnung von vier elek-trisch oder pneumatisch übertragenen Meßwerten.

### **Meß- und Überwachungsgeräte für wärmetechnische Betriebe**

Anzeige- und Schreibgeräte für Druck-, Mengen- und Temperaturmessung von Gasen, Luft, Dampf und Flüssigkeiten. Vollständige Wärmewarten. Taschen-Pyrometer zur optischen Messung von Temperaturen von 600 bis 2400° C. Temperatur-Fernmeßstationen für Innen- und Außenräume. Wassersäulen-Minimeter zur Messung kleinster Drücke und Druckdifferen-zen. Preßluft- und Preßgas-Mengenmesser nach dem Teilstrom-Verfahren.

### **Selbsttätige Regler für Industriebetriebe**

Druck-, Mengen-, Gemisch- und Temperatur-Regler, Feuerungs- und Kesselregler, Wasserstandsregler, Turbinenregler u. dgl. für Gas- und Kraftwerke, Berg- und Hüttenbetriebe, Glas- und Keramik-Industrie, Papier- und Zellstofffabriken, Chemische Betriebe, Zementwerke, Nah-rungsmittelindustrie und andere Betriebe. Ölgetriebe für stufenlose Reglung von Maschinen und Apparaten in Verbindung mit selbsttätigen Regleranlagen. Regelorgane, wie Schieber, Drosselklappen, Ventile u. ä.

### **Elektro-Pendeluhr**

Wand- und Standuhren mit elektro-magnetischem Pendelantrieb, weit-gehend unabhängig von Spannungsabfall und Frequenzschwankungen.

### **Elektro-Luftpumpen**

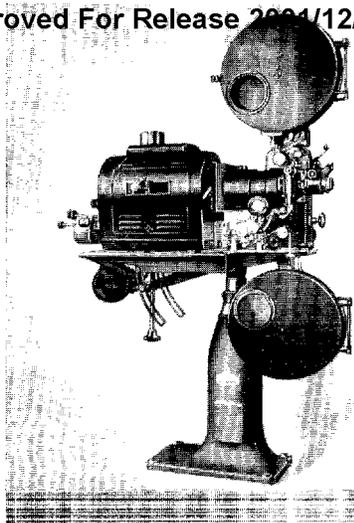
Fahrbare Luftpumpen mit elektrischem Antrieb für Garagen und zur Preß-luftferzeugung in gewerblichen und industriellen Betrieben.

### **Präzisions-Mechaniker-Drehbänke**

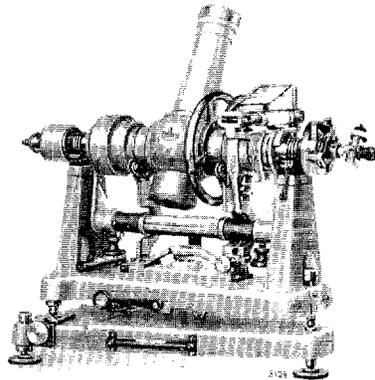
mit neuartiger Vierkant-Prismenwange und Sonderausstattung, wie Unter-satztisch, Gewindestrahleinrichtung und anderes Zubehör.

RESTRICTED

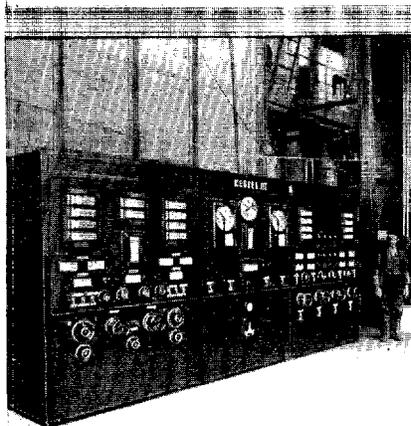
SECRET



Askania - Normalfilm - Projektor mit 600-m-Filmtrommeln und angebautem Tongerät für Lichtspieltheater bis zu 2000 Plätzen.



Tragbares Passage-Instrument zur astronomischen Zeit- und Ortsbestimmung. Über 250 Passage-Instrumente – fast der gesamte Weltbedarf – wurden von den Askania-Werken geliefert.



Askania - Überwachungsanlage mit Meßgeräten und Einstellgliedern für die selbsttätige Kesselreglung in einem mitteldeutschen Großkraftwerk.



# Askania-Strahlrohrregler

## Grundlage und Anwendung

Die hochentwickelte Meßtechnik hat gezeigt, welche Ersparnisse und Verbesserungen in der Betriebsführung erzielt werden können. Die Anwendung von Meßinstrumenten allein sichert jedoch diese Vorteile nicht. Selbst bei aufmerksamer Bedienung einer Betriebsanlage, wie z. B. Öfen, Kessel u. dgl., kann eine Störung erst nach ihrem Erkennen beseitigt werden. Demgegenüber sichert der selbsttätige Regler von vornherein eine dauernd wirtschaftliche Betriebsführung. Der Arbeitsvorgang wird durch den Regler gleichmäßiger und zuverlässiger gesteuert, und Störungen werden im Augenblick des Auftretens behoben. Nicht die Ersparnis an Personal ist für die Anwendung von selbsttätigen Reglern ausschlaggebend, sondern die Verbesserungen in der Erzeugung, die Schonung und trotzdem höhere Ausnutzung der Betriebsanlagen. Nachweislich haben sich von dem Zeitpunkt an, wo ein Vorgang selbsttätig geregelt wird, die Ansprüche an Genauigkeit, Ertrag und Betriebssicherheit gesteigert.

Die selbsttätige Regelung verfolgt den Zweck, bestimmte Zustände, wie Druck, Menge, Gemisch, Temperatur, Feuchtigkeit u. dgl., unabhängig von Einwirkungen irgendwelcher Art aufrechtzuerhalten. Wo große Arbeitsleistungen benötigt und hohe Anforderungen an Genauigkeit gestellt werden, kommen fast ausschließlich Regler mit Hilfskraft zur Anwendung. Ein Meßsystem, von dem zu regelnden Wert beeinflusst, verstellt nicht unmittelbar das Regelorgan, sondern steuert über einen Kraftumsetzer eine Hilfskraft (Öl, Luft, Wasser), die dann über ein Stellwerk das Regelorgan betätigt.

Die Askania-Werke verwenden als Kraftumsetzer das weltbekannte Strahlrohr, das durch seinen einfachen Aufbau verblüfft und für alle Aufgaben regeltechnischer Art angewendet werden kann.

Der Askania-Strahlrohrregler, in 2 Jahrzehnten vieltausendfach bewährt, hat Anwendung gefunden

- in Dampfbetrieben als Dampferzeugungsregler, Kesselbelastungsregler, Kesselspeisungsregler, Kesselfeuerungsregler, Dampftemperaturregler, Speicherregler, Dampfdruckregler, Turbinenregler usw.,
- in Gasgeneratorbetrieben als Gaserzeugungsregler, Belastungsregler, Dampfzusatzregler, Gasdruckregler, Zugregler,
- in Gaswerken und Kokereien wie vorstehend, ferner als Saugungsregler, Blockregler, Kammerregler, Heizwertregler, Umlauf- und Maschinenregler,
- für Gasbetriebe jeder Art als Drosselregler, Überschußregler, Gasverteilungsregler, Verbrennungsregler, Gemischregler, Zugregler,
- in Feuerungsbetrieben bei Gasfeuerungen, Ölfeuerungen, Rostfeuerungen, Staubfeuerungen und mechanischen Feuerungen aller Art,
- in der Zellstoff- und Textilindustrie als Sieblaufregler, Trocknungsregler u. dgl.,
- in Eisen- und Stahlwerken und Industriebetrieben jeder Art.

Eine lückenlose Aufzählung aller Anwendungsgebiete ist im Rahmen dieser Darstellung nicht möglich. Wir stehen in jedem Bedarfsfalle mit kostenloser und unverbindlicher Beratung, Ausarbeitung von Angeboten u. dgl. zur Verfügung.

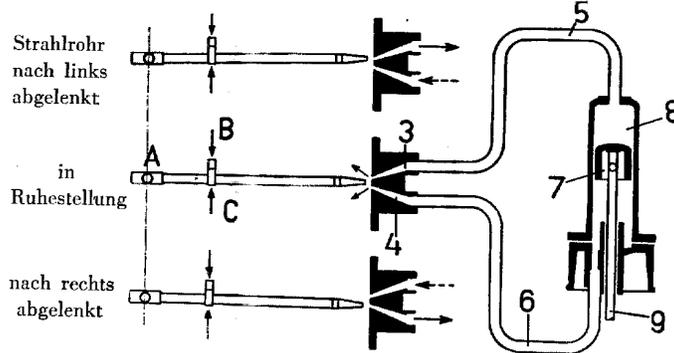
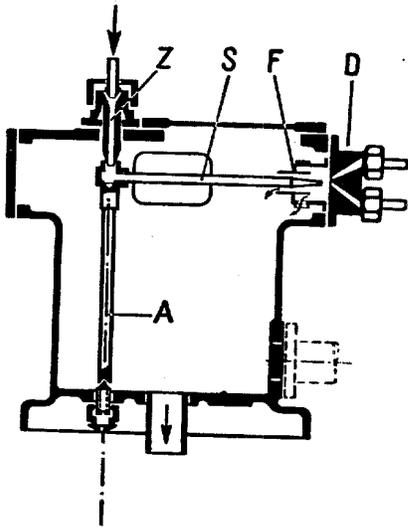
Die schematischen Darstellungen auf Seite 2 zeigen die Wirkungsweise des Strahlrohrreglers. Dem um die Achse A schwenkbar gelagerten Strahlrohr S wird über Zulauf Z die Hilfskraft zugeführt, die aus der düsenförmig verengten Spitze des Strahlrohres mit großer Geschwindigkeit austritt. Der Strahl trifft auf zwei im Druckaufnehmer D nebeneinanderliegende Öff-

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



**Schnitt durch das Strahlrohrgehäuse.**

- A = senkrechte Achse
- B = Angriffspunkt der Einstellfeder
- C = Angriffspunkt des Meßsystems
- D = Druckaufnehmer
- F = Ölfänger
- S = Strahlrohr
- Z = Zuführung der Hilfskraft.

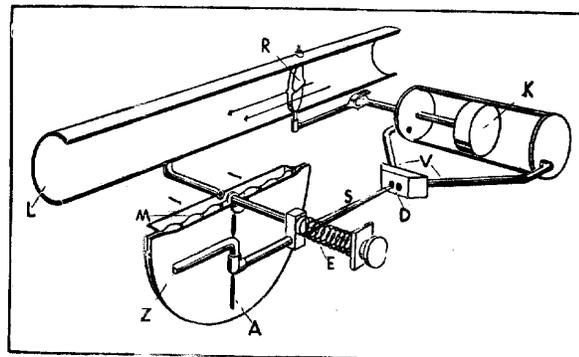


**Die drei Hauptstellungen des Strahlrohres.**

- 3 = linke Bohrung } des Druckaufnehmers
- 4 = rechte Bohrung }
- 5 u. 6 = Verbindungsleitungen zum Steuerzylinder
- 7-9 = Steuerzylinder mit Kolben und Kolbenstange.

Bild 1. Wirkungsweise des Strahlrohres.

nungen 3 und 4 von gleichem Durchmesser wie die Strahlrohrspitze. Der Druckaufnehmer ist durch die Leitungen 5 und 6 mit den beiden Seiten eines Arbeitskolbens 7 verbunden. Die Geschwindigkeitsenergie des Strahles setzt sich beim Auftreffen auf den Druckaufnehmer wieder in Druck um. Steht das Strahlrohr in Mittel-lage, so ist der Druck auf beiden Seiten des Steuerzylinders gleich groß; der Kolben 7 ver-harrt im Ruhestand. Bei Ablenkung des Strahl-rohres wird der Druck, entsprechend der Ab-weichung, auf der einen Seite größer, auf der anderen kleiner. Es entsteht ein Druckunter-schied und damit eine Verstellkraft, die den Kolben in dem Maße, wie Drucköl nachströmt, in Bewegung setzt. Das damit verbundene Regelorgan wird nun so lange verstellt, bis wieder Gleichgewichtszustand zwischen M und E hergestellt ist, also das Strahlrohr wieder in Mittellage steht.



- E = Einstellfeder M = Meßsystem (Membran)
- K = Steuerkolben R = Regelglied (Drosselklappe usw.)
- L = Rohrleitung V = Verbindungsleitungen

Die sonstigen Bezeichnungen entsprechen Bild 1.

Bild 2. Schema einer Niederdruckregelung.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



Die an dem Kolben wirksamen Verstellkräfte sind ganz erheblich. Im allgemeinen ist mit einer etwa 80%igen Druckumsetzung des Vordruckes in am Steuerkolben auftretenden Regel-  
druck zu rechnen. Bei einem Vordruck von 5 Atm. und einem Kolbendurchmesser von 130 mm steht eine beiderseitige Verstellkraft von rd. 500 kg zur Verfügung. Die erreichbare Regelgeschwindigkeit hängt von der sekundlich aus dem Strahlrohr austretenden Ölmenge ab und wird durch ein Drosselventil (zwischen Steuerwerk und Steuerzylinder) auf den günstigsten Wert eingestellt. Das Strahlrohr wird mit 1,7 oder 2,5 oder 3 mm Ø Austrittsöffnung ausgeführt; hiermit lassen sich fast alle auftretenden Regelfälle beherrschen. Sind besonders hohe Regelgeschwindigkeiten erforderlich, so wird ein sogenannter Folgekolben verwendet (vgl. Druckschrift R 750). Hierbei dient der austretende Ölstrahl nicht unmittelbar zur Betätigung des Arbeitskolbens, sondern nur zur Bewegung eines kleinen angebauten Steuer-schiebers, der seinerseits den verstärkten Ölzu- und -abfluß zum Arbeitszylinder steuert.

Bild 3 (Schnittmodell) zeigt den Strahlrohrregler als Niederdruckregler. Das Strahlrohrgehäuse ist stets das gleiche; je nach der vorliegenden Regelaufgabe werden die verschiedenen Meß- und Einstellsysteme angebaut.

In den meisten Fällen wird Drucköl als Hilfskraft verwendet. Wir liefern hierfür besondere Druckölanlagen, die entweder unmittelbar mit dem Steuerwerk zusammengebaut sind oder getrennt davon zur Aufstellung kommen (vgl. Druckschrift R 851, 852, 853).

Seine vieltausendfache Verwendung für alle Aufgaben der Regelung und der Umsetzung von Impulswerten in meßbare Größen hat das Strahlrohr vor allem folgenden Vorzügen zu verdanken:

#### Verblüffende Einfachheit.

Eine Betrachtung von Bild 1 zeigt, daß es nichts Einfacheres gibt als dieses Strahlrohr, das in sinnfälliger Weise wie ein Kraftzeiger den

ununterbrochenen Ölstrom lenkt. Ein Blick in das Reglergehäuse (vgl. Bild 3) läßt sofort den Aufbau des Reglers, eine Einsichtnahme in die Betriebsvorschrift ohne weiteres die Wirkungsweise des Reglers erkennen.

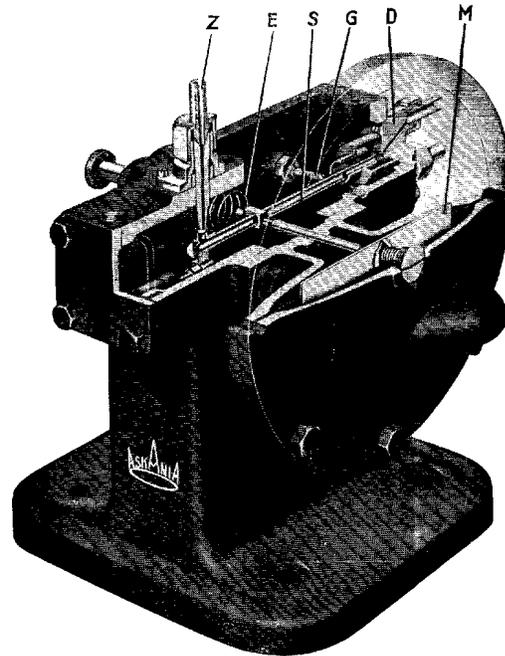


Bild 3. Niederdruck-Steuerwerk, z. T. aufgeschnitten.  
(Bedeutung der Buchstaben siehe Bild 1 und 2.)

#### Unerreichte Betriebssicherheit.

Beim Strahlrohr gibt es keine mechanischen Berührungen an eingeschliffenen Steuerteilen, denen kleinste Fremdkörper gefährlich werden könnten, sondern nur einen mit großer Geschwindigkeit dahinfließenden Ölstrom, in dem die durch das Grobfilter nicht abgesonderten Verunreinigungen mitgespült werden. Die Inbetriebsetzung des Strahlrohrreglers ist denkbar einfach, die Wartung und Bedienung beschränkt sich auf ein Mindestmaß.

Der Betrieb mit einer Druckölanlage ist stets ruhig und gleichmäßig, weil in jedem Falle, ob das Strahlrohr in Mittellage steht oder die

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



größte Fördermenge zur Steuerung des Kolbens ausgenutzt wird, die Druckölförderung immer die gleiche bleibt. Es würde durchaus keine Kraftersparnis bedeuten, wenn der Kraftumsetzer nur im Augenblick der Regelung Öl verbraucht, da die Pumpenanlage ohnehin so reichlich bemessen sein muß, daß sie in jedem Augenblick die größte Fördermenge liefern kann. Diese größte Ölmenge müßte in der Zeit, in der der Regler in Ruhe steht, durch einen Umlauf in die Saugleitung abgeführt werden. Das bedeutet stoßweisen Betrieb, der ungünstig auf die Pumpe und deren Antrieb wirkt.

#### Vorzügliche Regeleigenschaften.

Das Strahlrohr spricht mit unerreichter Genauigkeit auf die geringsten vom Impulssystem abgegebenen Kraftänderungen an, weil es praktisch reibungslos gelagert ist. Beide Lagerstellen der Strahlrohrachse aus hartem, nicht rostendem Werkstoff erhalten durch das Drucköl eine vorzügliche Schmierung.

Wichtig ist ferner, daß alle Rückwirkungen der Hilfskraft in der Lagerachse aufgefangen werden und somit nicht das Meß- oder Einstellsystem beeinflussen. Die am Strahlrohr wirkenden Meß- und Einstellkräfte üben kein Moment auf das Strahlrohr aus; sie heben sich gegenseitig auf, weil ihre Angriffspunkte gegenüberliegen.

Das Strahlrohr ist praktisch masselos, so daß schädliche Beschleunigungskräfte nicht auftreten können. Es folgt daher kurzzeitigen Schwankungen des Sollwertes sofort und steht bei Erreichen desselben ebenso schnell wieder in Ruhe.

Die wichtige Forderung, daß die Steuerungsgeschwindigkeit der Abweichung vom Regelwert verhältnismäßig sein muß, liegt im ganzen Aufbau des Strahlrohrprinzips ohne weiteres begründet. Es sind keinerlei umständliche Hilfseinrichtungen erforderlich, um diese für einen genau und sicher arbeitenden Regler selbstverständliche Forderung zu erfüllen.

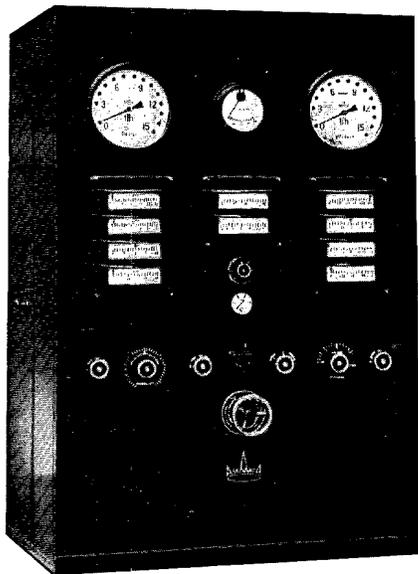


Bild 4. Reglerschrank mit Meßgeräten.

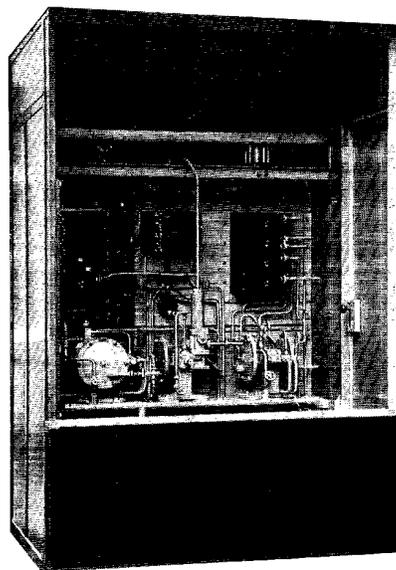


Bild 5. Rückseite des Reglerschranks.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN - FRIEDENAU**



RESTRICTED

# Steuerwerk Rm-e

## Meßsystem mit Ledermembran

Für Gas- und Luftdrücke bis 1000 mm WS, ebenso für kleinere Unterdrücke (Saugungsregler), wird in das Meßsystem des Askania-Steuerwerkes (Strahlrohrprinzip siehe Druckschrift R 552) eine Ledermembran mit großer wirksamer Fläche, infolge der geringen notwendigen Strahlrohrlänge aber kleinem Füllvolumen, eingebaut. Die Ausführung der Membran wird den auftretenden Drücken angepaßt.

auch mit Handrad und Spindel oder fernelektrisch.

Zwei Druckstifte seitlich vom Strahlrohr erlauben jederzeit von Hand in den Regelvorgang einzugreifen, d. h. durch willkürliche Bewegung des Strahlrohres das Regelorgan zu öffnen oder zu schließen. Diese Druckstifte können auch feststellbar eingerichtet oder fernbetätigt werden.

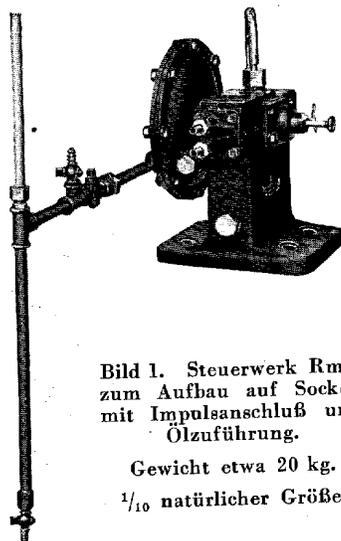


Bild 1. Steuerwerk Rm-e zum Aufbau auf Sockel. mit Impulsanschluß und Ölzuführung.

Gewicht etwa 20 kg.  
1/10 natürlicher Größe

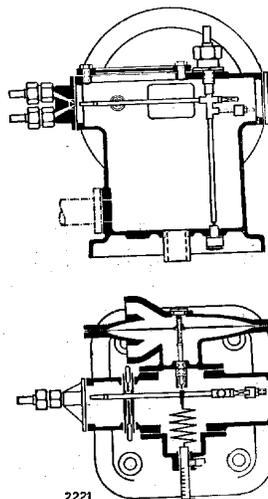


Bild 2. Schema

Für Drücke über 1000 mm WS kommen Steuerwerke Rf-e nach Druckschrift R 602 in Frage.

Bild 1 zeigt Ansicht des Steuerwerkes mit der Druckölzuführungs-Leitung, wie sie beim Aufbau des Steuerwerkes auf Sockel 2 (Druckschrift R 852) verlegt wird.

Der Ölabfluß erfolgt hier durch die Grundplatte (Anschluß im Schema Bild 2 unten).

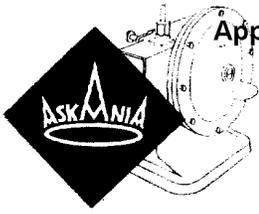
Zum Einstellen des gewünschten Druckes dient der geeichte Einstellschieber, der mit dem beigefügten Schlüssel auf den gewünschten Wert festgeklemmt wird. Einstellsystem auf Wunsch

Das Steuerwerk wird auf Wunsch mit dem abgebildeten Impulsanschluß (Anschlußgewinde R 1/2") geliefert. Der Impulsanschluß enthält außer der Verschraubung:

- Absperrhahn mit Entlüftung,
- Prüfhahn mit Schlauchnippel,
- Wassersack mit Schlauchhahn.

Je nach der ein- oder beiderseitigen Beaufschlagung der Membrane, Druck- oder Mengenregelung, erhält das Steuerwerk einen oder zwei derartiger Meßanschlüsse. Wenn der Anschluß an Ort und Stelle ausgeführt wird, sollte die Ausführung zweckmäßigerweise wie abge-

RESTRICTED



bildet erfolgen, um von vornherein störungs- freien Dauerbetrieb zu gewährleisten. Die Impulsleitung selbst wird je nach Entfernung in  $\frac{1}{2}$ " ,  $\frac{3}{4}$ " oder 1" verlegt.

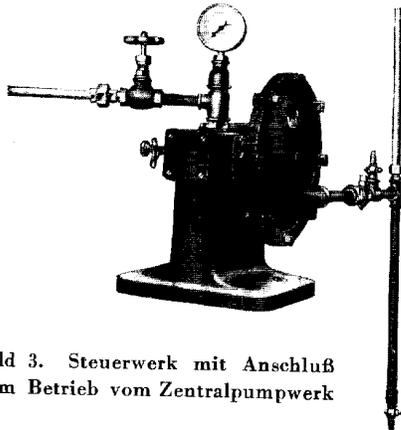


Bild 3. Steuerwerk mit Anschluß zum Betrieb vom Zentralpumpwerk

Wenn das Steuerwerk von einem Zentralpumpwerk (Druckschrift R 853) mit Öl versorgt werden soll, erfolgt der Anschluß nach obenstehendem Bild 3, das auch Manometer und Absperrventil zeigt. Der Ölabfluß zum Pump-

werk erfolgt dann durch den Anschluß seitwärts (Bild 2).

Für den Anschluß zum Steuerzylinder sind lötlöse Ermeto-Verschraubungen für nahtloses Rohr von 15 mm Außendurchmesser vorgesehen. Man wähle nahtloses Präzisionsstahlrohr 15×1 mm Durchmesser, bei großen Entfernungen weiter.

Zur Einstellung (Dämpfung) der Regelgeschwindigkeit ist das zu diesem Zweck mitgelieferte Drosselventil in eine der beiden Ölleitungen einzubauen. Drosseln der Impulsleitung ist stets von Nachteil und daher unbedingt zu vermeiden.

Das Steuerwerk Bauart Rm-e wird in den meisten Fällen zur **Gasdruckregelung** nach Druckschrift **R 901** verwendet. Andere Anwendungsgebiete sind in den nachstehend genannten Druckschriften beschrieben:

- z. B. Absaugungsregelung, Umlauf- und Maschinenregelung . . . R 903**
- Feuerregelung . . . . . R 931**

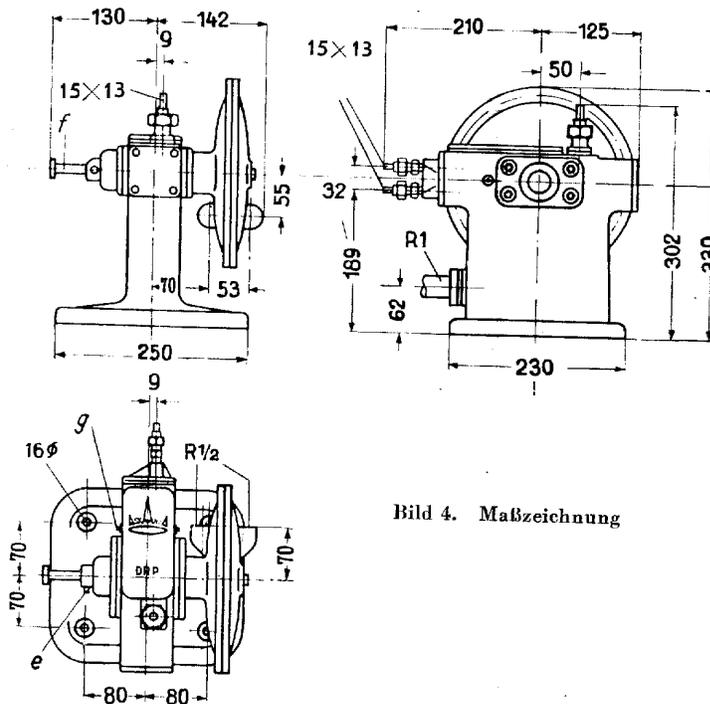


Bild 4. Maßzeichnung



# Steuerwerk Bauart ReStw

## für Druckregelung mit Wellrohr-Meßsystem für direkte Uebertragung

Dieses Steuerwerk wird verwendet für Druckregelungen im Bereich von 0,03 bis 3 atü. Der auf dem Federungskörper lastende Druck wird unmittelbar auf das Strahlrohr übertragen, vgl. Bild 2 (Strahlrohrprinzip s. Druckschrift R 552).

Das Meßsystem ist einfach und kräftig gehalten und in einem gußeisernen Gehäuse untergebracht. Zum Einstellen des gewünschten Druckes dient ein geeichter Einstellschieber, der mit

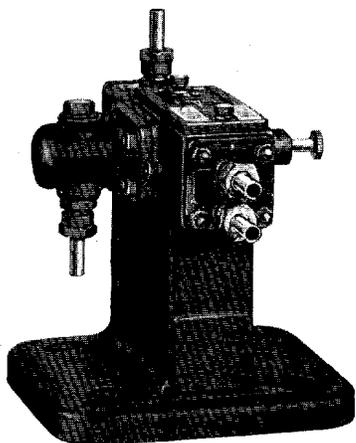


Bild 1. Steuerwerk ReStw, Gewicht ca. 15 kg

dem mitgelieferten Schlüssel auf den gewünschten Wert festgeklemmt werden kann. Einstellsystem auf Wunsch auch mit Gewinde-Feineinstellung oder für fernelektrische Betätigung. Der Meßbereich wird gewöhnlich für eine Verstellung des einzuregelnden Druckwertes zwischen 40 und 100% ausgeführt.

Zwei Druckstifte seitlich vom Strahlrohr erlauben jederzeit von Hand in den Regelvorgang einzugreifen, d. h. durch willkürliche Bewegung des Strahlrohres das Regelorgan zu öffnen oder zu schließen. Diese Druckstifte können auch

feststellbar eingerichtet oder fernbetätigt werden. Der Anschluß an die Impulsstelle erfolgt ähnlich wie bei einem Manometer. Bei Regelung von Dämpfen oder Flüssigkeiten ist die über dem Meßsystem stehende Flüssigkeitssäule bei der Einstellung am Schieber zu berücksichtigen. Liegt der Impulsanschluß tiefer, so ist bei Dampfdruckregelung eine isolierte Leitung 1" bis kurz über das Steuerwerk zu führen und von hier der Anschluß zum Meßsystem abzunehmen. Durch diese Maßnahme werden Luftpolster in der Impulsleitung vermieden. Zur

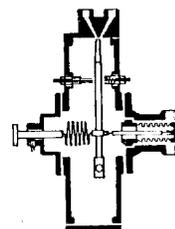


Bild 2. Schema

einwandfreien Entlüftung des Meßsystems ist eine besondere Entlüftungsschraube angebracht, die nur anzulüften, nicht herauszuschrauben ist. Näheres in der besonderen Betriebsvorschrift.

Bei Aufbau des Steuerwerkes auf unsere Steueranlage Bauart 2, Druckschrift R 852, erfolgt der Ölfluß D nach unten durch die Grundplatte (s. Bild 3).

Wird das Steuerwerk von einem Zentral-Pumpwerk (Druckschrift R 853) mit Öl versorgt, so kann der Anschluß auf Wunsch durch den seitwärts angebrachten Anschluß D erfolgen. In die Druckölführung wird dann zweckmäßig ein Absperrventil und ein Manometer eingesetzt. Zur Erzielung besonders hoher Steuergeschwindigkeiten und Verstellkräfte wird das Steuerwerk mit einem Folgekolben ausgerüstet (Druckschrift R 750).



Die Verbindungsleitungen zwischen Steuerwerk und Steuerzylinder sind in Stahl- oder Kupferrohr  $15 \times 1$  mm  $\varnothing$  zu verlegen. Die Steuerwerke haben als Anschlüsse lötlöse Rohrverbinder für  $15 \times 1$  mm Rohr.

Bei fast allen Druckregelungen erübrigt sich eine besondere Rückführung. In besonders ungünstigen Fällen, z. B. bei sehr langen Ferngasleitungen, großen Speicherräumen u. ä., werden mechanische oder hydraulische Rückführungen am Steuerwerk angebracht (Druckschrift R 760, 761, 762).

Zur Einstellung der Regelgeschwindigkeit dient das zu diesem Zweck mitgelieferte Drosselventil, das in eine der beiden Ölleitungen zwischen Steuerwerk und Steuerzylinder einzubauen ist. Drosseln der Impulsleitung oder Druckölzufuhrleitung ist stets von Nachteil und daher unbedingt zu vermeiden.

Die Abmessungen des Steuerwerkes gehen aus dem Bild 3 hervor.

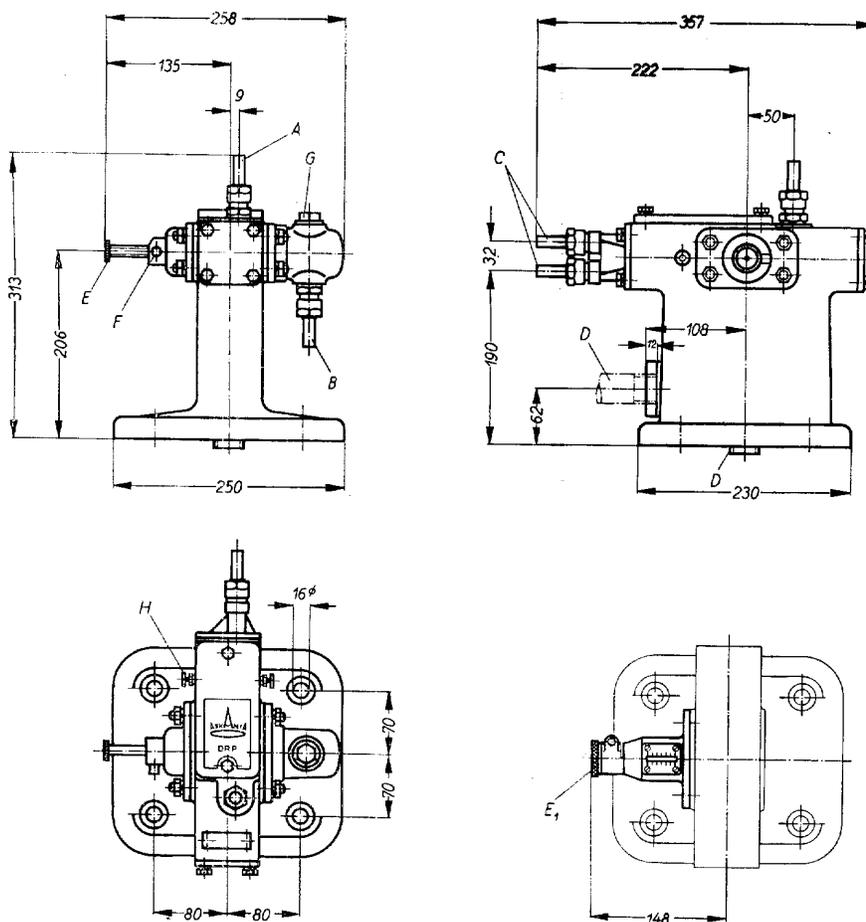


Bild 3. Maßzeichnung

- |  |   |
|--|---|
| A Druckölzuleitung für Rohr $15 \times 1$              | E <sub>1</sub> Einstellwerk mit Feineinstellung |
| B Anstoß-Anschluß für Rohr $15 \times 1$               | F Feststellschraube                             |
| C Anschlüsse zum Steuerzylinder für Rohr $15 \times 1$ | G Verschlussschraube                            |
| D Ölableitung wahlweise Rohranschluß R 1"              | H Umsteuerdruckknopf                            |
| E Einstellwerk mit Schieber                            |   |



# Askania-Steuerwerk ReStb

## für Druckregelung

### Meßsystem mit Röhrenfeder

RESTRICTED

Dieses Steuerwerk mit Röhrenfeder (Bourdonrohr) als Meßsystem wird verwendet für Druckregelung von 2 atü an aufwärts bis zu den höchsten, mit Röhrenfedern überhaupt meßbaren Drücken. Werkstoff (Messing, Nickel, Stahl) und Ausführung

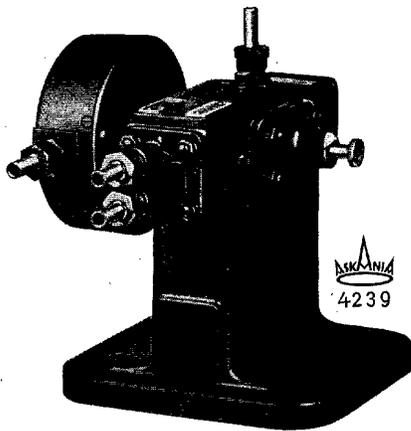


Bild 1. Steuerwerk Re Stb. Gewicht etwa 16 kg

der Röhrenfeder werden je nach Druckhöhe und dem zu regelnden Stoff auf Grund langjähriger Erfahrungen gewählt. Die Genauigkeit der Regelung ist unabhängig von der Charakteristik der Röhrenfedern, denn für größten Ausschlag des Strahlrohres gegen die äußere Kraft der Einstellfeder (über das Strahlrohrprinzip vgl. Druckschrift R 552) beträgt der Hub des freien Endes der Röhrenfeder nur  $\frac{1}{10}$  mm; das ist neben den hervorragenden Eigenschaften des Strahlrohres der Hauptgrund für die hohe Genauigkeit und unbegrenzte Lebensdauer der Askania-Regler und ihre bequeme und feinfühligere Einstellung.

Abb. 1 zeigt die Ansicht des Steuerwerkes. Dieses wird meistens mit dem Ölpumpwerk zu einer Steueranlage Bauart 2 (Druckschrift R 852) zu-

sammgebaut. Der Ölfluß erfolgt hierbei durch die Grundplatte (Anschlüsse siehe Abb. 3).

Zum Einstellen des gewünschten Druckes in sehr weiten Grenzen dient ein geeichter Einstellschieber (auf Wunsch Gewinde-Feineinstellung), der mit dem beigelegten Schlüssel auf jede beliebige Zwischenstellung festgeklemmt wird.

Zwei Druckstifte seitlich vom Strahlrohr erlauben, jederzeit von Hand in den Regelvorgang einzugreifen, d. h. durch willkürliche Bewegung des Strahlrohres das Regelorgan zu öffnen oder zu schließen. Diese Druckstifte können auch feststellbar eingerichtet oder fernbetätigt werden.

Der Anschluß an die Impulsstelle erfolgt genau wie bei einem Manometer. Liegt die Entnahmestelle höher, so verursacht die Wassersäule eine Nullpunktverschiebung. Bei tiefer liegendem Anschluß

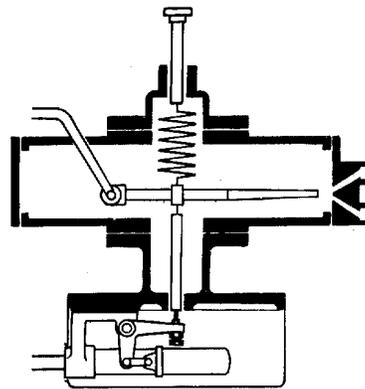


Bild 2. Schema

muß eine isolierte Leitung 1" bis kurz über das Stockwerk geführt werden. Luftpolster dürfen sich in der Impulsleitung nicht bilden. Am Steuerwerk ist ein Manometerkontrollhahn anzubringen, an der Hauptleitung ein Absperrventil.

# ASKANIA-WERKE AG. BERLIN - FRIEDENAU

RESTRICTED



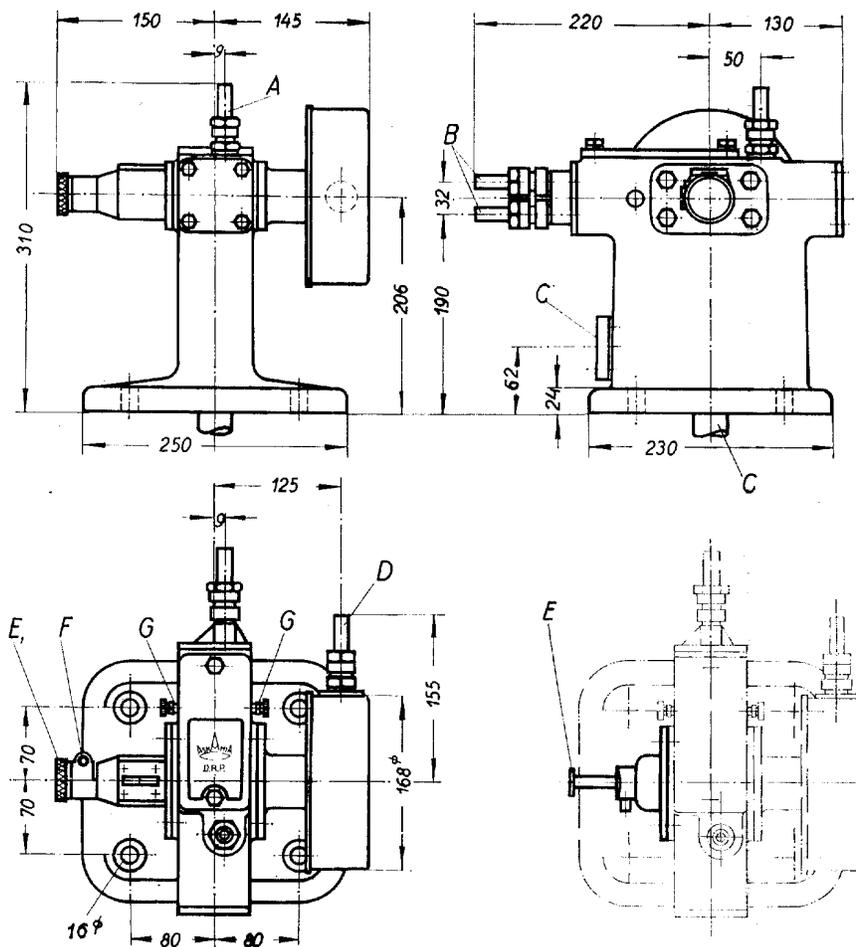
Für die Verbindung von Steuerwerk und Steuerzylinder sind 2 lötlöse Verschraubungen vorhanden. Die Ölleitungen sind in Stahl- oder Kupferrohr  $15 \times 1$  mm  $\varnothing$  zu verlegen. Zur Erzielung besonders hoher Steuergeschwindigkeiten und Verstellkräfte wird das Steuerwerk mit einem Folgekolben ausgerüstet (Druckschrift R 750).

Für fast alle Druckregelungen erübrigt sich eine besondere Rückführung, da sich der Impuls gleichzeitig mit der Verstellung des Regelorgans auswirkt. In besonderen Fällen, wo nennenswerte Verzögerungen zwischen der Verstellung des Regelorgans und der Auswirkung auf den Regelimpuls

auftreten, werden mechanische oder hydraulische Rückführungen angebracht (Druckschriften R 760, 761, 762).

Zur Einstellung der Regelgeschwindigkeit (Dämpfung) dient das zu diesem Zweck mitgelieferte Drosselventil, das in eine der beiden Ölleitungen zwischen Steuerwerk und Steuerzylinder einzubauen ist. Eine Drosselung in der Impulsleitung oder Druckölzufuhrleitung ist nachteilig und unbedingt zu vermeiden.

Das Steuerwerk Bauart Re Stb findet seine größte Anwendung in der Dampf-Druckregelung. Näheres hierüber siehe Druckschrift R 941.



- A Drucköl-Zuleitung für Rohr  $15 \times 1$
- B Anschlüsse zum Steuerzylinder für Rohr  $15 \times 1$
- C Ölableitung wahlweise Rohranschluß R 1"
- D Anstoß-Anschluß für Rohr  $15 \times 1$ . Für höhere Drücke und mechanische Beanspruchungen sind stärkere Impulsleitungen zu verlegen (siehe Einbau- und Betriebsvorschrift REd 1)
- E Einstellwerk  $E_1$  Einstellwerk mit Feineinstellung
- F Feststellung
- G Umsteuerdruckknopf

Bild 3. Maßzeichnung

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

RESTRICTED



# Askania-Steuerwerk Rm-m

## für die Regelung eines Mengenverhältnisses Meßsysteme mit Ledermembranen

Das Steuerwerk Rm-m dient zur Regelung zweier Mengen auf ein konstantes Verhältnis (Beschreibung der Arbeitsweise in Druckschrift R 921). Die Erfassung der beiden Mengen geschieht durch zwei Meßsysteme, die durch Differenzdrücke (Mengen) beaufschlagt werden. Die von den Differenzdrücken ausgeübten Kräfte wirken über ein einstellbares Hebel-

Füllvolumen ist für die Abmessungen der Impulsleitungen maßgebend ( $\frac{1}{2}$  oder  $\frac{3}{4}$ ""). Die Ausführung der Membranen wird den auftretenden Differenzdrücken (und der verlangten Empfindlichkeit) angepaßt.

Bild 1 zeigt die Ansicht des Steuerwerkes mit der Druckölauführungsleitung, wie sie beim Aufbau des Steuerwerkes auf Sockel 1 (Druck-

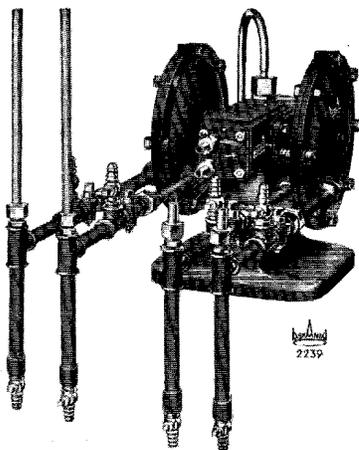


Bild 1. Steuerwerk Rm-m zum Aufbau auf Sockel, mit Impulsanschlüssen und Ölzuführung. Gew. etwa 28 kg.  $\frac{1}{7}$  nat. Größe.

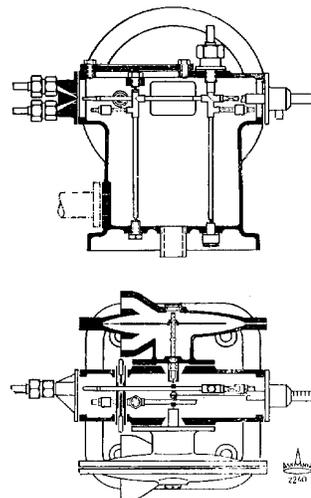


Bild 2. Steuerwerk Rm-m im Schnitt.

verhältnis (s. Bild 2) auf das Strahlrohr ein. Wird das vorgeschriebene Mengenverhältnis gestört, so dreht sich das Strahlrohr aus der Mittellage (Gleichgewicht) und leitet die Korrektursteuerung ein.

Die Meßsysteme erhalten Ledermembranen, die auch noch auf Differenzdrücke unter  $\frac{1}{5}$  mm WS ansprechen. Dabei ist die Ausführung der Membranhäuser statischen Drücken von rund 1000 mm WS angepaßt. Die Membranen haben zwar eine große wirksame Fläche, infolge der sehr geringen Strahlrohrwege (Bild 2) aber ein sehr kleines Füllvolumen. Das

schrift R 851) oder Sockel 2 (Druckschrift R 852) verlegt wird. (Die Zusammenfassung von Steuerwerk und Ölpumpenanlage in einer Steueranlage 1 oder 2 ist die übliche Ausführung). Der Ölfluß erfolgt durch die Grundplatte des Sockels. Im Längsschnitt des Steuerwerkes (Bild 2) ist der Abfluß unten zu erkennen.

Die zur Mengenerfassung von Gasen oder Luft üblichen Differenzdrücke übersteigen selten 50 mm WS. Der festklemmbare, geeichte Verhältnisschieber, mit dem das Mengenverhältnis nach Wunsch (zwischen 1 : 0,5 bis 1 : 1,8) ge-

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

RESTRICTED



ändert werden kann, ist u. a. im Bild 2 rechts zu sehen (Einstellung auf Wunsch auch mit Handrad oder fernelektrisch).

2 Druckstifte zu beiden Seiten des Strahlrohres (Bild 2) gestatten jederzeit das Strahlrohr zu bewegen, das Regelorgan zu öffnen oder zu

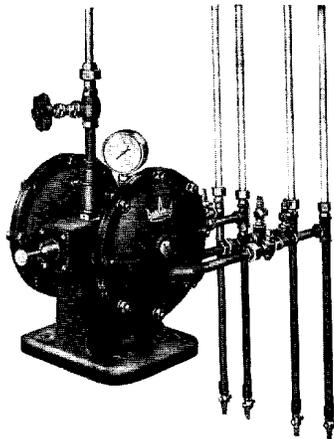


Bild 3. Steuerwerk mit Anschluß zum Betrieb von einem zentral aufgestellten Ölpumpwerk.

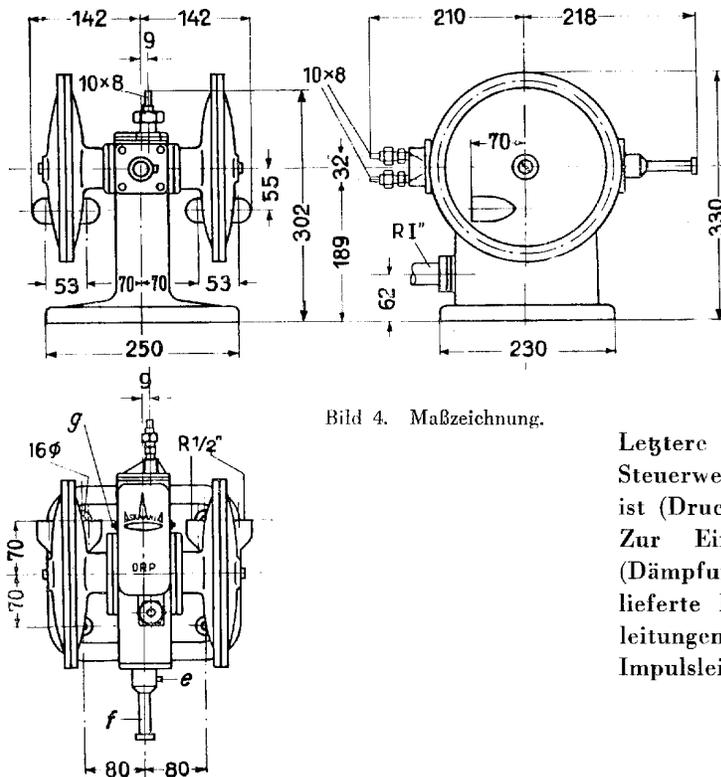


Bild 4. Maßzeichnung.

schließen. 2 Schildchen weisen darauf hin. Die Druckknöpfe können auch feststellbar eingerichtet oder fernbetätigt werden.

Das Steuerwerk wird auf Wunsch mit den abgebildeten Impulsanschlüssen (verschiedene Lichtweiten!) geliefert. Jeder Impulsanschluß enthält außer den Verschraubungen:

- 1 Absperrhahn
- 1 Prüfhahn mit Schlauchnippel
- 1 Wassersack

Wenn der Anschluß jedoch an Ort und Stelle ausgeführt wird, sollte die Ausführung zweckmäßigerweise wie abgebildet erfolgen, um von vornherein störungsfreien Dauerbetrieb zu gewährleisten. Auf jeden Fall müssen aber die Leitungen so verlegt werden, daß sich keine Wassersäcke bilden können, also mit Gefälle.

Wenn das Steuerwerk von einem Zentralpumpwerk (Druckschrift R 853) mit Öl versorgt werden soll, erfolgt der Anschluß nach nebenstehendem Bild 3, das auch Manometer und Absperrventil zeigt. Der Ölabfluß zum Pumpwerk erfolgt dann durch den Anschluß seitwärts Bild 2.

Für die Verbindung des Steuerwerkes mit dem Steuerzylinder sind 2 Lötnippel  $8 \times 10$  mm  $\varnothing$  vorgesehen (Anschlußschema in Druckschrift R 921). Die Ölleitungen sollen möglichst in (in Preis und Verlegung vorteilhaftem) Kupferrohr von mindestens  $10 \times 12$  mm  $\varnothing$  verlegt werden (bei Gasrohr Zundergefahr). Bei Entfernungen über 25 m sollen die Leitungen  $13 \times 15$  mm  $\varnothing$  haben.

Letztere Abmessungen gelten auch, wenn das Steuerwerk mit einem Folgekolben ausgerüstet ist (Druckschrift R 750).

Zur Einstellung der Regelgeschwindigkeit (Dämpfung) kann das zu diesem Zweck mitgelieferte Drosselventil in eine der beiden Ölleitungen eingebaut werden. Drosseln in der Impulsleitung ist stets von Nachteil.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

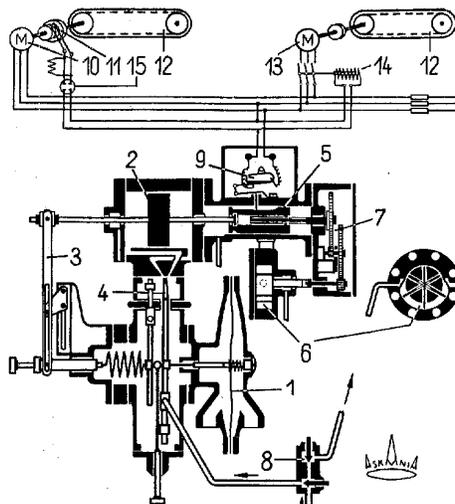


# Steuerwerk Rm-s für Schaltreglung (Brennstoff)

RESTRICTED

Die selbsttätige Regelung der Brennstoffzufuhr nach Maßgabe der Dampfbelastung ist eine der wichtigsten Aufgaben der Kessel-Automatik. Bei Rostfeuerungen ist unter Voraussetzung gleichbleibender Schütthöhe und Brennstoffgüte die Vorschubgeschwindigkeit des Rostes ein Maß für die zugeführte Brennstoffmenge.

einrichtung steigende Bedeutung, die es ermöglicht, den vorhandenen Rostantrieb, der heute noch größtenteils aus nicht regelbaren Drehstrommotoren besteht, ohne den Einbau neuer Getriebe beizubehalten und die Anschaffungskosten für die Regleranlage weitgehend zu vermindern. Mit der neuartigen Regeleinrichtung



1. Membransystem
2. Steuerkolben
3. Rückführgestänge
4. Strahlrohr
5. Nockenwalze
6. Ölmotor
7. Zahnradgetriebe
8. Nadelventil
9. Quecksilberrelais
10. Rostmotor
11. elektr. Kupplung
12. Rost
13. Rostmotor
14. Fernschalter
15. Gleichrichter

Abb. 1. Schema des Steuerwerkes Rm-s mit elektromagnetischer Kupplung (11) und Fernschalter (14), in Parallelschaltung.

Die Mehrzahl beweglicher Roste besitzt heute noch Stufengetriebe, mit denen 4 bis 8 Vorschubgeschwindigkeiten eingestellt werden können. Für die selbsttätige Feuerreglung genügt diese Unterteilung nicht. Die Vorschubgeschwindigkeit muß vielmehr stetig und stufenlos zwischen Null und einem Höchstwert regelbar sein.

Regelbare Motoren, Leonardantrieb, Reibrad- und Flüssigkeitsgetriebe erfüllen diese Forderung; daneben gewinnt auch unsere neue Regel-

wird die Vorschubgeschwindigkeit des Rostes von Null bis zu einem Höchstwert stetig und feinstufig geändert.

Bei der Entwicklung dieses Reglers war die Überlegung maßgebend, daß es in der Wirkung auf dasselbe hinauskommt, wenn ein Wanderrost im Verlauf von beispielsweise einer halben Stunde in ununterbrochener Bewegung 1 m vorgeschoben oder wenn diese Bewegung in etwa 30 Phasen unterteilt wird, wobei der Rost in einem bestimmten Teil jeder Phase stillsteht

RESTRICTED

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



und im anderen Teil mit gleichbleibender Geschwindigkeit vorwärtsbewegt wird. Es mußte also eine Einrichtung geschaffen werden, die in gewünschter Abhängigkeit vom Dampfbedarf oder einem anderen Regelwert das Verhältnis von Lauf- zu Stillstandszeit von Null bis Unendlich verändert, so daß alle Abstufungen der Vorschubgeschwindigkeit möglich sind. Die Abb. 1 zeigt die Lösung dieser Aufgabe.

Der Strahlrohrregler erhält seinen Regelimpuls von der am Membransystem 1 gemessenen Luftmenge, die nach Maßgabe des Dampfbedarfes entweder durch einen zweiten Regler oder von Hand gesteuert wird. An Stelle der Verbrennungsluft kann auch die Meßgröße für den Dampfbedarf unmittelbar auf den Regler zur Einwirkung gebracht werden. In diesem Falle wird die Ledermembran 1 durch ein Wellrohrsystem nach Druckschrift R 623 ersetzt. Das Steuerwerk führt dann die Bezeichnung Rw-s.

Steigt die dem Kessel zugeführte Luftmenge, d. h. der auf die Membran 1 wirkende Differenzdruck der Rauchgase, so wird das Strahlrohr 4 nach links bewegt. Es steuert den Kolben 2 ebenfalls so weit nach links, bis die über das Rückführgestänge 3 gespannte Einstellfeder der Membrankraft das Gleichgewicht hält. Da der Differenzdruck an der Membran quadratisch mit der Luftmenge steigt, weist auch der angesteuerte Kolbenweg eine quadratische Abhängigkeit von der Luftmenge auf. Mit dem Kolben 2 ist die Nockenwalze 5 verbunden. Diese wird von dem Ölmotor 6 über das Zahnradgetriebe 7 mit einer Drehzahl von etwa einer Umdrehung pro Minute angetrieben. Die Übersetzung am Zahnradgetriebe beträgt etwa 60 : 1, d. h. der Ölmotor wird auf 60 Umdrehungen/Min. eingestellt, wenn sich die Nockenwalze mit einer Umdrehung je Minute bewegen soll. Die dem Ölmotor zugeführte Ölmenge kann zur Regelung der Motordrehzahl an dem Nadelventil 8 eingestellt werden. Die unvermeidlichen Drehzahlschwankungen des Ölmotors sind für die einwandfreie Wirkung des Reglers belanglos, weil bei einer bestimmten Stellung der Nocke das Verhältnis von Stillstandszeit zu Laufzeit immer

das gleiche bleibt, unabhängig davon, ob sich die Nocke z. B. in 50 oder 70 Sekunden einmal herumdreht.

Aus der Stellung der Nockenwalze, die ein längs der Achse sich stetig änderndes Profil trägt, ergibt sich die Schaltzeit für die als Quecksilberrelais ausgebildete Kontaktvorrichtung 9. Das Verhältnis der Laufzeit zur Stillstandszeit kann

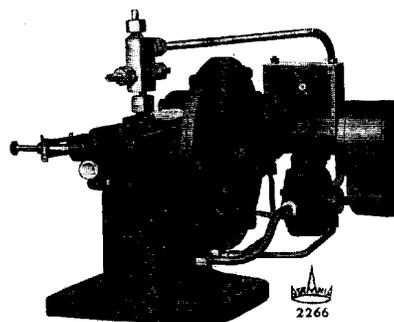


Abb. 2. Ansicht des Steuerwerkes Rm-s.

Membransystem (1) mit 2 Impulsanschlüssen, auf dem Steuerwerk Ölzuführung mit 2 Drosselventilen (8), rechts unten Ölmotor (6), darüber Nockenwalze (5) und Quecksilberschaltröhre (9), daneben Getriebe (7), links am Gehäuse Rückführgestänge (3).  $\frac{1}{10}$  natürlicher Größe. Gewicht etwa 35 kg. (Die Ziffern beziehen sich auf Abb. 1.)

durch Längsverschieben der Schaltwalze von Null bis Unendlich verändert werden, so daß alle Abstufungen der Rostgeschwindigkeit möglich sind. Da die Nockenabwicklung die Form einer Hyperbel trägt, wird erreicht, daß trotz der quadratischen Wegcharakteristik der Nockenwalze das Verhältnis von Lauf- zu Stillstandszeit linear zur Luftmenge verläuft.

Die Kontaktvorrichtung 9 steuert eine zwischen Elektromotor 10 und Rostgetriebe 12 eingesetzte elektromagnetische Kupplung 11. Den für den Betrieb der Kupplung erforderlichen Gleichstrom von 110 V liefert ein Trockengleichrichter 15. Obwohl der Rostmotor dauernd mit gleichbleibender Drehzahl läuft, erfolgt also der Rostvorschub nur in der Zeit, in welcher der Regler die elektromagnetische Kupplung schließt.

Noch einfacher ist es, in den Steuerstromkreis einen dreipoligen Fernschalter 14 zu legen, der

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN - FRIEDENAU**

RESTRICTED

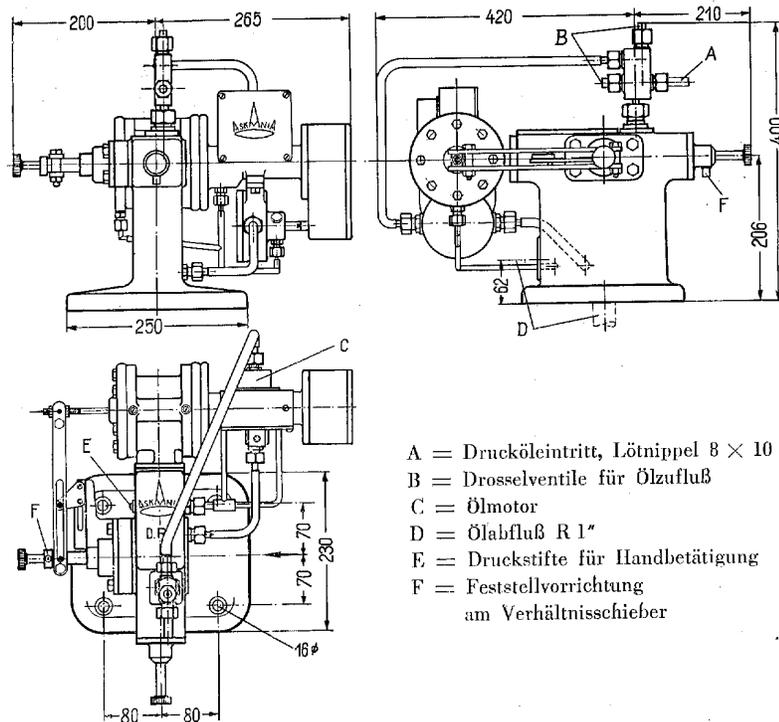


den Drehstrommotor 13 selbsttätig ein- und ausschaltet. Bei dem heutigen Stand im Bau geeigneter Relais und Elektromotoren liegt hierin keinerlei Schwierigkeit mehr, wie es das jahrelang einwandfreie Arbeiten ähnlicher Anlagen beweist. Kurzschlußläufermotoren bis zu 5 kW Einzellast können ohne Bedenken unmittelbar ein- und ausgeschaltet werden.

Unabhängig vom Regler kann das Quecksilberrelais unmittelbar von Hand ein- oder ausgeschaltet werden. Außerdem kann der Stromkreis über besondere Schalter von beliebiger Stelle aus ein- oder ausgeschaltet werden, um jederzeit in den Regelvorgang einzugreifen.

Die Abb. 3 enthält die Abmessungen des Steuerwerkes. Über seine Anwendung im Rahmen der verschiedenen Reglerschaltungen für Dampfkessel berichtet unsere Druckschrift R 931.

Die Erfahrungen mit diesem Regler haben gezeigt, daß im Verhalten der Feuerung kein Unterschied zwischen der Schaltregelung und dem ununterbrochenen Rostvorschub feststellbar ist. Auch irgendeine stärkere Beanspruchung der Rostbahnen und Antriebs Elemente ist nicht vorhanden. Das war auch nicht anders zu erwarten, da die Roststillstände viel zu kurz sind, um im Verbrennungsvorgang merkbar zu werden.



- A = Drucköleintritt, Lötnippel 8 × 10 ∅
- B = Drosselventile für Ölzufluß
- C = Ölmotor
- D = Ölabfluß R 1"
- E = Druckstifte für Handbetätigung
- F = Feststellvorrichtung am Verhältnisschieber

Abb. 3. Maßzeichnung

Je nach Regelimpuls kann das Steuerwerk als Meßsystem erhalten: Membransystem nach R 601, zum Anschluß an den Differenzdruck der Rauchgase oder zum Anschluß an den Kommandoluftdruck. Wellrohrsystem nach R 623 zum Anschluß an den Dampfdruck.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



# Regler-Rückführungen

Diese Druckschrift soll in einfachster Form den Zweck von Rückführungen erläutern und die vielen Möglichkeiten zeigen, wie eine brauchbare Rückführung bei Askania-Reglern angebracht werden kann. Die wichtigsten Arten der Rückführungen werden in Einzel-Druckschriften gesondert behandelt (siehe Schluß).

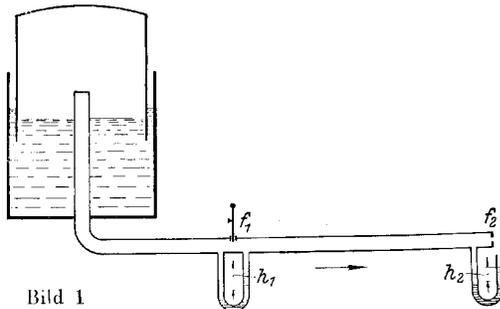


Bild 1

Einer Gasleitung (Bild 1) wird aus einem Vorratsbehälter Gas unter gleichbleibendem Vor-  
druck zugeführt. Der Druck zwischen dem  
regelbaren Querschnitt  $f_1$  und dem gleich-  
bleibenden Auslaßquerschnitt  $f_2$  soll durch einen  
Regler gleichgehalten werden. Steigt der Druck  
zwischen  $f_1$  und  $f_2$  um den Wert  $\varphi$ , so ist  $\varphi'$   
 $= \frac{d\varphi}{dt}$  die Geschwindigkeit, mit der sich der  
Druck ändert und  $\varphi'' = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$  die Änderungs-  
geschwindigkeit pro Sekunde (Beschleunigung).  
Die Differentialgleichung der Regelung läßt sich  
allgemein in der Form schreiben:

$$\varphi'' + a\varphi' + b\varphi = 0.$$

Der Faktor  $a$  ist für die Dämpfung des Schwin-  
gungsvorganges ausschlaggebend. Steigt z. B.  
aus irgendeinem Grunde zwischen  $f_1$  und  $f_2$  der  
Druck, so wird dies sofort durch Verminderung

des Druckgefälles  $b_1$  bei  $f_1$  und Erhöhung des  
Gefälles  $b_2$  bei  $f_2$  Rückwirkungen auf die Zu-  
fluß- und Abflußmenge auslösen. Es tritt also  
bei geringerem Zufluß und erhöhtem Abfluß  
ein gewisser natürlicher Ausgleich, die soge-  
nannte Eigendämpfung, auf. Ist diese nicht aus-  
reichend ( $a < 0$ ), so muß durch besondere Hilfs-  
mittel ein Wert für die Änderungsgeschwindig-  
keit des Regelwertes gewonnen und in die Re-  
gelung eingeführt werden (Rückführung). (Diese  
Zusammenhänge sind erschöpfend in dem Buch:  
Wünsch, „Regler für Druck und Menge“, Verlag  
Oldenbourg 1930, behandelt.)

Die Stellung des Schiebers bei  $f_1$  ist z. B. ein  
Maß für die Änderungsgeschwindigkeit, denn der  
Druck zwischen  $f_1$  und  $f_2$  wird sich verschieden  
schnell ändern, wenn der Schieber  $f_1$  plötzlich  
20% oder um 50% mehr geöffnet wird.

Unter Rückführung versteht man also im all-  
gemeinen eine mittelbare oder unmittelbare  
Verbindung zwischen Verstellmotor und dem  
Impulssystem in der Art, daß die Höhe des  
Regelwertes von der Stellung des Kraftgetriebes  
abhängig wird. Die dadurch bedingte Änderung  
des Regelwertes mit der Belastung nennt man  
Ungleichförmigkeit des Reglers. Diese Ungleich-  
förmigkeit bewegt sich in Abweichungen vom  
Sollwert (Druck, Temperatur, Drehzahl . . . )  
um ca. 1—5%.

In Bild 2 ist in einem Regeldiagramm diese  
Abweichung des geregelten Wertes von der  
Belastung gekennzeichnet. Die Kurve „ $b_2$ “ ist  
der geregelte Wert, während „ $m$ “ die Stellung  
des Regelorganes angibt. Die Ungleichförmig-  
keit ist zur Verdeutlichung des Einflusses in  
diesem Fall besonders groß gewählt ( $\vartheta = 20\%$ );  
praktisch bewegt sich die Ungleichförmigkeit  
in den oben angegebenen Grenzen.

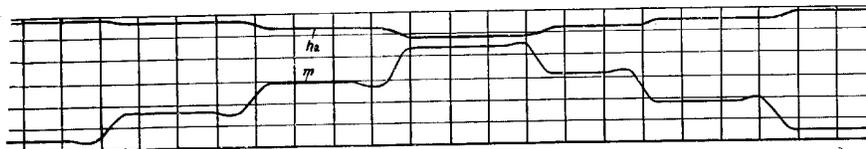


Bild 2

RESTRICTED

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



Die Rückführung wird beim Askania-Strahlrohrregler im allgemeinen so ausgeführt, daß durch Übertragung der Bewegung des Verstellmotors auf das Einstellsystem die Spannung der Einstellfeder verändert wird; schematisch ist die Wirkungsweise der Rückführung in Bild 3 dargestellt.

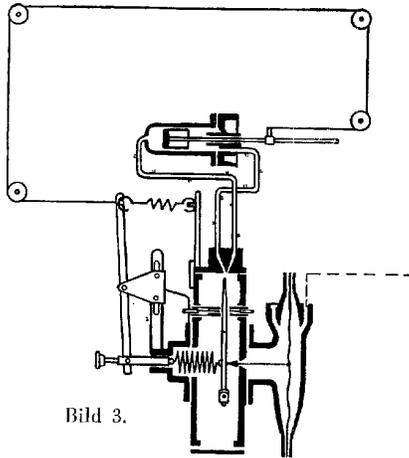


Bild 3.

Wird z. B. durch erhöhten Druck auf die Außenseite der Membran das Strahlrohr nach links gedrückt, so bewegt sich der Steuerkolben ebenfalls nach links und das mit der Kolbenstange verbundene Drahtseil oder Stahlband zieht den am Steuerwerk angebrachten Hebel so, daß die Einstellfeder gespannt wird. Jeder Stellung des Steuerkolbens entspricht also eine andere Einstellfederspannung und damit ein bestimmter Regelwert. Der Unterschied des Regelwertes, bei den Endstellungen des Steuerkolbens, bezogen auf die Höhe des Regelwertes bei Nulllast, ist die Ungleichförmigkeit. Ist der Regelwert bei Nulllast z. B. 100 mm WS, bei Maximallast 96 mm WS, so ist die Ungleichförmigkeit  $\vartheta = \frac{4}{100} = 4\%$ . Die Übersetzung des Steuerkolbenhubes, der zwischen 40 und 400 mm beträgt, auf die Einstellfeder erfolgt zum größten Teil durch einen Hebel mit Schneckengewinde, wie aus Bild 6 zu ersehen ist. Näheres hierüber vgl. Druckschrift R 761.

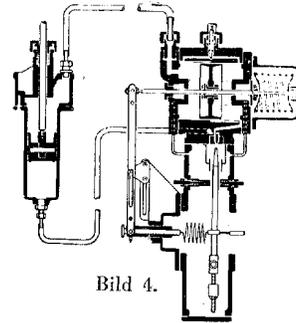


Bild 4.

Die Übertragung der Steuerkolbenbewegung erfolgt im allgemeinen linear auf das Einstellsystem. In besonderen Fällen, in denen eine kurvenmäßige Abhängigkeit der Rückführung erforderlich ist, läßt sich dies durch Verwendung von Kurvenscheiben erreichen.

Bei Anlagen, bei denen eine Ungleichförmigkeit nicht erwünscht ist, eine stabile Regelung jedoch nur durch Rückführung zu erzielen ist, wird eine hydraulische Gleichwertrückführung angewendet. Die Arbeitsweise geht aus der schematischen Darstellung in Bild 4 hervor.

Wird das Strahlrohr z. B. nach links abgelenkt, so geht der Rückführkolben ebenfalls nach links und spannt durch den Rückführhebel die Einstellfeder. Der Rückführkolben ist direkt in den Stromkreis zum Steuerzylinder eingeschaltet; er muß also zwangsläufig, je nach dem Volumenverhältnis vom Steuerzylinder zum Rückführzylinder zunächst jede Regelbewegung mitmachen. Die Wirkung ist also die gleiche, wie bei der sogenannten starren Rückführung. Der Rückführkolben wird durch die rechts angeordnete Feder in einer durch eine Überlaufschraube einstellbaren Zeit wieder in seine Mittelstellung zurückgeholt, so daß nach Beendigung eines Regelvorganges, unabhängig von der Belastung, immer derselbe Regelwert eingestellt ist. In dem Diagramm Bild 5 ist „ $b_2$ “ der Regelwert und „ $m$ “ die Stellung des Regelorganes.

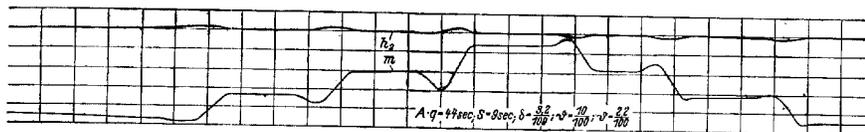


Bild 5.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



Die Ausführungen der Rückführung sind nicht an diese beiden Arten gebunden. Je nach

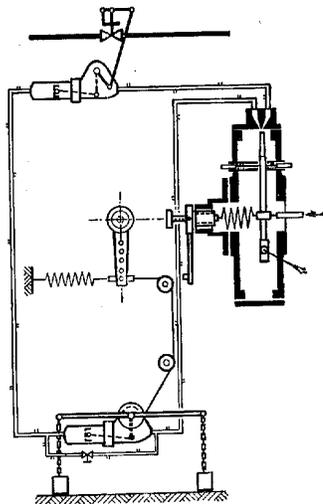


Bild 6.

den Verhältnissen werden zweckentsprechende Übertragungen, mechanisch oder hydraulisch-mechanisch, angewandt. Z. B. kann bei großen Entfernungen zwischen Steuerzylinder und Steuerwerk ein zweiter Steuerzylinder in eine Verbindungsleitung eingeschaltet werden, der mit dem eigentlichen Verstellzylinder parallel arbeitet, so daß der Rückführschub von dem zwischengeschalteten in der Nähe des Steuerwerks befindlichen Zylinder abgenommen werden kann.

Der Rückführzylinder kann nun nach Art der starren Rückführung eine bleibende Ungleichförmigkeit erzeugen oder an dem Steuerzylinder wird ein einstellbarer Überlauf und eine Rückholvorrichtung vorgesehen, so daß nur eine vorübergehende Ungleichförmigkeit auftritt. In

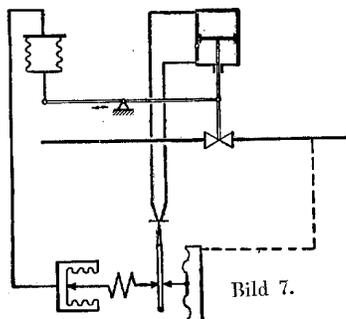


Bild 7.

Bild 6 ist das Schema einer Regelung mit einem solchen zwischengeschalteten Rückführzylinder mit Überlauf und Gewichten als Rückholvorrichtung dargestellt.

Die Gewichte sind so an einem doppelarmigen Hebel auf der Drehachse des Steuerzylinders aufgehängt, daß sie in der Mittelstellung des Kolbens beide gleichzeitig auf den Unterstützungspunkten zur Auflage kommen.

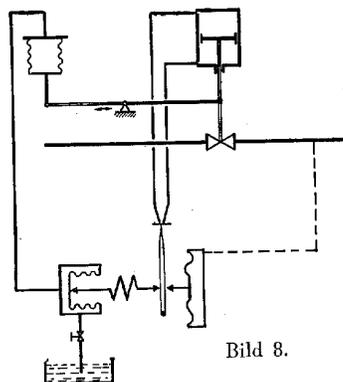


Bild 8.

Wird durch Auslenkung des Strahlrohres ein Regelvorgang eingeleitet, so wird bei der Bewegung des Rückführkolbens das eine Gewicht mit angehoben. Durch die Bewegung wird die Rückführwirkung auf das Impulssystem bzw. Federeinstellsystem in der aus dem Bild 6 ersichtlichen Weise ausgeübt. Durch die einseitige Gewichtsbelastung strebt der Rückführkolben wieder seiner Mittelstellung zu, indem durch den Überlauf ein Ölaustausch der beiden Steuerzylinderseiten stattfindet. Nach Beendigung des Regelvorganges ist der Rückführkolben unabhängig von der Stellung des eigentlichen Steuerkolbens in seiner Mittelstellung, so daß der eingestellte Regelwert bei allen Belastungen derselbe ist.

Eine weitere Möglichkeit der Übertragung der Bewegung des Kraftbetriebes auf das Impulssystem beruht auf der Verwendung von gas- oder flüssigkeitsgefüllten Membrandosen. In den Bildern 7 und 8 ist schematisch die Wirkungsweise dieser Art Rückführung dargestellt, im Bild 7 als starre, im Bild 8 als nachgiebige Rückführung. Bei der Ausführung nach Bild 7 wird durch einen Hebel die Bewegung des Steuerkolbens auf eine Membrandose über-

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

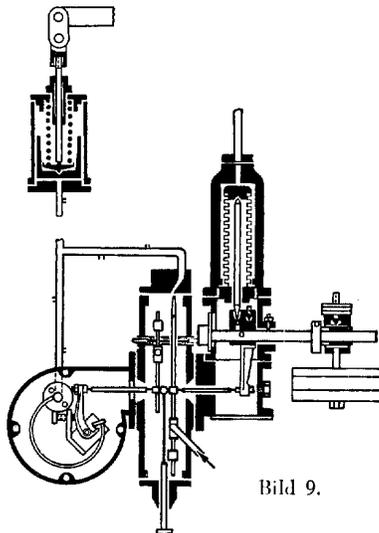


Bild 9.

tragen. Der Innenraum dieser z. B. mit Öl gefüllten Dose steht mit dem Innenraum einer zweiten Dose, die mit der Einstellfeder des Steuerwerkes gekuppelt ist, durch eine Rohrleitung in Verbindung. Die Volumenänderungen der ersten Dose beim Arbeiten des Steuerkolbens werden von der zweiten Dose aufgenommen, so daß zwangsläufig zu jeder Steuerkolbenstellung eine bestimmte Stellung der beiden Dosen und damit eine bestimmte Einstellfederspannung gehört.

Bei der Ausführung nach Bild 8 ist die zweite Dose mit einem einstellbaren Überlauf ausgebildet, dessen Ausfluß bei Flüssigkeitsfüllung in einen kleinen Flüssigkeitsbehälter mündet. Der Überlauf wird so eingestellt, daß bei den durch die Steuerkolbenbewegungen bedingten Volumenänderungen der ersten Dose die zweite Dose die Volumenänderungen zunächst aufnimmt und die Einstellfederspannung verändert; durch den Überlauf tritt aber allmählich in der zweiten Dose ein Ausgleich ein, so daß die zweite Dose wieder in ihre neutrale Stellung zurückgeht. Im Gleichgewichtszustand ist der eingestellte Regelwert unabhängig von der Stellung des Steuerkolbens und der ersten Membrandose immer der gleiche; die Rückführung arbeitet also ohne bleibende Ungleichförmigkeit.

Eine Rückführung bei Reglern, die einseitig durch Federn belastete Kolben steuern, läßt

sich in der durch Bild 9 gekennzeichneten Weise ausführen.

Dadurch, daß zur Erzielung verschiedener Steuerdrücke verschiedene Strahlrohrstellungen gehören, ist bereits eine der Eigencharakteristik des Meßsystems evtl. zuzüglich der Gegenfedercharakteristik entsprechende Ungleichförmigkeit bedingt. Diese Ungleichförmigkeit ist jedoch in den meisten Fällen so minimal, daß sie als stabilisierendes Moment für einen Regelvorgang nicht ausreicht. Zur Vergrößerung der Ungleichförmigkeit wird daher eine der Steuerdruckhöhe proportionale Kraft durch Anschluß einer Röhrenfeder an den Steuerdruck auf das Impulssystem zur Einwirkung gebracht. Wird z. B. der Impulsdruck in Bild 9 niedriger, so geht das Strahlrohr mehr vor die Öffnung der Steuerrolleitung nach links, der Steuerdruck steigt und damit auch die entgegen der Impulskraft wirkende Kraft der Röhrenfeder, so daß die zur Erreichung eines bestimmten Steuerdruckes erforderliche Impulsverminderung von der Kraft der Röhrenfeder abhängig wird. Durch Verstellung eines Zwischengliedes, des sogenannten Verhältnisschiebers, läßt sich die Ungleichförmigkeit in bestimmten Grenzen verändern.

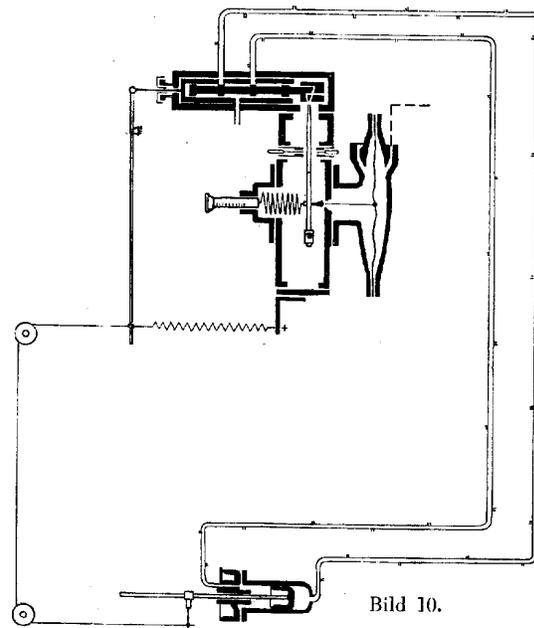


Bild 10.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

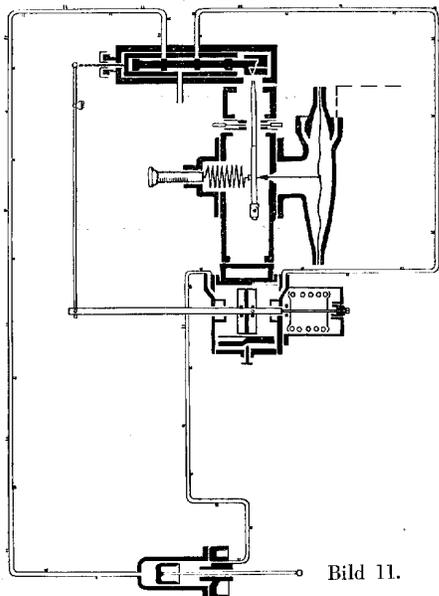


Bild 11.

Die bisher erwähnten Arten der Rückführung gehören zu den sogenannten **Kraftrückführungen**, d. h. der Gleichgewichtszustand des Impulssystems mit dem Einstellsystem wurde durch Veränderung der Einstellfederspannung in Abhängigkeit vom Steuerkolbenhub verändert. Ohne direkte Beeinflussung des Impulssystems arbeitet dagegen die sogenannte **Stellungsrückführung**, die vielfach bei Kraftmaschinenregelungen verwendet wird. Bild 10 zeigt eine starre, Bild 11 eine nachgiebige Rückführung.

In Bild 10 ist ein Druckreglersteuerwerk mit dem sogenannten Folgekolben (vgl. Druckschrift R 750) dargestellt, durch das ein Kraftkolben zur Betätigung des Regelorgans gesteuert wird. Die Stellung der Buchse des Folgekolbens, in der der eigentliche Steuerschieber läuft, ist von der Stellung des Kraftkolbens durch mechanische Verbindung, Seilzug oder Hebelgestänge abhängig gemacht. Da Steuerschieber und Strahlrohr hydraulisch gekuppelt sind, gehört im Gleichgewichtszustand zu jeder Kraftkolbenstellung eine andere Strahlrohrstellung und damit ein vom Nennwert je nach Eigencharakteristik des Meßsystems und Stärke der Gegenfeder abweichender Regelwert. Die auf diese Art zu erzielende Ungleichförmigkeit ist

durch den zulässigen Hub des Impulssystems begrenzt.

In dem im Bild 11 angegebenen Schema wird die Nachgiebigkeit der Rückführung durch Verwendung des hydraulischen Rückführkolbens (vgl. Bild 4) erreicht. Die Buchse des Folgeschiebers ist durch Gestänge mit dem Rückführkolben verbunden. Beim Regelvorgang wird der zwischen Folgekolben und Steuerkolben geschaltete Rückführkolben aus seiner Mittelstellung gebracht und verändert die Stellung der Folgeschieberbuchse. Die Rückführwirkung ist also die gleiche, wie bei der starren Verbindung zwischen Steuerkolben und Schieberbuchse im Bild 10. Durch den Überlauf am Rückführkolben ist die Zeit einstellbar, innerhalb der der Rückführkolben und damit auch die Schieberbuchse durch die Rückholfeder des Rückführkolbens wieder in ihre Mittelstellung gelangen. Nach Beendigung des Regelvorganges ist also der Regler, unabhängig von der Stellung des Kraftkolbens, immer bei demselben Regelwert im Gleichgewicht; die durch die Schieberbuchsenverstellung bedingte Ungleichförmigkeit ist nur vorübergehend.

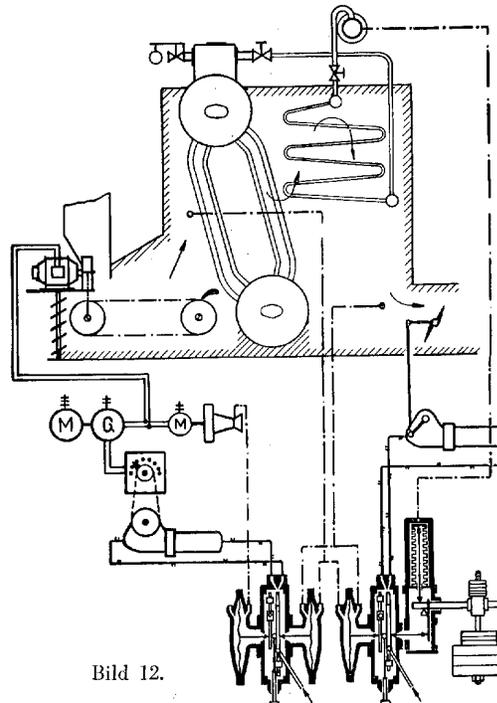


Bild 12.

RESTRICTED

ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU



Statt der mechanischen Übertragung der Stellung des Kraftkolbens auf ein Einstellsystem wird bei den sogenannten Verhältnisreglern, die zu einer bestimmten Meßgröße einen zweiten zugeordneten Wert steuern, die **Rückführung durch ein zweites Meßsystem** ausgeübt. Es wird damit erreicht, daß Ungenauigkeit zwischenliegender Steuereinrichtungen ausgeschaltet sind. Zeigt der Impuls wert z. B. quadratische Charakteristik, so ist dafür Sorge zu tragen, daß auch der Rückführmeßwert eine entsprechende Charakteristik hat. In Bild 12 ist bei einem Wanderrostkessel die Regelung der Verbrennungsluftmenge nach dem Druckabfall in der Dampfsammelleitung, der quadratischen Charakter hat, schematisch dargestellt.

Die Kohlenmenge wird wiederum nach der Verbrennungsluftmenge geregelt, wobei der als Rückführmeßwert für das Verbrennungsluftsteuerwerk benutzte Differenzdruck der Rauchgase mit quadratischer Charakteristik gleichzeitig als Impulsmeßwert für das Kohlensteuerwerk verwendet wird. Die Rückführung am Kohlensteuerwerk erfolgt durch ein Membransystem, das seinen Meßdruck von einem an der geregelten Spannung des Leonard-Aggregates liegenden, besonderen Meßgebläse erhält. Da der Unterdruck im Saugstutzen des Meßgebläses quadratisch abhängig von der Drehzahl ist, so ist der Forderung nach gleicher Charakteristik des Impuls- und des Rückführmeßwertes entsprochen.

Bei Regelung elektrischer oder in elektrische Werte umgewandelter Druck- oder Temperaturmeßwerte kann die erforderliche **Rückführung** außer nach den mechanischen oder hydraulischen Ausführungsarten auch rein elektrisch ausgebildet werden. Bild 13 zeigt ein Beispiel,

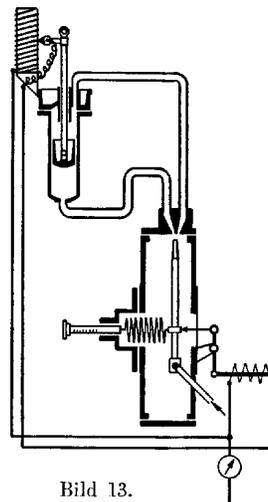


Bild 13.

in dem parallel zu der Spule des Magnetsystems ein Nebenwiderstand geschaltet ist. Ändert sich der Regelwert im Spulenkreis, so wird das Strahlrohr entsprechend aus der Mittelstellung abgelenkt; während des Hubes des Steuerkolbens wird der Nebenwiderstand in dem Sinne geändert, daß die durch die Regelwertänderung hervorgerufene Wirkung zum Teil aufgehoben wird. Die Änderung des Meßstromes im Spulenkreis folgt dabei den Gesetzen der Stromverzweigung. Die elektrische Rückführung hat eine durch die Ausbildung des Nebenwiderstandes bedingte lineare, quadratische oder beliebige Charakteristik.

Nähere Einzelheiten der gebräuchlichsten Ausführungsarten der Rückführungen sind in folgenden Druckschriften behandelt:

- R 761 Starre mechanische Rückführung
- R 762 Nachgiebige hydraulische Rückführung.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

RESTRICTED



## Mechanische Rückführung

Die Übertragung der Stellung des Regelgliedes auf das Steuerwerk durch Seilzug oder Gestänge bezeichnet man als mechanische Rückführung. Durch eine starre Rückführung wird der Regelwert in gewissen Grenzen von der Stellung des Regelgliedes bzw. der Belastung abhängig; der Unterschied des Regelwertes zwischen ganz geöffneter und Schließstellung, bezogen auf den Sollwert, ist die sogenannte Ungleichförmigkeit eines Reglers. Näheres über die regeltechnische Bedeutung der Rückführung siehe Druckschrift R 760.

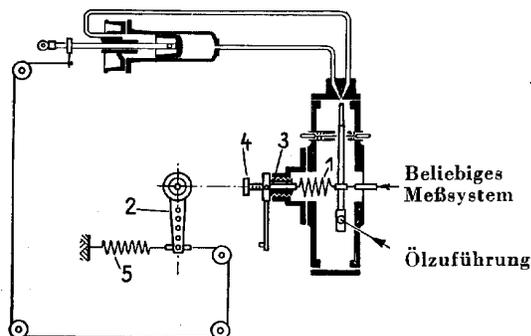


Bild 1

Im folgenden wird die meist übliche Ausführungsart der Seilrückführung am Strahlrohrregler, und zwar als Krafterückführung, näher erläutert.

In Bild 1 ist schematisch die Anordnung der Rückführung dargestellt. Die Wirkungsweise ist folgende: Wird z. B. der Impulsdruck größer, so gibt die Einstellfeder 1 nach, das Strahlrohr macht einen Ausschlag und steuert den Kolben des Kraftzylinders nach links. Durch das mit der Kolbenstange verbundene Drahtseil wird der Hebel 2, der mit der Rückführschraubenspindel 3 verbunden ist, um die Schraubenachse gedreht, so daß die Rückführschraube, die Rechtsgewinde hat, in das Gehäuse hineingeschraubt wird. Durch die dabei entstehende

Verkürzung der Einstellfederlänge ändert sich die Einstellfederkraft, so daß das Strahlrohr bei einer anderen, größeren Impulskraft in der Mittelstellung ins Gleichgewicht kommt. Der Grad der so erzielten Rückführung läßt sich verändern durch Verlegen des Seilangriffs am Rückführhebel. Die Einstellung des Regelwertes geschieht unabhängig durch den in der Rückführspindel geführten und feststellbaren Einstellschieber 4.

Die durch die Rückführung bedingte Ungleichförmigkeit beträgt etwa 2 bis 5% vom Nennwert. Ist eine solche Abweichung nicht zulässig, so läßt sich in den meisten Fällen die in Druckschrift R 762 behandelte nachgiebige hydraulische Rückführung verwenden.

Bild 2 zeigt die zur Rückführung gehörigen Teile, wie sie teilweise fest verbunden mit dem Steuerwerk sind, zum Teil lose beigelegt werden.

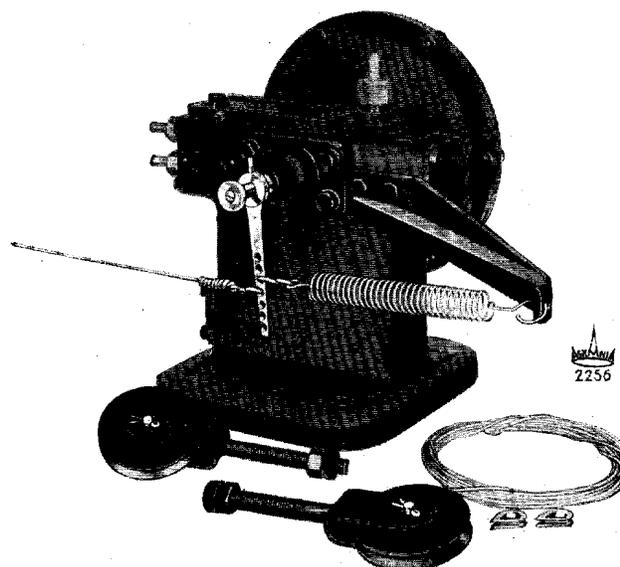


Bild 2



Zur Übertragung wird ein besonders geeignetes Drahtseil (2 DIN. L 9) verwendet, das sich bei Versuchen an einer besonderen Versuchseinrichtung am brauchbarsten erwiesen hat. Das Rückführseil muß in allen Stellungen so straff gespannt sein, daß es nicht durchhängt; reicht die dafür vorgesehene Spiralfeder 5 nicht aus, so ist über eine Rolle ein Gegengewicht anzuhängen. Die zur Umlenkung verwendeten Rollen sind in der Lagerung und der Seillauffläche sauber bearbeitet, um jegliches Spiel praktisch auszuschalten. Überhaupt ist bei der Montage darauf zu achten, daß die Rollenhalter absolut fest an den Stützpunkten befestigt werden; bei

Gestängeübertragung oder kombinierter Seilzug-Gestängeübertragung ist ebenfalls sorgfältige Werkstattausführung der verwendeten Teile und Vermeidung von Spiel an den Drehpunkten Bedingung für ein einwandfreies Arbeiten der Rückführung. Unsachgemäße Ausführung der Rückführung kann unter Umständen statt der gewünschten schwingungsdämpfenden eine schwingungserzeugende Wirkung auf den Regler ausüben.

Aus Bild 3 sind die Abmessungen der am Steuerwerk angebauten Teile ersichtlich.

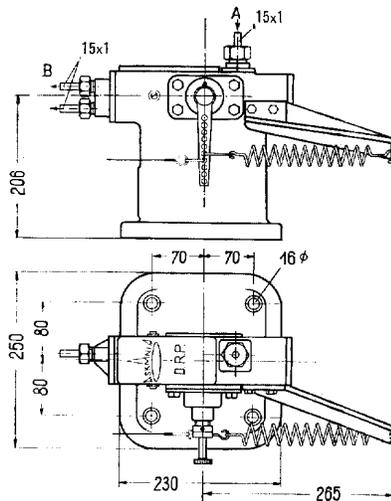


Bild 3

- A = Ölzuführung
- B = Ölleitungen zum Steuerzylinder

RESTRICTED



# Stellmotor

## Bauart Rz 1 und Rz 3 (Kurbelzylinder)

Der **Stellmotor** dient zur Betätigung des Stellgliedes. Die Abbildungen 1 und 3 zeigen Ansicht und Schnitt dieses Teiles der Regleranlage.

Die Ausführung ist schwer und kräftig gehalten und auf die Anforderungen rauher Betriebe, wie sie in Kesselhäusern, Hüttenwerken usw. gestellt werden, zugeschnitten. Je nach der Größe des zu betätigenden Stellgliedes kommt eine der beiden



Abb. 1. Askania-Stellmotor Bauart Rz 1 etwa  $\frac{1}{10}$  natürl. Größe.

Größen Rz 1 oder Rz 3 in Frage. Die Kolbendurchmesser betragen bei der Größe Rz 1 80 mm und bei der Größe Rz 3 130 mm.

### Zweck und Vorteil des Kurbeltriebes.

Für jede Betriebs- und Regleranlage gibt es eine günstige Stellzeit, die eingehalten werden muß. Ein Unterschreiten dieser Zeit ergäbe ein Überregeln und Pendeln des Reglers, ein Überschreiten bedeutet hingegen zu langsame Nachstellung, also verspätete Beseitigung der Störung und somit eine mangelhafte Regelung.

Verglichen mit einer linearen Bewegung hat der Kurbeltrieb die Eigenart, daß sich die Kreuzkopfgeschwindigkeit, also auch der entsprechende Kreuzkopfweg bei gleichbleibender

Winkelgeschwindigkeit zwischen Null und Maximum ändern. Diese Charakteristik wird der Regelung durch Wahl eines Stellmotors mit Kurbeltrieb zugrunde gelegt.

Der Hebel des Stellgliedes entspricht dem Kreuzkopf, während die Bewegung der Flanschkurbel die gleichbleibende Winkelgeschwindigkeit darstellt. Es werden also selbst bei kleinsten Mengen Schwankungen im zu regelnden Zustand vermieden, während die Regelung bei großen Mengen ihre Aufgabe ebenso genau erfüllt.

Durch Anwendung des Kurbeltriebes erreicht man also, daß die Stellgeschwindigkeit stets dem veränderlichen Drosselquerschnitt angepaßt ist und daher auch immer die günstigste sein muß.

Der Vorteil des Kurbeltriebes macht sich besonders bei der Regelung stark veränderlicher Mengen bemerkbar und gewährleistet eine große Regelgenauigkeit bei den größten Schwankungen.

Der Hub des Kolbens ist einheitlich 200 mm, das Arbeitsvermögen beträgt also bei 1 at Druck auf den Kolben 10 bzw. 26 mkg. Der genau passende Kolben wird durch Drucköl bewegt. Durch die im Kurbelgehäuse befindliche Kurbel wird seine Bewegung auf die Kurbelwelle und auf die außen angebrachte Flanschkurbel übertragen. Dieser Kurbelarm beschreibt bei einem vollen Kolbenhub eine Drehung von  $90^\circ$  (siehe Abb. 3 und 4).

An der Durchführung der Kurbelwelle durch das Gehäuse ist eine Stopfbuchse angeordnet, die gegen Austreten von Drucköl abdichtet.

Der Kurbelarm wird als Flanschkurbel geliefert. Auf der Kurbelwelle befindet sich ein Mit-

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

RESTRICTED



nehmerflansch mit 12 Schraubenlöchern (Abb. 4). Der Kurbelflansch hat einen Gegenflansch mit 3 Schraubenlöchern und kann mit 3 mitgelieferten Sechskantschrauben M 16 in 12 beliebige Stellungen (von 30° zu 30° veränderlich) am Mitnehmerflansch angeschraubt werden. Für Zwischenstellungen kann die Kurbel abgezogen und um 75° gedreht wieder aufgesetzt werden, denn auf dem Mitnehmer befinden sich 2 um 75° versetzte Keilnuten. Es sind dann 12 weitere Kurbelstellungen möglich, d. h. die Stellung ist über 360° von 15° zu 15° veränderlich.

Die Verbindung des Stellmotors mit dem Stellglied erfolgt durch die in Abb. 4 gezeigten Gestängeteile, die auch bis auf das gebrochen gezeigte Rohr zur Lieferung des Stellmotors gehören. Die Abmessungen der Verbindungsteile werden auf Grund der auftretenden Verstellkräfte und der erforderlichen Länge gewählt (1/2" bis 1 1/2" Gasrohr). Der an der Kurbel befindliche Bolzen mit Fallkeil gestattet das Gestänge jederzeit leicht auszuhängen.

Der Stellmotor wird durch eine Befestigungsschelle gefaßt und mit den beiden Befestigungs-

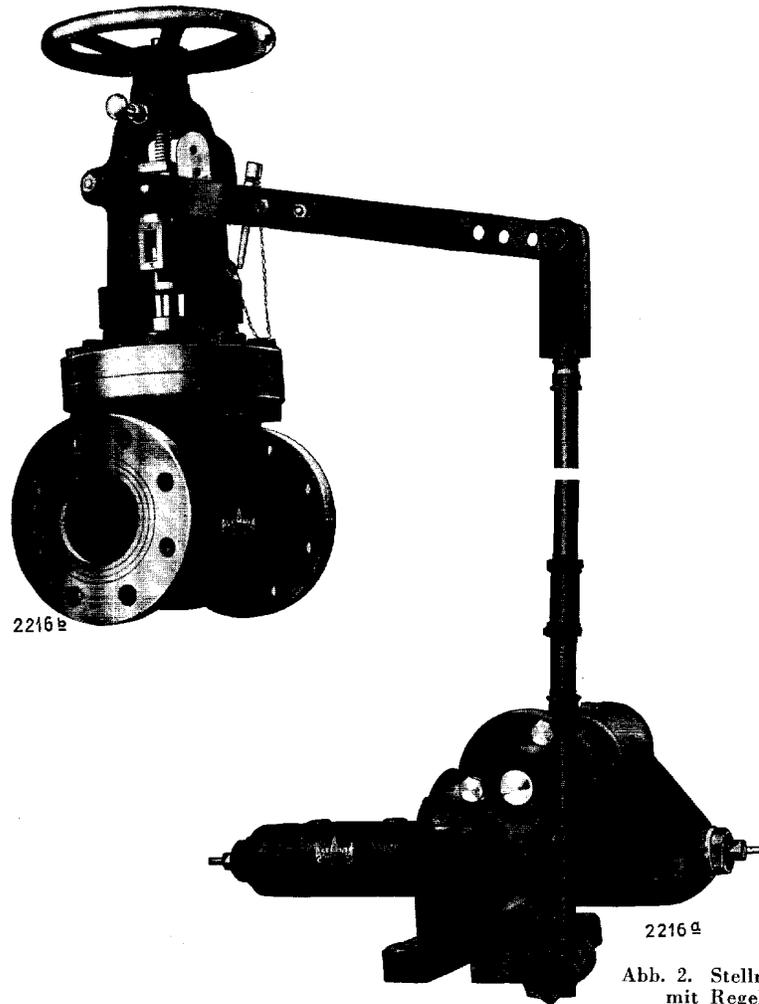


Abb. 2. Stellmotor Rz 1 mit Regelventil.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



schrauben, die Ober- und Unterteil der Schelle zusammenhalten, festgeklemmt. Durch Drehung in der Schelle kann die Bewegung des Kurbelarms in jede beliebige Ebene verlegt werden. Die Schelle kann beliebig auf dem Fußboden, an der Wand oder an irgendeiner anderen

hältnissen auch die rechte Kurbel links angebracht werden.

Zwei Stellmotoren können gegebenenfalls hintereinander geschaltet und von einem Steuerwerk betätigt werden.

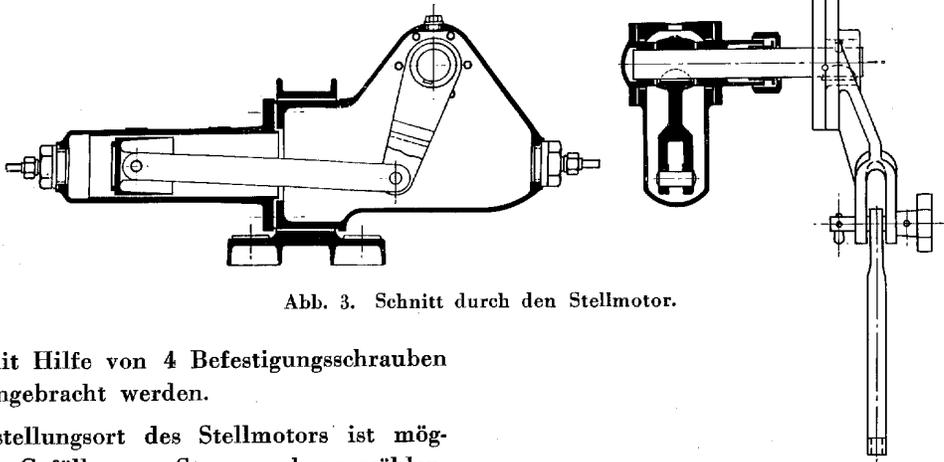


Abb. 3. Schnitt durch den Stellmotor.

Fläche mit Hilfe von 4 Befestigungsschrauben (M 22) angebracht werden.

Der Aufstellungsort des Stellmotors ist möglichst mit Gefälle vom Steuerwerk zu wählen, um Luftpuffer in den Ölleitungen zu vermeiden und in der Entfernung mit etwa 25 m zu begrenzen. Dort, wo aus räumlichen Gründen der Stellmotor oberhalb des Steuerwerkes angeordnet werden muß, ist ein Verblockventil in die Ölleitungen zwischen Stellmotor und Steuerwerk einzubauen, das das Stellglied bei Ausfall des Öldruckes in seiner augenblicklichen Betriebsstellung festhält.

Das Drucköl wird dem Stellmotor durch 2 Ölleitungen vom Steuerwerk zugeführt, hierbei dient die eine zur Öffnungsbewegung, während die andere die Schließbewegung des Stellgliedes übernimmt. Für die Leitungen kommt in der Regel Stahlrohr 15×1 zur Verwendung. Für den Anschluß am Stellmotor sind ebenso wie am Steuerwerk lötlöse Rohrverbinder (Ermeto-Verschraubungen) vorgesehen.

Am Stellmotor können Schaltklinken, Endkontakte, Umschalthähne u. desgl. ungeachtet der Hauptaufgabe des Stellmotors angebracht werden.

Der Stellmotor kann der Symmetrie halber auch links mit linker Kurbel versehen werden. Ebenso kann bei ungünstigen örtlichen Ver-

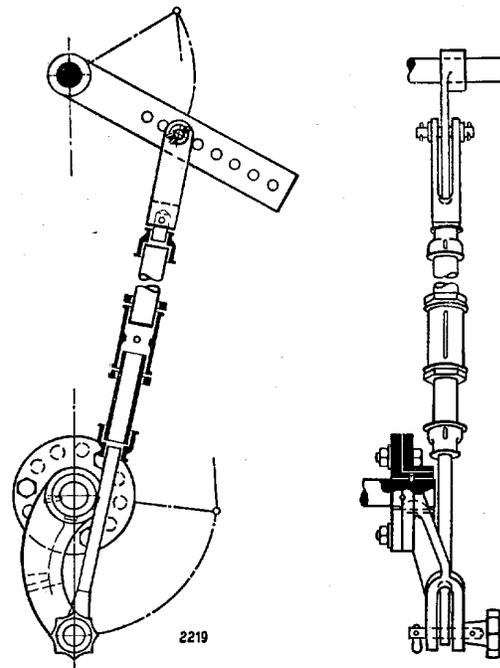


Abb. 4. Gestänge zum Stellglied.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

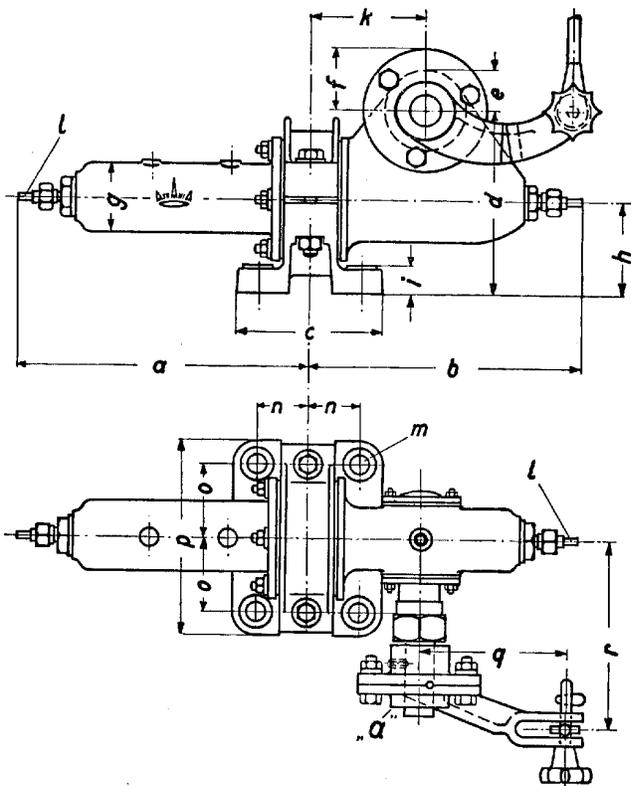
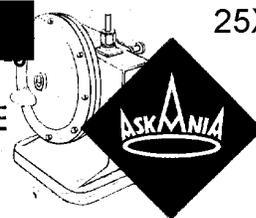


Abb. 5. Maßtabelle des Stellmotors.

| Bauart                        | Rz 1             | Rz 3               |
|-------------------------------|------------------|--------------------|
| Baulänge . . .                | 765              | 790                |
| Bauhöhe . . .                 | 319              | 355                |
| Breite . . . .                | 465              | 505                |
| Maß a . . . .                 | 445              | 445                |
| " b . . . .                   | 320              | 345                |
| " c . . . .                   | 200              | 250                |
| " d . . . .                   | 254              | 290                |
| " e . . . .                   | 60               | 65                 |
| " f . . . .                   | 65               | 65                 |
| " g . . . .                   | 94 Ø             | 150 Ø              |
| " h . . . .                   | 129              | 165                |
| " i . . . .                   | 38               | 38                 |
| " k . . . .                   | 146              | 170                |
| " l . . . .                   | 15 × 1           | 15 × 1             |
| " m . . . .                   | 25 Ø             | 25 Ø               |
| " n . . . .                   | 70               | 90                 |
| " o . . . .                   | 103              | 140                |
| " p . . . .                   | 266              | 350                |
| " q . . . .                   | 200              | 200                |
| " r . . . .                   | 265              | 265                |
| Kolb.-Durchmesser . . .       | 80               | 130                |
| Kolb.-Fl. cm <sup>2</sup>     | 50               | 132                |
| Hub an der Kurbel . . .       | 200              | 200                |
| Drehmoment cmkg je at Öldruck | etwa 540 bis 750 | etwa 1450 bis 2000 |
| Gewicht kg .                  | 62               | 94                 |



# ASKANIA-Steuerzylinder

RESTRICTED

(Stangenzyylinder)

Kleinere, leicht gehende Steuerorgane, deren Betätigung eine gradlinige Bewegung erfordert oder erlaubt, ferner Drosselklappen und kleinere Ventile, bei denen eine geringe Steuergeschwindigkeit zulässig ist, können durch den besonders einfachen und daher billigen Steuerzylinder Bauart Rz 9 oder 10 oder Rz 7 oder 8 bei kleinen Ventilen gesteuert werden.

und das Verbindungsgestänge auf den Hebel des Steuerorganes übertragen. Der Zylinderdeckel ist als Führung für die Kolbenstange ausgebildet, so daß auch seitliche Drücke aufgenommen werden können. Die **Stopfbuchse** ist reichlich bemessen, so daß eine zuverlässige Abdichtung erreicht ist. Um ein Verschmutzen der Stopfbuchse und damit des Öles zu vermeiden, ist vor der

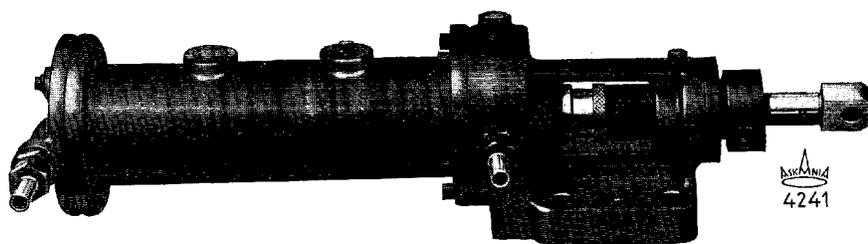


Bild 1. Steuerzylinder Rz 9 oder Rz 10.  $\frac{1}{10}$  natürl. Größe, Gewicht etwa 16,5 kg

Das Äußere des Zylinders und einen Längsschnitt zeigen die Bilder 1 und 2.

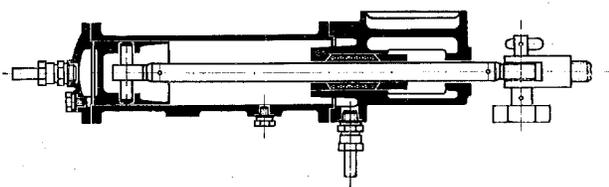


Bild 2. Schnitt durch den Zylinder

Die **Ausführung** ist schwer und kräftig gehalten und auf die Anforderungen rauher Betriebe zugeschnitten, wie sie in Kesselhäusern, Kokereien, Gaswerken u. a. gestellt werden.

Die durch Drucköl bewirkte Bewegung des genau passenden **Kolbens** wird durch die Kolbenstange

Stopfbuchse ein **Abstreifer** vorgesehen, der den auf der Kolbenstange abgelagerten Schmutz vor Eintreten der Stange in die Stopfbuchse abstreift.

Beim **Einbau** beachte man Bild 4, das für die seitliche Beanspruchung der Kolbenstangenführung wichtig ist. Gezeigt ist die Schließstellung.

Das Arbeitsvermögen je at Öldruck und die **Verstellkraft** sind in umstehender Tafel angegeben. Die Verbindung des Steuerzylinders mit dem Regelorgan erfolgt mit den in Bild 4 gezeigten **Verbindungssteilen**, die bis auf das gebrochene gezeigte Rohr und den Betätigungshebel zur Steuerzylinder-Lieferung gehören. Die Abmessungen der Teile ( $\frac{1}{2}$ " bis  $1\frac{1}{2}$ ") werden den Verhältnissen angepaßt.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



Der Steuerzylinder wird im allgemeinen mit einer **Befestigungsschelle**, die angegossen ist, geliefert. Die Bauart Rz 103 dient zur Verstellung besonders schwer gehender Schieber, bei denen eine längere gerade Bewegung erforderlich ist. Der Hub kann den örtlichen Verhältnissen jeweils angepaßt werden.

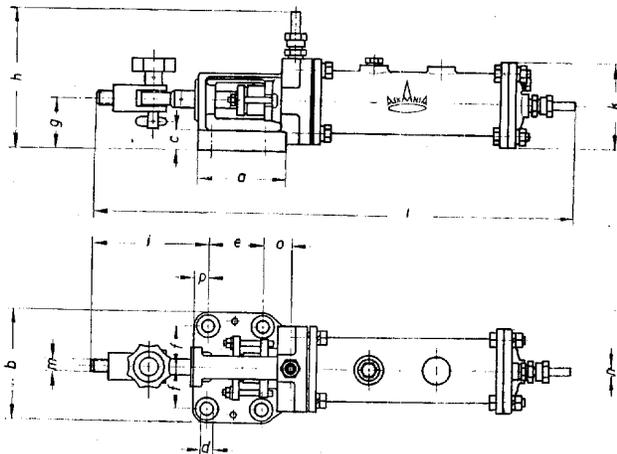


Bild 3. Abmessungen der Steuerzylinder

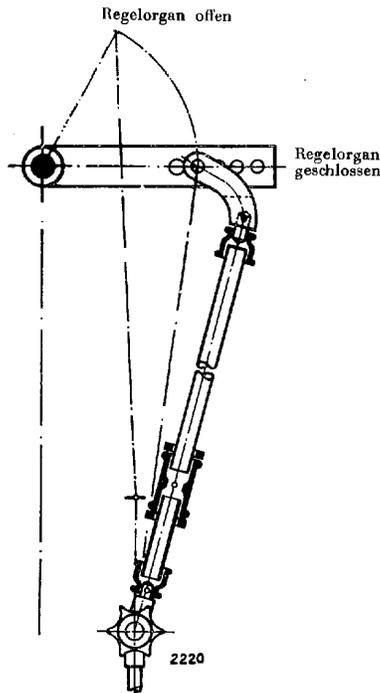


Bild 4. Verbindungsteile zum Regelorgan  
Anordnung beim Einbau beachten!

| Bauart                         |                 | Rz 9     | Rz 10     | Rz 7     | Rz 8      | Rz 103            |
|--------------------------------|-----------------|----------|-----------|----------|-----------|-------------------|
| Ausführung                     |                 | Gußeisen | Temperguß | Gußeisen | Temperguß | Stahl<br>Gußeisen |
| Kolben-Ø                       | mm              | 80       |           | 80       |           | 150               |
| Kolben-Fläche                  | cm <sup>2</sup> | 50       |           | 50       |           | 175               |
| Hub                            | mm              | 200      |           | 80       |           | min. 400          |
| Verstellkraft je at Öldruck    | kg              | 50       |           | 50       |           | 175               |
| Arbeitsvermögen je at          | mkg             | 10       |           | 4        |           | min. 70           |
| Kolbenstange Ø                 | mm              | 25       |           | 25       |           | 30                |
| Maß a                          | mm              | 130      |           | 130      |           | 270               |
| » b                            | mm              | 165      |           | 165      |           | 265               |
| » c                            | mm              | 30       |           | 30       |           | 40                |
| » d                            | mm              | 18       |           | 18       |           | 28                |
| » e                            | mm              | 80       |           | 80       |           | 210               |
| » f                            | mm              | 62,5     |           | 62,5     |           | 105               |
| » g                            | mm              | 75       |           | 75       |           | 150               |
| » h                            | mm              | 200      |           | 200      |           | 335               |
| » i bei eingefahren. Kolbenst. | mm              | 165      |           | 165      |           | 105               |
| » k                            | mm              | 125      |           | 125      |           | 230               |
| » l                            | mm              | 690      |           | 570      |           | 900               |
| » m                            | mm              | R 3/4"   |           | R 3/4"   |           | —                 |
| » n                            | mm              | 15Ø      |           | 15Ø      |           | 15Ø               |
| » o                            | mm              | 45       |           | 45       |           | —                 |
| » p                            | mm              | 20       |           | 20       |           | 30                |
| Gewicht einschl. Zubehör       | kg              | 18       |           | 16,5     |           | 85                |

Die stark umrahmte Größe Rz 103 weist gegenüber der Zeichnung Abweichungen auf. Der Regelzylinder Rz 103 kann mit einem Hub von 400 mm und mit beliebig größerem Hub geliefert werden.



## ASKANIA-Drosselklappen

Die Drosselklappen zur Druck- und Mengenregelung von Gasen, Wasser u. dgl. unter niedrigem Druck werden in drei Ausführungen geliefert:

**Bauart A mit durchschlagender Klappe,**

**Bauart B mit anschlagender Klappe,**

**Bauart C mit Spülvorrichtung.**

Bei der normalen Bauart A ist besonderer Wert auf geringe Baulänge gelegt, damit ein Einbau in bestehende Rohrleitungen erfolgen kann, ohne diese ändern zu müssen. Gehäuse und Klappe bestehen aus Gußeisen. Die nach außen herausgeführte Klappenwelle ist so gelagert, daß ein dichter Abschluß erreicht wird, ohne die Leichtgängigkeit zu beeinträchtigen. Klappen für Rohrleitungen bis zu 1000 mm l. W. sind mit Gleitlagern ausgerüstet, größere Klappen mit Kugel- oder Wälzlagern.

Falls notwendig, erhält bei großem Druckgefälle das Gehäuse einen eingezogenen Ring bei entsprechend verkleinertem Klappendurchmesser, um den Hub der Drosselklappe voll auszunutzen.

Auf dem herausgeführten Wellenende sitzt ein Zeiger, der die Stellung der Klappe angibt. Zur Betätigung mittels Gestänge dient ein Mehrlochhebel, dessen Stellung beliebig festgelegt werden kann.

Die Bauart B kommt in Betracht, wenn in der Rohrleitung ein möglichst dichter Abschluß durch das Drosselorgan gefordert wird. Die Drosselklappe hat in diesem Fall eine ovale Form und

wird in Schließstellung fest an die Gehäusewand gepreßt, wodurch ein verhältnismäßig dichter Abschluß erzielt wird. Ein vollständiger Abschluß — wie bei einem Absperrschieber oder Einsitzventil — kann jedoch nicht erreicht werden.

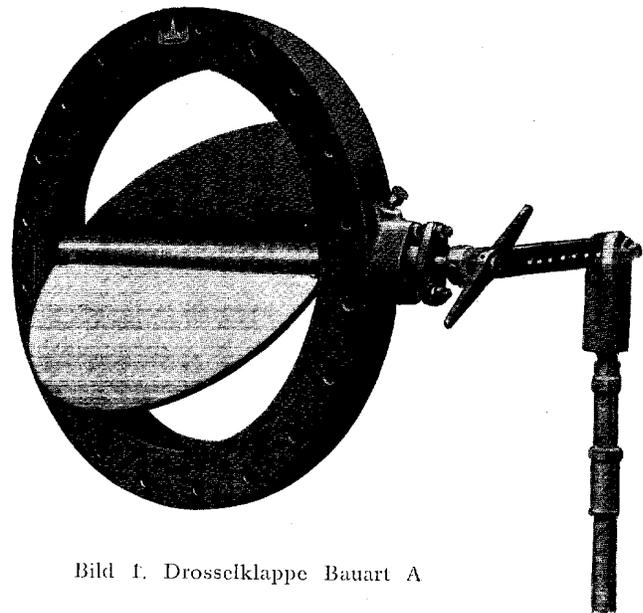


Bild 1. Drosselklappe Bauart A

Die Bauart C ist eine Sonderausführung für stark toerhaltige Gase. Das zweiteilige Gehäuse ist zwischen den Flanschen mit einer Ringkammer versehen, von der Öffnungen zur Drehklappe führen, um eine Spülung mit Ammoniakwasser oder Dampf vornehmen zu können.

Abmessungen und Gewichte der Drosselklappen sind umseitig vermerkt. Bei Bestellung ist anzugeben: Lochkreisdurchmesser, Anzahl und Stellung der Löcher und Schraubenstärke.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



### Maßzeichnungen

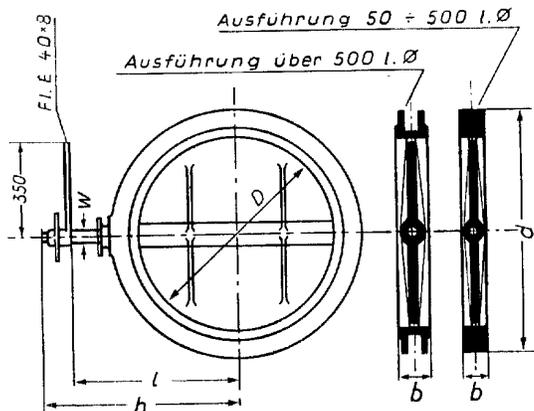


Bild 2. Bauart A

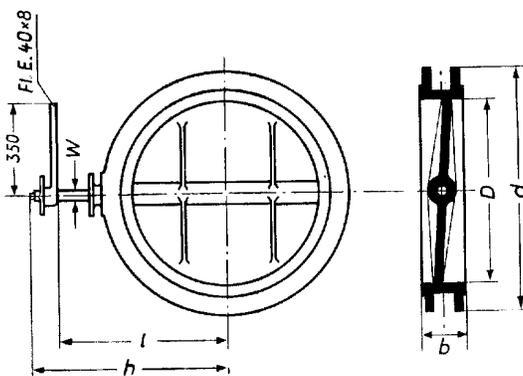


Bild 3. Bauart B

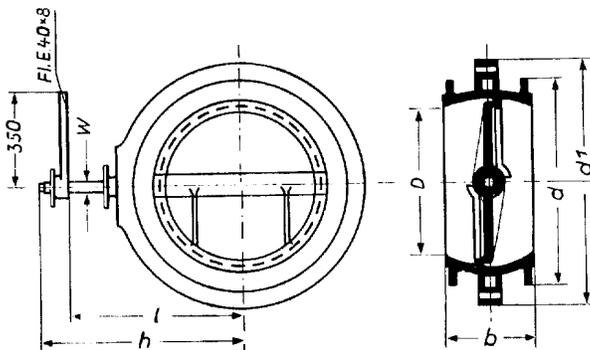


Bild 4. Bauart C

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

RESTRICTED



### Abmessungen und Gewichte

| I. Rohr-<br>weite<br>Ø mm | Bauart A, B und C |      |      |    | Bauart A |               | Bauart B |               | Bauart C       |      |      |     |               |
|---------------------------|-------------------|------|------|----|----------|---------------|----------|---------------|----------------|------|------|-----|---------------|
|                           | d                 | h    | l    | w  | b        | Gewicht<br>kg | b        | Gewicht<br>kg | d <sub>1</sub> | h    | l    | b   | Gewicht<br>kg |
| 50                        | 170               | 195  | 160  | 15 | 35       | 9             | 50       | 16            | 260            | 250  | 210  | 150 | 40            |
| 75                        | 210               | 220  | 180  | 15 | 35       | 10            | 70       | 20            | 300            | 260  | 220  | 150 | 45            |
| 100                       | 240               | 240  | 200  | 15 | 35       | 11            | 100      | 22            | 330            | 260  | 220  | 150 | 50            |
| 125                       | 270               | 250  | 210  | 15 | 35       | 12            | 110      | 25            | 360            | 280  | 240  | 150 | 55            |
| 150                       | 300               | 260  | 220  | 15 | 35       | 15            | 120      | 28            | 390            | 310  | 270  | 150 | 60            |
| 175                       | 325               | 260  | 220  | 15 | 35       | 18            | 120      | 31            | 420            | 325  | 285  | 150 | 70            |
| 200                       | 350               | 280  | 240  | 15 | 35       | 20            | 140      | 45            | 450            | 345  | 300  | 160 | 85            |
| 225                       | 370               | 280  | 240  | 15 |          |               | 140      | 50            |                |      |      |     |               |
| 250                       | 400               | 310  | 270  | 15 | 35       | 25            | 160      | 55            | 510            | 400  | 350  | 180 | 110           |
| 275                       | 425               | 325  | 285  | 20 | 40       | 32            | 160      | 60            |                |      |      |     |               |
| 300                       | 450               | 345  | 300  | 20 | 40       | 40            | 180      | 65            | 570            | 455  | 400  | 200 | 140           |
| 350                       | 550               | 400  | 350  | 20 | 40       | 55            | 200      | 75            | 640            | 455  | 400  | 225 | 175           |
| 400                       | 575               | 455  | 400  | 25 | 50       | 65            | 220      | 100           | 700            | 510  | 450  | 250 | 210           |
| 450                       | 630               | 455  | 400  | 25 | 50       | 80            | 240      | 140           | 760            | 565  | 500  | 275 | 260           |
| 500                       | 645               | 470  | 420  | 25 | 50       | 85            | 260      | 160           | 810            | 585  | 520  | 300 | 310           |
| 550                       | 740               | 510  | 450  | 30 | 80       | 95            | 260      | 190           |                |      |      |     |               |
| 600                       | 790               | 565  | 500  | 30 | 80       | 130           | 300      | 220           | 940            | 730  | 650  | 350 | 360           |
| 650                       | 840               | 585  | 520  | 30 | 90       | 165           | 300      | 250           |                |      |      |     |               |
| 700                       | 900               | 630  | 570  | 35 | 90       | 180           | 340      | 280           | 1050           | 780  | 700  | 400 | 530           |
| 750                       | 950               | 730  | 650  | 35 | 90       | 195           | 340      | 310           |                |      |      |     |               |
| 800                       | 1020              | 780  | 700  | 40 | 100      | 225           | 380      | 340           | 1165           | 830  | 750  | 445 | 600           |
| 850                       | 1070              | 780  | 700  | 40 | 100      | 270           | 400      | 370           |                |      |      |     |               |
| 900                       | 1120              | 830  | 750  | 40 | 100      | 290           | 420      | 410           | 1265           | 895  | 840  | 480 | 680           |
| 950                       | 1170              | 830  | 750  | 40 | 100      | 330           | 420      | 450           |                |      |      |     |               |
| 1000                      | 1175              | 870  | 800  | 40 | 130      | 390           | 460      | 490           | 1365           | 1035 | 950  | 500 | 770           |
| 1100                      | 1320              | 895  | 840  | 45 | 130      | 435           | 500      | 560           | 1470           | 1035 | 950  | 500 | 870           |
| 1200                      | 1430              | 1035 | 950  | 45 | 130      | 490           | 525      | 640           | 1580           | 1085 | 1000 | 500 | 1000          |
| 1250                      | 1490              | 1035 | 950  | 45 | 130      | 530           |          |               |                |      |      |     |               |
| 1300                      | 1540              | 1085 | 1000 | 45 | 130      | 550           | 550      | 730           | 1690           | 1185 | 1100 | 500 | 1150          |
| 1400                      | 1640              | 1135 | 1050 | 45 | 130      | 650           | 575      | 830           | 1790           | 1235 | 1150 | 500 | 1300          |
| 1500                      | 1710              | 1185 | 1100 | 45 | 130      | 680           |          |               | 1860           | 1285 | 1200 | 500 | 1450          |
| 1600                      | 1815              | 1235 | 1150 | 45 | 130      | 750           |          |               | 1960           | 1335 | 1250 | 500 | 1700          |
| 1700                      | 1945              | 1335 | 1250 | 45 | 130      | 850           |          |               | 2080           | 1485 | 1400 | 500 | 1850          |
| 1800                      | 2035              | 1435 | 1350 | 45 | 130      | 930           |          |               | 2170           | 1585 | 1500 | 500 | 2000          |
| 1850                      | 2070              | 1485 | 1400 | 50 | 130      | 985           |          |               |                |      |      |     |               |
| 1900                      | 2120              | 1535 | 1450 | 50 | 200      | 1100          |          |               |                |      |      |     |               |
| 2000                      | 2220              | 1635 | 1550 | 50 | 200      | 1350          |          |               |                |      |      |     |               |
| 2100                      | 2320              | 1685 | 1600 | 50 | 200      | 1400          |          |               |                |      |      |     |               |
| 2200                      | 2420              | 1735 | 1650 | 50 | 200      | 1460          |          |               |                |      |      |     |               |
| 2300                      | 2520              | 1785 | 1700 | 50 | 200      | 1620          |          |               |                |      |      |     |               |
| 2400                      | 2620              | 1835 | 1750 | 50 | 200      | 1800          |          |               |                |      |      |     |               |
| 2500                      | 2720              | 1915 | 1800 | 60 | 200      | 1950          |          |               |                |      |      |     |               |
| 2600                      | 2820              | 1965 | 1850 | 60 | 200      | 2160          |          |               |                |      |      |     |               |
| 2700                      | 2920              | 2015 | 1900 | 60 | 200      | 2250          |          |               |                |      |      |     |               |

Diese Angaben sind unverbindlich — Konstruktionsänderungen vorbehalten

RESTRICTED

## ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU



# Askania-Steueranlage

## Bauart 2 (mit aufgebautem Ölpumpwerk)

Die Askania-Regleranlagen werden mit Drucköl in geschlossenem Umlauf versorgt, weil hierin ohne Zweifel die größte Be-

geeignet, denn selbst bei Einbau von Filtern können Störungen infolge mechanischer oder chemischer Beimischungen des Wassers

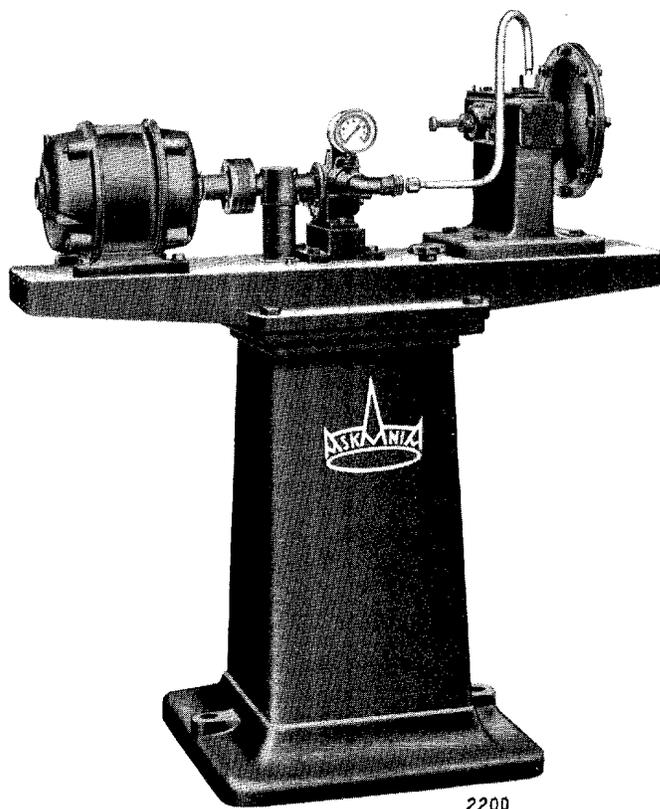
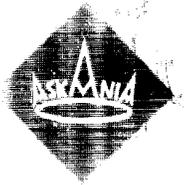


Bild 1. Steueranlage Bauart 2a mit 1 Steuerwerk Rm-c.  $\frac{1}{12}$  natürlicher Größe. Gewicht etwa 150 kg.

triebssicherheit liegt. Öl hat sich als das beste Druckübertragungsmittel erwiesen, es verdunstet nicht, friert nicht ein und schmiert zugleich alle beweglichen Teile. Druckwasser ist als Betriebsmittel weniger

auftreten, was bei Betrieb mit Drucköl ausgeschlossen ist.

Die Zusammenfassung der Druckölanlage und des Steuerwerks einer Askania-Regleranlage (s. z. B. Druckschrift R 901) zu einem



einheitlichen Ganzen erfolgt aus Zweckmäßigkeitgründen. Außerdem gewinnt das Aussehen infolge der gefälligen Formgebung. Die in den Bildern gezeigten Askania-Steueranlagen bieten erhebliche Vorteile bei der Montage, da Konsole für das Steuerwerk, ebenso wie Verlegung der Drucköl-

Die in Bild 1 dargestellte Steueranlage 2a dient zum Aufbau und zur Ölversorgung eines Steuerwerkes. An die Pumpe kann gegebenenfalls nach Einbau eines stärkeren Motors ein weiteres, an anderer Stelle montiertes Steuerwerk angeschlossen werden. Die in Bild 2 dargestellte Steueranlage 2b

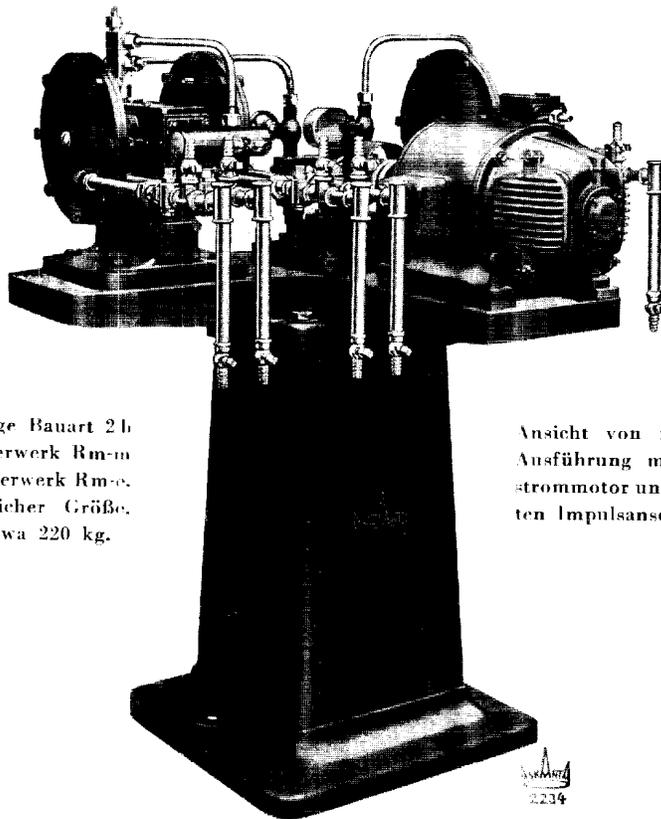


Bild 2.  
Steueranlage Bauart 2b  
mit 1 Steuerwerk Rm-m  
und 1 Steuerwerk Rm-e.  
 $\frac{2}{3}$  natürlicher Größe.  
Gewicht etwa 220 kg.

Ansicht von rückwärts.  
Ausführung mit Gleich-  
strommotor und genorm-  
ten Impulsanschlüssen.

und Ölrücklaufleitungen, wegfallen. Auch können Zweifel über die Anordnung und Verbindung dieser beiden Elemente nicht bestehen. An Ort und Stelle ist lediglich die Verlegung der elektrischen Leitungen vom Stromnetz zum Antriebsmotor und die Verbindung zwischen Steuerwerk und Steuerzylinder vorzunehmen.

dient zum Aufbau zweier Steuerwerke. Der Antriebsmotor ist hier zwischen beiden Steuerwerken nach hinten gebaut, wie die Aufnahme von der Rückseite erkennen läßt.

Die dargestellten Steueranlagen bestehen aus dem Sockel, der die Aufbauplatte trägt und als Ölbehälter ausgebildet ist,

RESTRICTED



der mit schrägen Zähnen versehenen, ruhig laufenden Zahnradölpumpe ( $n = 1500/\text{min}$ ), dem mit ihr direkt und elastisch gekuppelten, auf Kugeln gelagerten Antriebsmotor und

dem Steuerwerk (Druckschriften R 601 ff).

Es spielt sich folgender Kreislauf ab: Durch den im Bild 3 sichtbaren Saugstutzen gelangt das Öl in die Pumpe. Im Druck-

stutzen befindet sich ein Federüberdruckventil, mit dem der Öldruck (4–6 at) eingestellt werden kann; den Betriebsdruck zeigt ein aufgesetztes Manometer an. Der Überschuß läuft durch das Ventil über einen Umlauf in den Saugstutzen zurück. Durch die Druckleitung gelangt das Öl zum Strahlrohr im Steuerwerk (s. Druckschrift R 552) und von hier zum Verteiler bzw. zum Steuerzylinder. Das rückströmende

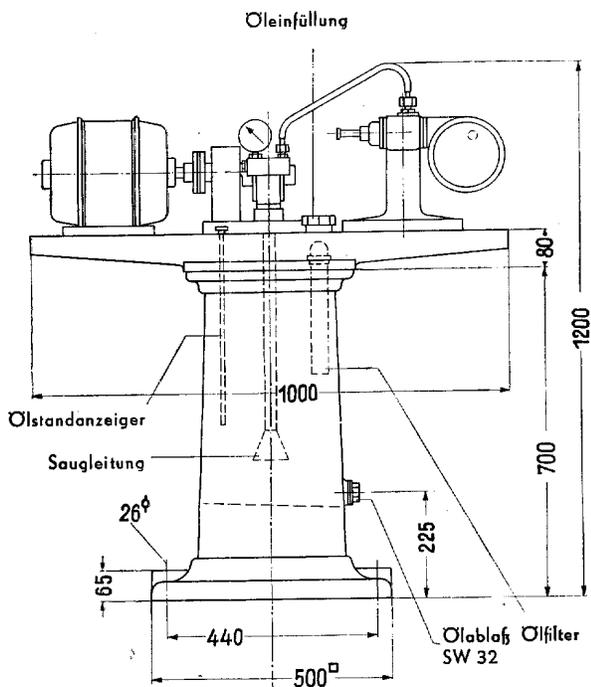


Bild 3.

Maßzeichnung der Steueranlage 2a mit Steuerwerk Rb-e

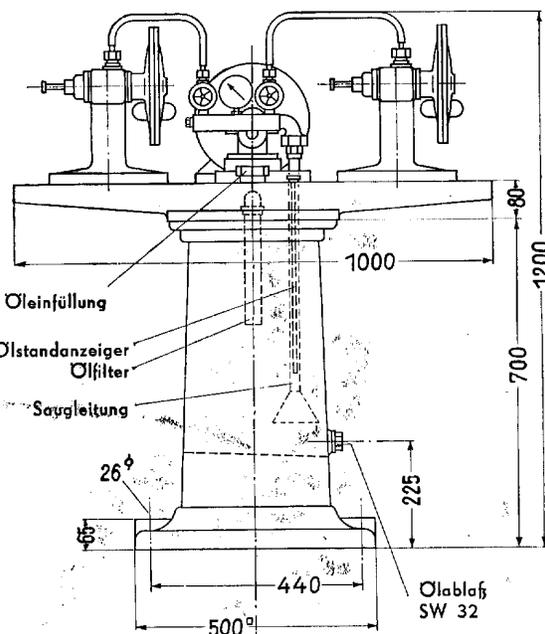
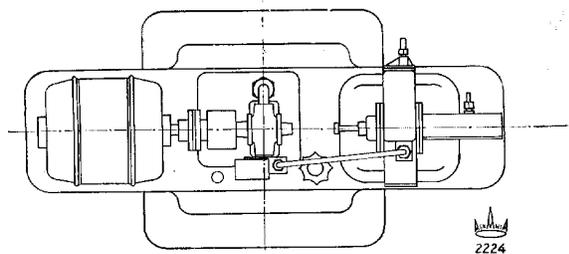
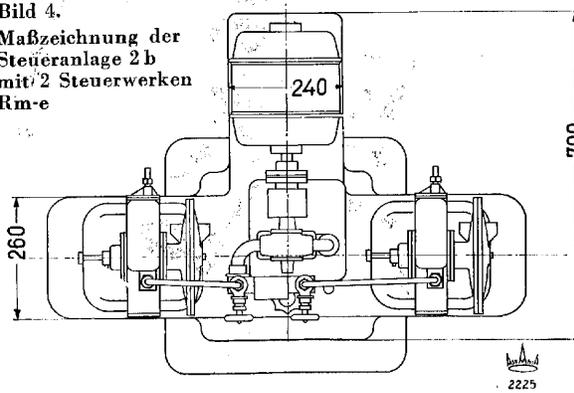


Bild 4.

Maßzeichnung der Steueranlage 2b mit 2 Steuerwerken Rm-e



RESTRICTED



bzw. überschüssige Öl sammelt sich im unteren Teil des Steuerwerkes und läuft durch die dort vorgesehene Öffnung wieder zum Ölbehälter ab. Ein eingehängtes Ölsieb in der Aufbauplatte hält das im Kreislauf befindliche Öl rein. Der als Ölbehälter ausgebildete Sockel faßt 35 Liter Öl. Der Ölstand kann jeweils mit einem Tauchstab festgestellt werden. Der Nachfüllstutzen ist so angebracht, daß das Öl beim Einfüllen das Sieb passiert. Etwa alle Jahre soll das Öl erneuert werden; für die Entleerung ist am Sockel ein Abfaßstutzen vorgesehen.

Zur Verwendung gelangt ein wenigviskoses, nichtschäumendes Spezialöl mit niedrigem Stockpunkt (sehr wichtig im Winter) und hohem Flammpunkt (keine Gefahr an Heißdampf- oder Feuerungsanlagen). In besonderen Fällen kann man sich mit Transformatoröl behelfen; auch Turbinenöl

kann gegebenenfalls verwendet werden, doch ist eine Vermischung verschiedener Ölsorten nicht ratsam.

Die Steueranlage wird mit zwei in den Boden einzulassenden Schrauben befestigt. Die Aufführung eines besonderen gemauerten Fundaments erübrigt sich. Der Aufstellungsort ist möglichst erschütterungsfrei zu wählen und (tunlichst so, daß an der Wand hinter dem Steuerwerk die Überwachungs-Instrumente (Druckschrift B 307 oder B 322) übersichtlich angeordnet werden können.

Aus den Bildern 3 und 4 sind die Abmessungen der Steueranlage 2a bzw. 2b zu ersehen. Die Motoren haben eine Nennleistung von etwa 0,65 kW. Normale Spannungen sind bei Drehstrom von 50 Hertz 127/220, 220/380, 500 Volt, und bei Gleichstrom 110, 220 Volt.

RESTRICTED



# Askania-Ölpumpwerk

## Bauart Zentralpumpwerk

Der Betrieb unserer Regleranlagen erfolgt mit Drucköl, das von einem besonderen, zentral anzuordnenden Pumpwerk erzeugt wird. Die Verwendung von Druckwasser als Betriebsmittel ist nicht zu empfehlen, da selbst bei Verwendung von Filtern Verunreinigungen durch chemische Bestandteile vorkommen, die eine Verstopfung des Strahlrohres oder des Verteilerstückes sowie Beschädigung der feingeschliffenen Wandungen des Steuerzylinders zur Folge haben können. Bei Betrieb mit Drucköl sind derartige Störungen ausgeschlossen.

Die in Bild 1 dargestellte, in drei Größen lieferbare Ölpumpenanlage dient zur zentralen Ölversorgung auseinanderliegender Regleranlagen (Temperaturregler, Einzelkammerregler). Sie besteht aus einem Ölbehälter, auf dem die mit schrägen Zähnen versehene, geräuschlos laufende Zahnradpumpe und der auf Kugeln gelagerte Antriebsmotor (1500/min.) direkt gekuppelt aufgebaut sind. Die Pumpe saugt das Öl aus dem Ölbehälter an und drückt es durch die Druckleitung zum Strahlrohr des Steuerwerkes. Der für den Betrieb des Reglers erforderliche Druck von 4—6 at wird durch ein einstellbares Umlaufventil selbsttätig geregelt und durch ein auf den Druckstutzen aufgesetztes Manometer angezeigt.

Das aus dem Steuerwerk zurückkommende Öl fließt durch sein eigenes Gewicht über ein Filter dem Ölbehälter wieder zu. Das notwendige Gefälle beträgt daher im allgemeinen mindestens 1:10 und richtet sich nach dem verwendeten Rohrdurchmesser. Der Behälter faßt etwa 50 Liter Öl, so daß bis sechs Steuerwerke angeschlossen werden können. Den Behälterstand zeigt ein Schwimmer an.

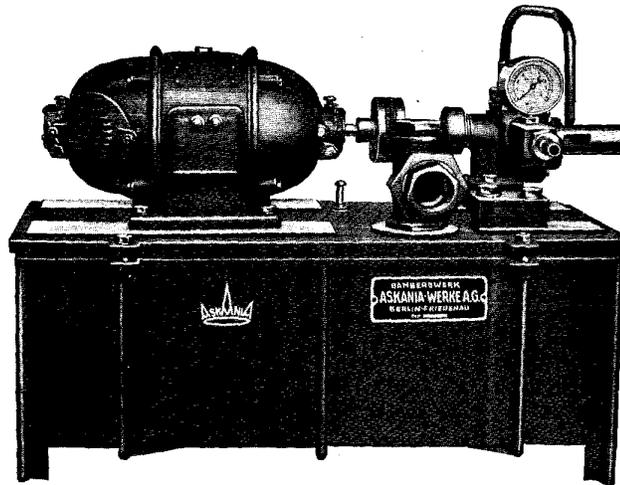
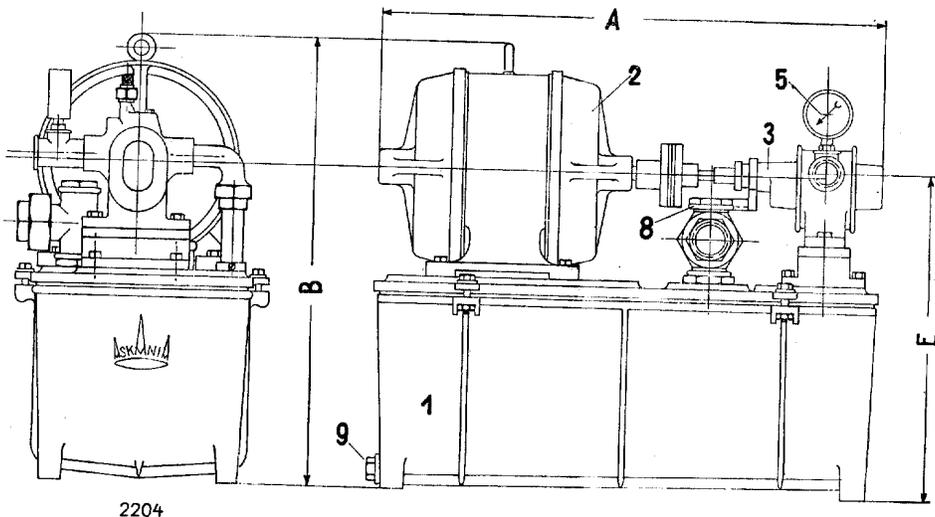


Bild 1. Etwa  $\frac{1}{8}$  natürlicher Größe, Gewicht etwa 90—130 kg, davon Motor 30—70 kg

Aus der Tabelle zu Bild 2 sind die Abmessungen des Pumpwerks zu ersehen. Pumpe und Motor werden der geforderten Leistung entsprechend gewählt. Normale Spannungen sind bei Drehstrom von 50 Hertz 127/220, 220/380, 500 Volt, und bei Gleichstrom 110, 220 Volt.

RESTRICTED

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



2204

- 1. Ölbehälter
- 2. Antriebsmotor
- 3. Ölpumpe
- 4. Saugstutzen
- 5. Manometer
- 6. Druckstutzen
- 7. Ölrücklaufleitung
- 8. Öleinfüllstutzen mit Sieb
- 9. Ablasschraube mit Ölbehälter, R 3/4"
- 10. Ölstandsanzeiger

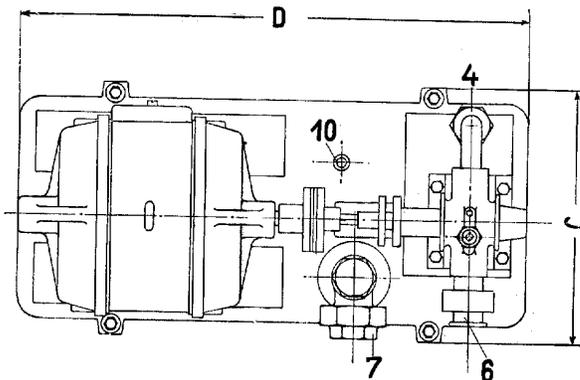


Bild 2. Maßskizze: Zentralölpumpwerk

| Anzahl der Regler | Drehstrom     |     |     |     |     |     | Gleichstrom   |     |     |     |     |     | Rohrweite für Öl- |             |
|-------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|-------------|
|                   | Motorleistung | A   | B   | C   | D   | E   | Motorleistung | A   | B   | C   | D   | E   | Druckleitung      | Rückleitung |
| bis 2             | 0,65 kW       | 535 | 550 | 350 | 700 | 434 | 0,5 kW        | 655 | 525 | 350 | 700 | 420 | R 3/4"            | R 1 1/2"    |
| bis 4             | 1,0 kW        | 580 | 550 | 350 | 700 | 436 | 1,0 kW        | 740 | 595 | 350 | 700 | 436 | R 1"              | R 1 1/2"    |
| bis 6             | 1,5 kW        | 760 | 655 | 350 | 700 | 468 | 1,5 kW        | 850 | 640 | 350 | 700 | 454 | R 1 1/4"          | R 1 1/2"    |

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

RESTRICTED



# Gasdruckregelung mit dem Askania-Strahlrohr-Regler

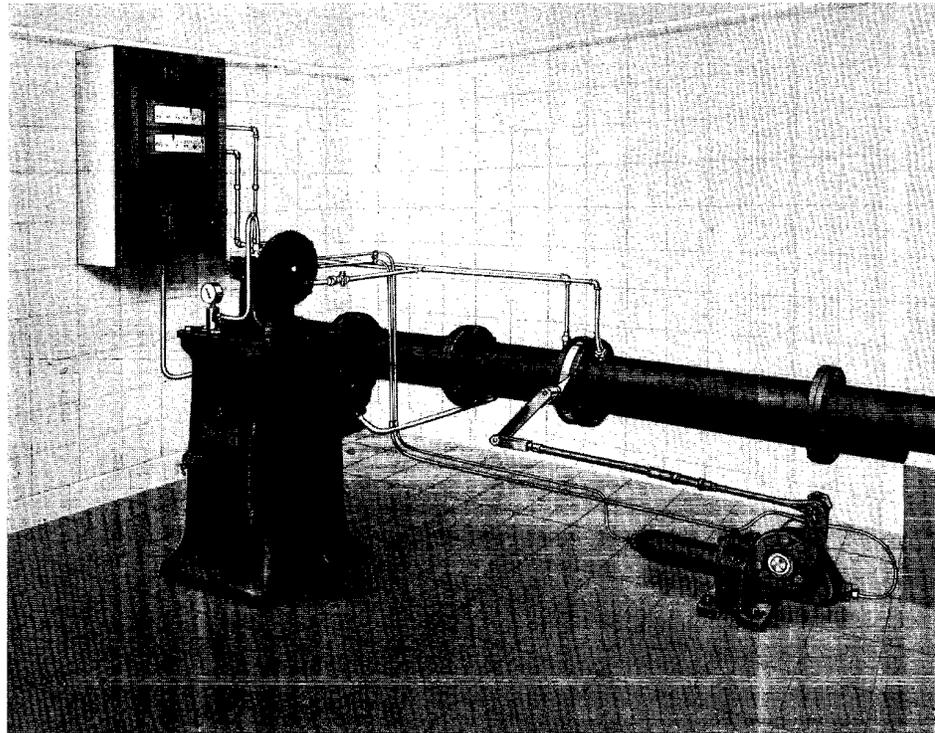


Abb. 1  
Gasdruckregleranlage

Zu der in Abb. 1 dargestellten Askania-Gasdruckregleranlage gehören folgende Teile:

1. Das Regelorgan (Druckschrift R 831)
2. Der Steuerzylinder (Druckschrift R 801, 802)
3. Das Steuerwerk, Bauart Rm-e (Druckschrift R 601)
4. Die Druckölanlage (Druckschrift R 851, 852, 853)
5. Eine Kontroll- und Meßeinrichtung zur Überwachung der Regleranlage (Druckschrift B 307, 322).

Die Abbildung 2 zeigt die Schaltung des Askania-Gasdruckreglers, bei der der Druck in einer Leitung

durch Drosselung des höheren Vordruckes durch Betätigung eines Regelorgans auf einer bestimmten Höhe gehalten werden soll.

In der Gasleitung 1 soll bei der Meßstelle 2 der Gasdruck  $p$  durch Verstellen des Steuerorgans, der Drosselklappe 3, konstant gehalten werden. Durch die Klappe wird also die durchgehende Gasmenge so geändert, daß der Druck konstant bleibt. Die Bewegung des Steuerorgans erfolgt durch den Kolben 4 im Steuerzylinder 5, dessen Bewegung durch Kolbenstange und Gestänge auf das Steuerorgan übertragen wird. Die Bewegung des Kolbens erfolgt durch Drucköl, das vom Pumpwerk 6 mit einigem Druck dem Steuerwerk zugeführt wird.

RESTRICTED

## ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU



Im Steuerwerksgehäuse 7 ist das „Strahlrohr“ 14, die um eine senkrechte Achse drehbare zwischen Spitzen gelagerte Düse, eingebaut. (Über das Strahlrohrprinzip siehe Druckschrift R 552.)

An die Meßleitung 2 ist ein Druckmeßinstrument 8 (z. B. nach Druckschrift B 307) zur Einstellung und Kontrolle des Reglers angeschlossen. Der Gasdruck wirkt auf die Steuermembran 12, die im Gehäuse 11 des Meßsystems eingebaut ist, und wird durch den Druckstift 13 auf das um eine Drehachse schwenkbare Strahlrohr 14 übertragen. Von

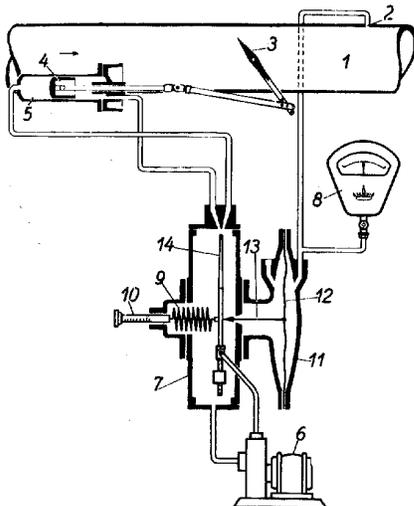


Abb. 2. Schema einer Gasdruckregelung

der Gegenseite drückt eine Einstellfeder 9 auf das Strahlrohr. Durch den mit einer geeichten Teilung versehenen Einstellschieber 10 kann die Spannung der Gegenfeder 9 verstellt werden. Das reibungsfrei gelagerte System befindet sich wie eine Waage im Gleichgewicht, wenn das Strahlrohr in der Normalstellung ist, d. h. wenn der Federdruck und der Membrandruck gleich groß sind.

Dem Strahlrohr 14 wird durch die senkrechte hohle Achse eine Arbeitsflüssigkeit, z. B. Drucköl, zugeführt, das, falls nicht anderweitig vorhanden, durch ein kleines Pumpwerk 6 erzeugt wird. Das Drucköl tritt an der Spitze mit voller Energie aus. Dem Strahlrohr gegenüber befinden sich im „Verteilerstück“ zwei dicht nebeneinander liegende Öffnungen vom Strahlrohrmündungs-Durchmesser, die ihrerseits durch zwei Druckleitungen mit den Zylinderräumen zu beiden Seiten des Kolbens 4 verbunden sind.

Die erreichbare Regelgeschwindigkeit hängt lediglich von der sekundlich ausströmenden Ölmenge ab. Sie wird dem Verwendungszweck des Reglers durch Einstellung des Öldruckes und durch Wahl verschiedener Düsenöffnungen angepaßt.

Die in Abb. 2 gezeigte Anordnung gilt sinngemäß auch für eine Überströmregleranlage, bei der durch Änderung der auf die Niederdruckseite abströmenden Gasmenge der Druck vor der Klappe konstant gehalten werden soll. Die Meßstelle 2 muß allerdings vor der Klappe angeordnet und die Anschlüsse am Steuerzylinder vertauscht werden, damit das Regelorgan bei ansteigendem Druck (Vordruck) öffnet und nicht schließt.

Abb. 1 zeigt eine ausgeführte Anlage. Steuerwerk (Druckschrift R 601) und Pumpwerk sind in einer Steueranlage 1 a zusammengefaßt (Druckschrift R 851). Die mit Stellungspfeil versehene Drosselklappe (Druckschrift R 831) wird durch den Steuerzylinder Rz 80/K (Druckschrift R 801) bewegt. Zur Kontrolle der Regleranlage sind zwei Druckanzeiger in Profilform (Druckschrift B 355) zur Anzeige von Vordruck und geregelter Druck an die Hauptgasleitung angeschlossen.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

RESTRICTED



## Absaugungsregelung für Gaswerke u. Kokereien

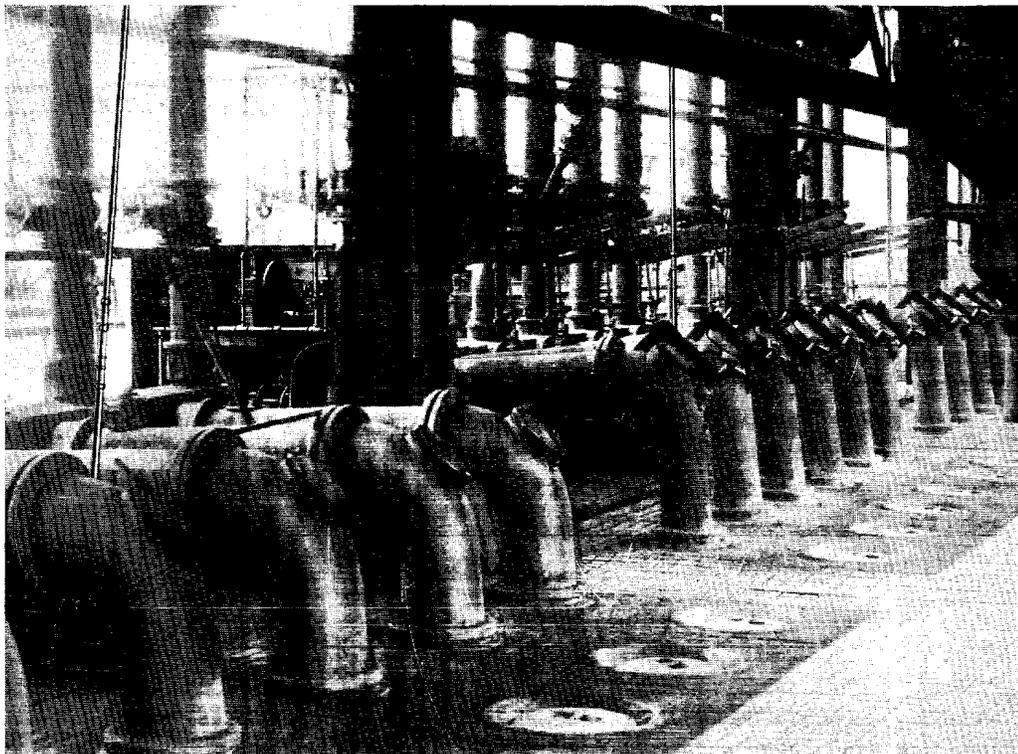


Abb. 1.  
Absaugungs-  
regelung von  
3 Ofenblocks

Die in mittleren und kleinen Gaswerken noch verbreitete Art der Absaugungsregelung ist die Umlaufregelung mittels eines direkt wirkenden Glockenreglers. Mit diesem wird der Unterdruck vor dem Sauger konstant gehalten. Die Nachteile der einfachen Glockenregler, die darin liegen, daß bei Veränderung der Gaserzeugung erhebliche Druckschwankungen in der Vorlage auftreten, hat man durch besondere Hilfsmittel zu beseitigen versucht. So wird beispielsweise eine Zusatzglocke angeordnet, die den Impuls aus der Vorlage erhält und mittels einer mechanischen Übertragung den eigentlichen Umlaufregler steuert. Alle diese behelfsmäßigen Konstruktionen haben jedoch den Nachteil, daß infolge der Massenträgheit der Glocken und der geringen Verstellkräfte die Druckregelung höchst ungenau erfolgt. Da hierdurch in erster Linie Gasausbeute und Heizwert des Gases beeinflußt werden, ist es aber bei einer richtigen Absaugungsregelung notwendig, die Drücke mit größter Genauigkeit konstant zu halten. Folgendes Rechnungsbeispiel zeigt in

einleuchtender Weise, welche Bedeutung eine richtige, genaue Absaugung für die Wirtschaftlichkeit der Gaserzeugung hat:

Um das in den Kammern erzeugte Gas abströmen zu lassen, ist zwischen Kammer bzw. Vorlage und Rohgassammelleitung ein Druckgefälle „h“ notwendig, das im allgemeinen 2—3 mm WS beträgt. Die abgesaugte Gasmenge ist dann verhältnismäßig  $\frac{1}{h}$ . Ändert sich der Druckunterschied nur um  $\pm 1$  mm WS, so entspricht dies einer Änderung der abgesaugten Menge von etwa  $\pm 20\%$ . Die Folge ist, daß entsprechende Druckänderungen in der Kammer auftreten, so daß entweder wertvolles Gas durch Abströmen in die Heizkammern verloren geht oder aber umgekehrt Rauchgase angesaugt werden, die den Heizwert verschlechtern.

Für eine einwandfreie Absaugung besteht die Forderung, daß die abgesaugte Gasmenge ständig der erzeugten Gasmenge gleich sein muß. Diese Aufgabe ist nur mit einem indirekt ge-

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN - FRIEDENAU**

RESTRICTED



steuerten Präzisionsregler zu erfüllen, der schon bei Druckunterschieden von weniger als  $\frac{1}{10}$  mm WS Verstellkräfte von über 100 kg

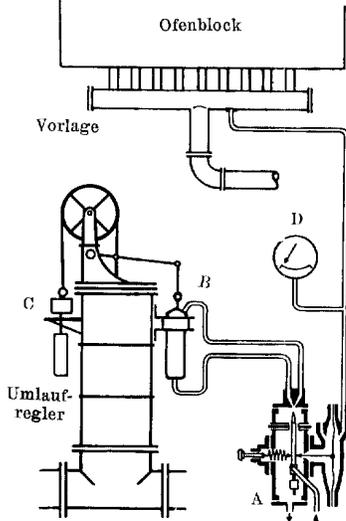


Abb. 2.

Schema der Absaugungsregelung unter Zuhilfenahme des vorhandenen Umlaufreglers.

A = Steuerwerk      C = Gegengewicht  
B = Steuerzylinder    D = Druckmesser

erzielt. Einer der bekanntesten und verbreitetsten Regler dieser Art ist der Askania-Strahlrohrregler, der sich dank seiner einfachen Bauart, seiner großen Betriebssicherheit und seiner vorzüglichen Regeleigenschaften überall selbst unter den schwierigsten Betriebsverhältnissen hervorragend bewährt hat. Die Wirkungsweise dieses Reglers ist aus der Druckschrift R 552 ersichtlich.

## Anwendung des Strahlrohrreglers

### 1. Verbesserung vorhandener Umlaufregler

Es ist ohne weiteres möglich, vorhandene Umlaufregler zusätzlich mit einem Askania-Strahlrohrregler zu versehen und zwar so, daß die Beeinflussung des Reglers durch den Vorlagendruck erfolgt. Die Wirkungsweise eines solchen Reglers ist schematisch in Abb. 2 dargestellt.

Der Druck in der Vorlage wird mittels einer Impulsleitung auf die Reglermembran übertragen. Abweichungen vom Soll-Druck bewirken einen Ausschlag des Strahlrohres nach rechts oder links und damit eine Bewegung des an-

geschlossenen Steuerzylinders. Dieser Steuerzylinder ist mittels eines Hebels mit der Tauchglockenaufhängung verbunden. Der Glockenregler wird somit nur als Regelorgan benutzt, seine Steuerung erfolgt jedoch durch den Strahlrohrregler in Abhängigkeit vom Druck in der Vorlage.

Die Abbildung 3 zeigt eine ausgeführte Anlage dieser Art. Der Strahlrohrregler ist im Saughaus aufgestellt und von hier aus mit der Vorlage durch eine Impulsleitung verbunden. Die Entfernung fällt kaum ins Gewicht, da die Übertragung jeder Impulsänderung mit Schallgeschwindigkeit erfolgt und infolge des geringen Membranhubes des Meßsystems keine Gasströmung auftritt.

### 2. Blockregelung

Die Absaugungsregelung kann auch so ausgeführt werden, daß durch Steuerung einer in die Absaugleitung unmittelbar hinter der Vor-



Abb. 3. Umlauf-Regelung.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN - FRIEDENAU**



lage eingebauten Drosselklappe die Konstanthaltung des Vorlagendrucks erfolgt. Diese Art der Regelung wird vorzugsweise bei Anlagen mit mehreren Ofenblocks angewandt, wobei dann jeder einzelne Block einen Regler erhält. Es wird damit erreicht, daß bei verschiedenen Beschickungszeiten der einzelnen Ofenblocks die Absaugung den verschiedenen Gärungszeiten entsprechend erfolgt. Die Wirkungsweise des Reglers ist grundsätzlich die gleiche wie vor, nur daß an Stelle des Umlaufes eine Drosselklappe in der Absaugungsleitung betätigt wird. Die Regler werden zweckmäßig an einer geeigneten Stelle auf den Öfen aufgestellt. In Abb. 1 ist eine solche Regler-Anlage für 3 Ofenblocks zu sehen. Unterhalb der einzelnen Absaugungsrohre von den Kammern sieht man die Steuerzylinder, die je eine Drosselklappe in den darüber liegenden Absaugungsrohren, die von den gemeinsamen Vorlagen für je 6 Kammern abzweigen, betätigen.

Eine Blockregelung für eine kleine Gas-erzeugungsanlage zeigt die Abb. 4. Auf einem Konsol ist das Steuerwerk angeordnet, darunter das Ölpumpwerk und seitlich der Steuerzylinder und das Verbindungs-gestänge zu der darüber befindlichen Drosselklappe. Der geregelte Druck wird mit einem Askania-Membrandruckschreiber registriert. Der Schreibstreifen läßt erkennen, daß der Regler praktisch einen geraden Strich fährt.

In Abb. 5 ist ein Ausschnitt aus einem Original-Diagramm eines Absaugungsreglers dargestellt. Die regelmäßig auftretenden kurzen Spitzen sind durch das Laden der Kammern bedingt.

### 3. Besondere Verfahren für richtige Absaugung

In den vorhergehenden Ausführungen war zum besseren Vergleich mit dem bisher allgemein üblichen Regelverfahren die Anwendung des Askania-Reglers als gewöhnlicher Druckregler beschrieben. In vielen Fällen wird jedoch die gewöhnliche Druckregelung nicht zum Erfolg führen.

Jede Absaugungs-Druckregelung, die mit Hilfe eines Membranreglers erfolgt, ist in Wirklichkeit eine Differenzdruckregelung, und zwar wirkt auf den Regler der Unterschied zwischen Druck in der Vorlage und Druck der freien

Atmosphäre. Dieser äußere Luftdruck kann jedoch erheblichen Schwankungen unterworfen sein, durch die der Regler und damit die Absaugung ungünstig beeinflußt werden. Wird der Regler im Saugerhaus aufgestellt, das beispielsweise eine Tür nach Osten und eine nach Westen hat, so wird sich bei Westwind der

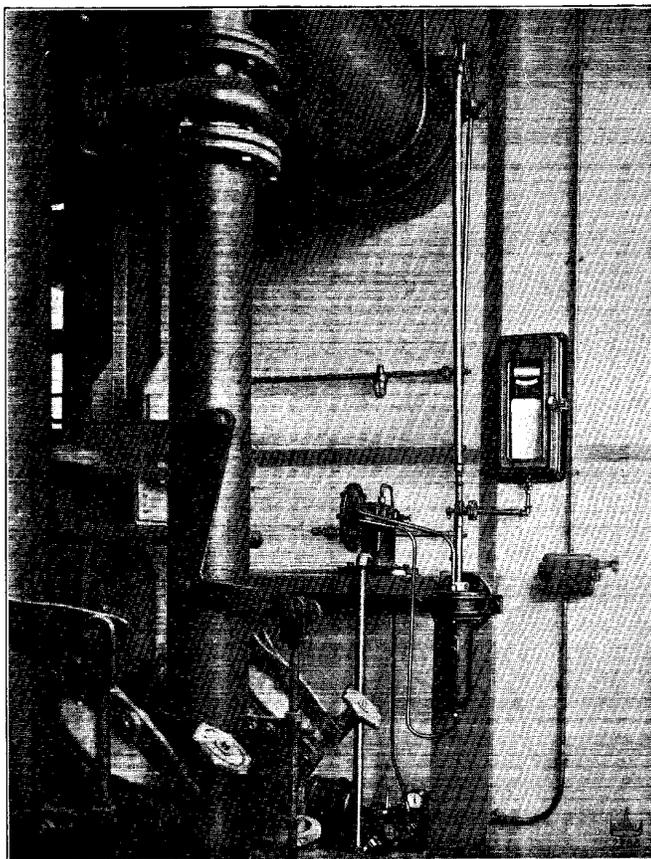


Abb. 4. Blockregelung (1 Ofen).

Druck um mehrere mm WS verändern, je nachdem die Tür nach Westen oder die nach Osten geöffnet wird. In noch größerem Maße macht sich der Druckunterschied bemerkbar, wenn die Regler im Freien aufgestellt werden (vergl. Abbildung 1), insbesondere dann, wenn windiges und stark böiges Wetter herrscht.

Die Askania-Werke besitzen grundlegende Verfahrenspatente, durch die Schaltungen geschützt sind, die es in einfachster Weise gestatten, auch für die genannten Fälle eine Regelung zu schaf-

RESTRICTED

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

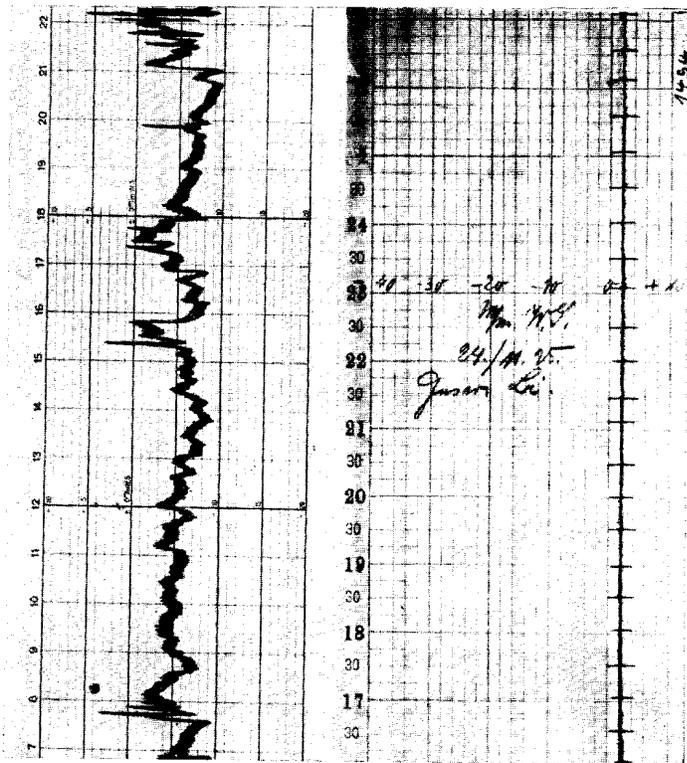


Abb. 5. Druckverlauf in der Saugleitung  
ohne Regler mit Askania-Regler.

fen, bei der die Wind- und Witterungseinflüsse beseitigt sind. In Abbildung 6 ist unser Regelverfahren dargestellt. Die Regelung der Absaugung erfolgt nach dem Druck an einer Stelle, die sich bei Witterungseinflüssen, insbesondere bei Wind aus den verschiedenen Richtungen gleichartig verhält, wie die Drücke in den Kammern. In den meisten Fällen ist dies der sogenannte „Meistergang“ unterhalb der Öfen, der eine neutrale, ganz im Ofenblock gelegene Stelle ist. Die Absaugung erfolgt demnach mittels eines Differenzdruckreglers, der die Absaugung der Gase so einstellt, daß der Druck in der Vorlage zu dem Druck an der neutralen Stelle in einem bestimmten Verhältnis steht.

Durch Anwendung des Askania-Strahlrohrreglers ist deshalb eine Rücksichtnahme auf den Aufstellungsort nicht notwendig, man wird auch bei ungünstigen örtlichen Verhältnissen ein einwandfreies Ergebnis erhalten.

Der Askania-Regler gewährleistet richtiges Absaugen und bringt deshalb einen vollen Erfolg.

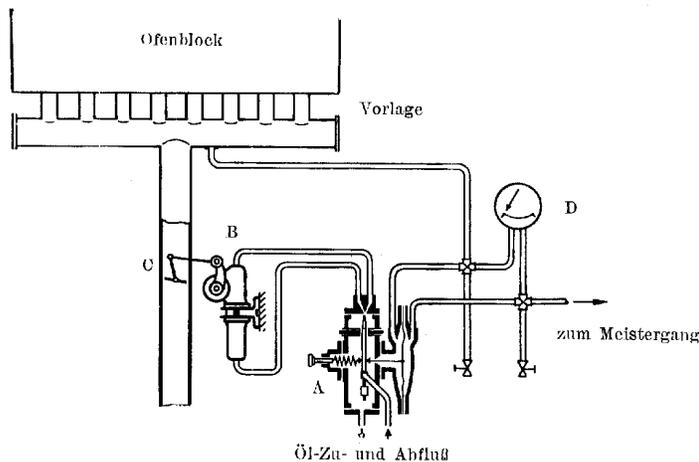


Abb. 6.  
Anordnung der Askania-Differenzdruckregelung.  
A = Steuerwerk      C = Drosselklappe  
B = Steuerzylinder      D = Differenzdruckmesser



# Gemischregelung mit dem Askania-Strahlrohrregler

In allen Industriebetrieben mit Gasfeuerungen bedingen wirtschaftliche Verbrennung und Einhaltung eines gleichmäßigen Ofenzustandes, das Verhältnis der der Feuerstätte zugeführten Gasmenge und Verbrennungsluftmenge aufrecht zu erhalten. Der Askania-Gemischregler erfüllt diese Forderung zweifellos am besten, weil ihm ein Arbeitsverfahren zugrunde liegt, das unabhängig von Schwankungen des Gasdruckes, des Luftdruckes oder des Unterdruckes im Ofen stets das richtige Mengenverhältnis von Gas und Luft einhält. Die Vorrichtung besteht darin, daß auf den Strahlrohrregler (Grundsätzliches über Aufbau und Arbeitsweise s. Druckschrift R 552) die tatsächlichen Mengenwerte einwirken, die mittels der Differenzdrücke an je einer Stauscheibe in der Gas- und Luftleitung gewonnen werden, im Gegensatz

zu anderen Verfahren, die Druckänderungen, Geschwindigkeitsänderungen u. ä. für die Regelung verwenden.

Ein weiteres Anwendungsgebiet für den Gemischregler besteht bei Hochofenwerken, wo das anfallende Hochofengas mit Koksofengas gemischt wird oder auch bei der Mischung von Hochofengas, Koksgas und Generatorgas. Der Gemischregler hat hierbei die Aufgabe, je nach der anfallenden Hochofengasmenge im gleichen Verhältnis das Zweitgas zuzumischen, um einen gleichmäßigen Heizwert zu erzielen.

Die Anordnung des Reglers ist im Bild 2 dargestellt. Durch die Leitung 1 strömt das Erstgas (z. B. Mischgas), welches mengenmäßig durch die eingebaute Stauscheibe 4 erfaßt und am Mengemesser 6 ab-

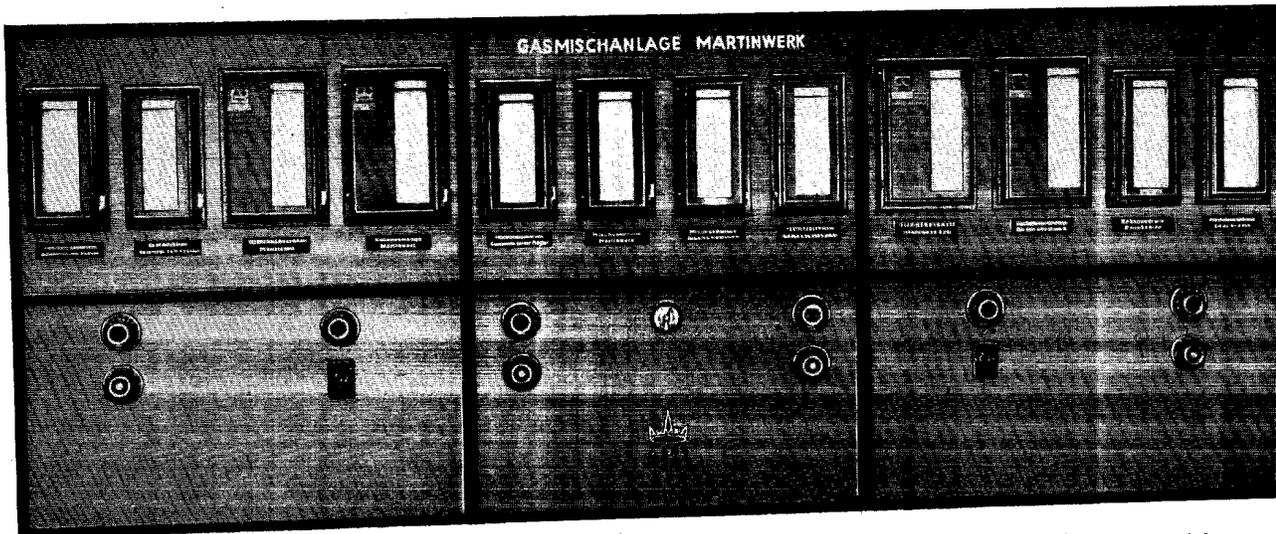


Bild 1. Askania-Gemischregler- und Meßanlage in dem Martinwerk eines großen westdeutschen Hüttenbetriebes

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

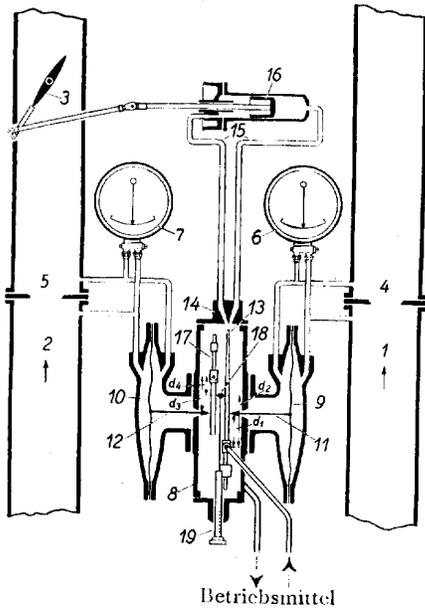


Bild 2. Darstellung der Arbeitsweise der Askania-Gemischregelung

gelesen wird; durch die Leitung 2 strömt das Zweitgas (z. B. Verbrennungsluft), welches ebenfalls mengenmäßig durch die eingebaute Stauscheibe 5 ermittelt und am Mengemesser 7 angezeigt wird. Die beiden Differenzdrücke beeinflussen je ein Membran-System am Gemischregler. Wird der Ofenbetrieb gesteigert und dadurch die Gasmenge 1 vergrößert, so steigt der Differenzdruck an, die Membran 9 biegt sich nach innen durch und überträgt diese Bewegung mittels des Druckstiftes 11 auf das Strahlrohr 13. Das Strahlrohr bewegt sich nach links, das Drucköl strömt über das Verteilerstück 14 durch die linke der beiden Leitungen 15 zum Steuerzylinder und bewegt den Kolben 16 so, daß die Drosselklappe 3 geöffnet wird. Im gleichen Augenblick strömt mehr Luft durch die Leitung 2, der Differenzdruck an der Stauscheibe 5 wird größer, er bewirkt eine Durchbiegung der Membran 10 nach innen, die über den Druckstift 12 auf das Strahlrohr übertragen wird. Das Strahlrohr

wird hierdurch wieder in seine Mittellage zurückgeführt und der Regelvorgang ist zur Ruhe gekommen, sobald sich die Differenzdrücke an den Stauscheiben 5 und 4 das Gleichgewicht halten. Die Folge ist, daß in jedem Falle das vorgeschriebene Verhältnis der beiden Gase genauestens aufrechterhalten bleibt.

Beim Verbrennungsvorgang ist es mitunter notwendig, den Luftüberschuß zu verändern, ebenso muß bei der Mischung von zwei Gasen zeitweilig das Mischungsverhältnis geändert werden, je nach dem Heizwert der einzelnen Gase. Hierzu dient der Gemischschieber 19, der folgende Wirkung hat: Die Übertragung des Sekundär-Differenzdruckes erfolgt nicht unmittelbar auf das Strahlrohr, sondern unter Zwischenschaltung eines Gegenhebels 17 und eines Zwischenstückes 18, das durch

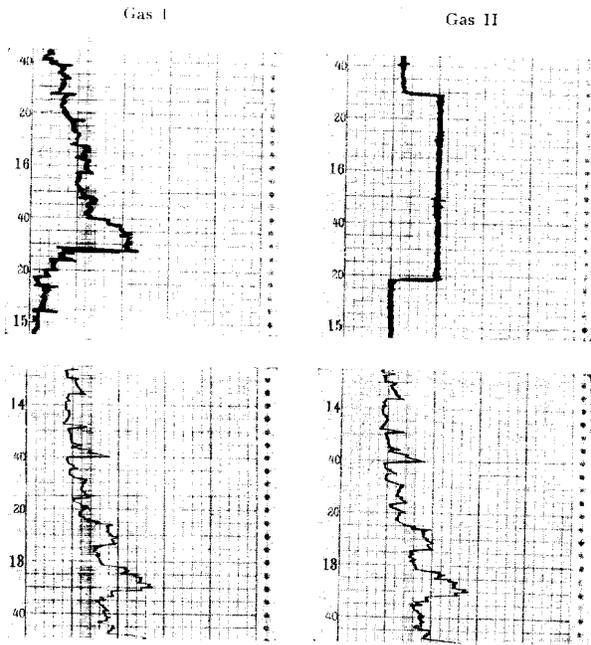


Bild 3. Vergleichsaufnahmen zwischen Handregelung (oben) und Askania-Gemischregelung (unten)

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



den Gemischschieber 19 verschoben werden kann. Man kann hierdurch das Kräftegleichgewicht der Differenzdrücke  $h_1$  und  $h_2$ , die auf das Strahlrohr einwirken, verändern. Steht z. B. das Zwischen-

als der Differenzdruck  $h_1$  ist. Es muß also eine um das eingestellte Verhältnis kleinere Luftmenge durch die Leitung 2 gehen, um das Gleichgewicht aufrecht zu erhalten. Diese Einrichtung gestattet das Verhältnis der Differenzdrücke in den Grenzen von 0,3—3,5 zu verändern; ein Wert, der sich als praktisch ausreichend erwiesen hat.

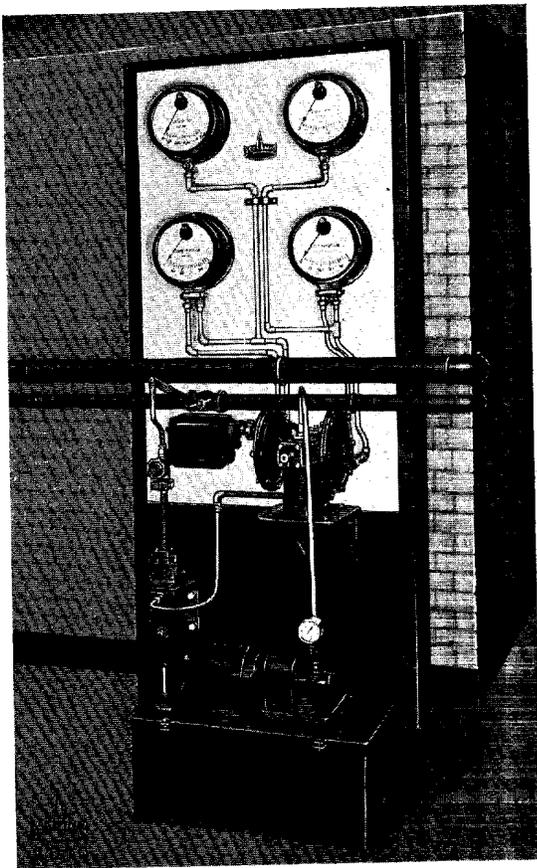


Bild 4. Askania-Gemischregler-Anlage an einem Industrieofen

Die überzeugende Arbeitsweise des Askania-Gemischreglers ist aus den in Bild 3 gezeigten verkleinerten Wiedergaben von Originaldiagrammen ersichtlich. Die beiden oberen Diagramme sind vor Einbau des Gemischreglers aufgenommen, das Gas 2 wurde hierbei von Hand eingestellt. Trotz der vorhandenen Meßinstrumente wurde nur eine unvollkommene Einstellung, d. h. eine stufenweise Regelung erzielt. Die beiden unteren Diagramme zeigen dagegen, daß nach Inbetriebsetzung des Gemischreglers das Gas 2 jeder, auch der geringsten Mengenänderung des Gases 1 folgt, und daß somit ständig das eingestellte Verhältnis gewahrt bleibt.

Aus Bild 4 ist eine ausgeführte Anlage an einem Industrieofen ersichtlich. Das Regler-Steuerwerk ist auf einem Konsol an der Überwachungstafel befestigt, darunter befindet sich ein Zentral-Ölpumpwerk für die Ölversorgung des Reglers, links daneben ist der Steuerzylinder befestigt, von dem aus das Regelorgan betätigt wird. Auf der Überwachungstafel befindet sich ferner der Motorschalter zum Einschalten des Pumpwerkes und je ein Überwachungsinstrument für Druck und Differenzdruck (Menge) von Gas 1 und Gas 2. Bei größeren Anlagen, bei denen mehrere Regler notwendig sind (Temperatur-, Druck- und Gemischregler), werden diese zweckmäßig mit den Überwachungsinstrumenten in einem gemeinsamen Reglerschrank untergebracht, wie es Bild 1 zeigt.

stück genau in der Mitte am Angriffspunkt der Druckstifte 11 und 12, so ist der Regler in Ruhe, wenn beide Differenzdrücke  $h_1$  und  $h_2$  gleich groß sind. In der gezeichneten Stellung des Mittelschiebers wird infolge der Hebelwirkung des Gegenrohres ein Differenzdruck  $h_2$  benötigt, der kleiner

RESTRICTED

ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU

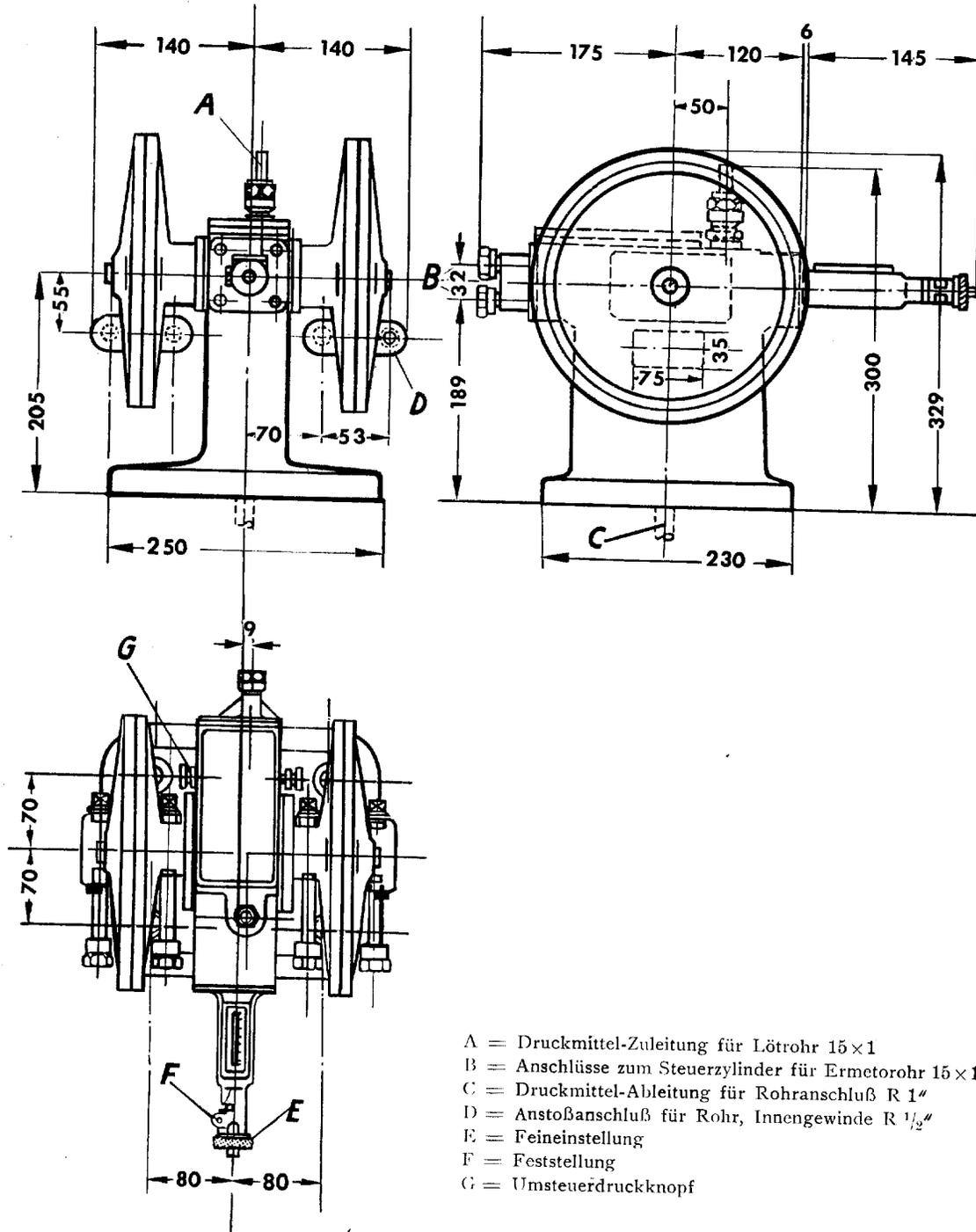
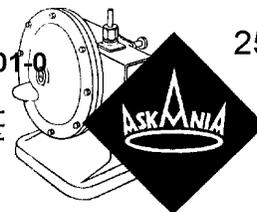


Bild 5. Abmessungen des Gemischregler-Steuerwerkes

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



# Selbsttätige Feuerregelung

## Arbeitsverfahren und Anwendung

Die Einführung selbsttätiger Feuerungsreglerkennzeichnet einen neuen Abschnitt in der Geschichte des Dampfkesselwesens. Alle früheren Bestrebungen, den bestmöglichen Wirkungsgrad in der Energieumformung zu erreichen, konnten nicht befriedigen, solange sie mit unzulänglichen Mitteln verfolgt wurden. Der Übergang zu hochwertigen mechanischen Feuerungen hat die erwartete Steigerung der Wirtschaftlichkeit nicht gebracht, der tatsächliche Brennstoffverbrauch im Dauerbetrieb steht bekanntermaßen im Mißverhältnis zu dem garantierten und meist nur bei Abnahmeversuchen erreichten Wirkungsgrad. Bei der Anwendung zahlreicher Meßinstrumente bleibt man stets abhängig von menschlicher Bedienung, die außerdem erst dann einsetzt, wenn die Störungsursachen erkennbar sind. Der Einbau von Dampf- und Wasserspeichern lohnt vielfach trotz unverkennbarer Vorteile den bedingten hohen Kapitalaufwand nicht; die Bedeutung der Speicher hat auch im gleichen Maße abgenommen, wie die Elastizität der Kessel gesteigert werden konnte. Die Ansprüche an eine gewissenhafte Bedienung und Feuerführung sind also durch die Entwicklung des Kesselbaues nicht verringert worden. Der Übergang zu hochelastischen Kesseln und hohen Dampfdrücken verlangt geradezu eine selbsttätige Feuerführung, deren Vorteile aber auch an älteren Kesselbauarten mit geringen Mitteln nutzbar gemacht werden können.

Wirtschaftliche und betriebstechnische Vorteile des selbsttätig geführten Feuerungsbetriebes gegenüber der Handbewegung sind:

### Dauerndes Gleichgewicht zwischen Wärmebedarf und Wärmezufuhr.

Die Dampferzeugung der selbsttätig geregelten Kessel wird augenblicklich und äußerst genau dem Belastungswechsel angepaßt.

### Die Elastizität des Kessels wird erhöht,

weil die volle Leistungsfähigkeit zur Ausnutzung kommt.

### Die Kesselheizfläche kann voll ausgenutzt werden,

da der Kesseldruck selbsttätig auf Konzessionshöhe gehalten wird, was vielfach eine Steigerung in der Dampferzeugung bedeutet.

### Zusatzverluste bei Laständerungen verringern sich,

der Luftüberschuß und damit der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Rauchgase kann bei allen Lasten konstant oder planmäßig gehalten werden.

### Die Überhitzungstemperatur wird durch den günstigen CO<sub>2</sub>-Gehalt gleichmäßig gehalten,

wenn die Lage des Überhitzers zu der Kesselheizfläche konstruktiv richtig gewählt worden ist,

### Die Brennstoffersparnis beträgt mindestens 2-3 Prozent,

auch bei den gepflegtesten Anlagen, und ist um so höher, je größer und häufiger Lastschwankungen auftreten.

### Das Bedienungspersonal wird entlastet,

da ihm lediglich die Pflege des Feuerbettes und die Beobachtung des Wasserstandes obliegt.

### Feuerrost und Mauerwerk

werden infolge geringerer Auskühlung bei Schwachlast geschont. Gleichermäßen schützt der gesteuerte Luftüberschuß diese Teile vor übermäßig hohen Temperaturen.

## Arbeitsverfahren der Askania-Kesselregelung

Für die selbsttätige Regelung ergeben sich im wesentlichen folgende Aufgaben:

1. Schnelle und genaue Anpassung von Brennstoff- und Luftzufuhr an die Kesselbelastung  
 . . . . . **Belastungsregelung**
2. Aufrechterhaltung des günstigsten Mengenverhältnisses von Luft zu Brennstoff bei allen Lasten  
 . . . . . **Verbrennungsregelung**
3. Planmäßige Lastverteilung auf mehrere Kessel  
 . . . . . **Lastverteilung**

### 1. Belastungsregelung

Die Kesselorgane müssen augenblicklich so gesteuert werden, daß das Gleichgewicht zwischen Wärmezufuhr und Dampfbedarf überhaupt nicht gestört wird. Den Ausgangspunkt hierfür bildet die Meßgröße, die den Belastungswechsel anzeigt, bevor sich der Kesseldruck zu ändern beginnt. Bei gleichbleibendem Kesseldruck zeigt der Dampfdruck der Sammelleitung sofort die Last an. Dieser Druck ist um den Strömungsabfall zwischen



Kessel und Meßstelle in der Sammelleitung kleiner als der Kesseldruck (Bild 1). Läßt man auf die Membran 4 (Bild 2) nicht den Sammelleitungsdruck selbst, sondern den Druckunterschied gegenüber dem Sollwert des Kesseldruckes wirken, dann beeinflusst die Belastung unmittelbar die Steuerung. Der wirksame Druckunterschied wächst quadratisch mit der Belastung.

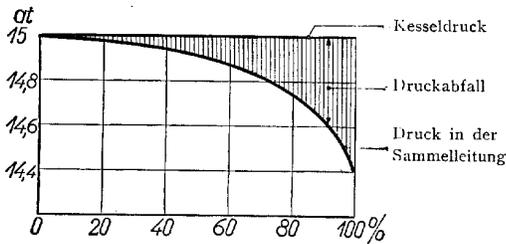


Bild 1  
Der Dampfdruck der Sammelleitung zeigt augenblicklich die Belastung an.

Um alle fehlerhaften Einflüsse auf den Regelvorgang auszuschalten, wird der Askania-Feuerregler mit einer Membranrückführung ausgestattet, auf die eine mit der gesteuerten Menge quadratisch wachsende Druckkraft wirkt. Die Steuerung kommt sofort zur Ruhe, sobald Dampfbelastung und gesteuerte Menge übereinstimmen.

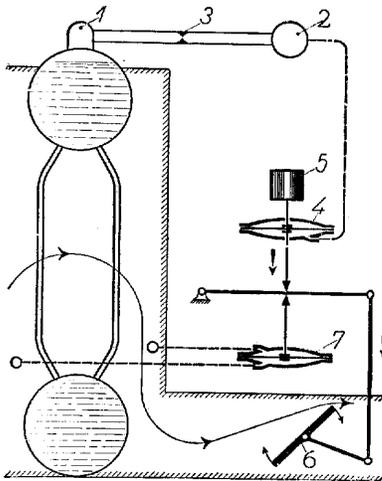


Bild 2  
Regelung der Rauchgasklappe nach der Belastung mit Rückführung durch die Rauchgasmenge:

1. Dampfraum des Kessels
2. Dampfsammelleitung
3. Strömungswiderstand des Überhitzers
4. Belastungsmeßsystem
5. Gewicht
6. Rauchklappe
7. Rückführmeßsystem.

In Bild 2 und 3 sind Mengenrückführungen schematisch dargestellt. Bild 2 zeigt die Regelung einer Rauchgasklappe nach der Belastung mit Mengenrückführung durch den Rauchgasdifferenzdruck. Bild 3 zeigt am Beispiel eines Wanderrostes die Rückführung für einen Kohlenmengenregler ebenfalls in Abhängigkeit von der Belastung. Die zugeführte Brennstoffmenge ist bei unveränderlicher Schütthöhe der Vorschubgeschwindigkeit und somit der Antriebsdrehzahl proportional. Zur Antriebsrückführung braucht man eine Meßgröße, die mit der Kohlenmenge, also mit der Antriebsdrehzahl, quadratisch zunimmt.

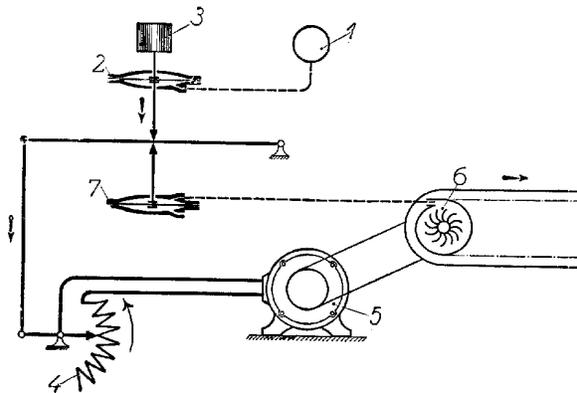


Bild 3  
Belastungsregelung des Wanderrostes:

1. Dampfsammelleitung
2. Belastungsmeßsystem
3. Gewicht
4. Nebenschlußwiderstand
5. Motor
6. Meßgebläse
7. Rückführmeßsystem.

Das Askania-Meßgebläse liefert diese Meßgröße in Form eines mit der Drehzahl quadratisch wachsenden Unterdruckes, der — im Gegensatz zu Fliehkraft-Drehzahlmessern, bei denen ein besonderer Wandler für die Meßgröße zwischengeschaltet werden muß — unmittelbar als Rückführwert auf die zweite Membran des Belastungsreglers zur Einwirkung gebracht wird. Das Meßgebläse läßt sich mit dem Rostantrieb unmittelbar koppeln. Es ist bemerkenswert, daß bei dieser Antriebsrückführung nur das Endergebnis des Schaltvorganges, die Drehzahl, auf die Regeleinrichtung zurückwirkt, während Spannungsschwankungen und Ungenauigkeiten des Regelwiderstandes keinen Einfluß haben.

Unvollkommene Reglerbauarten beschränken sich darauf, die Steuerung des Kesselverstellgliedes nur von der Belastungsgröße zu beeinflussen.

RESTRICTED



25X1A

Diese sogenannte Stellungsregelung erfordert verwickelte Kompensationseinrichtungen, um die Membrandruckkraft mit dem Hub des Kraftgetriebes — beide weisen verschiedene Charakteristiken auf — in Übereinstimmung zu bringen; ganz abgesehen davon liefert die Stellung des Kraftgetriebes kein zuverlässiges Maß für die austesteuerte Luft- oder Brennstoffmenge.

Bei der Belastungsregelung lassen sich die Meßgrößen für Dampf und Rauchgas bzw. Kohle in jedem Falle so einstellen, daß Wärmeentwicklung in der Feuerung und Wärmeabgabe als Dampf stets im Gleichgewicht gehalten werden. Die Schwankungen der Feuerung sind gleich den Lastschwankungen. Die Folge dieses Wärme-gleichgewichtes ist ein bei allen Belastungen gleichbleibender Kesseldruck.

Man kann die Regelung auch so treiben, daß die Speicherfähigkeit des Kessels planmäßig ausgenutzt wird. Für diesen Betriebsfall ist der Belastungsregler so einzustellen, daß die Schwankungen der Feuerung kleiner werden als die Lastschwankungen. Der fehlende Wärmebetrag wird unter Änderung des Kesseldruckes ausgeglichen; bei steigender Last sinkt der Druck also etwas ab.

Andererseits kann man auch durch geeignete Einstellung des Reglers erreichen, daß annähernd gleicher Dampfdruck am Verbraucher eingehalten wird. Der Kesseldruck bei Hochlast liegt dann über dem bei Schwachlast, um den größeren Druckabfall bis zum Verbraucher auszugleichen. Der Kessel neigt zum Überregeln, da mit steigender Last gleichzeitig der Druck gesteigert wird. Die Schwankungen der Feuerung werden größer als die der Lastschwankungen.

Bild 5 zeigt das Ergebnis von Versuchen, in deren Verlauf der gleichbleibende Druck am Verbraucher gefunden wurde. (Vgl. Anweisung zum Einstellen der Feuerregler.)

## 2. Verbrennungsregelung

Die zweite Aufgabe für die selbsttätige Regelung liegt darin, das richtige Mengenverhältnis von Luft und Brennstoff für jede Kesselbelastung einzubehalten. Hierdurch wird der Luftüberschuß bestimmt, der für den Kesselwirkungsgrad maßgebend ist. Der Verbrennungsregler unterscheidet sich vom Belastungsregler nur durch das Primärmeßsystem.

In Bild 4 wird die Luft durch die Rauchgasklappe 1 selbsttätig nach der Drehzahl der Kohlenstaubzuteiler 2 eingestellt, die der geförderten Kohlenmenge annähernd verhältnisgleich ist. Der Unterdruck des Meßgebläses 3 übt hier durch das Meßsystem 4 eine Kraft nach unten aus, die mit der Kohlenmenge quadratisch wächst. Die austesteuerte Rauchgasmenge, gemessen durch den Differenzdruck zwischen Anfang und Ende Kessel, wirkt ebenfalls quadratisch über die Membran 5 auf die Steuerung zurück. Das Kräftegleichgewicht der Membranen 4 und 5 gewährleistet das gleichbleibende Verhältnis von Brennstoff- und Luftzufuhr.

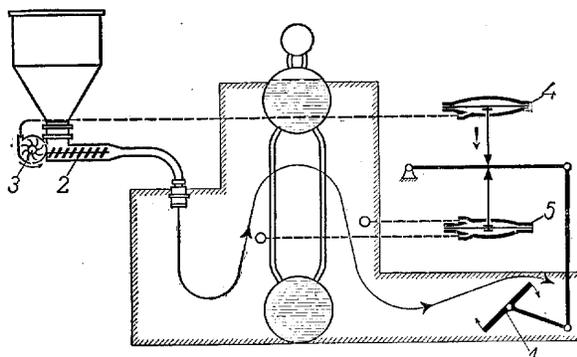


Bild 4

Regelung der Rauchgasklappe nach dem Mengenverhältnis von Kohle und Luft:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Rauchgasklappe      | 4. Von der Antriebsdrehzahl beeinflusstes Meßsystem |
| 2. Kohlenstaubzuteiler | 5. Von der Rauchgasmenge beeinflusstes Meßsystem.   |
| 3. Meßgebläse          |   |

Abweichungen vom eingestellten Luftüberschuß, die durch veränderliche Brennstoffbeschaffenheit oder sonstige unkontrollierbare Einflüsse entstehen, werden durch zusätzliche Steuereinrichtungen nach Maßgabe einer oder mehrerer Zustandsgrößen des Kessels ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO} + \text{H}_2$ , Schornsteinverlust usw.) erfaßt.

## 3. Lastverteilung

An die selbsttätigen Regler wird weiterhin die Bedingung gestellt, die Gesamtlast planmäßig auf die einzelnen Kessel zu verteilen. Hierbei werden der Verlauf der Wirkungsgradkurve oder der Verschmutzungsgrad der einzelnen Kessel berücksichtigt und die Stillstandsverluste auf das Minimum herabgesetzt. Die Askania-Feuerregler besitzen Einstellvorrichtungen, mit denen der

RESTRICTED

ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU



Lastanteil jedes Kessels auch während des Betriebes geändert oder auf einen konstanten Wert gebracht werden kann. (Druckschrift R 931.)

**Anwendung und Umfang der Feuerregler**

Die Askania-Regelanlage kann allen vorkommenden Betriebsverhältnissen angepaßt werden. Größe und Bauart der Kessel sowie Art der auftretenden Belastungen sind für den Umfang der selbsttätigen Regelung maßgebend. Die Vollautomatik sichert zweifellos den größten Erfolg. Man sollte daher auch dann, wenn zunächst nur ein teilweiser Ausbau der Regelanlage durchgeführt werden kann, die Erweiterung zur Vollautomatik nicht aus dem Auge verlieren. Das Askania-Regelsystem ist infolge der Austauschbarkeit von Steuerwerken, Meßsystemen und Kraftgetrieben in hervorragendem

Maße für den schrittweisen Ausbau geeignet. Dabei ist es gleichgültig und eine Frage der Kesselanlage, ob die Belastungs- oder Verbrennungsregelung oder die planmäßige Lastverteilung als erste Aufgabe für den selbsttätigen Betrieb betrachtet wird.

Bei Anlagen mit mehreren Dampferzeugern brauchen nur so viel Kessel selbsttätig gesteuert zu werden, wie zur Aufnahme der Lastschwankungen erforderlich sind. Die übrigen unregulierten Kessel übernehmen die Grundlast.

In den folgenden Einzeldruckschriften sind alle Regeleinrichtungen beschrieben, die sowohl den großen Ansprüchen für Hochleistungskessel genügen, als auch eine vorteilhafte Verwendung bei kleineren Kesseleinheiten und die Einführung in kleinen und mittleren industriellen Betrieben und Kraftwerken ermöglichen.

|   |                           |
|---|---------------------------|
| Regelung von Kesseln mit Rostfeuerung .....                     | R 931                     |
| „ „ „ „ Kohlenstauffeuerung .....                               | } Sonder-<br>beschreibung |
| „ „ „ „ Gasfeuerung (auch Gaszusatz und Mischgasfeuerung) ..... |                           |
| „ „ „ „ Ölfeuerung .....  |                           |
| Askania-Kraftgetriebe an Kesselverstellgliedern .....           | R 935                     |

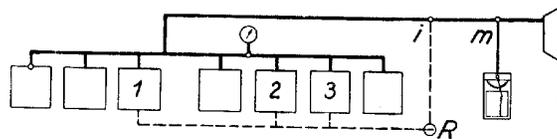
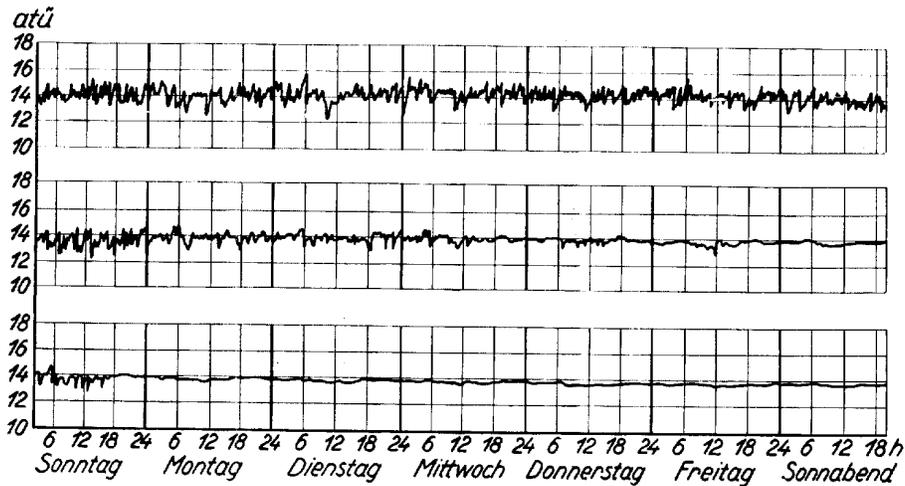


Bild 5.

Schwankungen des Verbraucherdruckes bei verschiedener Einstellung des Belastungsreglers.

- Kessel 1, 2 und 3 selbsttätig geregelt.
- i Impulsentnahme für den Belastungsregler R.
- m Dampfdruck am Verbraucher (registriert).

**RESTRICTED**

# Dampfdruckregelung mit dem Askania-Strahlrohrregler

Der Askania-Dampfdruckregler ist dort am Platze, wo es gilt, den vorgeschriebenen Druck in Dampfnetzen bei veränderlichem Vordruck und bei veränderlicher Belastung genau einzuhalten, einerlei

fache und schwierige Regelaufgaben mit der gleichen Genauigkeit und Zuverlässigkeit (über Strahlrohrprinzip siehe Druckschrift R 552). Die mit dem Askania-Regler erzielbaren Steuerkräfte

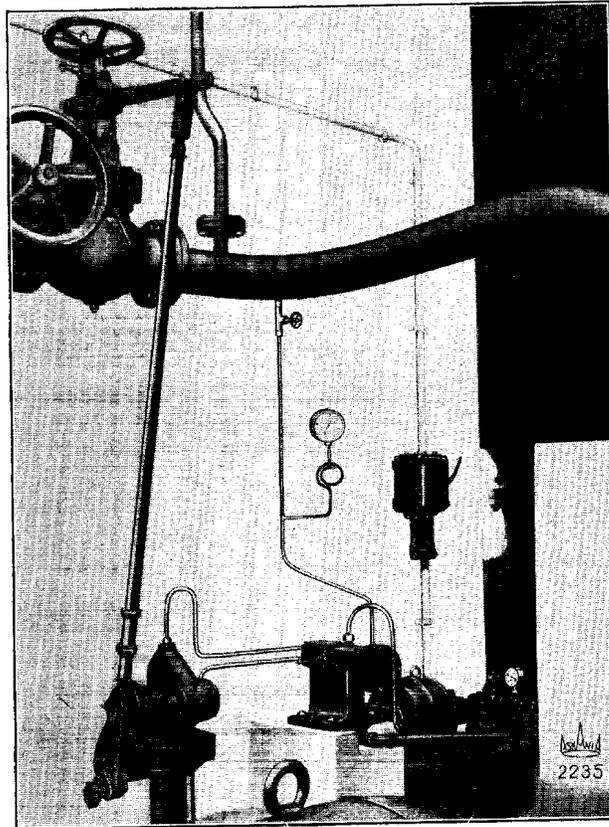


Bild 1  
Ansicht einer Dampfdruckregleranlage. Links oben Regelventil, bewegt vom Steuerzylinder links unten. Daneben Steuerwerk, angeschlossen an Impulsenntnahmestelle. Kontrollmanometer. Rechts unten Ölpumpwerk mit Motorschalter.

in welchen Grenzen Vordruck oder Verbrauch schwanken. Er ist in allen Fällen der zuverlässige Regler, wo infolge rascher und häufiger Belastungsänderung eine Druckregelung an und für sich schwierig ist.

Infolge der reibungslosen Umsetzung kleiner Meßwerte (große Empfindlichkeit) in beliebig große Steuerkräfte erfüllt dieser Askania-Regler ein-

sind so groß, daß die auftretenden Widerstände die Genauigkeit der Regelung in keiner Weise beeinflussen.

Zu der in Abb. 1 dargestellten Askania-Dampfdruck-Regleranlage gehören folgende Teile:

1. Das Regelorgan.
2. Der Steuerzylinder.

**RESTRICTED****ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



3. Das Steuerwerk Bauart Rb-e, mit eingebauter Röhrenfeder.
4. Die Druckölanlage, entweder mit dem Steuerwerk in einer Steueranlage (siehe Abb. 3) zusammengebaut oder getrennt (siehe Abb. 1).

Der im Beispiel Abb. 2 gezeigte Dampfdruckregler hat die Aufgabe, die in die Niederdruckleitung 1 über das Ventil 3 bei schwankendem Verbrauch zuströmende Dampfmenge so einzuregeln, daß der Druck  $p_2$  an der Meßstelle 2 gleichgehalten wird.

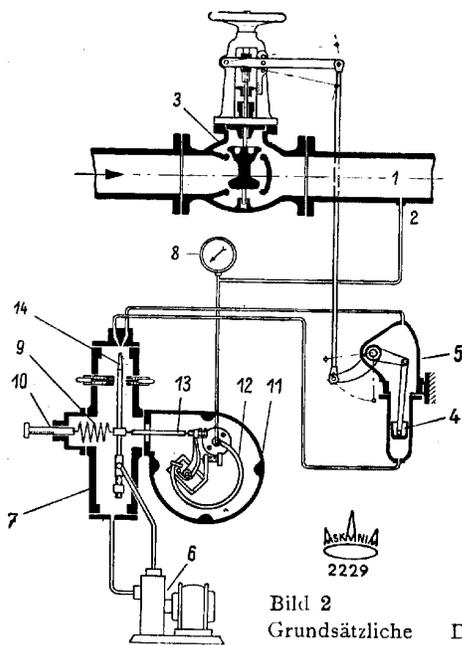


Bild 2  
Grundsätzliche Darstellung der Wirkungsweise.

Diese Aufgabe wird durch den Regler auf folgende Weise gelöst:

Der Dampfdruck der Leitung 1 (Niederdrucknetz) wird auf die Röhrenfeder 12 geleitet. Die mit den Drücken veränderlichen Kräfte der Röhrenfeder werden durch den Druckstift 13 auf das Strahlrohr 14 übertragen. Den Meßkräften wirkt die Einstellfeder 9 entgegen, deren Spannung durch den mit einer geeichten Teilung versehenen Einstellschieber 10 verändert werden kann. Dem

Strahlrohr wird von der Öldruckanlage 6 durch die senkrechte hohle Achse von oben die Arbeitsflüssigkeit — Drucköl — zugeführt. Das Drucköl tritt an der düsenförmigen Spitze mit voller aus Druck in Geschwindigkeit umgesetzter Energie aus.

Durch Ablenkung des Strahlrohres nach rechts oder links wird der Kolben 4 des Steuerzylinders 5 in bekannter Weise (Druckschrift R 552 über das Strahlrohrprinzip) bewegt und dadurch das Ventil über einen Kurbeltrieb mehr oder weniger geöffnet. Man verfolge: Steigt der Druck in der Leitung 1, so wird das Strahlrohr nach links abgelenkt, der Kolben 4 nach oben gedrückt und das Ventil schließend bewegt, bis die Zuströmmenge wieder dem Verbrauch so angepaßt ist, daß der durch die Einstellfeder 9 festgelegte Druck wieder eingeregelt ist. Dann steht das Strahlrohr auch wieder in Mittellage und der Steuerzylinder ist in Ruhe.

Die Askania-Dampfdruckregler werden mit Drucköl in geschlossenem Kreislauf betrieben, weil hierin ohne Zweifel die größte Betriebssicherheit liegt. Öl hat sich als das beste Druckübertragungsmittel erwiesen. Es friert nicht ein, verdunstet nicht und schmiert zugleich alle beweglichen Teile.

Empfehlenswert ist es, zwei handelsübliche Manometer für Vor- und für Gegendruck hinter dem Regler an der Wand anzuordnen, mit denen das Arbeiten des Reglers überwacht wird.

Das Kontrollgerät 8 ist nach Möglichkeit an die Impulsleitung zum Regler selbst oder mindestens in der Nähe des Anschlusses 2 anzuschließen. Wenn die beiden Impulsstellen für Regler und Manometer weiter auseinanderliegen, besteht die Möglichkeit, daß die Werte durch Strömungsverluste oder sonstige Einflüsse voneinander abweichen. Der Regler kann nur dort einen gleichbleibenden Druck halten, wo sein Impuls abgenommen wird.

Die Abbildungen 1 und 3 zeigen zwei nach dem in Abb. 2 gezeigten Schema ausgeführte Druckregler-

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

**RESTRICTED**

anlagen. Die Einzelteile der Anlagen sind durch Vergleich mit Abb. 2 zu erkennen. Die im Schema gezeigte Anordnung gilt sinngemäß auch für eine Überströmregleranlage, bei der der Druck vor dem Ventil (im Hochdrucknetz) durch Änderung der nach dem Niederdrucknetz abströmenden Dampfmenge gleichgehalten werden soll. Die Meßstelle 2

anpassen. Die Empfindlichkeit des Reglers läßt sich durch eine stärkere Einstellfeder herabsetzen, d. h. das Strahlrohr macht bei der gleichen Impulsabweichung dann kleinere Wege. Niemals darf jedoch durch Dämpfung des Impulsdruckes eine Beeinflussung der Regelgeschwindigkeit versucht werden. Eine einwandfreie Impulsübertragung auf

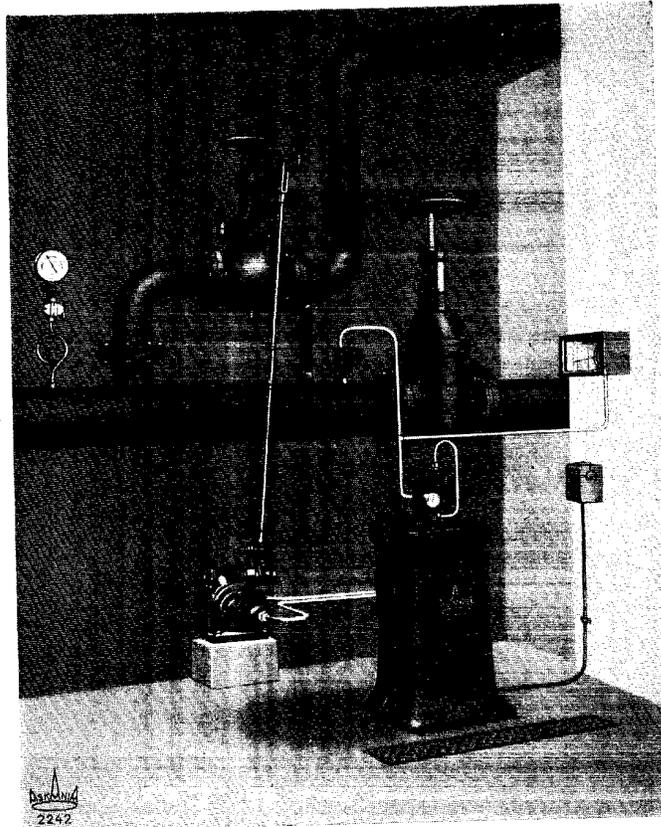


Bild 3  
Ansicht eines Dampfdruckreglers. Steuerwerk und Ölpumpwerk in einer Steueranlage vereinigt.

wird dann vor dem Ventil angeordnet und die Steuerölleitung so verlegt, daß das Regelorgan bei ansteigendem Vordruck öffnet, um den Dampfüberschuß abzulassen.

Die Regelgeschwindigkeit läßt sich durch Verwendung von Verstärkern oder durch Dämpfung in den Steuerleitungen zum Steuerzylinder den zu erwartenden bzw. den gestellten Anforderungen

das Meßsystem ist die Grundbedingung für rasches und genaues Ansprechen des Reglers.

Bei fast allen Druckregelungen erübrigt sich eine Rückführung der Ventilbewegung. Für besondere Fälle, z. B. Druckregelung für die Ferngasversorgung in kilometerlangen Leitungen mit langen Anlaufzeiten, wird eine mechanische oder hydraulische Rückführung angebaut.

**RESTRICTED****ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



Die Druckreduzierung auch für einen großen Druckunterschied, wie z. B. von 150 auf 0,1 atü, erfolgt immer in einer Stufe. Reduzierregler für dieses Druckgefälle sind von uns mehrfach ausgeführt worden. Die Ventile werden von Fall zu Fall berechnet. Auch die Wahl der Sitzform (der Doppelsitz-, Düsen- oder Einsitzventile) und die Ausbildung der engsten Querschnitte richtet sich nach den zu bewältigenden Mengen und Drücken.

Der Steuerzylinder wird so stark bemessen, daß die oft sehr veränderlichen Widerstände im Regelorgan ohne Einfluß auf die Genauigkeit der Regelung bleiben.

Soll sich bei ausbleibendem Öldruck, also z. B. bei Ausfall des elektrischen Stromes, das Regelorgan

schließen oder öffnen — je nach den Erfordernissen des Betriebes —, so wird ein entsprechend bemessenes Gegengewicht an dem verlängerten Ventilhebel angebracht. Außerdem sind dann für die Verlegung der Steuerölleitungen besondere Richtlinien zu beachten.

Die Askania-Dampfdruckregler können auch zusätzlich gestellte Bedingungen ohne weiteres erfüllen, beispielsweise in Sonderausführungen als:

- Grenzimpulsregler,
- Endlagenregler,
- Schnellschlußregler,
- Sicherheitsregler.

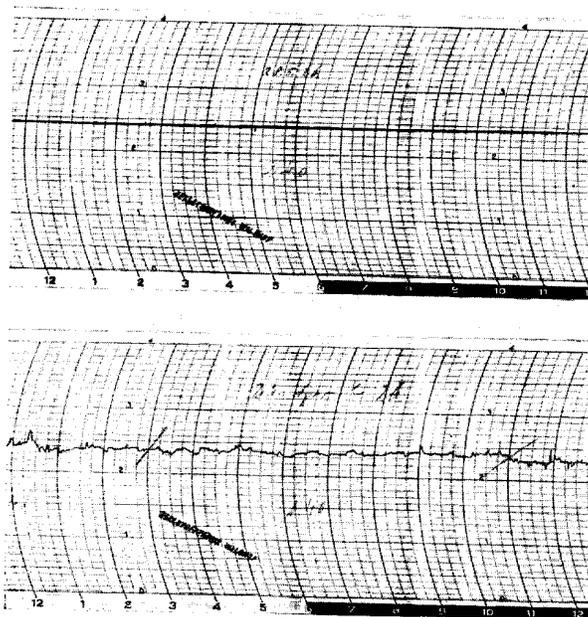


Bild 4  
Diagrammstreifen; Dampfdruckverlauf mit und ohne Regler.

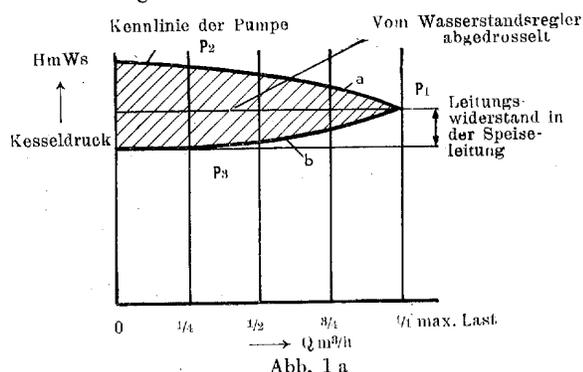
**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

RESTRICTED



## Speisewasser-Differenzdruckregelung mit dem Askania-Strahlrohrregler

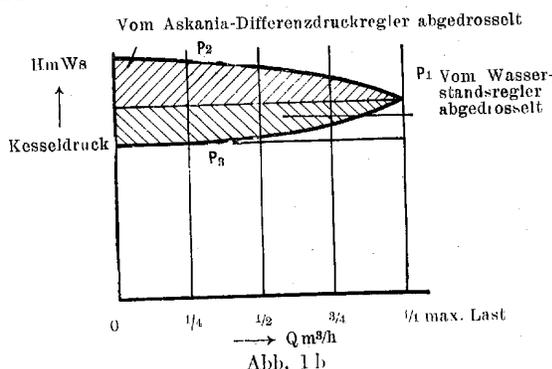
Die Aufgabe der Speisewasser-Differenzdruckregelung besteht darin, einen gleichbleibenden Druckunterschied zwischen Pumpendruck und Kesseldruck, unabhängig von Kesseldruckänderungen, einzuhalten. Dadurch wird auch bei höchster Kesselbelastung eine sichere Speisung und ein einwandfreies Arbeiten der Wasserstandsregler erreicht. Bei geringen Lasten ist eine erhöhte Wirtschaftlichkeit gewährleistet, weil der Leistungsverbrauch der Speisepumpen so klein wie möglich gehalten wird. Diese Vorgänge finden in den Abbildungen 1 a—1 c ihre Erläuterung.



In Abb. 1 a stellt die Linie a die nach Null hin stetig ansteigende QH-Linie einer Speisepumpe bei einer bestimmten Drehzahl dar. Die Linie b gibt die Summe von Kesseldruck und den mit der Belastung wachsenden Widerständen in der Speiseleitung (der Kesseldruck ist hier als konstant angenommen). Bei der max. Speisemenge ist also für die Speisung der Druck  $P_1$  erforderlich. Bei  $1/4$  Last z. B. fördert die Speisepumpe auf den Druck  $P_2$ , während für die Speisung mit Rücksicht auf Kesseldruck und Leitungswiderstände nur der Druck  $P_3$  nötig wäre. Die Druckgefälle  $P_2 - P_3$  (schraffiert) müssen aber vom Wasserstandsregler abgedrosselt werden. Infolge des großen Druckgefälles bei kleinen Lasten macht das Wasserstands-Regelventil nur ganz geringe Hübe und neigt zum Pendeln; außerdem besteht, da die Wasserstandsregler im allgemeinen keine großen Verstellkräfte besitzen, die Gefahr, daß die Ventile überdrückt werden und eine Überspeisung des Kessels stattfindet. Bei direkt wirkenden Wasserstands-

reglern darf daher ein Druckgefälle von einigen Atm. mit Rücksicht auf betriebssichere Regelung nicht überschritten werden. Dazu kommt noch, daß infolge der hohen Geschwindigkeiten bei den großen Druckgefällen nur hochwertiges, teures Material den hohen Beanspruchungen gerecht werden kann, da sich andernfalls die Ventile sehr schnell abnutzen.

Alle diese Mißstände sind durch Verwendung von Askania-Differenzdruckreglern sofort behoben (Abb. 1 b). Der für die max. Leistung nötige Pumpendruck  $P_1$  muß auf alle Fälle vorhanden sein. Wird nun für den ganzen Lei-



stungsbereich die Druckdifferenz  $P_1$  zum Kesseldruck konstant gehalten, so braucht jetzt das Regelventil des Wasserstandsreglers selbst bei kleinster Last nur das Druckgefälle  $P_1 - P_3$  abzdrosseln, d. h. die Drosselarbeit wird geteilt. Durch geeignete Impulsabnahme an einer Stelle der Speisewasserleitung näher zum Wasserstandsregler läßt sich weiterhin erreichen, daß auch der Leitungsverlust mehr oder weniger vom Askania-Regler erfaßt wird.

Es ist für den Askania-Regler ohne Bedeutung, ob die QH-Linie steiler oder flacher nach Null hin ansteigt. Das abzdrosselnde Druckgefälle kann, auch bei Verwendung von einfachen Tellerventilen, beliebig groß sein, da bei dieser Regelung fast unbeschränkte Verstellkräfte vorhanden sind.

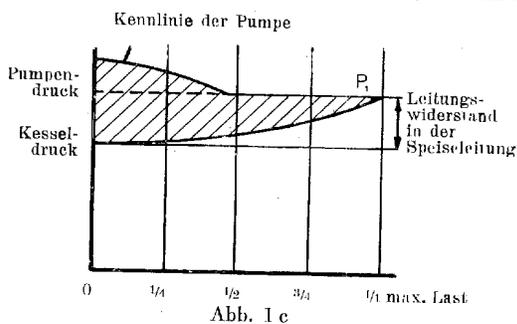
Dagegen sind die direkt auf ein Drosselorgan wirkenden Membranregler für Speisewasser-Differenzdruck in ihrem Arbeitsvermögen sehr beengt. Um die nötigen Verstellkräfte aufzubringen, müssen die Membranen eine große

RESTRICTED

ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU



Arbeitsfläche aufweisen, gleichzeitig aber, da sie Differenzdrücke von einigen Atm. auszuhalten haben (ganz abgesehen von der Möglichkeit einseitiger Belastung durch Kessel- oder Speisedruck), ziemlich kräftig gebaut sein. Das wirkt sich wiederum ungünstig auf die zur Verfügung stehenden Verstellwege aus. Derartige Regler sind daher nicht in der Lage, beliebig hohe Differenzdrücke und große Druckgefälle zu bewältigen. Vielfach läßt sich mit den Membransteuerungen die Drosselung nur bis zu einer bestimmten Teillast ermöglichen, bei kleinerer Last tritt dann der durch die Pumpencharakteristik bestimmte Druckanstieg auf, und der Wasserstandsregler kommt wieder in das ungünstige Arbeitsgebiet (Abb. 1 c). Außer-

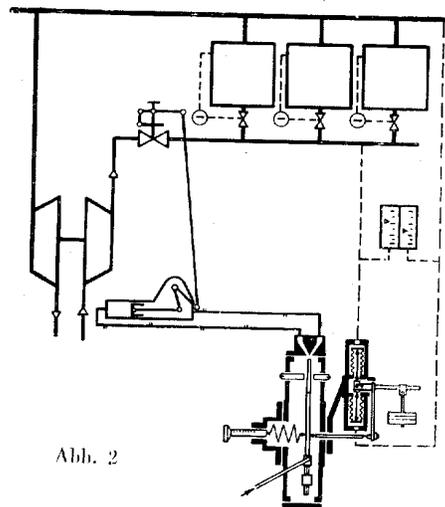


dem läßt sich natürlich mit den direkt wirkenden Membranventilen, bei denen die Überwindung der veränderlichen Gegenkräfte am Ventilkegel und der Reibungskräfte an der Stopfbüchse auf Kosten des konstant zu haltenden Differenzdruckes gehen, niemals eine derartige Genauigkeit erzielen wie mit dem Strahlrohrregler, welcher geringste Änderungen des Differenzdruckes über ein kleines Meßsystem praktisch reibungslos in größte Verstellkräfte umsetzt. Da bei fast allen Speisepumpen für Steuerung und Schmierung Drucköl ohnehin vorhanden ist, erübrigt sich bei der hydraulischen Regelung in den meisten Fällen eine besondere Druckölanlage.

Die in Abb. 1 b gezeigte Wirkung der Speisewasserregelung kann nun auf verschiedene Weise erzielt werden. Mit dem Askania-Regler ergeben sich folgende Regelungsmöglichkeiten: In Abhängigkeit vom Speisewasserdifferenzdruck wird

1. ein Drosselventil in der Speisewasserdruckleitung geregelt,
2. der Dampf einlaß der Pumpenantriebsturbinen, die keinen eigenen Fliehkraftregler hat, verändert,

3. bei vorhandenem Fliehkraftregler die Leistung der Pumpenantriebsmaschine über die Drehzahlverstellung verändert,
4. bei elektromotorischem Antrieb
  - a) bei nicht regelbarem Pumpenantriebsmotor ein Ventil in der Druckleitung geregelt wie unter 1.,
  - b) bei regelbarem Motor die Drehzahl verändert,
  - c) die turbinenantriebene Pumpe selbsttätig eingeschaltet, wenn der Motorantrieb versagt.



Die einfachste Art der Speisewasser-Differenzdruckregelung ist die **Regelung eines Ventils in der Speisewasserdruckleitung** (Abb. 2). Von einem Differenzdruck-Steuerwerk wird durch einen Steuerzylinder ein Regelventil in der Speiseleitung gesteuert. Fällt beispielsweise der Dampfdruck ab oder steigt der Wasserdruck, so wird das Strahlrohr nach rechts abgelenkt und der Steuerzylinder schließt das Regelventil mehr.

Der Lieferungsumfang für eine derartige Regleranlage ist folgender:

1. 1 Steuerwerk Rww-e (Druckschrift R 613),
2. 1 Druckölanlage, falls nicht das Drucköl aus der Pumpenantriebsmaschine verwendet werden kann (Druckschriften R 851, R 852, R 853).
3. Steuerzylinder je nach den vorliegenden Verhältnissen und Verbindungsgestänge zum Ventil (Druckschrift R 801),
4. 1 Regelventil (Druckschrift R 833),
5. 1 Kontrollanlage, bestehend aus 2 Manometern. Für eine Kontrollanlage ist die An-

RESTRICTED



schaffung von 2 Profilveräten besonders empfehlenswert, da bei diesen Instrumenten mit ihren nebeneinander liegenden Skalen die Differenz mit einem Blick abgelesen werden kann (vgl. auch Druckschriften B 307, B 322, B 365, B 368).

Von einem Steuerwerk aus können auch mehrere Ventile in einer bestimmten Abhängigkeit voneinander geregelt werden. Dies kann so vorgenommen werden, daß ein kräftiger Steuerzylinder eine gemeinsame Steuerwelle dreht, die sämtliche Ventile gleichmäßig oder in bestimmter Abhängigkeit steuert. Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß die Speiseleitungen von vornherein so verlegt werden, daß die Regelventile dicht nebeneinander in eine Reihe gesetzt werden können. Um die hier besonders großen Verstellkräfte zu bewältigen, wird ein Folgeschieber verwendet (Druckschrift R 750). Abb. 3 zeigt ein derartiges Schema. In dieser Weise ist z. B. die Speisewasser-Differenz-Druckregelung im Großkraftwerk Böhlen ausgeführt worden. Abb. 4 zeigt die Steuerung von 6 Regelventilen über eine durchgehende Welle, die von 2 Steuerzylindern gedreht wird. Die beiden dazugehörigen Steuerwerke, auf gemeinsamer Steueranlage, die das Drucköl zur Betätigung der Regler liefert, sind aus Abb. 5 ersichtlich. Rechts daran steht ein sofort umschaltbares Reservepumpwerk.

Wo bei vorhandener Anlage eine zweckmäßige Zusammenstellung der Leitung nicht mehr stattfinden kann, muß entweder an jedes Ventil ein Regler und Steuerzylinder gesetzt werden, oder es wird eine Schaltung nach Abb. 6 gewählt. Von einem gemeinsamen Steuerwerk

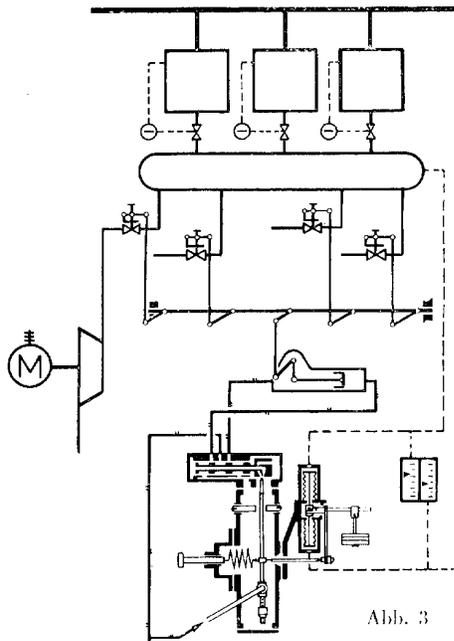


Abb. 3

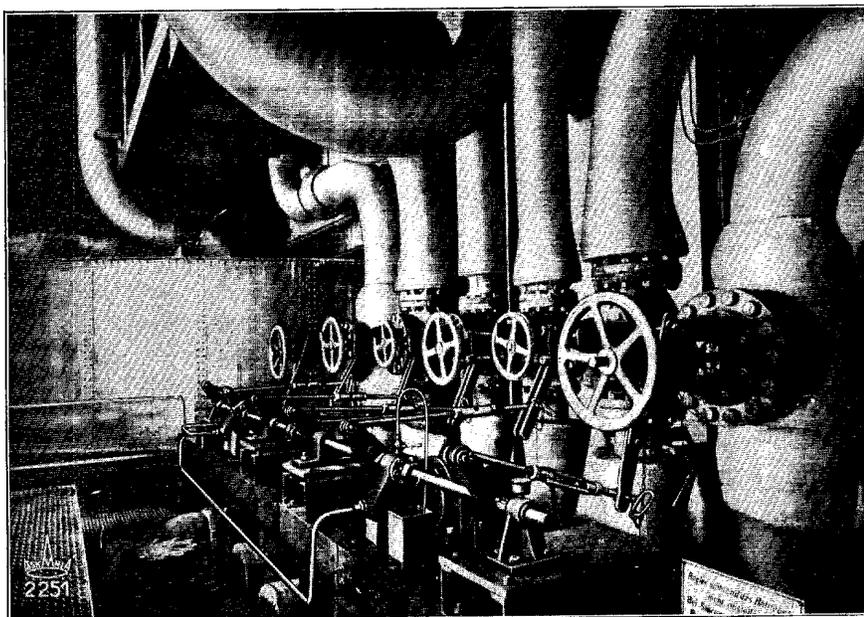


Abb. 4. Gemeinsame Regelung von 6 Speiseventilen

RESTRICTED

ASKANIA-WERKE AG. BERLIN - FRIEDENAU



aus, in welchem das Strahlrohr nur vor einer Öffnung spielt und je nach seiner Stellung verschiedenen Öldruck in der Steuerleitung erzeugen kann, wird bei Veränderung des eingestellten Speisewasser-Differenzdruckes ein veränderlicher Öldruck in die einstellbaren federbelasteten Hilfssteuerkolben geleitet. Die Stellung dieser kleinen Kolben wird über einen Hilfsschieber mit Rückführgestänge in Bewegungen des großen Steuerzylinders umgesetzt.

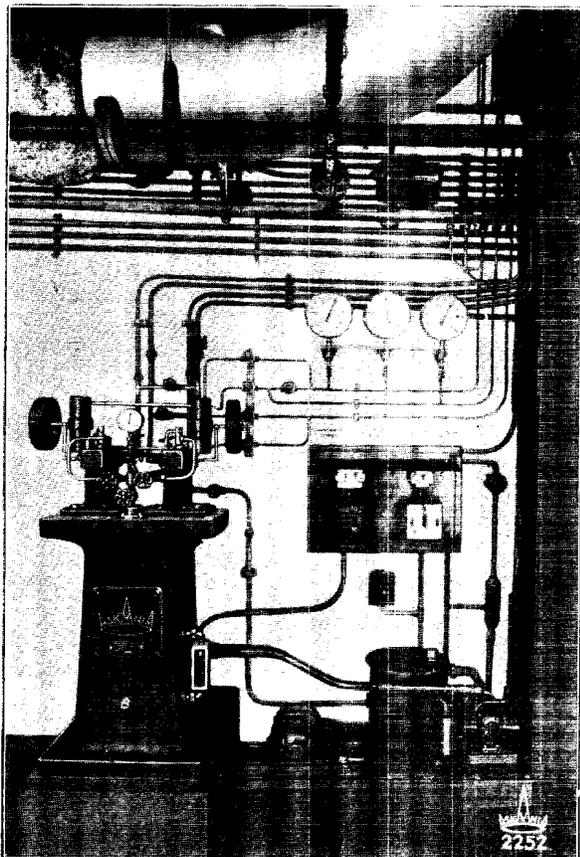


Abb. 5. Steueranlage mit 2 aufgebauten Steuerwerken.

und zwar in beliebiger Abhängigkeit, je nach Gestaltung der Rückführkurve (Druckschrift R 805). In diesem Falle käme es darauf an, durch Wahl gleicher Federn und gleicher Kurvenscheiben sämtliche Ventile möglichst gleichzeitig zu öffnen.

Man wird die Regelung eines Drosselventils in der Druckleitung überall dort anwenden, wo eine Dampfersparnis bei der Pumpenantriebsmaschine keine großen Vorteile verspricht, z. B.

dort, wo der Pumpenabdampf zur Speisewasservorwärmung verwendet wird und infolgedessen die Dampfwärme nicht verlorengeht, ferner z. B. bei nicht regelbarem elektrischen Antrieb der Speisepumpe oder überhaupt bei kleinen Anlagen.

Wenn bei ausbleibendem Öldruck, z. B. Ausfallen des elektrischen Stromes, das Regelventil in Öffnungsstellung gehen soll, um für alle Fälle eine Speisung sicherzustellen, wird ein entsprechend bemessenes Gegengewicht an dem verlängerten Ventillebel angebracht.

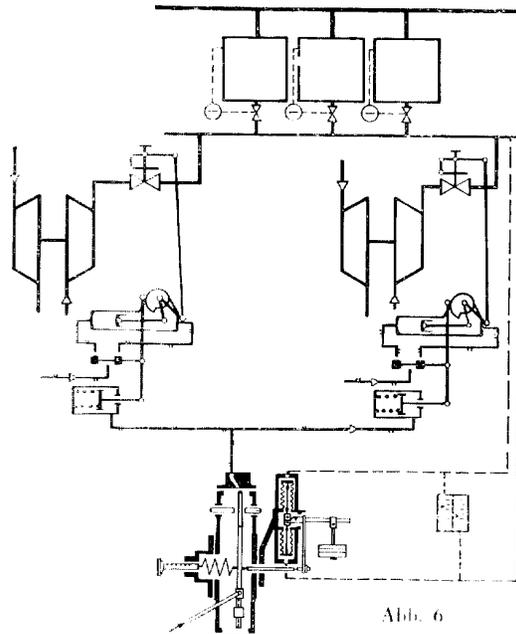


Abb. 6

Die wirtschaftlichste Art der Speisewasser-Differenzdruckregelung ist die **Regelung des Dampfeinlaßventils der Pumpenantriebsturbinen**. Man läßt die Maschine nicht erst auf die der kleinen Last entsprechende Druckhöhe fördern, sondern regelt in Abhängigkeit vom Differenzdruck die Maschinenleistung so, daß die Pumpe bei allen Lasten stets nur auf den Druck  $P_1$  fördert (vgl. Abb. 1 b). Eine derartige Ausführung zeigt Abb. 7. Durch ein Differenzdruck-Steuerwerk wird über einen Steuerzylinder das Dampfeinlaßventil der Antriebsmaschine so geregelt, daß die Pumpe immer nur mit der zur Erzeugung des gerade erforderlichen Druckes nötigen Drehzahl läuft.

Bei stabiler QH-Linie, die immer eine Voraussetzung für stoßfreies Arbeiten der Regelung bis zu kleinsten Lasten ist, wird dann dieselbe

RESTRICTED



Wirkung, wie in Abb. 1 gezeigt, erzielt. Bei labiler Kennlinie kann die Regelung nur in dem stabilen Bereich ruhig arbeiten. Bei kleinen Lasten treten Pendelungen und Schwingungen in der Speiseleitung auf. In solchen Fällen kann man sich durch Anbringung eines Umlaufes von der Speisewasserdruckleitung zurück in die Saugleitung oder den Speisewasserbehälter helfen, der bei kleinen Lasten in Tätigkeit tritt. Das geht natürlich auf Kosten des Kraftbedarfs, und es ist immer zu erwägen, ob sich eine Abänderung der Beschauflung auf stabile Kennlinie nicht wirtschaftlicher stellt.

Ein Fliehkraftregler ist bei dieser Regelungsart nicht vorhanden, dagegen natürlich die bei jeder Turbine vorgeschriebene Schnellschlußvorrichtung, die bei Überschreiten einer bestimmten Drehzahl die Maschine sofort stillsetzt.

Da besonders bei größeren Antriebsmaschinen infolge der Massenwirkung Verzögerungen im Regelvorgang eintreten, muß in den meisten Fällen eine Rückführung angebracht werden. Um mit der Aufstellung des Steuerwerkes trotz dieser Rückführung unabhängig zu bleiben und die Regelung ohne Ungleichförmigkeit vorzunehmen, wurde eine hydraulische Gleichwertrückführung entwickelt (Druckschrift R 762). Aus Abb. 7 ist auch der Anbau dieses Rückführkolbens am Steuerwerk ersichtlich.

Der Lieferungsumfang einer derartigen Regelung setzt sich im allgemeinen folgendermaßen zusammen:

1. 1 Steuerwerk Rww-e mit hydraulischer Rückführung (Druckschrift R 613),
2. 1 Steuerzylinder (Druckschrift R 801 oder eine der Maschinensteuerung angepaßte Sonderausführung),
3. 1 Regelventil in der Dampfzuführungsleitung (Druckschrift R 833), falls nicht bereits ein an der Maschine vorhandenes Einlaßventil dazu verwendet wird,
4. 1 Kontrollanlage (Druckschriften B 307, B 322, B 365, B 368).

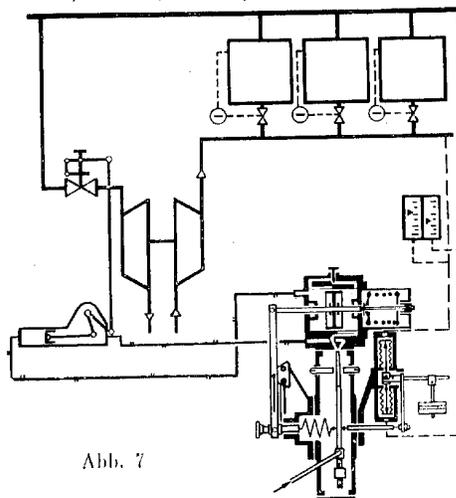


Abb. 7

Mehrere derartige Regleranlagen laufen in den Hochdruck-Kraftwerken Mannheim und Grube Ilse. Abb. 8 zeigt die Regelung an 120-atü-

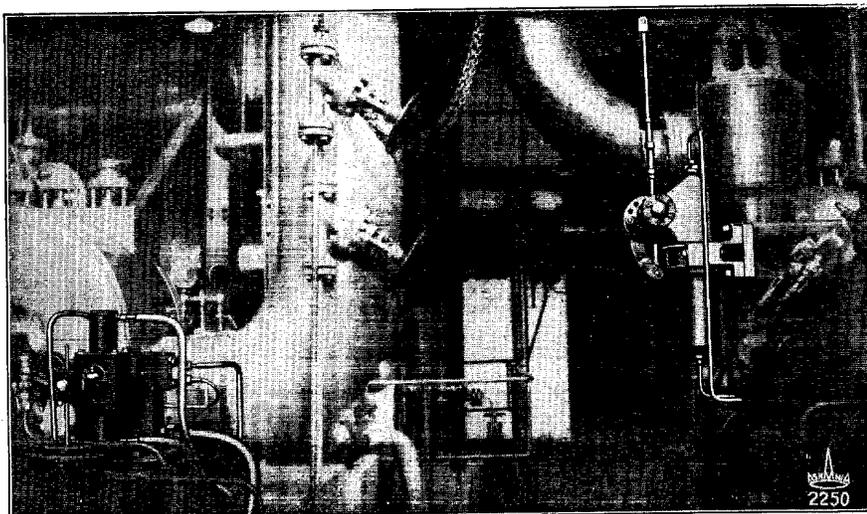


Abb. 8. Regelung an zwei Hochdruckpumpen (links: Steuerwerk der einen Regleranlage; rechts: Steuerzylinder des zweiten Reglers).

RESTRICTED

ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU



Speisepumpen im Kraftwerk Renate der Grube Ilse. Es sind dort 2 gleiche Pumpen aufgestellt, von denen jede die volle Leistung für beide Hochdruckkessel schafft. Diese Pumpen haben noch labile QH-Linie. Die Einlaßventile erhielten infolgedessen bei einer bestimmten Mindestlast einen Anschlag. Sinkt der Speise-

linie bei Entlastung allmählich ausgeschaltet werden. Um zu vermeiden, daß eine Pumpe längere Zeit im toten Wasser arbeitet, ist es daher oft erwünscht, die Pumpen unabhängig von ihrer Kennlinie von einem Reglersteuerwerk aus in einer bestimmten Abhängigkeit zu steuern. Diese Regelung wird dann in ähnlicher

Weise durchgeführt wie die Parallelregelung der von einem Steuerwerk beeinflussten Ventile (vgl. Abb. 6). So zeigt z. B. Abb. 10 diesen Anwendungsfall. Da bei dieser Regelung mit Verzögerungen im Regelvorgang zu rechnen ist, wurde hier wieder der hydraulische Rückführkolben verwendet. Bei Speisepumpen-Antriebsmaschinen, die noch mit Fliehkraftregler ausgerüstet sind, wird immer die Möglichkeit bestehen, durch den Askania-Regler eine Drehzahlverstellung vorzunehmen (Abb. 11). Von einem Differenzdruck-Steuerwerk wird ein Stellzylinder gesteuert, der die Schieberhülse des Regulierschiebers der Turbinensteuerung verstellt. Die Drehzahlverstellung von Hand bleibt außerdem erhalten. Meist wird auch hier die bereits erwähnte hydraulische Rückführung verwendet.

Diese Art der Differenzdruckregelung kommt sehr häufig in Frage, wenn an

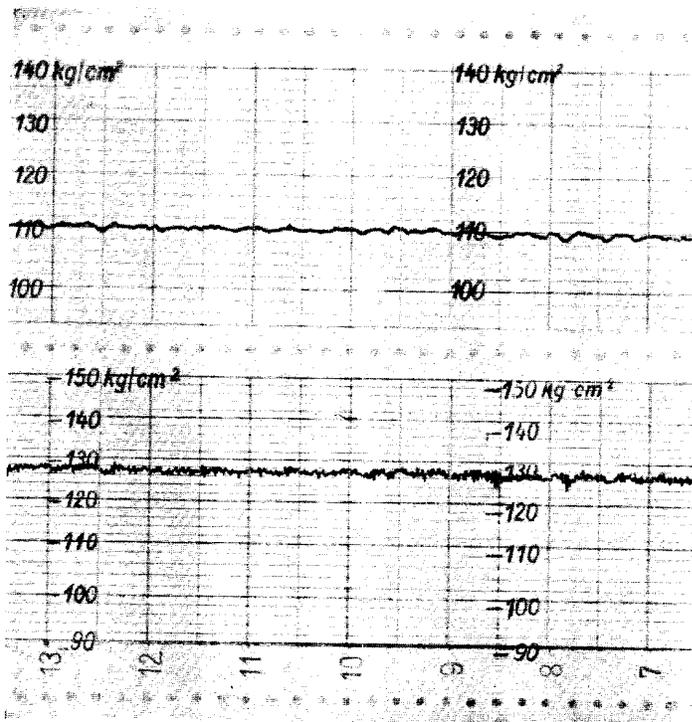


Abb. 9. Obere Linie: Kesseldruck; untere Linie: Pumpendruck

wasserbedarf unter diese Mindestlast, so fördert die Pumpe mehr Speisewasser, als nötig ist, so daß ein Druckanstieg über den eingestellten Differenzdruck auftritt. Ein zweiter, um z. B. 1 atm. höher eingestellter Differenzdruckregler öffnet dann den Umlauf in die Saugleitung.

Abb. 9 zeigt, wie genau der Speisewasserdruck geregelt wird. Ein Diagramm mit stärkeren Schwankungen des Kesseldruckes (um das Nachfolgen des Speisewasserdruckes besser zu zeigen) war nicht zu erhalten, da bei dieser Anlage auch der Kesseldruck durch Askania-Kesselregler konstant gehalten wird.

Bei Parallelbetrieb mehrerer Pumpen mit verschiedenen Kennlinien wird die Pumpe mit der tiefer oder flacher verlaufenden Kennlinie von der mit höher oder steiler verlaufenden Kenn-

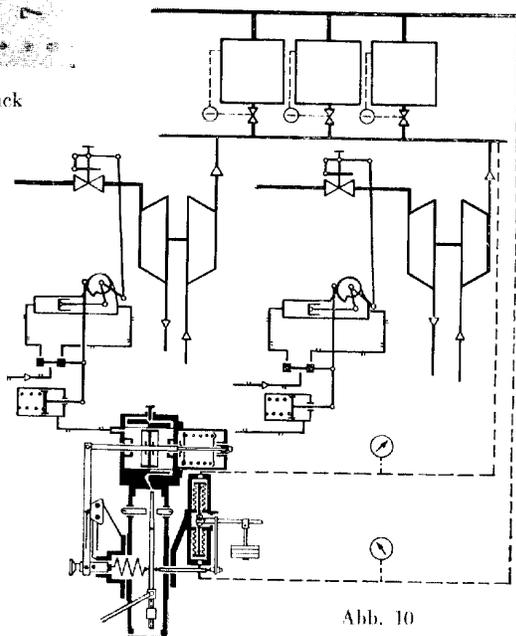


Abb. 10

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**

~~RESTRICTED~~

vorhandenen Maschinen mit Flichkraftreglern und Servomotorsteuerung die Differenzdruck-Regelung nachträglich angebracht wird. Die Auswirkung auf die QH-Linie ist übrigens dieselbe wie bei direkter Steuerung des Dampfeinlaß-Ventils, sofern die Drehzahl-Verstellvorrichtung genügend Verstellbereich besitzt. Bedingung

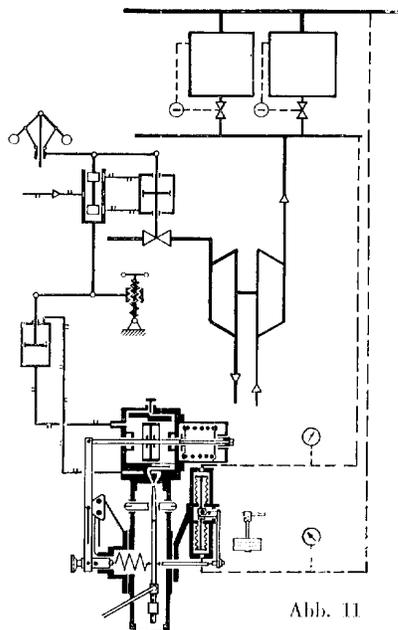


Abb. 11

für einwandfreies Arbeiten bis herunter zu den kleinsten Lasten ist auch hier eine stabile QH-

Linie. In dieser Ausführung laufen in deutschen Großkraftwerken, z. B. Trattendorf, Zschornewitz, Bitterfeld der I. G. Farbenindustrie, unsere Regler meist an Speisepumpen der Firma Weise Söhne\*). Abb. 12 zeigt eine Reihe dieser Speisepumpen im Kraftwerk Trattendorf. Die Speisepumpen arbeiten parallel in dieselbe Speiseringleitung. Dieser Parallelbetrieb wurde mit den einzelnen Reglern an jeder Turbine anstandslos durchgeführt, da die Pumpen gleichen Fabrikats waren und annähernd die gleichen Kennlinien hatten.

Es war schon erwähnt, daß (wie unter Fall 1) bei elektromotorischem Antrieb ein Ventil in der Speisedruckleitung geregelt wird, wenn eine Regelmöglichkeit des Antriebsmotors nicht besteht.

Bei Gleichstromantrieb kann durch einen Steuerzylinder der Anker- und Feldwiderstand des Antriebsmotors verändert werden (Abb. 13). Bei Drehstromantrieb und Vorhandensein von regelbaren Kollektormotoren verändern die Steuerzylinder die Bürstenstellung.

Die Sicherstellung der Kesselspeisung ist eine der wichtigsten Forderungen für den Betrieb des ganzen Kraftwerkes. Es ist infolgedessen auch Vorschrift, daß die Kesselspeisung durch verschiedene Energiequellen vorgenommen wird, wobei bei Ausfällen der einen die andere Energiequelle die volle Speiseleistung sicherzustellen hat. Es müssen daher Vorrichtungen

\*) Vgl. „Die Wärme“, Nr. 40 und 41, 1928: „Neue Turbokessel-Speisepumpen größerer Leistung“ von Dipl.-Ing. M. Knörlein, Halle a. d. Saale.

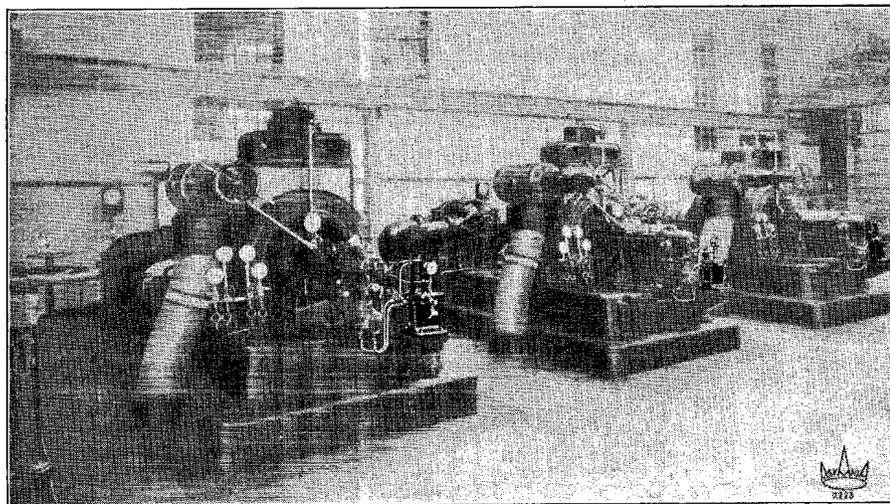


Abb. 12. Drehzahlregelung an Pumpen der Fa. Weise Söhne.

~~RESTRICTED~~**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU**



vorhanden sein, die z. B. bei Ausfällen des elektromotorischen Antriebs selbsttätig die turbinengetriebenen Pumpen in Betrieb setzen. Dies kann so vorgenommen werden, daß ein im Stromkreis liegender Magnet bei Ausfällen des Stromes für den Elektromotor stromlos und in diesem Augenblick das Dampfeinlaßventil zur Antriebsturbinen durch Federn oder Gewichte geöffnet wird. Bei dieser Schaltung hat man jedoch nicht die Gewähr, daß die turbinengetriebenen Pumpen auch dann eingeschaltet werden, wenn die Speisung aus einem anderen Grunde als durch Stromausfall versagt.

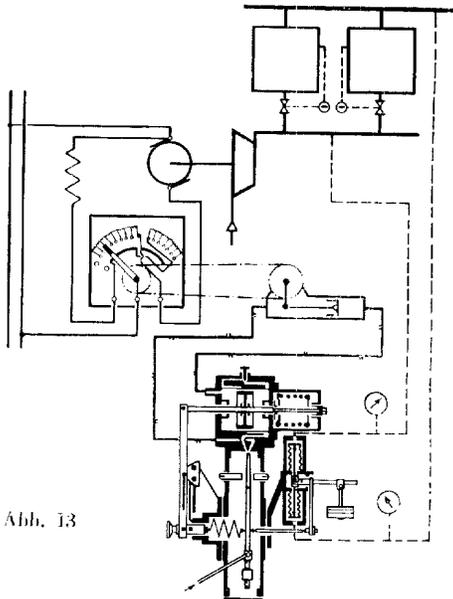


Abb. 13

Es ist daher in jedem Falle sicherer, die Einschaltung in Abhängigkeit vom Druck in der Speiseringleitung bzw. vom Differenzdruck vorzunehmen. So zeigt z. B. Abb. 14, wie bei Absinken des Speisewasser-Differenzdruckes unter ein bestimmtes kleinstes Maß das Einlaßventil für die Antriebsturbinen geöffnet und im Anschluß daran die Maschine in bekannter Weise auf gleichbleibenden Differenzdruck gesteuert wird.

Zweckmäßig ist hier auch beim elektromotorischen Antrieb eine Regelung auf konstanten Differenzdruck, da man sonst gezwungen wäre, wegen der ohne Regelung auftretenden hohen Schwankungen des Differenzdruckes den Einschaltregler für die Antriebsturbinen auf den während des normalen Betriebes möglicher-

weise auftretenden geringsten Differenzdruck einzustellen. Fällt dann die Elektropumpe aus, so kann natürlich der Differenzdruckregler die turbinengetriebenen Pumpen nur auf den eingestellten Mindest-Differenzdruck regeln, so daß möglicherweise bei hohen Leistungen dieser Mindest-Differenzdruck nicht ausreicht. Wird jedoch von vornherein auch der Elektroantrieb durch einen genau arbeitenden Differenzdruckregler konstant gehalten, so kann der Differenzdruckregler an der turbinengetriebenen Pumpe auf einen Differenzdruck eingestellt werden, der nur wenig unter dem bei nor-

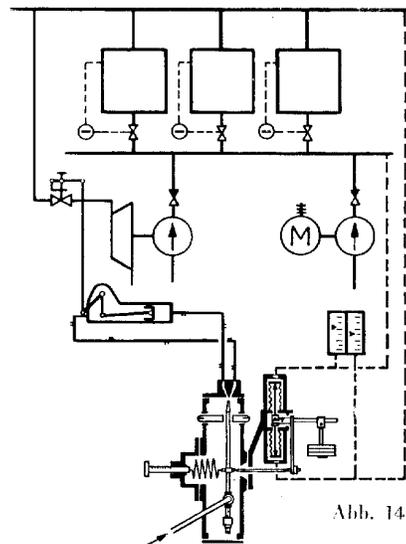


Abb. 14

malen Betrieb von der Elektropumpe gehaltenen Differenzdruck liegt, so daß bei Einschalten des Notantriebes bei allen Lasten eine sichere Speisung gewährleistet ist.

Es war schon erwähnt, daß das Drucköl für die Steuerwerke auch aus dem Druckölkreislauf der Antriebsmaschine genommen werden kann, falls die Ölpumpe der Antriebsmaschine außer dem für die Maschine selbst benötigten Drucköl genügend Reserve für Betrieb des Steuerwerkes besitzt. Über das zur Verwendung kommende Öl haben wir besondere Vorschriften ausgearbeitet, die wir vor der Projektierung der Anlage einzufordern bitten. In dieser Übersicht ist auch der Verbrauch bei verschiedenen Öldrücken für Steuerzwecke ohne oder mit Folgekolben angegeben.



RESTRICTED

# Wassersäulen-Minimeter

Meßgenauigkeit  $\frac{1}{100}$  mm WS

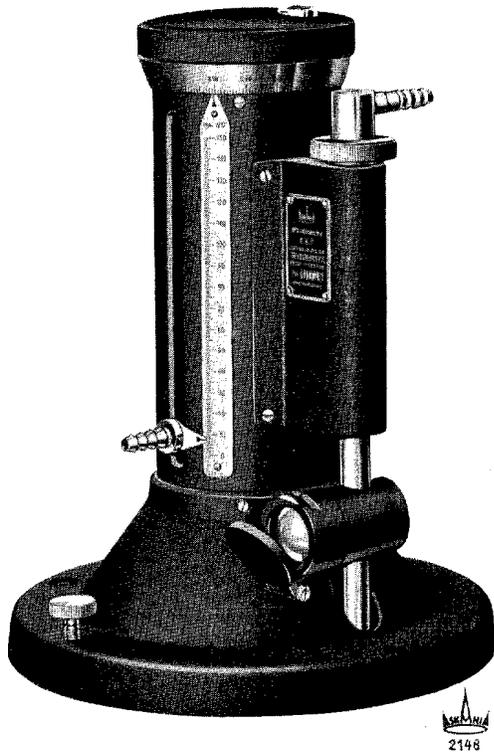


Bild 1. Etwa  $\frac{1}{3}$  nat. Größe. Gewicht: 3,7 kg  
Transportkasten: 370 x 270 x 270 mm. Gewicht: 3,5 kg

Die genaueste Bestimmung sehr kleiner wie auch größerer Druckhöhen von Gasen ist im Laboratorium und in der Praxis häufig notwendig, war aber mit den bisherigen Mitteln nur sehr unvollkommen durchführbar. Wenn es sich z. B. darum handelt, mit dem Pitotrohr (Prandtl'schen Staurohr) Strömungsgeschwindigkeiten von Gasen von etwa 1 m/sec zu bestimmen, so müßte man den auftretenden Staudruck von rund  $\frac{1}{16}$  mm WS auf wenigstens 10—15 % genau ermitteln können, d. h.

der Fehler dürfte nicht größer sein als etwa  $\frac{1}{100}$  mm WS. Das ist aber weder mit dem gebräuchlichen Mikromanometer, noch mit einer anderen bekannten Einrichtung in einfacher Weise möglich. Die Fehler werden verursacht durch die Adhäsion der Meßflüssigkeit an den Wandflächen, durch die Oberflächenspannung (Meniskus-Wirkung) und durch den hohen Ausdehnungskoeffizienten, wenn statt Wasser Alkohol, Alkoholyd oder etwas ähnliches gebraucht wird.

Bei dem Askania-WS-Minimeter werden diese Fehlerquellen vermieden. Das angewandte Meßverfahren beruht darauf, daß von zwei kommunizierenden Gefäßen das eine so weit gehoben wird, bis der Höhenunterschied der beiden Flüssigkeitsspiegel dem Meßdruck das Gleichgewicht hält.

Als Flüssigkeit dient Wasser; somit entspricht die Hubhöhe in Millimetern unmittelbar dem zu messenden Druck in mm WS.

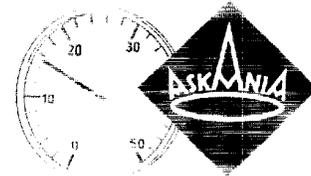
Die genaue Einstellung des Wasserspiegels erfolgt durch Anvisieren einer im Wasser befindlichen, vergoldeten Spitze, deren Spiegelbild von der Wasserfläche reflektiert wird. Die Stellung, in der die Spitze ihr Spiegelbild gerade berührt, läßt sich mit Hilfe einer Lupe und eines Spiegels am Teilkreis auf  $\frac{1}{100}$  mm genau einstellen.

Der Meßbereich des WS-Minimeters beträgt 150 mm, wobei es gleichgültig ist, ob Druck, Zug oder Differenzdruck gemessen wird.

Die Messung mit dem WS-Minimeter geschieht nach Abb. 2 in folgender Weise:

RESTRICTED

## ASKANIA-WERKE AG. BERLIN-FRIEDENAU



Das Instrument wird zuerst mit den Fußschrauben A und nach der auf dem Fuß angebrachten Libelle B genau horizontal ausgerichtet. Darauf wird die Stellmarke des Schlauchnippels F auf Null eingestellt und durch den Schlauchnippel P so viel Wasser in das Gefäß G gefüllt, bis die Spitze H mit

bzw. des damit verbundenen Kordelringes D auf der Meßspindel E so weit gehoben, bis der Wasserspiegel wieder die anfängliche Stellung erreicht hat, d. h. die Einstellspitze H (siehe Abb. 3) muß wiederum ihr Spiegelbild berühren. Die Ablesung des in mm WS zu messenden Druckes erfolgt dann an dem Maßstab L bzw. an der Feinteilung N. Der Maßstab L ist in ganze Millimeter geteilt, auf der Teilung N bedeutet 1 Teilstrich 0,01 mm WS.

Adhäsion und Oberflächenspannung der Meßflüssigkeit spielen bei dem Askania-WS-Minimeter keine Rolle, da die Spiegelung bzw. Ablesung in einer

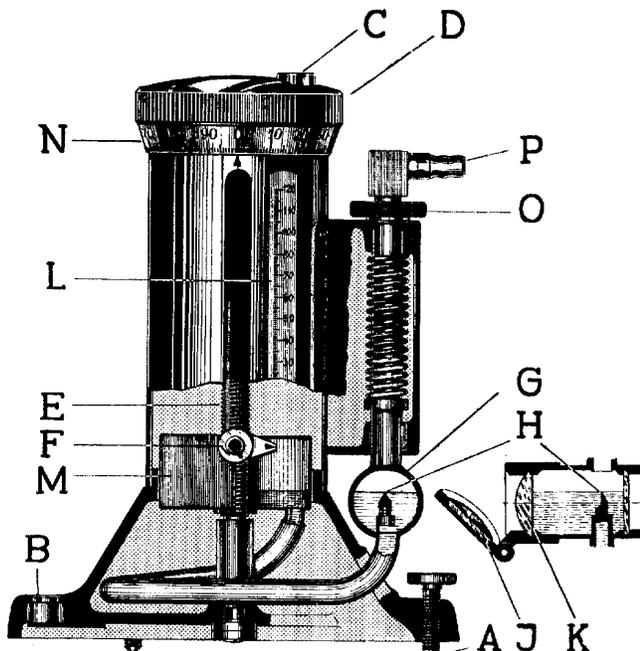


Bild 2

dem Wasserspiegel ungefähr abschneidet. Die genaue Einstellung der Spitze erfolgt für die Nullstellung durch Drehen der Kordelmutter O. Die Beobachtung der Einstellung geschieht auf dem Spiegel J, in dem die Spitze mit ihrem Spiegelbild vergrößert erscheint.

Hierauf wird der zu messende Druck mit einem Gummischlauch an den Schlauchstutzen P, oder etwa zu messender Zug an den Stutzen F angeschlossen, bei Differenzdruckmessungen der niedrigere Druck am Stutzen F. Der Wasserspiegel im Beobachtungsgefäß G fällt, und deshalb wird das Ausgleichsgefäß M durch Drehen des Knopfes C

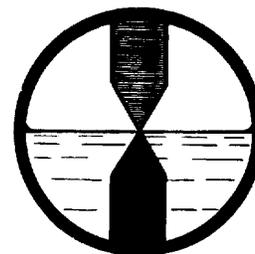


Bild 3. Einstellspitze mit Spiegelbild

bereits ebenen Fläche erfolgt. Der Temperatureinfluß kann aus dem Unterschied der Ausdehnung der Meßspindel und der Wasserausdehnung ermittelt werden. Die Ausdehnungskoeffizienten von Wasser und Messing sind aber so klein, daß die Berichtigung in den meisten Fällen unter  $1/100$  mm bleiben und damit die Meßgenauigkeit nicht beeinflussen wird. Ungleichheiten in der Weite der beiden Meßgefäße sind gleichfalls ohne Wirkung, da die Messung stets in der gleichen Querschnittshöhe erfolgt. Der Meßdruck wird hierbei also in aller Form unmittelbar durch die Wassersäule aufgewogen. Die Dämpfung durch den Verbindungsschlauch der beiden Gefäße ist so groß, daß sie für die meisten Zwecke ausreichen wird. Bei stark schwankendem Druck kann durch Zusammenklemmen des Schlauches die gewünschte Dämpfung erzielt werden.

**ASKANIA-WERKE AG. BERLIN - FRIEDENAU**

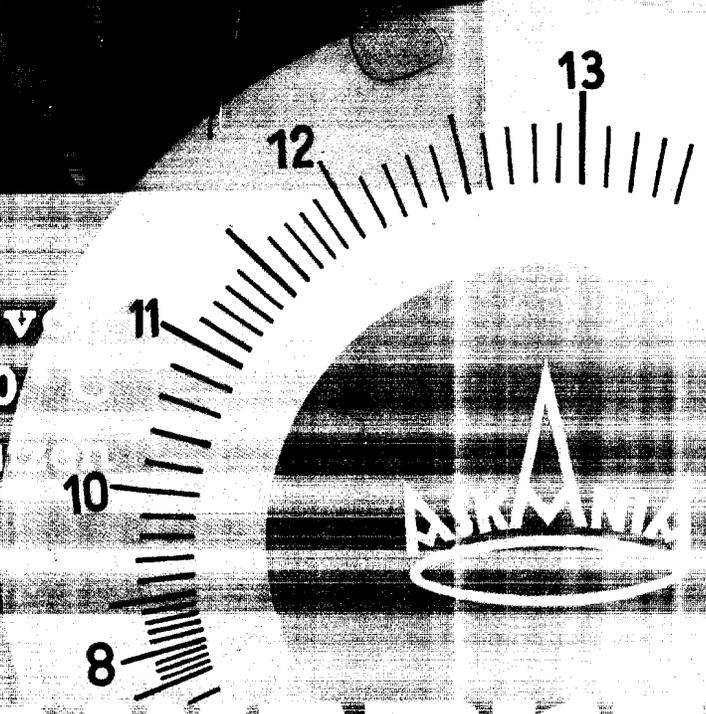
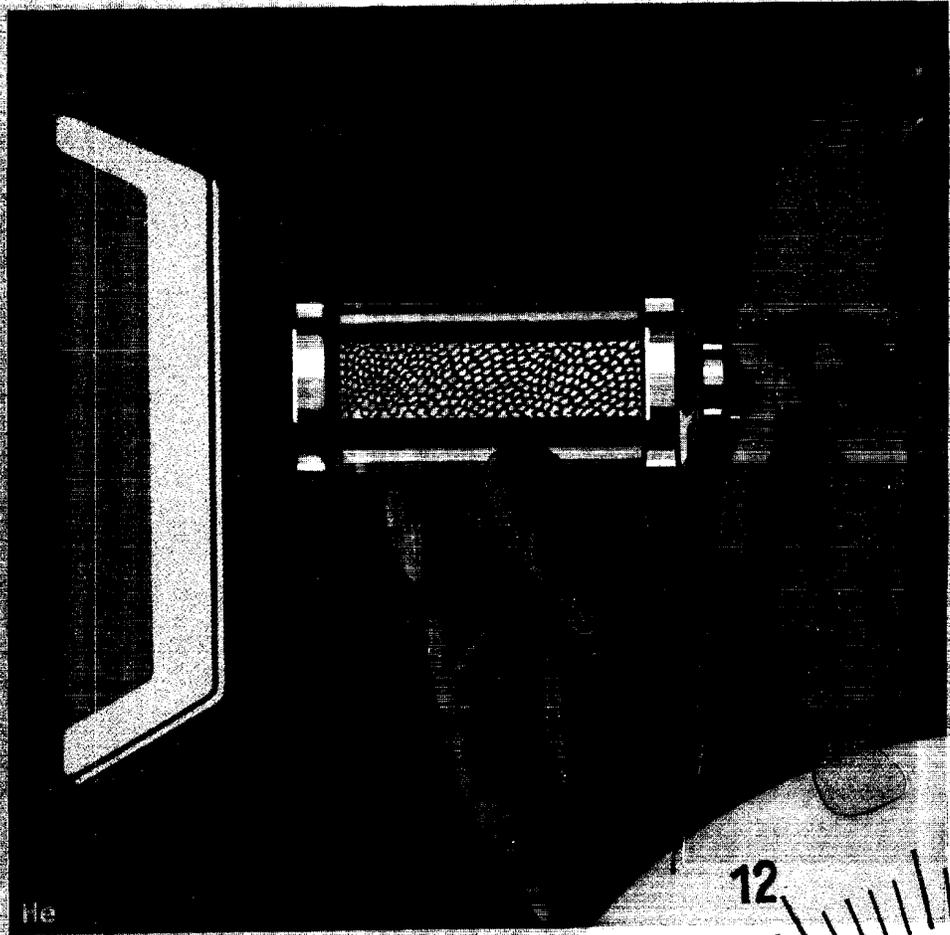
Unfer neues verbessertes

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R000100050001-0

# WÄSCHEPYROMETER

25X1A

B A U A R T K U S



Zum direkten Ablesen von  
Temperaturen bis 2400  
Wie ein Fernrohr zu benutzen  
Handlich und leicht,  
Gewicht nur 150 Gramm

## ASKANIA-WERKE

AKTIENGESELLSCHAFT

BERLIN-FRIEDENAU

Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R000100050001-0



## Konstruktion

Das Taschenpyrometer KS ist ein Gesamtstrahlungsmesser, bei welchem ein hochempfindliches spiralenförmiges Bimetallthermometer zur Messung der vom erhitzten Körper ausgehenden Strahlen dient. Das Spiralthermometer ist gemeinsam mit einer Objektivlinse, einer in Temperaturgrade geteilten Skala und einem Okular in einem fernrohrartigen Gehäuse untergebracht. Der Zeiger des Bimetallthermometers, welcher sich vor der durchsichtigen Skala bewegt, befindet sich mit diesem im Gesichtsfelde des Okulars, weshalb die zu messende Temperatur während des Anvisierens des zu untersuchenden Gegenstandes sofort abgelesen werden kann. Durch ein geringes Drehen des Okulars kann auch eine Abweichung des Zeigers von der Nulllage beseitigt werden.

## Handhabung

Um die Temperatur eines erhitzten Gegenstandes zu messen, visiert man ihn ähnlich wie mit einem Fernrohr mittels des Taschenpyrometers an. Bei Hohlraumstrahlen, wie z. B. Brenn-, Temper-, Glühöfen und dergleichen geschieht dies, indem man das Innere des Ofens durch das Schauloch beobachtet. Ohne beim Gebrauch das Taschenpyrometer absetzen zu müssen, kann man hierauf an der im Innern befindlichen deutlichen Skala die jeweilige Temperatur direkt ablesen. Da das Okular die Skala etwa neunfach vergrößert, wird eine hohe Ablesegenauigkeit erreicht. Zum Schutze des Auges läßt sich vor dem Okular eine Rotglasscheibe anbringen und zum Schutze der Hand gegen allzu große Ausstrahlung des zu untersuchenden Gegenstandes kann das Gerät mit einem Schutzschirm versehen werden.

| Meßbereiche     | Listen-Nr. | Meßbereiche          | Listen-Nr. |
|-----------------|------------|----------------------|------------|
| 600 ... 1200 °C | A          | ████████████████████ | ████████   |
| 600 ... 1600 °C | B          | 1000 ... 2400 °C     | C          |

Verlangen Sie auch Druckschriften und kostenlose Angebote über

**Thermoelektrische Pyrometer**  
**Elektrische Widerstandsthermometer** } (Druckschrift T 431/432)  
**Strahlungs-pyrometer** (Druckschrift T 433)  
**Elektrische Feuchtigkeitsfernmesser**  
**Anzeige- und Schreibgeräte** (Druckschriften T 434 u. T 435)

Taschenpyrometer  
mit Lederhülle  
(natürliche Größe)



## Kesselanlage mit selbsttätiger Feuerungsreglung auf einer Ruhrzeche.

Von Dipl.-Ing. A. Sauer mann, Ingenieur des Vereins zur Überwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen in Essen.

Während man Kraftmaschinen (Dampfmaschinen, Turbinen usw.) schon längst mit Regelvorrichtungen (Schwungrad, Fliehkraftregler usw.) ausgestattet hat, welche die erforderliche Kraftleistung selbsttätig und auf schnellstem Wege dem augenblicklichen Bedarf anpassen, ist im Dampfkesselbetriebe diese Einstellung bisher gewöhnlich dem Heizer überlassen geblieben, der die Regelvorrichtungen (Rostgeschwindigkeit und Unterwinddruck bei Wanderrosten, Düsen-einstellung bei Kohlenstaubfeuerungen, Zugstärke durch Rauchgasschieber usw.) von Hand bedient. Die große Speicherfähigkeit der ältern Kesselarten, namentlich der Flammrohrkessel, läßt ihm dazu genügend Zeit. Bei neuern Bauarten zeigt sich jedoch das Bestreben, den Wasserinhalt der Kessel mehr und mehr zu verkleinern, die Verdampfungs-fähigkeit dagegen zu steigern, so daß schon verhältnismäßig geringe Belastungsänderungen erheblichen Einfluß gewinnen, bei Entlastung die Sicherheitsventile zum Abblasen, bei Belastung den Dampfdruck zum Absinken bringen, überhaupt durch unnötig große Schwankungen die Kessel schädigen und den Kohlenverbrauch vergrößern. Der Heizer vermag auch bei größter Aufmerksamkeit eine Belastungsänderung erst zu erkennen, wenn sich ihre Wirkung schon geltend macht. Er kann seine Maßnahmen daher nur mit merklicher Verzögerung treffen, während eine gute selbsttätige Reglung sofort eingreift.

Die Vorteile, die sich daraus ergeben, liegen zunächst in der Verringerung des Kohlenverbrauches. Stein<sup>1</sup> schätzt sie, wohl etwas hoch, auf insgesamt etwa 10–20 %, worin sämtliche Betriebsverluste, u. a. auch der bessere Wirkungsgrad der Dampfturbinen bei gleichmäßigem Dampfdruck und gleichmäßiger Dampftemperatur eingeschlossen sind. Weiß<sup>2</sup> hat bei Vergleichsversuchen mit und ohne selbsttätige Reglung eine Kohlenersparnis zugunsten der ersten von 2,5 % beim Kessel allein und von 3 % einschließlich Turbine festgestellt. Weitere Ersparnisse werden durch die Schonung der Feuerungsausmauerung infolge der gleichmäßigeren Feuertemperaturen erzielt. Für den Kesselbetrieb ergibt sich überdies als große Annehmlichkeit die Entlastung des Heizers, der seine Aufmerksamkeit nunmehr der Pflege des Feuerbettes und der Sicherheitsvorrichtungen zuwenden kann.

Trotz dieser Vorteile hat man auf den Zechen des Ruhrbezirks bisher mit der Einführung selbsttätiger Feuerreglungen, die von Schultes<sup>3</sup> bereits eingehend

<sup>1</sup> Stein: Selbsttätige Feuerungsreglung, Z. VDI 79 (1927) S. 1181.

<sup>2</sup> Weiß: Planung, Bau und Betriebsergebnisse von Feuerreglern an einem 1000-m<sup>2</sup>-Wanderrostkessel, AEG-Mitteilungen 27 (1931) S. 681.

<sup>3</sup> Schultes: Die selbsttätige Reglung im Feuerungs- und Kesselbetrieb, Glückauf 65 (1929) S. 1509.

beschrieben worden sind, geögert. Vielfach scheute man die nicht unerheblichen Kosten, die mit ihrer Anlage verbunden sind. Manchem erschienen die Einrichtungen zu verwickelt, so daß er sich nicht die erforderliche Betriebssicherheit davon versprach. Andere wieder glaubten, den Heizer nicht allzusehr entlasten zu dürfen, damit er in seiner Aufmerksamkeit nicht nachlasse. Bei manchen bestehenden Anlagen erschien die Anbringung auch zu umständlich oder nicht mehr lohnend. Kürzlich ist jedoch auf einer Ruhrzeche eine Kesselanlage mit einer selbsttätigen Feuerungsreglung versehen worden, die bisher zur Zufriedenheit gearbeitet hat und daher kurz besprochen werden soll.

### Beschreibung der Anlage.

Im Kraftwerk der Zeche Victor 3/4 befanden sich außer einigen ältern Kesselanlagen 6 Steilrohrkessel (Bauart Humboldt von je 500 m<sup>2</sup> Heizfläche), von denen 2 mit Martin-Vorschubrosten, 2 mit Wanderrosten und 2 mit Kohlenstaubfeuerungen ausgerüstet waren. Die stündliche Leistung jedes Kessels betrug etwa 18 t Dampf von 350° C und 20 atü; sämtliche Kessel waren mit selbsttätigen Speiseventilen der Bauart Hannemann ausgerüstet. Die beiden Kessel mit Wanderrosten wurden umgebaut. Man versah die Feuerung mit wassergekühlten Rohren, die an den Wasserkreislauf angeschlossen sind, und brachte eine weitere Rohrreihe im Steilrohrbündel an, wodurch sich die Heizfläche auf je 574,3 m<sup>2</sup> erhöhte. Die alten Roste von 20,06 m<sup>2</sup> Größe wurden durch neuzeitliche Zonenroste von 30,57 m<sup>2</sup>, die bisher angebrachten Glattrohr-Speisewasservorwärmer von je 410 m<sup>2</sup> Heizfläche durch Rippenrohrvorwärmer von je 1345 m<sup>2</sup> Heizfläche ersetzt. Die Normalleistung sollte durch die genannten Maßnahmen auf je 28 t/h erhöht werden. Diese beiden Kessel wurden mit einer selbsttätigen Regleranlage der Askaniawerke ausgestattet.

Die Anordnung der Regeleinrichtungen an den Kesseln ist in Abb. 1 dargestellt. Der Dampfdruck der Sammelleitung wirkt auf den Membranzylinder *a*, dem das verstellbare Gewicht *b* entgegenwirkt; mit dessen Hilfe kann der gewünschte mittlere Dampfdruck eingestellt werden. Der Ausschlag des Hebels hat eine Verstellung des Strahlrohres *c* zur Folge, das nach dem bekannten Verfahren der Askaniawerke arbeitet. Bei sinkendem Dampfdruck, also steigender Belastung, wird die Strahldüse nach der rechten Steuerseite, im andern Falle zur linken hin bewegt. Die infolgedessen auftretenden Druckänderungen in der Rohrleitung verstellen den Kolben *d*, der die Widerstandsstufen *e* betätigt und dadurch die

Askania - Sonderdruck

RESTRICTED

Speisespannung der von dem Drehstrommotor *f* angetriebenen Steuerdynamo *g* regelt. Von dem geregelten Gleichstromnetz aus werden die Rostantriebmotoren *h* und *i* und außerdem ein Hilfsmotor mit dem sogenannten Rückführmeßbläse *k* betrieben.

Die Drehzahlen steigen mit der Spannung im Gleichstromnetz, bis der erhöhte Unterdruck des Meßbläses, der auf das Rückführmeßsystem des Reglers *l* wirkt, dem Meßsystem *a* das Gleichgewicht hält. Das Strahlrohr *c* kehrt dann wieder in seine Mittelstellung zurück, der Kolben bei *d* steht still, und der Regelvorgang ist beendet. Eine Verringerung des Dampfdruckes führt somit eine höhere Geschwindigkeit der Roste und dadurch eine größere Kesselleistung herbei.

Hierzu ist es jedoch noch notwendig, die Verbrennungsluftmenge entsprechend zu verändern. Dies besorgt der Verbrennungsregler, der von dem mit dem Rostantriebmotor gekuppelten Meßbläse *m* und der Rauchgasmenge gesteuert wird. Steigt die Rostgeschwindigkeit, so erhöht sich der Unterdruck des Meßbläses, der, auf das Meßsystem *n* übertragen, das Strahlrohr vor die linke Steueröffnung bringt. Dadurch wird der Kolben bei *o* verstellt und der Rauchgasschieber geöffnet. Die an dem Druckunterschied der Rauchgase zwischen Feuerung und Kesseldende gemessene Rauchgasmenge wirkt über das Meßsystem *p* dem erstbeschriebenen Vorgang entgegen und bringt dadurch das Strahlrohr wieder in die Mittellage, sobald sich die Rauchgasmenge der Rostgeschwindigkeit und damit der Brennstoffmenge angepaßt hat.

Es gilt nun noch, den Druck im Feuerraum *q* zu regeln, der für jeden Kessel auf die Regulierung *r* wirkt. Mit steigender Rauchgasmenge sinkt der Druck in der Feuerung. Das Strahlrohr wird vor die linke Öffnung gebracht; der Steuerkolben *o* öffnet die Luftzutrittsklappe *s* so weit, bis der ursprüngliche Druck wiederhergestellt ist und das Strahlrohr in seine Mittellage zurückkehrt. Die ganze Anordnung erscheint verwickelt, jedoch hat sich der Betrieb schnell damit vertraut gemacht; nennenswerte Anstände haben sich nicht ergeben. Die Anlage scheint durchaus betriebssicher zu sein.

#### Versuchsergebnisse.

An einem der beiden umgeänderten Kessel sind nach einigen Monaten Betriebszeit durch den Verein zur Überwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen Verdampfungsversuche vorgenommen und dabei die

Gewährleistungen erreicht worden. Als Brennstoff diente Feinkohle allein oder in Schichtung oder Mischung mit der gleichen Menge Koksgrus. Die höchste erzielte Leistung des Versuchskessels betrug etwa 38 t.

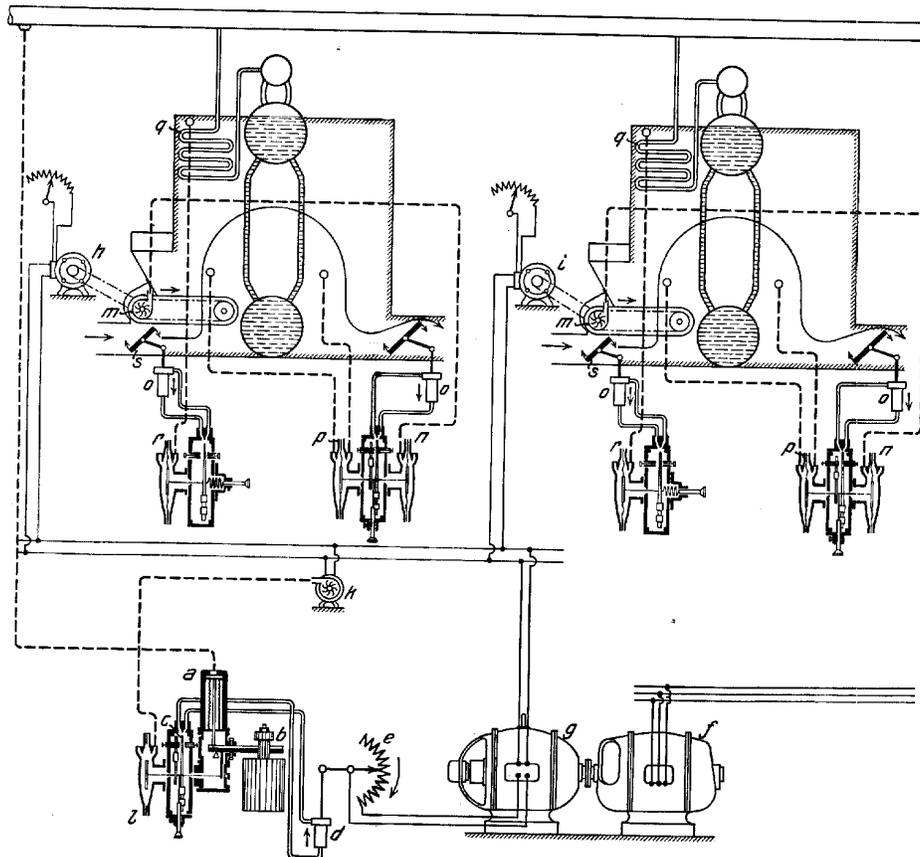


Abb. 1. Anordnung der Regeleinrichtungen an den Kesseln.

Weiterhin wurden noch einige Versuche an gestellt, die den Einfluß der selbsttätigen Feuerreglung auf die geregelten Kessel und die ganze Kesselanlage bei stark schwankendem Leistungsbedarf klären sollten. Die Lage der Kessel und ihrer Rohrleitungen ist aus Abb. 2 zu ersehen. Von den 6 Kesseln waren alle bis auf den mit einem Martin-Rost versehenen Kessel 2 in Betrieb. Der Druckstoß für die Reglung wird zwischen den Kesseln 5 und 6 in der Nähe des Kessels 5 abgenommen. Die Lage der Entnahmestelle ist zweifellos nicht ohne Einfluß auf den Regelvorgang, weil der Dampfdruck ja als statischer Druck wirkt, dieser aber durch die jeweils an die verschiedenen Verbrauchsstellen abströmenden Dampfmen gen bedingt wird. Der Dampfbedarf der einzelnen Verbraucher ist im Tagesverlauf sehr verschieden, namentlich bei den Fördermaschinen. Von diesen sind drei vorhanden, die einen Dampfverbrauch von insgesamt etwa 12 t aufweisen. Auch der Dampfbedarf der Turbinenzentrale sowie der übrigen Betriebe wechselt stark. Die an sich schon großen Schwankungen im Dampfbedarf dieser Verbraucher wurden bei den Versuchen noch dadurch verstärkt, daß man den mit Kohlenstaubfeuerung versehenen Kessel 5, beim zweiten Versuch zeitweise auch den ähnlichen Kessel 6 in Zeiträumen von etwa einer halben Stunde an- und abstellte; auch diese Be-

lastungsänderungen mußten dann von den Regelkesseln übernommen werden.

Es fanden zwei Versuche von je 2 h Dauer statt, bei denen jedesmal die Last zweimal aufgenommen und abgegeben wurde. Beim ersten Versuch war nur der Kessel 3 als Regelkessel eingeschaltet, während der Kessel 4, wie auch die andern Kessel, von Hand bedient oder sich selbst überlassen wurde. Beim zweiten Versuch waren die Kessel 3 und 4 als Regelkessel in Betrieb. Die Ablesungen erfolgten hauptsächlich am Kessel 3; beim zweiten Versuch bemerkte man auch die Dampfmenge des Kessels 4. Ferner wurden die Dampfleistungen der beiden Kohlenstaubbessel aufgeschrieben. Für die Ermittlung der von den einzelnen Kesseln erzeugten Dampfleistungen dienten die an jedem Kessel vorhandenen Dampfzähler, während die von der ganzen Kesselanlage gelieferte Dampfmenge als Speisewassermenge gemessen wurde. Den Kohlen säuregehalt der Rauchgase am Vorwärmerende des Versuchskessels stellte man durch Orsatgerätee fest. Da die Probenahmen schnell aufeinander folgen mußten, wurden die Rauchgase durch eine Wasserstrahlpumpe ständig abgesaugt und auf Flaschen gefüllt und daraus nach den Versuchen die Analysenproben entnommen. Besonders empfindliche Thermometer erlaubten, den Schwankungen der Dampf- und Rauchgastemperaturen schnell genug zu folgen. Der Dampfdruck wurde an einem an der Impulsstelle angebrachten Druckmesser abgelesen. Die von einem Voltmeter angezeigte Spannung des Leonardstromes gibt einen Anhalt für die jeweilige Rostgeschwindigkeit, der sie unmittelbar entspricht. Die Spannung Null läßt z. B. den Stillstand des Rostes erkennen.

#### Ergebnisse der Versuche mit nur einem Regelkessel.

In Abb. 3 sind die bei dem ersten Versuch mit nur 1 Regelkessel (gleich 21,7% der in Betrieb befindlichen Heizfläche) erzielten Werte aufgezeichnet, und zwar die Dampfmenge des Regelkessels (Kurve a) und die Gesamtspeisewassermenge b, die Dampftemperatur am Kessel c und in der Turbinenzentrale d, der Dampfdruck e, die mittlere Rauchgastemperatur am Vorwärmerende f und die Leonardspannung am Regelwerk g. Ferner ist darauf vermerkt, wann die Belastungen und Entlastungen des Regelkessels erfolgten. Über die Dampfleistungen der Ausgleichkessel unterrichtet Abb. 4.

Zunächst wurde von 11 Uhr bis 11 Uhr 30 ohne Änderung der Verstellkessel 5 und 6 gefahren und dann um 11 Uhr 30 der Kessel 5 abgedreht, so daß dessen Belastung von dem Kessel 3 übernommen werden mußte. Bis dahin hatte zwar die Dampferzeugung des Kessels 3 wegen der ungleichmäßigen Dampferzeugung schon etwas geschwankt, nunmehr stieg sie jedoch mit kurzen Unterbrechungen bis auf 40 t/h steil an, fiel gleich darauf infolge des augenblicklich geringern Dampfbedarfes und stieg dann wieder bis auf 38 t. Beim Wiederandrehen des

Kessels 5 um 12 Uhr ging die Leistung des Kessels 3 auf 18 und nach kurzem Wiederanstieg auf 17 t zurück, bis um 12 Uhr 30 erneut die Belastung erfolgte und sich das Spiel in ähnlicher Weise wiederholte. Hierbei wurde in einem Augenblick sogar die Leistung von 44 t/h erreicht. Bei der Entlastung um 13 Uhr sank dann die Leistung bis auf 16 t/h. Die Ablesungen der Dampfleistungen erfolgten alle 30 s. Trotz dieser kurzen Zeit schwankten dazwischen die Mengen stets, so daß der Kurvenverlauf nur annähernde Werte verzeichnet. So änderte sich auch die Leonardspannung und damit die Rostgeschwindigkeit beständig; die Kurve dafür, deren Werte je min abgelesen wurden, zeigt daher nur den annähernden Verlauf. Bemerkenswert ist, daß der Rost während

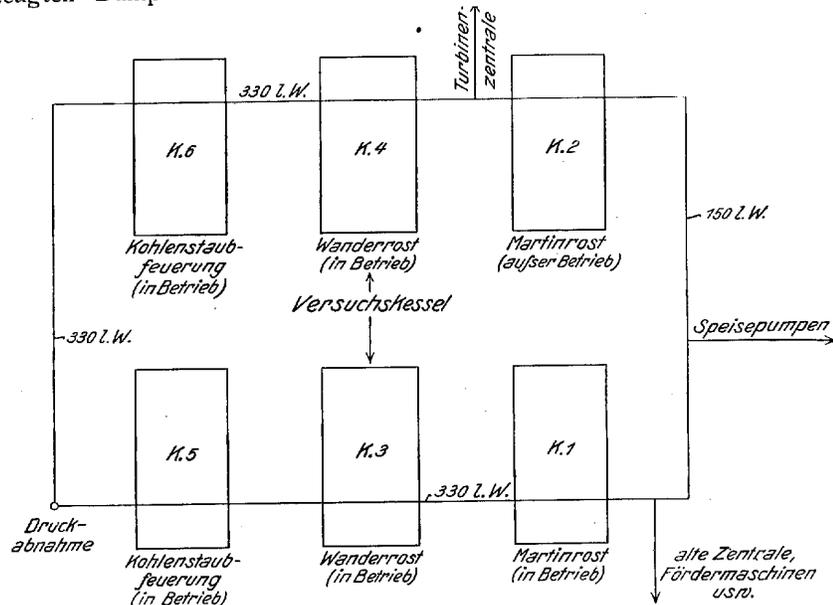


Abb. 2. Lage der Kessel und ihrer Rohrleitungen.

des zweistündigen Versuches mehrmals zum Stillstand kam, einmal sogar 6 min lang. Es läßt sich natürlich nicht vermeiden, daß bei so starken Entlastungen, die weit über das im Betriebe erforderliche Maß hinausgehen, im Rostbelag ausgebrannte Stellen entstehen, die zeitweise ein Absinken des Kohlen säuregehaltes der Rauchgase zur Folge haben. Wie aus Abb. 4 hervorgeht, entsprechen die Belastungen und Entlastungen der Ausgleichkessel etwa den umgekehrten Zuständen des Versuchskessels, d. h. es wurden immer 16 t/h zu- und abgeschaltet. Die Dampftemperaturen (Abb. 3) am Kessel 3 folgten der Dampfmenge, sie sanken bei geringer Belastung bis auf 345° und stiegen mit der Belastung bis auf 380°. Diese nicht erheblichen Schwankungen wurden durch die Vermischung mit dem Dampf der andern Kessel weiter ausgeglichen, so daß sich die Temperaturen vor den Turbinen nur noch zwischen 348 und 364° bewegten.

Größere Schwankungen wiesen die Temperaturen der Rauchgase am Vorwärmerende auf. Auch diese folgten der Belastung, jedoch mit einer gewissen zeitlichen Verschiebung, die sich aus der unvermeidlichen Trägheit der Feuerung ergab. Die niedrigsten Temperaturen liegen bei 142, die höchsten bei 219°; die Unterschiede sind also geringer als die Belastungsschwankungen. Am bemerkenswertesten sind die Schwankungen des Dampfdruckes, der ja möglichst

gleich bleiben soll. Die Abweichungen vom mittlern Druck waren während des Versuches, obwohl man nur einen Regelkessel eingeschaltet hatte, so gering, daß man sie für den praktischen Kesselbetrieb gewöhnlich als bedeutungslos betrachten darf. Der Dampfdruck schwankte in der Versuchszeit von 19,50

tätigen Speisewasserreglungen nur mit einer gewissen Trägheit folgen.

Abb. 5 läßt den Kohlensäuregehalt der Rauchgase am Vorwärmerende erkennen. Gleichzeitig mit der Leistungsaufnahme des Regelkessels um 11 Uhr 30 beobachtet man ein Ansteigen des Kohlensäuregehaltes, der auch dem zeitweiligen Leistungsabfall folgt und dann wieder zunimmt. Dem entsprach ein Rückgang bei der Entlastung um 12 Uhr, an den sich bei vorübergehendem Leistungsaufstieg wieder eine Erhöhung anschloß. Einen ähnlichen Verlauf zeigte der Kohlensäuregehalt auch bei dem zweiten Teil des Versuches. Durchschnittlich betrug er am Vorwärmerende 12-14%; die äußersten, jedoch nur kurze Zeit zu beobachtenden Werte waren 9 bis 16%. Bei keinem Versuch, auch den späteren nicht, trat ein größerer Überdruck in der Feuerung ein, der ein Qualmen der Kessel hervorgerufen hätte. Der Druck in der Feuerung war also ausgeglichen.

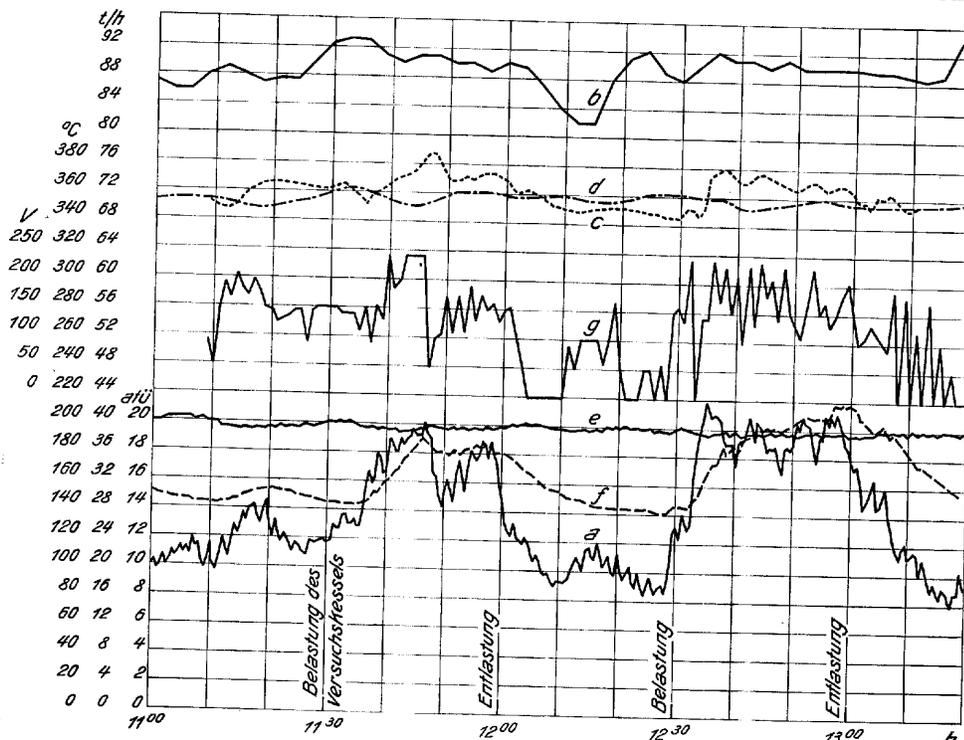


Abb. 3. Ergebnisse des ersten Versuches mit nur 1 Regelkessel.

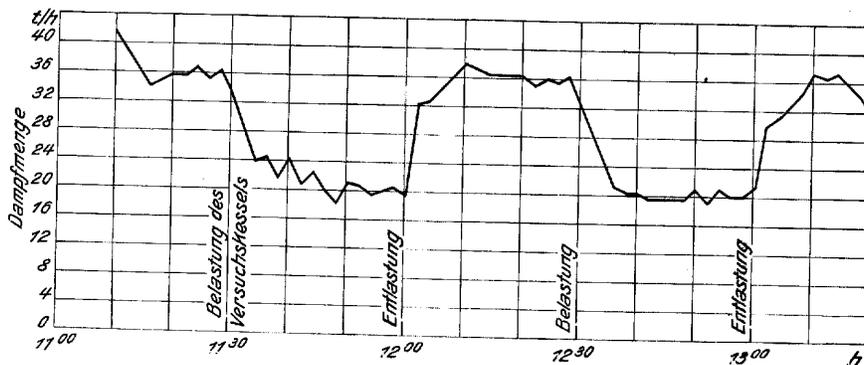


Abb. 4. Dampfleistungen der Ausgleichkessel.

bis 20,30 atü gleich  $\pm 2\%$ . Ein Ablassen der Sicherheitsventile trat während der Versuche nicht ein. Sie waren zwar auf 20 atü eingestellt, jedoch lag die Meßvorrichtung etwa 8 m unter der Dampfleitung, so daß der Druck um 0,8 atü geringer war als die Anzeige des Prüfmanometers. Niedriger Dampfdruck entspricht einer hohen Dampfleistung des Regelkessels; nach der Kurve dürften aber auch noch andere Faktoren einen Einfluß ausüben.

Aus Abb. 3 geht ferner die gesamte Speisewassermenge der 5 in Betrieb befindlichen Kessel hervor. Diese Kurve ist von einem Selbstschreiber aufgezeichnet worden, der in der Speisewasserleitung angebracht war und Schwankungen von 82 bis 94 t/h auswies. Die Unterschiede in der Dampfentnahme sind jedoch in Wirklichkeit größer, da die selbst-

den beiden Regelkesseln aufgenommen werden mußten. Die Ergebnisse veranschaulicht Abb. 6, in der, wie bei Abb. 3, die Meßergebnisse an dem Kessel 3 eingetragen sind. Dampfdruck und Leonardspannung gelten für beide Kessel. Die Dampfmenge ist dagegen für den Kessel 4 in Abb. 7 besonders aufgetragen. Ein Vergleich mit der entsprechenden Kurve in Abb. 6 zeigt, daß die Schwankungen der vom Kessel gelieferten Dampfmenge bei dem Kessel 4 geringer und weniger heftig gewesen sind. Diese Erscheinung hat wohl darauf beruht, daß die Stelle des Druckstoßes näher beim Kessel 3 als beim Kessel 4 lag und die Leitung bis zu diesem eine gewisse Dämpfung ausübte, wenn auch die von der Regelung auf die Kessel ausgehenden Stöße für beide gleich waren. Verglichen mit der entsprechenden Kurve in Abb. 3

*Ergebnisse der Versuche mit zwei Regelkesseln.*

Diese Versuche wurden ebenfalls in der beschriebenen Weise vorgenommen, jedoch war außer dem Kessel 3 nunmehr auch der Kessel 4 an die selbsttätige Regelung angeschlossen, die sich somit auf 43,4% der in Betrieb befindlichen Heizfläche erstreckte. Um diese beiden Kessel noch mehr belasten zu können, drehte man außer dem Kessel 5 auch den Kessel 6 zum Teil ab, so daß insgesamt etwa 24 t von

bei den Versuchen mit nur einem Regelkessel, lassen die Kurven trotz noch höherer Lastveränderung einen gleichmäßigeren Verlauf erkennen. Wenn dies auch zu erwarten stand, so ist doch besonders bemerkenswert, daß nicht allein die willkürlichen Lastveränderungen, sondern auch die Unterschiede im Speisewasser- und Dampfverbrauch gegenüber den vorigen Versuchen größer waren, denn der erstgenannte schwankte zwischen 70 und 94 t/h. Auch bei den Versuchen mit beiden Regelkesseln traten zuweilen Stillstände des Rostes ein; solche von mehreren Minuten waren hier sogar häufiger. Die Dampftemperaturen

betrieb noch weniger betragen. Vor der Einführung der selbsttätigen Regelung traten Druckschwankungen von mehreren Atmosphären sowie häufig ein Abblasen der Sicherheitsventile auf.

Die von den Ausgleichskesseln 5 und 6 gelieferten Dampfmenngen sind in Abb. 8 aufgezeichnet. Der Leistungsabfall dieser Kessel betrug bei der ersten Änderung rd. 24, bei der zweiten etwa 21 t/h. Der Kohlendioxidgehalt der Rauchgase nahm nach Abb. 9 bei der Belastung der Kessel zunächst einen etwas andern Verlauf als bei den ersten Versuchen. Während er bei diesen sofort anstieg, fiel er dort

zunächst, um nach einigen Minuten anzusteigen. Im allgemeinen war er etwas besser als vorher, jedoch ist er zu sehr von manchen Zufälligkeiten in der Feuerung, namentlich dem Zustand des Feuerbettes abhängig, als daß er einen allgemeinen gesetzmäßigen Verlauf aufweisen könnte.

**Zusammenfassung.**

Auf einer Zeche sind vom Verein zur Überwachung der

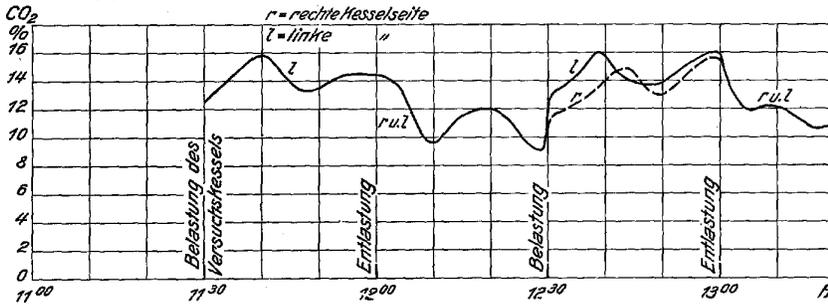


Abb. 5. Kohlendioxidgehalt der Rauchgase am Vorwärmerende.

am Kessel 3 zeigten einen ähnlichen sprungartigen Verlauf wie bei den ersten Versuchen, entsprechend den Dampfbelastungen. Da diese beim Kessel 4 weniger wechselten, ist anzunehmen, daß hier die Dampftemperaturen ebenfalls gleichmäßiger waren. Die größeren Veränderungen in der Gesamtbelastung drücken sich auch in etwas größeren Unterschieden der Dampftemperatur vor den Turbinen aus.

Die Schwankungen im Dampfdruck an der Impulsstelle waren bei den Versuchen mit beiden Regelkesseln geringer als bei den mit nur einem Regelkessel. Während sie bei diesen zwischen 19,50 und 20,30 atü lagen, bewegten sie sich bei den erstgenannten nur zwischen 19,60 und 20,15, also um etwa  $\pm 1,4\%$ . Diese Schwankungen würden im normalen Betriebe, bei dem so große Belastungsänderungen, wie sie bei den Versuchen mit Absicht hervorgerufen worden sind, nur selten vorkommen, natürlich nicht aufgetreten sein. Man kann wohl damit rechnen, daß sie selbst im Tagesbetrieb nicht mehr als  $\pm 1\%$ , im Nacht-

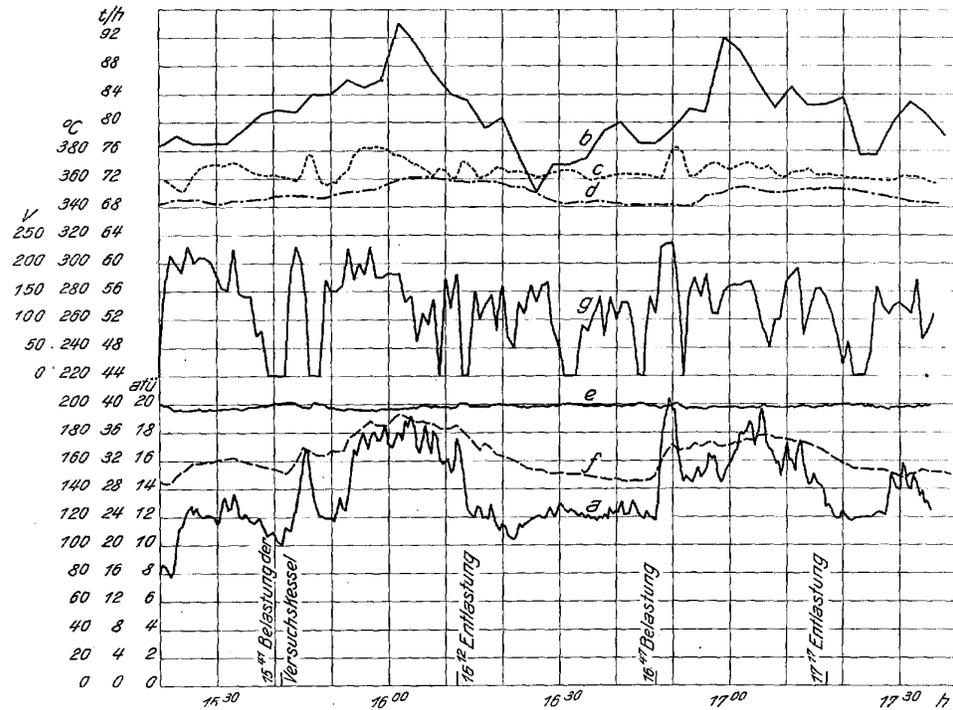


Abb. 6. Ergebnisse des Versuches mit zwei Regelkesseln.

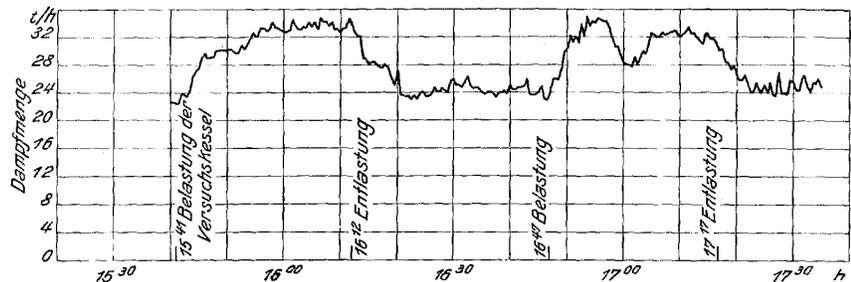


Abb. 7. Dampfmenngen des Kessels 4.

Kraftwirtschaft der Ruhrzechen Versuche an einer mit selbsttätiger Feuerreglung ausgestatteten Kesselanlage durchgeführt worden. Von den vorhandenen 6 Steilrohrkesseln waren bei den Versuchen 5 in Betrieb. Zwei kürzlich mit neuen Wanderrosten und einer selbsttätigen Feuerreglung, Bau-

art Askania, versehene Kessel hatten die Belastungsschwankungen aufzunehmen, während die andern Kessel gleichmäßig weiter betrieben oder nur in größern Zeitabständen von Hand nachgeregelt wurden. Die Versuche fanden in 2 Gruppen statt, wobei das erste Mal nur ein Regelkessel, das zweite

Mal beide an die selbsttätige Reglung angeschlossen waren. Um die vom Betrieb herrührenden Belastungsschwankungen zu vergrößern, schaltete man 2 andere Kessel mit Kohlenstaubfeuerung zeitweilig ab und zu, so daß die Regelkessel eine stark wechselnde Belastung aufzunehmen hatten. Die dabei auftretenden Veränderungen im Kesselbetriebe wurden festgestellt und durch Kurven veranschaulicht. Die Regelung der Kessel war gut. Der Dampfdruck schwankte trotz der starken Belastungsstöße nur in geringen Grenzen, und zwar bei den Versuchen mit einem Regelkessel zwischen 19,5 und 20,3 bei denen mit zwei Regelkesseln zwischen 19,6 und 20,15 atü, während der Druckunterschied vor der Einführung der selbsttätigen Reglung mehrere Atmosphären betragen hatte. Die Anlage hat sich in nunmehr 1¼jährigem Betriebe durchaus bewährt.

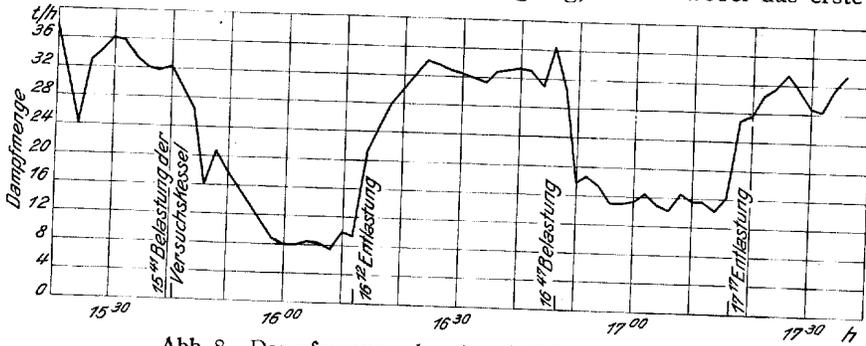


Abb. 8. Dampfmenngen der Ausgleichkessel 5 und 6.

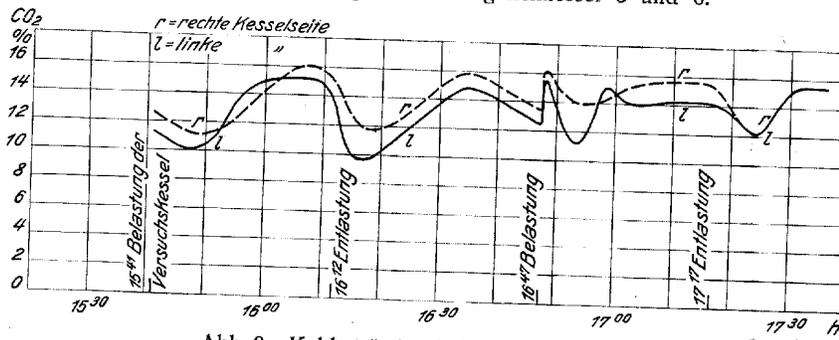


Abb. 9. Kohlensäuregehalt der Rauchgase.

Dampfkessel-Heberwachungs-Verein

Berlin N.W. 23. den 30. Oktober 1930.

„Berlin“

Kellingstraße 34

Eingetragener Verein.

N. Nr.

Akt. Nr. Gut.A.Gen.

Es wird ersucht, im Antwortschreiben obige Nr. anzugeben

G u t a c h t e n .

Die Askania-Werke A.-G., Berlin - Friedenau, Kaiser Allee 87/88 beantragt die Prüfung des von ihr gebauten Askania-Hochdruckreglers nach der Richtung, ob es zulässig ist, bei Verwendung dieses Reglers in der gemeinsamen Dampfleitung zweier Kessel von verschiedenem Betriebsdruck von dem Einbau weiterer Sicherheitsvorrichtungen, insbesondere des gem. § 6 der Allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über Landkessel vorgeschriebenen Rückschlagventils abzusehen. -

Bezüglich der Bauart und der Wirkungsweise des Reglers wird auf die diesem Gutachten beigelegte Zeichnung und ausserdem auf die Prospekte der Firma und die in letzter Zeit mehrfach gemachten Veröffentlichungen der technischen Zeitschriften (V.d.J. und Die Wärme) hingewiesen.

Die Prüfung fand am 21. Oktober 1930 im Elektrizitätswerk der Bewag statt und zwar an einem in einer Dampfrohrleitung von 350 m/m l.W, eingebauten Regler. Sein Betriebszweck ist hier folgender: Falls für die Versorgung der Fernheizanlage bei geringer Turbinenleistung nicht genügend Abdampf zur Verfügung steht, soll der Regler selbsttätig aus der Speicheranlage Dampf von 10 Atm. Druck und weniger zusetzen und den Druck in der Rohrleitung zum Fernheizwerk möglichst konstant auf 1,9 Atm. halten. -

Beim Eintreffen des Unterzeichneten im Werk befand sich der Askania-Regler ausser Tätigkeit. Die Turbine lieferte genügend

Dampfkessel-Heberwachungs-Verein  
BERLIN  
Wirtschaftliche Abteilung.

R1089

1. 5. 42.

Abdampf bei 1,9 Atm. Gegendruck. Der Speicherdruck betrug 10 Atm. Der für den Betrieb des Reglers erforderliche Oeldruck war bei ~ 5 Atm. verfügbar. Es wurden nun folgende Versuche durchgeführt.

- I. Die von der Turbine abgegebene Dampfmenge wurde gedrosselt. Der Regler sprach bei ~ 1,8 Atm. Druck in der Abdampfrohrleitung an und liess der abnehmenden Turbinen-Abdampfmenge entsprechend aus der Speicheranlage Dampf von 10 Atm. auf 1,9 Atm. reduziert hindurchströmen bis zu ~ 10 ts/h (laut Anzeige des Dampfessers).
- II. Bei umgekehrt langsamer Steigerung der Dampfabgabe der Turbine nahm die durch den Regler selbsttätig zugesetzte Dampfmenge von 10 ts bis auf 0 t/h allmählich ab.

Bei beiden Versuchen blieb der Dampfdruck hinter dem Regler konstant auf 1,9 Atm. stehen.

- III. Durch Abstellung des Betriebs-Oeldruckes wurde ein Defekt in der Oelpumpe markiert: Unter dem Einfluss des Schliessgewichtes (2) schloss sich das Regler-Ventil, d.h. es konnte Dampf nach der Seite mit dem reduzierten Druck nicht abströmen.
- IV. Durch Drosselung des in der Rohrleitung zwischen Speicher und Askania-Regler angeordneten Fischbach-Schiebers wurde die Spannung des Speicher-Zusatz-Dampfes von 10 auf 2 Atm. herabgemindert : Der Drosselung entsprechend öffnete sich der Regler allmählich immer mehr, bis bei der auf ~ 2 Atm. reduzierten Frischdampf-Spannung in ganz geöffneter Stellung des Reglers eine Dampfmenge von ~ 10 ts/h hindurchströmte. Die Spannung hinter dem Regler betrug ~ 1,9 Atm.

Bei umgekehrt allmählich gesteigerter Oeffnung des Fischbachschiebers schloss sich der Askania-Regler immer mehr und sperrte die Dampfzuführung selbsttätig ganz ab, als die von der Turbine gelieferte Abdampfmenge zur Deckung des Dampfbedarfs der Heizungsanlage ausreichte.

Auch im Verlauf dieser Versuche hat eine Ueberschreitung des auf 1.9 Atm. festgesetzten Druckes hinter dem Regler nicht stattgefunden.

Einstellung des Reglers : Durch Justierung der "Einstellfeder" (8) kann der reduzierte Druck den Betriebsanforderungen entsprechend eingestellt werden. Diese Einstellung kann nur mittels eines besonderen und in der Hand der Betriebsleitung befindlichen Schlüssels vorgenommen werden, sodass also eine Verstellung des Reglers durch Unberufene ausgeschlossen ist.

Das Ergebnis der angestellten Versuche  
-----

wird dahin zusammengefasst, dass der Regler den an ihn gestellten Anforderungen : "Selbsttätige Zuführung an Zusatzdampf von höherem Betriebsdruck und Einhaltung einer bestimmten reduzierten Dampfspannung mit der Genauigkeit von  $\sim 0,1$  Atm." erfüllt hat.

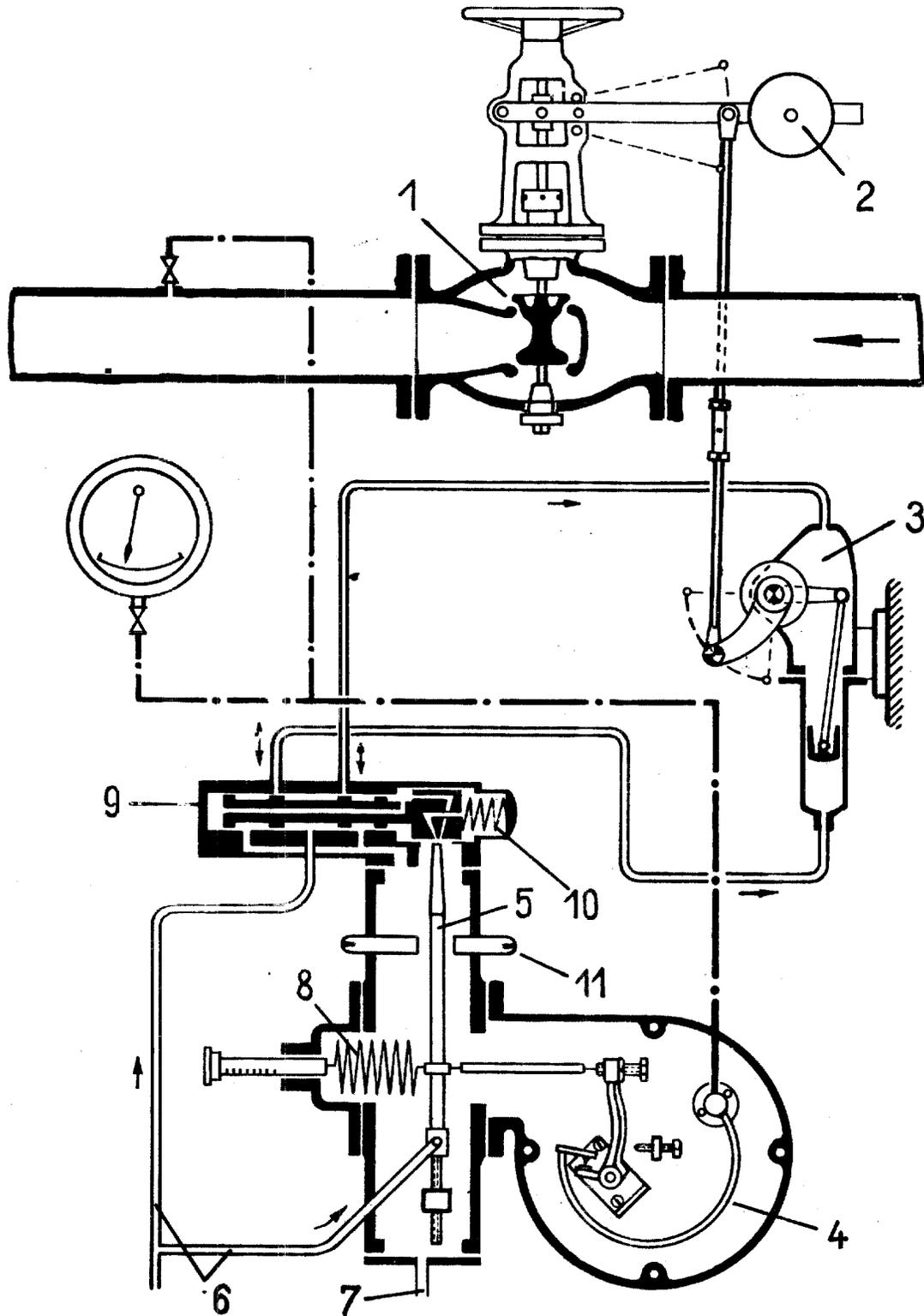
Seitens der Betriebsleitung des Elektrizitätswerkes wird berichtet, dass der jetzt in den vorstehend beschriebenen Versuchen erprobte Regler innerhalb der nunmehr  $\sim 2$  jährigen Benutzungsdauer zu irgend welchen Störungen des Betriebs oder anderweitigen Beanstandungen keine Veranlassung gegeben hat.

Somit kann der Askania-Regler in der bei den Versuchen vorgeführten Ausführung, bei welcher die Ausrüstung mit dem "Schliessgewicht" von entscheidender Bedeutung ist, als ein zuverlässiges Druckverminderungsventil anerkannt werden, bei dessen Verwendung für die Zusammenschaltung von Kesseln mit verschiedenen Betriebsdrücken von dem Einbau weiterer Sicherheitsvorrichtungen, insbesondere eines Rückschlagventils in der Rohrleitung zu dem Kessel mit niedrigerem Druck abgesehen werden kann.

Dampfkessel-Überwachungs-Verein  
Dortm.

Der Oberingenieur  
der wissenschaftlichen Abtlg.

*Gewandt*



Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen und sämtlichen Beilagen verbleibt uns. Sie sind dem Empfänger nur zum persönlichen Gebrauch anvertraut. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch nicht dritten Personen, insbesondere Wettbewerbern, mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden. Widerrechtliche Benutzung durch den Empfänger oder Dritte hat zivil- u. strafrechtliche Folgen. Die Zeichnungen und sämtl. Beilagen sind uns im Falle der Nichtbestellung sofort zurückzugeben.  
(R. G. Bl. 1910 §§ 1, 15, 36, und R. G. Bl. 1910 §§ 18, 19)

*Druckregleranlage mit selbstätiger  
Sicherung bei Ausfallen des Drucköls.*

|   |            |         |         |                               |                                  |                |
|---|------------|---------|---------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|
| <br><b>ASKANIA-WERKE AG</b><br>BAMBERGWERK<br>BERLIN-FRIEDENAU | Tag        | Name    | Maßstab | Anderungen                    | Ersatz R5a 218 vom für. 25.10.30 | Ersetzt durch: |
|   | Gezeichnet | 27.3.31 |         | 1                             |                                  |                |
|   | Geprüft    |         |         | 2                             |                                  |                |
|   | Gesehen    |         |         | 3                             |                                  |                |
| Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R003100050001-0  |            |         |         | Zeichnung-Nr. <b>R5a. 218</b> |                                  |                |
|   |            |         |         | 4                             |                                  |                |

**Next 1 Page(s) In Document Exempt**



F r a g e b o g e n

-----

Erforderliche Angaben für Projektierung und Bestellung  
eines Askania-Hochdruckreglers.

| <u>Frage:</u>   | <u>Antwort:</u>  |
|---|--|
| <p>1. In welcher Weise soll der Regler arbeiten?</p> <p>a) als Reduzierventil?</p> <p>b) als Überströmventil?</p> <p>c) als kombiniertes Überström- und Reduzierventil?</p> <p>d) als kombiniertes Druck- und Temperatur-Regelventil?</p>   |  |
| <p>2. Welcher Betriebszustand ist zu regeln oder konstant zu halten?</p>  |  |
| <p>3. Soll Dampf, Wasser oder Gas geregelt werden?</p>  |  |
| <p>4. Welche durchgehenden Mengen kommen in Frage (kg oder cbm je Sekunde)?</p>   | <p>kleinste      mittlere      größte</p> <p>.....</p>     |
| <p>5. Wie hoch sind die Drücke?</p> <p>a) Vor dem Regler?</p> <p>b) Hinter dem Regler?</p>  | <p>.....</p> <p>.....</p>                                  |
| <p>6. Wie hoch ist die Temperatur in °C.?</p>   | <p>.....</p>   |
| <p>7. Welche lichte Weite hat die evtl. vorhandene Leitung, in welche das Reglerventil eingebaut werden soll?</p>   | <p>Eintritt                      Austritt</p> <p>.....</p> |
| <p>8. Ist die Entnahme der durch die Leitung strömenden Menge eine gleichmäßige oder eine stoßweise?</p>  |  |
| <p>9. Für welchen Betrieb dient der Regler:</p> <p>a) für Dampfmaschinenbetrieb?</p> <p>b) für Zwischendampfentnahme (Turbine oder Dampfmaschine)?</p> <p>c) für Heizungszwecke?</p> <p>d) für Verbindung zweier Kesselgruppen mit verschiedenen Drücken?</p> <p>e) für Speicherregelung?</p> <p>f) .....</p> |  |

RESTRICTED

| <u>Frage:</u>   | <u>Antwort:</u> |
|---|-----------------|
| <p>10. Wo soll das Reglerventil eingebaut werden?</p> <p>a) über Flur?<br/> b) unter Flur?<br/> c) ist die Einbaustelle bequem zugänglich?<br/> d) ist der Raum staubfrei?<br/> (Die Fragen a-d sind durch Skizze oder Rohrplan zu erläutern.)</p>              |                 |
| <p>11. Wo soll die Steueranlage (Pumpwerk) aufgestellt werden?</p> <p>a) über Flur?<br/> b) unter Flur?<br/> c) ist die Einbaustelle bequem zugänglich?<br/> d) ist der Raum staubfrei?<br/> (Die Fragen a-d sind durch Skizze oder Rohrplan zu erläutern.)</p> |                 |
| <p>12. Welche Stromart zum Betrieb der Ölpumpe steht zur Verfügung?</p> <p>a) Gleichstrom?<br/> b) Drehstrom?<br/> c) welche Spannung?</p>  |                 |
| <p>13. Sind Meßinstrumente für Einstellung und Kontrolle des Reglers vorhanden?</p>   |                 |
| <p>14. Wenn nicht, ist Mitlieferung erwünscht?</p> <p>a) anzeigend?<br/> b) registrierend?</p>  |                 |
| <p>15. Besondere Bemerkungen?</p>   |                 |

Die Angaben sind für die Ausführung verbindlich.

Ort u. Datum: ..... Firma (Stempel  
und  
Betr.: ..... Unterschrift)

1 Fragebogen beantwortet und unterschrieben  
an Askania-Werke zurück!

**Sonderabdruck**

aus der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure Bd. 81 (1937) Nr. 37 S. 1057 bis 1064



# Aufgaben der Regelung in der Verfahrenstechnik

Von **Guido Wunsch**, Berlin

Wie in anderen Gebieten der Technik, so gibt es auch in der Verfahrenstechnik Fälle, bei denen durch eine selbsttätige Regelung die Güte der erzeugten Ware gehoben, die Herstellung verbilligt, die Betriebsführung verbessert und sicherer gemacht wird. In besonderen Fällen ermöglicht die selbsttätige Regelung überhaupt erst die Anwendung gewisser Verfahren und eröffnet neue, erfolgversprechende Wege. Die Aufgaben, die in der Verfahrenstechnik für Regler in Betracht kommen, bestehen vorzugsweise darin, Drücke, Mengen u. dgl. aufeinander abzustimmen, gleichbleibend oder in bestimmten Verhältniswerten zu erhalten, Temperaturen gleichbleibend oder in gewollter Zeitabhängigkeit verlaufen zu lassen usw. In jedem Falle gibt es verschiedene Lösungen.

Bei den Reglern sind zwei große Gruppen erkennbar, und zwar Regler ohne Hilfskraft (unmittelbare Regler) und Regler mit Hilfskraft. Regler ohne Hilfskraft sind im allgemeinen nur für kleine Verstelleistungen geeignet. Die Verstellkraft muß z. B. bei einem Druckregler dem zu regelnden Gas entnommen werden; sie ist Null, wenn der Sollzustand erreicht ist, und wächst verhältnismäßig der Abweichung vom Sollwert. Das Meßgerät ist bei diesen Reglern gleichzeitig der Verstellmotor.

Bei Reglern mit Hilfskraft steuert das Meßgerät einen Kraftschalter, der elektrische Energie, Druckluft, -wasser oder -öl derart auf einen Verstellmotor schaltet, daß das Regelglied in dem gewünschten Sinne bewegt wird.

Die Bauarten der Kraftschalter und Verstellmotoren sind recht mannigfaltig<sup>1)</sup>. Allen gemeinsam ist der Grundgedanke, den Kraftschalter so zu bauen, daß er fast reibungs- und trägheitslos vom Meßgerät verstellt werden kann, und daß er den Stellmotor jeweils mit einer Geschwindigkeit laufen läßt, die der Abweichung vom Sollwert annähernd verhältnismäßig ist. Die wichtigsten Stabilitätsrechnungen und die Begriffe der Schlußzeit, Empfindlichkeit, starre oder nachgiebige Rückführung usw. sind für alle Bauarten verwendbar.

## Gesichtspunkte für die Auswahl des Reglers

Ist die zu lösende Aufgabe klar erkannt und umrissen, so bereitet doch die Auswahl des am besten geeigneten Reglers manchmal große Schwierigkeiten.

### Regelgenauigkeit

Die zu fordernde Regelgenauigkeit, d. h. die zulässige Abweichung vom Sollwert, richtet sich im wesentlichen nach der Güte der verwendeten Meßeinrichtung, die den Kraftschalter des Reglers betätigt. Es hat keinen Sinn, für einen Durchflußregler eine kleinere Fehlergrenze als

<sup>1)</sup> G. Wunsch, Regler für Druck und Menge, München u. Berlin 1930.

1 % zu fordern, wenn keine genaueren Durchflußmesser am Markte sind. Man wird sich also bei Festlegung der Genauigkeitsgrenzen zweckmäßig nach den Gewährleistungswerten der einschlägigen Meßgeräte richten.

### Regelgrenzen

Ebenso wie eine Übertreibung der Genauigkeitsforderung ist eine zu weite Festlegung der Regelgrenzen vom Übel. Bei den meisten Durchflußreglern sinkt z. B. der Meßwert quadratisch mit der Belastung. Für geringe Belastungen werden die Meßwerte verschwindend klein, und die Regelung wird dann schwierig. Bei übertrieben großer Ausweitung der Regelgrenzen steigen die Schwierigkeiten stark an, und es wird meist ein unnötig teurer Regler von verwickelter Bauart erforderlich.

### Regelgeschwindigkeit

Die Anforderungen an die Regelgeschwindigkeit richten sich vollständig nach dem Verwendungszweck. Ist die Anlage bereits in Betrieb, so kann man aus den Aufzeichnungen von Schreibgeräten die größte vorkommende Störungsgeschwindigkeit ermitteln. Bei Neuanlagen läßt sich dieser Wert meist hinreichend genau abschätzen. Bei einer Druckregelung in einem Gasverteilungsnetz kann z. B. eine Störung — von außergewöhnlichen Störungen, wie Rohrbrüchen u. dgl. abgesehen — nicht schneller verlaufen, als es möglich ist, ein großes Ventil zuzudrehen. Für die meisten Regelungen genügt es, wenn die größte Regelgeschwindigkeit die größte Störgeschwindigkeit etwas übersteigt. Bei Druck- und Durchflußreglern ist in größeren Anlagen eine Laufzeit des Stellmotors von 20 s zwischen null und Vollast ausreichend.

### Regelstabilität

Die meisten Schwierigkeiten bereitet die Beurteilung der zu erwartenden Regelstabilität. Diese ist etwa gleichbedeutend mit der Dämpfung, die bei einer irgendwie ein-

geleiteten Schwingung auftritt. Bei 100 % Dämpfung (aperiodische Einstellung) erfolgt jede Bewegung des Reglers ohne Überschwingen. Bei weniger als 100 % Dämpfung tritt eine abklingende Schwingung auf, bei mehr als 100 % Dämpfung (überaperiodisch) ist die Einstellung schleichend. Die Anforderungen an die Regelstabilität soll man nicht übertreiben. Aperiodische oder gar überaperiodische Dämpfung ist regeltechnisch nicht erwünscht, da sie oft nur mit unnötigem Aufwand erreichbar ist und da andererseits die Regelung träge wird. Eine Dämpfung von 75 % ist meist als sehr gut und eine solche von 50 % noch als ausreichend anzusehen. Die nachfolgende Amplitude ist im ersten Falle 25 %, im zweiten 50 % der vorausgehenden. Die Schwingungsbilder verlaufen wie in Bild 1 dargestellt.

Die zu erwartende Dämpfung hängt ab von den im ganzen Regelkreis auftretenden Zeitverzögerungen und dem Ausgleichsgrad der Regelstrecke<sup>3)</sup>. Als Regelstrecke bezeichnet man hierbei den Teil der zu regelnden Anlage, dessen Zustand durch die Regelung beeinflusst wird.

### Ausgleichsgrad der Regelstrecke

Das Wesen des Ausgleichsgrades versteht man am schnellsten aus der Art, wie er ermittelt werden kann. Stellt man die Frage: Um wieviel Hundertteile muß das Regelglied verstellt werden, damit die zu regelnde Größe (Druck, Menge usw.) sich nach wieder eingetretener Beharrung um 1 % ändert?, so ist der ermittelte Wert gleichbedeutend mit dem Ausgleichsgrad der Regelstrecke.

Bei einem Dampfkessel wird die verdampfte Wassermenge gewöhnlich durch Wasserzufuhr nach Maßgabe des Wasserstandes ersetzt. Wenn die Speisewasser-

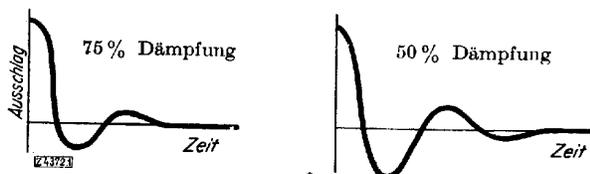


Bild 1. Schwingungsbilder eines Reglers.

zufuhr und die Dampfantnahme genau im Gleichgewicht sind, so bleibt der Wasserstand auf gleicher Höhe. Vergrößert man jedoch die Speisewassermenge auch nur ganz wenig, so wird der Wasserstand langsam, aber dauernd ansteigen, bis der Kessel voll ist; ein neuer Beharrungszustand tritt nicht ein. Der Ausgleichsgrad ist null, da bereits die kleinste Verstellung des Regelgliedes den Regelwert (Wasserstand) um mehr als 1 % ändert.

Ein Dampfnetz von 5 at werde aus einem Netz von 20 at über ein Druckminderventil gespeist. Öffnet man dieses Ventil um 1 % seines vollen Hubes, so wird sich auch die zuströmende Dampfmenge um rd. 1 % erhöhen. Dadurch steigt der Druck im 5 at-Netz, aber damit erhöht sich auch die Abströmung im gleichen Maße, und es stellt sich ein neuer Gleichgewichtszustand ein, wenn der Druck um rd. 1 % gestiegen ist. Der Ausgleichsgrad ist rd. 1.

Ein Gleichstromerzeuger arbeitet auf einen elektrischen Sammler. Um die Spannung um 1 % zu erhöhen, muß hier der Nebenschlußregler sehr weit, z. B. um 30 %, verstellt werden. Der Ausgleichsgrad hat den Wert 30.

Die Größe des Ausgleichsgrades ist kennzeichnend für das Bestreben der Regelstrecke, von selbst, also ohne Zutun eines Reglers, einem neuen Gleichgewicht zuzustreben. Je größer der Ausgleichsgrad, desto stärker ist auch die Eigendämpfung der Regelstrecke. Die Sammlerladung mit einem Ausgleichsgrad von 30 verläuft in sich schon so stabil, daß überhaupt kein besonderer Regler erforderlich ist. Beim Dampfdruckregler wäre zu untersuchen, ob die Eigendämpfung ausreicht; bei der Wasserstandsregelung mit dem Ausgleichsgrad null müßte der Regler unbedingt eine zusätzliche Dämpfung erhalten.

<sup>3)</sup> G. Neumann, Arch. Eisenhüttenwes. Bd. 6 (1931/1932) S. 183 u. Bd. 7 (1933/1934) S. 237, 389.

### Anlaufzeit der Regelstrecke

Zeitliche Verzögerungen im Ablauf eines Regelvorganges entstehen durch die Speicherfähigkeit der Regelstrecke. Während z. B. bei einer Durchflußregelung die durchströmende Gasmenge der Bewegung der Regel-drosselklappe ohne merkliche Verzögerung folgt, steigt der Dampfdruck eines Großwasserraumkessels nur ganz allmählich, wenn die Feuerung verstärkt wird. Dieses zeitliche Verhalten wird gekennzeichnet durch die Anlaufzeit der Regelstrecke.

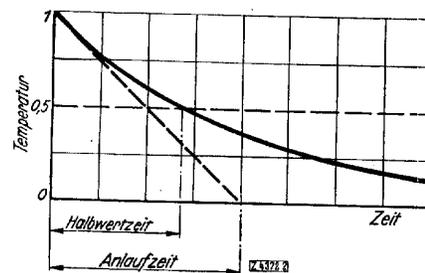
Die Anlaufzeit einer Regelstrecke wird folgendermaßen ermittelt: Bei einem im Temperaturgleichgewicht befindlichen Glühofen werde plötzlich die Wärmezufuhr abgesperrt. Die Temperatur wird dann absinken und sich allmählich dem Nullwert nähern. Die anfängliche Steilheit des Temperaturabfalles ist kennzeichnend für die Anlaufzeit, Bild 2. Im Meßgerätebau ist ein ähnlicher Begriff, die „Halbwertzeit“, üblich. Das ist die Zeit, die vergeht, bis der anfängliche Wert auf die Hälfte gesunken ist. Die Halbwertzeit beträgt 0,693 der Anlaufzeit.

Ausgleichsgrad und Anlaufzeit kennzeichnen das Verhalten jeder Regelstrecke. Die Ergebnisse, die an einer Strecke mit irgendeinem Regler gemacht wurden, können nur dann auf einen andern Anwendungsfall übertragen werden, wenn Anlaufzeit und Ausgleichsgrad in beiden Fällen annähernd die gleichen Größen haben.

Bei einem Ausgleichsgrad von etwa 1 und einer Anlaufzeit unter 0,5 s ist die Eigendämpfung der Regelstrecke fast immer so groß, daß auf eine zusätzliche Dämpfung verzichtet werden kann. Die Dämpfung des Reglers wird stets über 75 %, meist sogar überaperiodisch sein. Es ist eine nutzlose Vergeudung, für diese Fälle immer neue, „noch bessere“ Dämpfungseinrichtungen an Reglern erfinden zu wollen. Wenn Regler an solchen Einbaustellen schwingen, so arbeiten sie im allgemeinen fehlerhaft oder sie sind falsch bemessen. Bei größeren Anlaufzeiten als 1 s kann, falls nicht der Ausgleichsgrad besonders groß ist, die Eigendämpfung leicht ungenügend sein. Hier müssen dann die Stabilitätsverhältnisse berechnet werden. Bei Anlaufzeiten über 10 s kommt man nur noch selten ohne zusätzliche Dämpfung am Regler aus.

Es ist nun leider nicht so, daß man einem einfachen Regler im Bedarfsfalle eine zusätzliche Dämpfung zuschalten kann. Gerade im Grenzfall, wo also die Eigendämpfung nicht mehr ausreicht, muß beim Übergang auf

Bild 2  
Anlaufzeit und Halbwertzeit, ermittelt aus der Abkühlkurve eines Glühofens.



künstliche Dämpfung (Rückführung) eine mehrfach höhere Verstellgeschwindigkeit angewendet werden. Das bedeutet eine viel größere Reglerleistung und oft einen größeren Regler. Außerdem drückt eine Rückführung meistens die erreichbare Regelgenauigkeit herab.

### Einige Aufgaben der Regelung in der Verfahrenstechnik und ihre Lösungen

Da das Gebiet der Verfahrenstechnik viel zu umfangreich ist, muß ich mich darauf beschränken, für die wichtigsten Regelaufgaben die Lösung in Form von Schaltbildern anzugeben, und zwar durchweg unter der Verwendung von Reglern mit Hilfskraft. Für den Kraftschalter und den Stellmotor ist die Darstellung nach Bild 3 gewählt. Der Stellkolben soll nach rechts oder links lau-

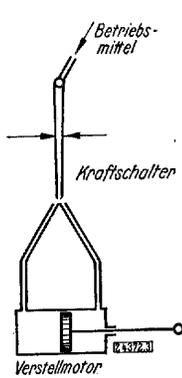


Bild 3. Gewählte Darstellung für den Kraftschalter und den Verstellmotor eines Reglers.

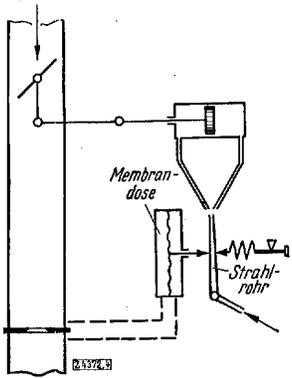


Bild 4. Durchflußregler.

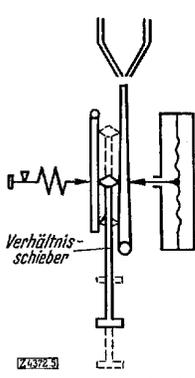


Bild 5. Verhältnisschieber.

Die Einstellfeder muß also einen sehr großen Bereich überstreichen. Wenn die einstellbare Menge z. B. nur auf  $\frac{1}{5}$  der Höchstmenge herunteregelt werden soll, so fällt der Wirkdruck auf  $\frac{1}{25}$  des Volllastwertes. Wenn auch die Meßmembran für diese kleinen Werte noch ausreichend genau gebaut werden kann, so wird der Regler dabei doch verhältnismäßig unempfindlich. Die Feder müßte in den unteren Meßbereichen viel weicher sein. Man verwendet dann zweckmäßig kegelförmig gewundene Federn, bei denen sich mit zunehmender Zusammendrückung die großen Windungen aufeinander legen, so daß die Federung härter wird. Eine ähnliche Wirkung erreicht man bei gleichbleibender Federkraft, wenn man die Übersetzung zwischen Meßgerät und Feder ändert, Bild 5; die Empfindlichkeit des Reglers bleibt dann über den ganzen Bereich gleich.

**Durchfluß-Verhältnisregelung**

Wenn die Aufgabe besteht, eine Gas- oder Flüssigkeitsmenge verhältnismäßig zu einer zweiten Gasmenge einzuregeln, so wird die Einstellfeder des Reglers ersetzt durch ein Meßgerät (Membrandose), Bild 6, das von dem Druckunterschied an einer Blende in der zweiten Gasleitung beaufschlagt wird. Das Mengenverhältnis kann durch Ändern des Blendenquerschnittes beeinflußt werden, indem man z. B. die eine Blende durch ein Ventil oder einen Schieber ersetzt. Da sich diese aber wegen der ungünstigen Strömungsverhältnisse als Wirkdruckgeber nur bedingt eignen, erscheint es zweckmäßiger, am Kraftschalter das Verhältnis der Wirkdrücke zu ändern und die Blenden bestehen zu lassen. Der Einstellschieber in Bild 6 ermöglicht eine Änderung des Verhältnisses zwischen 0 und  $\infty$ . Einer weitgehenden Änderung ist jedoch auch hier durch die quadratische Abnahme der Wirkdrücke bald eine Grenze gesetzt.

Wenn die Mengen beliebig veränderlich sein sollen, so empfiehlt sich die Anwendung der in Bild 7 gezeigten Schaltung. Hier sind beide Blenden durch zwangsläufig verbundene Drosselklappen ersetzt. Mit der Bewegung der Klappen verändern sich die Durchgangsflächen verhältnismäßig, und es läßt sich unter Beachtung des Ähnlichkeitsgesetzes im allgemeinen erreichen, daß dann auch die Durchflußzahlen an beiden Klappen verhältnismäßig bleiben. Die Mengen können in diesem Falle fast bis zum Wert Null beherrscht werden.

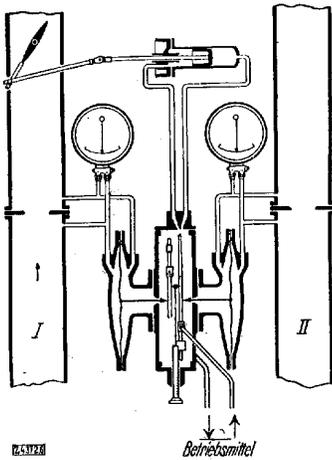


Bild 6. Durchfluß-Verhältnisregler.

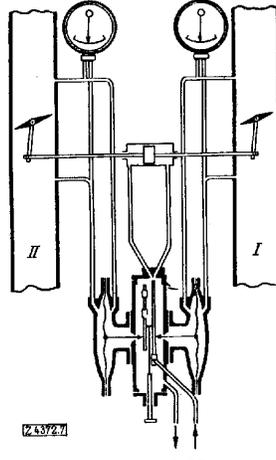


Bild 7. Durchfluß-Verhältnisregler für beliebig veränderliche Durchflüsse.

fen, je mehr der Kraftschalter von der mittleren Stellung nach rechts oder links abgelenkt wird. Die Stellgeschwindigkeit soll der Ablenkung verhältnismäßig sein. Wie die Kraftschalter und Stellmotoren im einzelnen ausgeführt sind, und ob sie elektrisch, mittels Druckluft, Druckwassers oder Drucköls arbeiten, ist für das Verständnis der gezeigten Schaltungen ohne Bedeutung.

**Durchflußregelung von Gasen und Flüssigkeiten**

Die einfachste Regelung ist die Durchflußregelung von Gasen und Flüssigkeiten nach Bild 4. Den Meßwert für die jeweilige Menge erhält man aus dem Druckgefälle an einer Blende oder Düse, die am besten nach den Angaben der „Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen und Blenden“ ausgeführt werden<sup>9)</sup>. Eine einstellbare Feder oder auch ein Gewicht halten dem Wirkdruck das Gleichgewicht. Überwiegt der Wirkdruck, so schließt der Stellmotor das Regelglied, z. B. eine Drosselklappe, so lange, bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Die zu regelnde Menge folgt den Bewegungen des Regelglieds praktisch ohne Verzögerung, und die Dämpfung ist immer ausreichend. Schwierigkeiten treten erst auf, wenn die Stellgeschwindigkeit so hoch gewählt werden muß, daß die zu bewegenden Massen des Stellmotors und des Regelglieds nicht mehr vernachlässigt werden können. Das ist aber nur ausnahmsweise der Fall.

Zu beachten ist, daß die Wirkdrücke an der Blende quadratisch mit der durchfließenden Menge anwachsen.

<sup>9)</sup> Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen und Blenden, herausgeg. vom Verein deutscher Ingenieure, Berlin 1937.

**Durchflußregelung staubförmiger, körniger und zähflüssiger Stoffe**

In den vorhergehenden Beispielen sind für die Durchflußmessung Drosselbauten vorgesehen, die einen quadratisch mit der Menge wachsenden Wirkdruck abgeben. Für fast alle Gase und Flüssigkeiten ist diese Art der Durchflußmessung am einfachsten und zuverlässigsten. Für die Messung staubförmiger oder körniger Stoffe und auch von zähen Flüssigkeiten, z. B. dicken Ölen, muß man andere Meßeinrichtungen vorsehen. Für Öle kann man beispielsweise Volumenmesser nach Art der Kapselpumpen verwenden, deren Drehzahl der durchfließenden Ölmenge verhältnismäßig ist. Bei festen Körpern wird es fast immer möglich sein, die Menge aus der Drehzahl oder aus der Stellung eines Zuteilglieds, z. B. eines Abstreifers oder Schiebers, zu ermitteln.

Für die Umsetzung von Drehzahlen in für den Regler geeignete Meßwerte wird vielfach ein kleines Schleudergebläse verwandt, dessen Druck verhältnismäßig dem Quadrat der Drehzahl ist. Dieser Meßdruck kann also in gleicher Weise auf den Regler geschaltet werden, als ob

zur Messung ein Drosselgerät benutzt wäre. Die Meßgebläse arbeiten meistens mit Luft, manchmal auch mit einem leichten Öl. Ebenso lassen sich auch elektrische Geräte nach Art eines Drehzahlmesser-Stromerzeugers verwenden, die je nach der Schaltung eine geradlinig oder quadratisch mit der Drehzahl veränderliche Impulsspannung liefern. Der Regler erhält in diesem Falle statt der Membrankapsel eine elektromagnetische Meßanordnung. Stellungswerte, wie z. B. der Hub von Abgreifern bei Tellerspessern, lassen sich durch Zwischenschalten einer Feder, durch elektrische Widerstands-Fernsender oder durch einen Druckluftwandler in einen geeigneten Meßdruck umsetzen.

### Durchfluß-Summenregelung

Manchmal ist es erforderlich, zwei oder mehr Meßwerte zusammenzuzählen und nur ihre Summe auf den Regler zu schalten. Bei geradliniger Abhängigkeit kann die Summenbildung am Regler vorgenommen werden, indem man entsprechend viele Meßgeräte mechanisch zusammenschaltet. Bei quadratischer Abhängigkeit ist dies jedoch nicht möglich. Man bildet dann zweckmäßig Hilfsströme, und zwar mittels Druckluft oder elektrisch, die den einzelnen Durchflüssen verhältnismäßig sind. Die Summe des von einer Anzahl von Förderschnecken gelieferten körnigen Gutes ermittelt man z. B. in der Weise, daß jede der Förderschnecken mit einer kleinen Meßpumpe gekuppelt ist. Die Summe der von sämtlichen in Betrieb befindlichen Meßpumpen gelieferten Luft- oder Flüssigkeitsströme wird über eine Meßdrossel geleitet. Der hier gebildete quadratische Meßwert entspricht der Gesamtfördermenge und kann nun in der üblichen Weise auf einen Mengenregler geschaltet werden.

Liegen die Einzelmeßwerte schon in quadratisch abhängiger Form vor, z. B. bei Blendenmessung in verschiedenen Rohrleitungen, so muß die Summenbildung über Wandler erfolgen, von denen jeder wieder einen Hilfsstrom erzeugt. Ein solcher Wandler ist nichts weiter als ein kleiner Mengenregler, und es können dafür die meisten der oben beschriebenen Mengenregler benutzt werden. In Bild 8 wird der Meßwert von einer Ringwaage abgenommen, die mit ihrem Drehmoment bestrebt ist, das mit Druckluft gespeiste Strahlrohr vor die Aufnahmeöffnung zu stellen. Dadurch wird in der angeschlossenen Leitung ein Luftstrom erzeugt, der an einer zwischen geschalteten Drossel einen entsprechenden Wirkdruck liefert. Dieser Wirkdruck wird auf das Strahlrohr in entgegengesetztem Sinne zur Einwirkung gebracht — er sucht also das Strahlrohr von der Aufnahmeöffnung wegzudrehen — und es stellt sich bald ein Gleichgewicht ein, bei dem der Wirkdruck dem von der Ringwaage eingestellten Druck die Waage hält. In der Meßleitung fließt dann ein Hilfsstrom, dessen Augenblickswert der mit der Ringwaage gemessenen Stoffmenge verhältnismäßig ist. Solche Wandler können an jedes beliebige Meßgerät angeschlossen werden, und es ist auch möglich, einen mechanisch erzeugten Federdruck durch einen Luftdruck oder einen Strömungsdruckunterschied auszuwägen.

Eine Ausführung, die elektrische Strom- und Spannungswerte in Luftdruckwerte umsetzt, zeigt Bild 9. Das Strahlrohr ist hier auf der einen Seite durch eine Tauchspulanordnung, auf der anderen durch eine Luftdruckmembran beaufschlagt. Die Anordnung selbst ist sehr leicht gehalten und auf Kippspitzen gelagert, so daß schon geringe Strom- und Spannungswerte zur Betätigung ausreichen. Man kann sie z. B. an Thermolemente und Strahlungs-pyrometer anschließen oder auch durch Photo-, Sperrschicht- oder ähnliche Zellen betreiben.

Von einer Reihe von Wandlern gelieferte Hilfsströme können in beliebiger Weise zusammengefügt und auf den eigentlichen Durchflußregler geschaltet werden. Manchmal ist es erforderlich, die einzelnen Meßströme ihrer Wertigkeit nach einzusetzen. Wenn z. B. drei verschiedene Stoffe mit einem vierten (Sauerstoff) im theoretisch erforderlichen Mengenverhältnis zusammen verbrannt werden sollen, so muß man die einzelnen Wandler so abstufen, daß der von ihnen gelieferte Luftstrom ein Maß für den Sauerstoffbedarf jedes einzelnen der drei Stoffe abgibt. Die Summe der drei Ströme entspricht dann dem Gesamtbedarf an Sauerstoff, der nun durch den eigentlichen Mischungsregler zugesetzt wird.

### Durchfluß-Verteilungsregelung

Der Durchfluß-Verhältnisregelung verwandt ist die Verteilungsregelung. Hier handelt es sich darum, einen Mengenstrom in mehrere verhältnismäßige Teile aufzuspalten, z. B. eine Gas- oder Flüssigkeitsmenge auf parallel geschaltete Reiniger, Kühler o. dgl. gleichmäßig zu

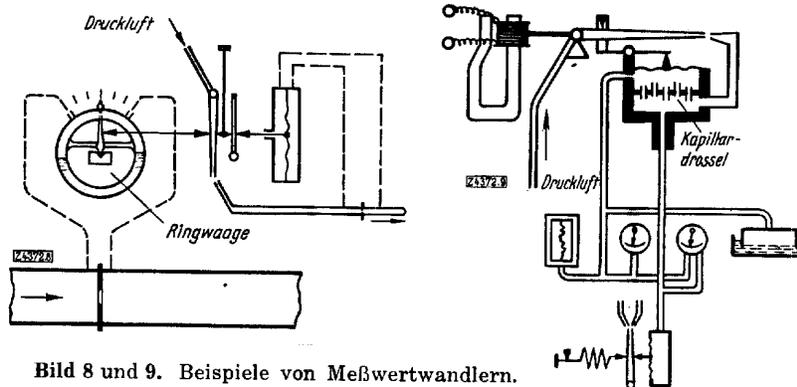


Bild 8 und 9. Beispiele von Meßwertwandlern.

verteilen. Bild 10 zeigt eine zweifache Unterteilung. In beiden Leitungen befinden sich Drosselklappen, die entgegengesetzt geschaltet sind, so daß also bei der Bewegung des Stellmotors die eine Klappe geschlossen und gleichzeitig die andere geöffnet wird. In beiden Leitungen befinden sich außerdem Blenden, die in üblicher Weise auf einen Verhältnisregler arbeiten. Der Regler ist nur dann im Gleichgewicht, wenn die Wirkdrücke an den beiden Blenden gleich sind oder in dem eingestellten Verhältnis stehen.

Bei einer Aufspaltung in mehr als zwei Teile verwendet man einen Hauptregler, der eine Anzahl von Nebenreglern steuert. Eine Gasmenge soll z. B. auf fünf oder auch mehr Apparate gleichmäßig verteilt werden, wobei die Gesamtgasmenge jedoch so einzuregulieren ist, daß in der nachfolgenden Sammelleitung ein bestimmter Druck aufrechterhalten bleibt. Wie Bild 11 zeigt, wird an die Hauptleitung ein Wandler angeschlossen, der entsprechend der Abweichung vom Sollwert einen sog. Kommandodruck erzeugt. Dieser wird den einzelnen Durchflußreglern zugeführt, die nun ihrerseits dafür sorgen, daß die Einzelmengen genau dem Kommandoimpuls entsprechen. Fällt bei größerer Entnahme der Druck in der Sammelleitung, so steigt der Kommandodruck und die einzelnen Durchflußregler werden auf entsprechend größere Lieferung eingestellt.

### Zusätzliche Beeinflussung der Regelung

Eine in der Verfahrenstechnik verhältnismäßig häufige Aufgabe verlangt, daß die Stellung eines Regelglieds stets in einer bestimmten Abhängigkeit von einem Meßwert, z. B. einem Gasdruck, stehen soll. In diesem Falle läßt man auf die eine Seite des Reglers den Meßdruck und auf die andere Seite die Kraft einer Feder einwirken, die durch eine Kurvenscheibe in Abhängigkeit von

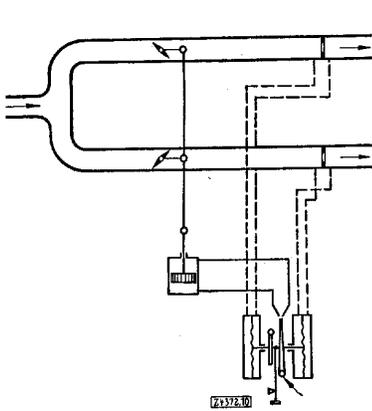


Bild 10. Durchfluß-Verteilungsregler.

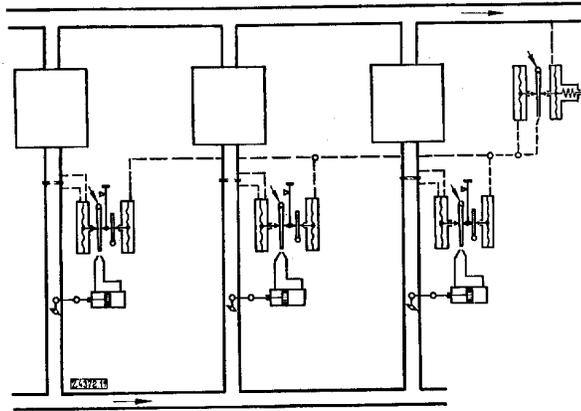


Bild 11. Durchfluß-Verteilungsregler mit Kommandogeber.

regler verstellen, wie dies in Bild 16 gezeigt ist.

Auf diese Weise, also durch Betätigen des Verhältnisschiebers, kann man grundsätzlich eine Multiplikation zweier Meßgrößen, die einer dritten das Gleichgewicht halten sollen, erreichen. Eine solche Forderung ist in der Aufgabe enthalten, ein Luftschleudergebläse auf Lieferung gleicher Gewichtsmengen, unabhängig von der Luftdichte, einzu-

regeln. Eine Lösung dafür zeigt Bild 17. Die Regelung der Luftmenge am Schleudergebläse erfolgt durch Drosselung in der Saugleitung, die Messung durch eine Blende in der Druckleitung. Gewichtsmäßig gleiche Luftlieferung erhält man, wenn der Wirkdruck an der Blende verhältnismäßig dem Kehrwert der Dichte der durchfließenden Druckluft gehalten wird. Ein Meßwert für die Dichte ergibt sich aus dem Druck eines kleinen Schleudermessgebläses, das durch einen Synchronmotor angetrieben wird<sup>1)</sup>; der Zusatzregler verstellt nun den Verhältnisschieber des Durchflußreglers. Innerhalb der praktisch vorkommenden Bereiche regelt sich dann der Verdichter auf gleiche Gewichtsmenge ein.

Manchmal sollen auch mehrere Berichtigungswerte vom Regler berücksichtigt werden. Eine verhältnismäßig einfache Lösung hierfür ergibt sich aus dem Umstand, daß an dem Verhältnisschieber die Abhängigkeit des Gleichgewichtsverhältnisses von der Stellung des Schiebers in einem großen Bereich fast genau logarithmisch verläuft. Daraus geht hervor, daß man mehrere Größen multiplizierend einleiten kann, wenn man die Einzelwerte auf Skalen logarithmisch aufträgt, so daß der Verhältnisschieber bei der Verstellung die Streckensumme durchläuft. Trägt man z. B., wie in Bild 18 gezeigt, bei einem Doppelhebel logarithmisch auf der einen Seite die Temperatur und auf der anderen Seite den Barometerdruck auf, so erhält man durch Einstellung auf die jeweiligen Werte eine zutreffende Berichtigung des Mengenwertes, wenn der Regler ein Luftgebläse steuert. Auch dieses Gebläse liefert dann gleichbleibendes Luftgewicht, wenn die Druck- und Temperaturwerte entsprechend eingestellt werden<sup>2)</sup>.

Oft wird auch die Verbindung einer Feinregelung mit einer Grobstrufenregelung verlangt. Ein Gasschleudergebläse soll z. B. durch eine Drosselklappe feingeregt werden, während die grobe Regelung durch stufenweises Abschalten des Antriebsmotors erfolgen soll. Man läßt dann die feinregelnde Drosselklappe zwischen zwei Grenzüberschreitungen spielen und schaltet elektrisch, mittels Druckflüssigkeit oder mechanisch den Stufenschalter um eine Stufe weiter, sobald die Endstellung erreicht ist. Der Regelbereich der Drosselklappe muß jedoch immer größer sein als der Bereich einer Grobstufe, denn sonst würde ein dauerndes Hin- und Herschalten eintreten.

Manchmal soll ein Durchflußverhältnis, z. B. von Brennstoff und Luft, durch eine dritte Größe, z. B. die Abgaszusammensetzung, zusätzlich beeinflusst werden. Man läßt dann zweckmäßig den Verhältnisschieber des Durchflußreglers durch das Meßgerät für die Abgas-Zusammensetzung entweder mechanisch oder, falls die Kräfte dafür zu klein sind, durch einen Zusatz-

regler verstellen, wie dies in Bild 16 gezeigt ist.

Manchmal sollen auch mehrere Berichtigungswerte vom Regler berücksichtigt werden. Eine verhältnismäßig einfache Lösung hierfür ergibt sich aus dem Umstand, daß an dem Verhältnisschieber die Abhängigkeit des Gleichgewichtsverhältnisses von der Stellung des Schiebers in einem großen Bereich fast genau logarithmisch verläuft. Daraus geht hervor, daß man mehrere Größen multiplizierend einleiten kann, wenn man die Einzelwerte auf Skalen logarithmisch aufträgt, so daß der Verhältnisschieber bei der Verstellung die Streckensumme durchläuft. Trägt man z. B., wie in Bild 18 gezeigt, bei einem Doppelhebel logarithmisch auf der einen Seite die Temperatur und auf der anderen Seite den Barometerdruck auf, so erhält man durch Einstellung auf die jeweiligen Werte eine zutreffende Berichtigung des Mengenwertes, wenn der Regler ein Luftgebläse steuert. Auch dieses Gebläse liefert dann gleichbleibendes Luftgewicht, wenn die Druck- und Temperaturwerte entsprechend eingestellt werden<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Vgl. C. Höhner, Z. VDI Bd. 79 (1935) S. 299, insbes. S. 300 u. 301.  
<sup>2)</sup> Vgl. C. Höhner a. a. O. S. 302.

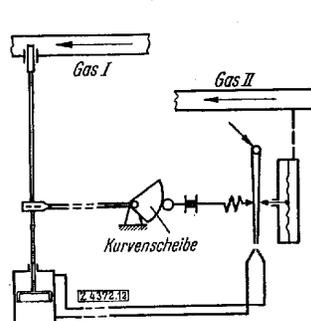


Bild 12. Stellungenregelung eines Regelglieds in Abhängigkeit vom Druck in einer zweiten Leitung.

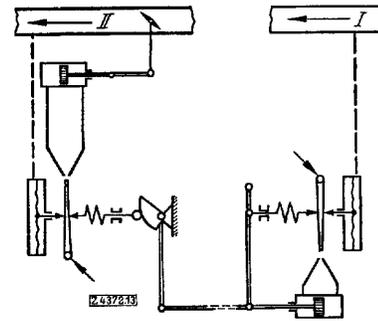


Bild 13. Druckregelung in beliebiger Abhängigkeit vom Druck in einer zweiten Leitung.

RESTRICTED

**Regler mit veränderlicher Regelgeschwindigkeit**

Während bei den Durchflußreglern der beschriebenen Ausführungsformen die Regelstabilität durch die Eigendämpfung der Regelstrecke fast immer gesichert ist, können bei Druckreglern ungünstige Verhältnisse auftreten. Insbesondere nimmt die Stabilität beim Übergang auf kleine Mengen, also bei nahezu geschlossenem Regelglied, stark ab. In vielen Fällen kann man sich durch ein Verringern der Regelgeschwindigkeit bei kleinen Lasten helfen. Diese veränderliche Regelgeschwindigkeit läßt sich kinematisch sehr einfach durch sog. Kurbetrieb erreichen. Durch entsprechende Einstellung kann man das Regelglied sich in der Nähe der Schlußstellung langsam bewegen lassen und damit bis zu sehr kleinen Lasten eine ausreichende Stabilität erzielen.

**Regler mit starrer Rückführung**

Wenn die Eigendämpfung der Regelstrecke nicht mehr ausreicht, so muß man eine zusätzliche Dämpfung verwenden. Dämpfend wirkt jeder Einfluß, der bei schwingendem Regler dem Impuls voreilt. Beim Druck- und ebenso beim Drehzahlregler an Dampfmaschinen trifft das auf die Stellung des Regelglieds zu, und die Dämpfung wird immer größer, je mehr man den Regelwert stellungsabhängig macht, d. h. den Stellungswert des Regelglieds dem Meßwert überlagert. Diese Überlagerung erzielt man meist durch die starre Rückführung, wie sie in Bild 19 dargestellt ist. Der am Regler eingestellte Meßwert wird nur bei Belastung Null aufrechterhalten. Mit zunehmender Belastung sinkt er entsprechend der Überlagerung um einige Hundertteile ab. Den Abfall zwischen Null und Vollast in % bezeichnet man als Ungleichförmigkeitsgrad.

Die dämpfende Wirkung der Ungleichförmigkeit wird um so größer, je höher die Stellgeschwindigkeit des Reglers gewählt wird. Andererseits wächst die Wirkung des Ausgleichsgrades der Regelstrecke mit abnehmender Regelgeschwindigkeit. Reicht also in einem bestimmten Falle die Eigendämpfung trotz geringster Regelgeschwindigkeit nicht mehr aus — muß also eine zusätzliche

Dämpfung durch Rückführung verwendet werden —, so muß der Regler gleichzeitig auf sehr hohe Stellgeschwindigkeit umgeschaltet werden. Man kann also im allgemeinen nicht gleichzeitig die Eigendämpfung und die Dämpfung durch Rückführung ausnutzen, sondern muß praktisch auf die eine verzichten, wenn man die andere zur Wirkung bringen will.

**Nachgiebige Rückführung**

Die Ungleichförmigkeit eines Reglers mit Rückführung — also die Abhängigkeit des Regelwertes von der Belastung — wird oftmals unangenehm empfunden. Man kann sich meistens dadurch helfen, daß man die Rückführung nachgiebig macht. Bild 20 zeigt eine Ausführung, bei der der Rückführzylinder in Reihe mit dem Stellzylinder geschaltet ist. Durch eine Feder wird der Rückführkolben allmählich immer wieder in die Null-Stellung gezogen, indem sich das verdrängte Ölvolumen über eine einstellbare Drossel ausgleicht. Mit Vorteil läßt sich für die Rückführung auch ein pneumatisches oder hydraulisches Gestänge verwenden, wie es Bild 21 zeigt. Durch Undichtmachen der Verbindung zwischen Geber und Empfänger läßt sich sehr einfach eine Nachgiebigkeit erzielen.

**Möglichkeiten für die Ableitung des rückführenden Impulses**

In gleicher Weise wie aus der Ventilstellung kann der rückführende Impuls auch aus einer Durchflußmessung abgeleitet werden. Die Stellung des Regelglieds ist nämlich nur deshalb für eine Dämpfung verwendbar, weil sie annähernd der jeweils durchströmenden Menge entspricht. Man kann also auch jeden aus der betreffenden Leitung entnommenen Mengenimpuls zur Dämpfung des Schwingungsvorganges benutzen.

Besser ist es noch, wenn man den Mengenstrom erfassen kann, durch den die Störung des Gleichgewichtes verursacht wird. Bei Druckregelungen an Verdampfern und Kesseln durch Beeinflussen der Wärmezufuhr kann man mit Vorteil die abströmende Dampfmenge als Impulsgeber heranziehen. In den meisten Fällen braucht man dazu nicht einmal ein besonderes Meßgerät, sondern es genügt, den Impuls, statt vom Kessel selbst, von der abgehenden Leitung abzunehmen, Bild 22, denn es tritt dort bereits ein zusätzlicher Druckabfall auf, der von der Strömung abhängt. Eine Zunahme der Abströmung wird sofort eine Druckverminderung ergeben, noch bevor der Druck im Kessel absinkt.

Gibt man dann dem Regler noch eine Ungleichförmigkeit, die dem Strömungsdruckabfall gerade entspricht, so bleibt der Druck im Kessel bei allen Laststufen genau auf gleicher Höhe. Die Schwankungen der Feuerung werden dann in jedem Augenblick gleich den Lastschwankungen. Vergrößert man mit Hilfe eines Einstellschiebers die Ungleichförmigkeit, so wird mit wachsender Last der Druck sinken, der Kessel arbeitet zum Teil als Speicher und die Schwankungen der Feuerung

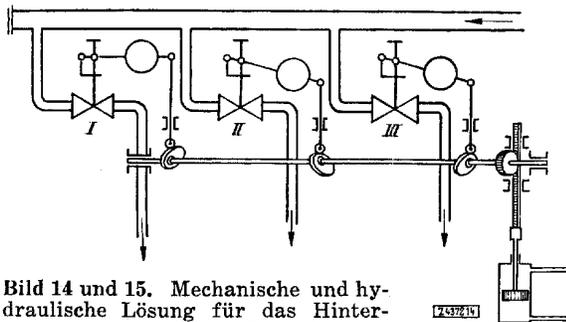


Bild 14 und 15. Mechanische und hydraulische Lösung für das Hintereinanderschalten von Regelgliedern.  
Ö öffnet S schließt

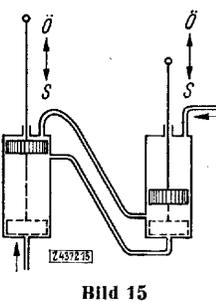


Bild 15

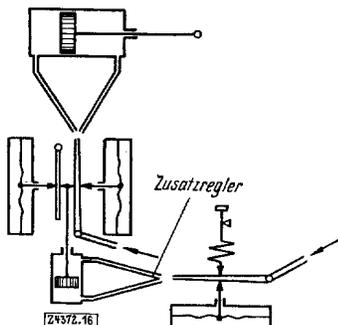


Bild 16. Zusätzliche Beeinflussung eines Durchflußverhältnisses in Abhängigkeit von einer dritten Größe (Nachsteuerung).

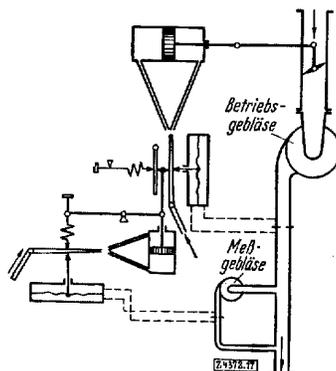


Bild 17. Regelung auf gleiches Luftgewicht.

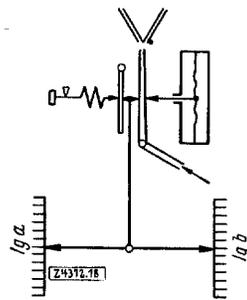


Bild 18. Logarithmische Mehrfacheinstellung, z. B. zur Berichtigung des Durchflusses abhängig von Druck und Temperatur.

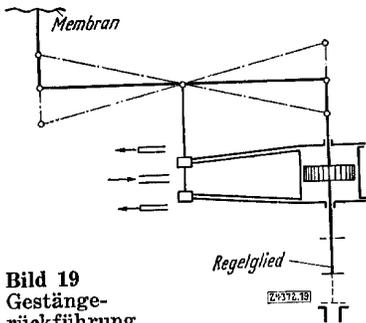


Bild 19  
Gestänge-  
rückführung.

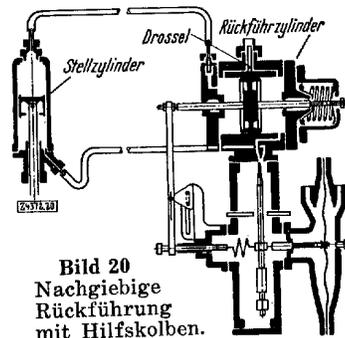


Bild 20  
Nachgiebige  
Rückführung  
mit Hilfskolben.

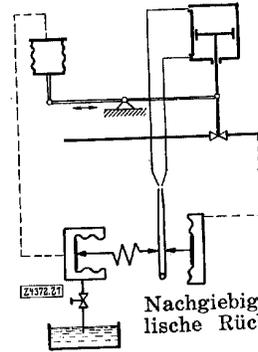


Bild 21  
Nachgiebige hydraulische  
Rückführung.

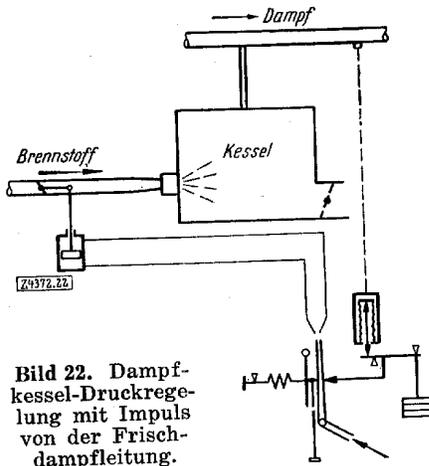


Bild 22. Dampf-  
kessel-Druckre-  
gelung mit Impuls  
von der Frisch-  
dampfleitung.

werden kleiner als die der Last. Bei Verringerung der Ungleichförmigkeit steigt der Druck mit der Last, der Kessel wird unstabiler, und die Schwankungen der Feuerung sind größer als die der Last.

Wenn solche voreilenden Impulse im ganzen Regelkreis nicht verfügbar sind, so kann man eine zusätzliche Dämpfung oftmals aus der Änderungsgeschwindigkeit des Zustandes gewinnen. Wird der Meßwert ohnehin über einen Wandler umgeformt, vgl. Bild 9, so kann man gleichzeitig auch einen der Änderungsgeschwindigkeit entsprechenden Impuls bekommen.

Beim Messen von Drücken läßt sich die Änderungsgeschwindigkeit durch eine Membrankammer mit Zeitausgleich bestimmen. Der eigentlichen Meßanordnung wird dann, wie Bild 23 zeigt, eine zweite Anordnung hinzugefügt, deren eine Seite unmittelbar, die andere Seite aber über eine Kapillardrossel an den Impulsdruck angeschlossen ist. Bei gleichbleibendem Druck gibt diese Meßanordnung keine Kraft ab. Je schneller sich jedoch der Druck ändert, um so größer wird auch der Druckunterschied zu beiden Seiten der Meßkammer. Die Meßkraft entspricht der Änderungsgeschwindigkeit des Zustandes um so besser, je geringer die Druckunterschiede sind, je größer also die Membranfläche gewählt wird.

Genau gesehen, wird bei den beschriebenen Meßverfahren nicht die Änderungsgeschwindigkeit des Zustandes, sondern die Änderungsgeschwindigkeit des Meßwertes ermittelt. Wenn der Meßimpuls selbst schon mit starker Verzögerung auftritt, so ist auch die Wirkung des daraus abgeleiteten Vorhaltimpulses beschränkt.

### Beherrschung von Impulsverzögerungen

Bei den bisherigen Regelschaltungen sind Impulsverzögerungen nicht berücksichtigt worden. Tatsächlich sind diese aber die Ursache für viele Versager. Bei merklicher Impulsverschleppung steigen die Schwierigkeiten der Regelung außerordentlich, und in manchen Fällen wird die selbsttätige Regelung überhaupt undurchführbar. Es

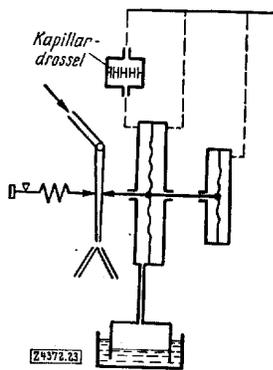
kommt also sehr darauf an, die Impulse richtig zu wählen und dort abzunehmen, wo die Wirkung des Verstellglieds am ehesten auftritt.

In Bild 24 ist die anscheinend sehr einfache Aufgabe dargestellt, eine Flüssigkeit durch Dampf oder Zusatz einer heißeren Flüssigkeit anzuwärmen und die Anwärmerung durch einen selbsttätigen Regler zu steuern. Die Meßstelle sei ungefähr 20 m von der Mischstelle entfernt, und die Strömungsgeschwindigkeit betrage 0,75 m/s. In diesem Falle wird es rd. 30 s dauern, ehe die Wirkung einer Verstellung des Regelglieds am Wärmefühler auftreten kann. Dazu kommt dann noch die Wärmeträgheit des Fühlers, die unter Umständen erheblich ist. In einem solchen Falle muß das Regelglied stets übersteuert werden, und die Regelung deshalb in zunehmende Schwingungen geraten.

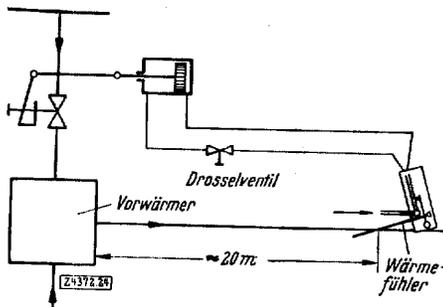
Eine einigermaßen schwingungsfreie Regelung läßt sich praktisch nur dadurch erreichen, daß man die Schwingungsdauer übermäßig lang macht. Das läßt sich am einfachsten durch Drosseln des Stellmotors auf sehr geringe Laufgeschwindigkeit erzielen. Überschlänglich kann man rechnen, daß die Schwingungszeit mindestens die zehnfache Dauer der Verzögerungszeit haben muß. In diesem Falle muß also die Schwingungszeit mindestens 5 min betragen. Man sieht, daß die Regelung sehr träge wird und daß nur geringe Änderungsgeschwindigkeiten ausgeregelt werden können. Außer der geringen Stellgeschwindigkeit muß man den Regler mit einer großen Ungleichförmigkeit arbeiten lassen.

Auch durch sog. Unterbrecherschaltungen kann man bei starken Impulsverschleppungen eine annehmbare Regelung erzwingen. Wie Bild 25 zeigt, wird dann in die Steuerleitungen ein Unterbrecher eingebaut, der die Steuerung nur kurzzeitig freigibt und sie dann für längere Zeit abschaltet. Wenn man die Unterbrecherzeit etwas größer wählt als die Impulsverzögerung und außerdem die Stellgeschwindigkeit während der Einschaltdauer so bemißt, daß bei einer Schaltung die Störung annähernd ausgeglichen wird, so kann man unter Umständen damit auch in schwierigen Fällen eine zufriedenstellende Regelung erzielen. Es ist aber auch da nur möglich, sehr geringe Änderungsgeschwindigkeiten zu beherrschen. Ist z. B. die Unterbrecherzeit 1 min und der größte Schaltschritt 5 %, so braucht man mindestens 20 min, um das Regelglied von null bis Vollast zu bewegen.

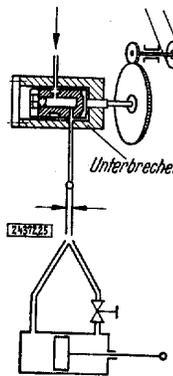
Leichter zu beherrschen ist die Zeitverzögerung, die durch die Trägheit eines Fühlers, z. B. eines Wärmefühlers (Thermoelement), verursacht wird. Bei Schwankungen der zu regelnden Temperatur folgt zwar auch hier der Meßwert des Temperaturfühlers mit einer gewissen Zeitverschiebung, jedoch wird bei zunehmender Temperatur sehr bald eine geringe Wirkung am Fühler merkbar sein, wenn auch der volle Meßwert erst längere Zeit danach erreicht wird. Die Verhältnisse liegen hier ähnlich wie bei der Anlaufzeit der Regelstrecke. In solchen Fällen läßt sich meist mit einer genügend stabilen Regelung erzielen. Immerhin wird die Regelung um so schwieriger und



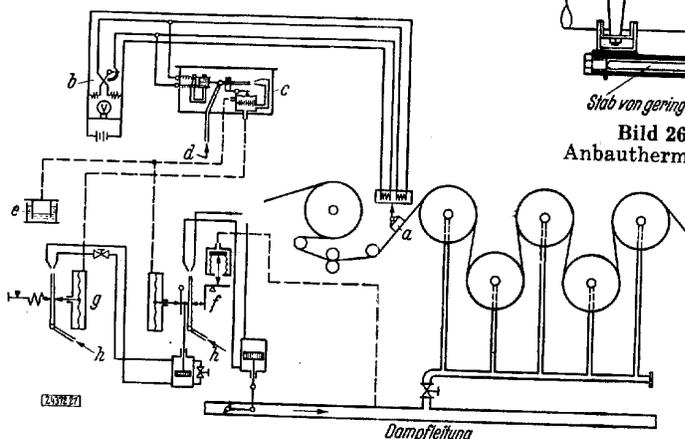
**Bild 23.** Druckregelung, bei der die Geschwindigkeit der Druckänderung als rückführender Impuls wirkt.



**Bild 24.** Regelung eines Flüssigkeitsvorwärmers mit unmittelbarer Beheizung (Impulsverzögerung).



**Bild 25**  
Unterbrecher-schaltung.



**Bild 27.** Trocknungsregler an einer Papiermaschine.

- a Wärmefühler
- b Meßbrücke
- c Stromwandler
- d Druckluft
- e Dämpfungstopf
- f Hauptsteuerwerk
- g Nachsteuerwerk
- h Drucköl

schlechter, je mehr der Meßwert nachhinkt, und es ist bei jeder Planung besonders großer Wert darauf zu legen, die Anlaufzeit des Fühlers kleinzuhalten.

Diese Art Impulsverzögerungen kommen hauptsächlich bei Temperaturreglern in Frage, und dabei wirkt es sich günstig aus, daß meistens auch der zu regelnde Ofen oder Kessel eine sehr große Anlaufzeit hat. Die Schwingungszeit der ganzen Anordnung wird meist so lang, daß demgegenüber die Impulsverzögerung noch tragbar ist. Als Temperaturfühler für Regler werden bei niedrigen und mittleren Temperaturen hauptsächlich rohrförmige Ausdehnungsthermostate mit Innenstab aus Invarstahl, Porzellan oder Quarz, mit Flüssigkeit gefüllte Thermostate und Dampfdruckthermometer benutzt. Wenn diese in Gasen arbeiten sollen, so muß man für eine kräftige Umströmung Sorge tragen, damit die Verzögerung klein wird. Bei Temperaturen über 500° werden meistens elektrische Verfahren bevorzugt, und zwar Widerstandsthermometer, Thermolemente und Strahlungspyrometer. Strahlungspyrometer kann man mit Anlaufzeiten in der Größenordnung von 1 s ausführen, dagegen haben geschützte Thermolemente bis zu 2 min Anlaufzeit. Für Meßzwecke schadet das im allgemeinen wenig; bei Verwendung an Reglern sind so hohe Werte nur bei sehr großen — also trägen — Öfen möglich.

Für die Temperaturregelung von Heißdampfklärern<sup>6)</sup> u. dgl. werden neuerdings gern sog. Anbauthermostate verwendet, Bild 26. Zur Messung wird hierbei die Aus-

<sup>6)</sup> Vgl. A. Konejung, Z. VDI Bd. 80 (1936) S. 501.



**Bild 26**  
Anbauthermostat.

dehnung der Rohrleitung selbst benutzt gegenüber einem Invarstahl-Draht oder Quarzstab, der durch zwei Schellen mit der Rohrleitung verbunden ist.

Ein Beispiel für eine schwierige Regelaufgabe mit großer Impulsverschleppung, großer Anlaufzeit des Fühlers und sehr großer Anlaufzeit der Regelstrecke bietet die Trocknungsregelung an Papiermaschinen, Bild 27. Die feuchte Papierbahn läuft über eine Anzahl von Trockentrommeln. Die Dampfzufuhr zur Trockenpartie soll nun derart geregelt werden, daß die Oberflächentemperatur der auslaufenden Papierbahn sehr genau gleichbleibend gehalten wird. Zur Temperaturmessung dient ein oberhalb der Papierbahn angebrachtes Wider-

standsthermometer, das über einen Regelwiderstand an einen Wandler angeschlossen ist. Dieser Wandler setzt den Meßwert für die Temperatur in Luftdruck um, wobei gleichzeitig in der vorherbeschriebenen Weise die Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur überlagert wird. Dieser Impuls wird der Membran eines Druckreglers zugeleitet, der das Dampfventil zur Trockenpartie steuert, wobei der Dampfdruck in den Trockenzylindern als rückführender Impuls mit entsprechender Ungleichförmigkeit dient.

Trotz der hohen Anlaufzeit der ganzen Trockenpartie ist infolge der Zeitverzögerung in der Impulsbildung, die 2 min und mehr betragen kann, eine Ungleichförmigkeit von mehr als 30 % erforderlich, um die Regelung ausreichend stabil verlaufen zu lassen. 30 % Ungleichförmigkeit bedeuten, daß von den durch Ungleichheit des Stoffes usw. verursachten Störungen nur etwa 70 % durch Regelung beseitigt werden. Die Temperaturschwankungen würden also immer noch rd. ein Drittel so groß sein wie ohne Regler. Diese Ungleichförmigkeit wird nun beseitigt, indem ein parallel geschalteter, aber ohne Rückführung — also auch ohne Ungleichförmigkeit — arbeitender Regler den Verhältnisschieber sehr langsam nachsteuert. Auf diese Weise läßt sich eine praktisch gleichbleibende Oberflächentemperatur erzielen, wie sie durch Regelung von Hand niemals zu erreichen ist.

### Zusammenfassung

Aus der Fülle der in der Verfahrenstechnik vorliegenden Regelaufgaben konnte nur ein verhältnismäßig kleiner Teil behandelt werden. Jedes neue Verfahren wird auch eine oder mehrere neue Regelaufgaben bringen, die man zwar meistens auf die behandelten Grundaufgaben zurückführen kann; vielfach werden aber auch Verhältnisse auftreten, über die noch keine Erfahrungen vorliegen. Bei der Planung muß stets der ganze Regelkreis betrachtet werden, in dem der am Markt käufliche Regler nur ein Glied ist. Auch der teuerste Regler mit den „allerbesten“ Dämpfungseinrichtungen versagt an einer ungeeigneten Regelstrecke, und man wird vielleicht mit dem einfachsten Regler viel bessere Ergebnisse erzielen, wenn nur die Schaltung richtig ist und die Stabilität des ganzen Regelkreises vorher abgeschätzt oder berechnet wurde.

ASKANIA-SONDERDRUCK R 1098



Sonderdruck aus der Zeitschrift des Bayerischen Revisions-Vereins, Heft 13, 1938

**RESTRICTED**

## Selbsttätige Kesselregelung für mittlere Industriekraftwerke.

Von Vereinsoberingenieur Dipl.-Ing. M. Götz, Hof.

Häufig wird die Ansicht vertreten, daß die selbsttätige Kesselregelung nur bei Großkessel-Anlagen am Platze sei, da bei kleineren Anlagen der Heizer überhaupt nichts mehr zu tun hätte, sobald eine selbsttätige Feuerungsregelung ihm die Hauptarbeit an der Kesselbedienung nehmen würde. Auch glaubt man, daß die Beschaffungskosten eines Kesselreglers derartig hoch seien, daß dieser einen Luxus darstelle, der für mittlere Betriebe nicht mehr tragbar sei. In diesem Zusammenhang erscheint es zweckmäßig, über die Arbeitsweise und die betrieblichen Erfolge einer ausgeführten Regleranlage zu berichten.

Der Zweck einer selbsttätigen Kesselregelung ist die Erhaltung des Gleichgewichts zwischen der zur Dampferzeugung benötigten und bei der Verbrennung der Kohle entwickelten Wärmemenge. Dies bedingt in einzelnen u. a. die Gleichhaltung des Verhältnisses zwischen Verbrennungsluft und Kohlenmenge je Kohlensorte. Hierzu kommt, daß an gewissen Stellen des Kessels, z. B. im Feuerungsraum, ein bestimmter Unter- oder Überdruck nicht überschritten werden soll, um z. B. beim Öffnen von Feuertüren u. dergl. das Eintreten unzulässiger Falschlufte oder ein Herausschlagen der Flamme möglichst zu vermeiden.

Beim Parallelbetrieb mehrerer Kessel hat die Regelung vor allem bei Kesseln verschiedener Größe und Bauart die Aufgabe, einen geordneten Betrieb auch dann aufrechtzuerhalten, wenn die einzelnen Kessel, entsprechend ihrer Fähigkeit, Belastungsspitzen aufzunehmen, verschiedenartig belastet werden müssen. Der Lastanteil eines Kessels wird konstant gehalten, während einer oder mehrere andere Kessel die Belastungsspitzen aufnehmen.

Zur Erfüllung dieser Aufgaben der Kesselregler werden von ihren Herstellern verschiedene Hilfsmittel angewendet. So arbeitet beispielsweise der Siemens-Regler mit elektrischer Hilfskraft.

Einen anderen Weg beschreitet ein amerikanisches Werk, das zur Übertragung Preßluft statt

elektrischen Strom verwendet, während bei dem Askania-Regler Preßöl zur Steuerung herangezogen wird.

### Aufbau einer ausgeführten Regleranlage

Die Kesselanlage besteht aus drei Schrägrohrteilkammer-Kesseln für 16 atü Betriebsdruck mit Unterwind-Zonen-Wanderrost und Feuer-raumkühlung. Die Heizfläche jedes Kessels beträgt 375 m<sup>2</sup>, die Rostfläche je 17,55 m<sup>2</sup>. Die Kesselanlage, von der zwei Kessel dauernd stark belastet sind, während der dritte Kessel außer Betrieb steht, gibt ihren Dampf an zwei dauernd höchstbelastete Dampfturbinen ab. Die Regelung der Kessel war von Hand zu besorgen. Die Heizer hatten wegen der äußersten Anspannung der Turbinen vor allem den höchstmöglichen Kesseldruck zu halten, bei dem die Sicherheitsventile eben noch nicht ansprachen. Durch ein schreibendes Manometer wurden die Druckschwankungen dauernd überwacht. Des weiteren wurde die Verbrennung durch einen schreibenden CO<sub>2</sub>-Messgerät und anzeigende CO<sub>2</sub>- und CO+H<sub>2</sub>-Meßgeräte festgelegt.

Wie weit die Konstanzhaltung des Druckes gelang, ist aus dem Diagramm Abb. 1 zu ersehen. Der Kohlensäureschreiber zeigt hier zwar im Mittel 12 v. H. Kohlensäure, doch ist eine starke Streuung der einzelnen aufgeschriebenen Meßwerte festzustellen.

Auf Grund der unbefriedigenden Ergebnisse der

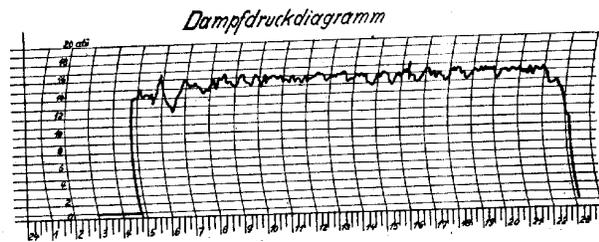


Abb. 1. Vor Einbau der Regleranlage.

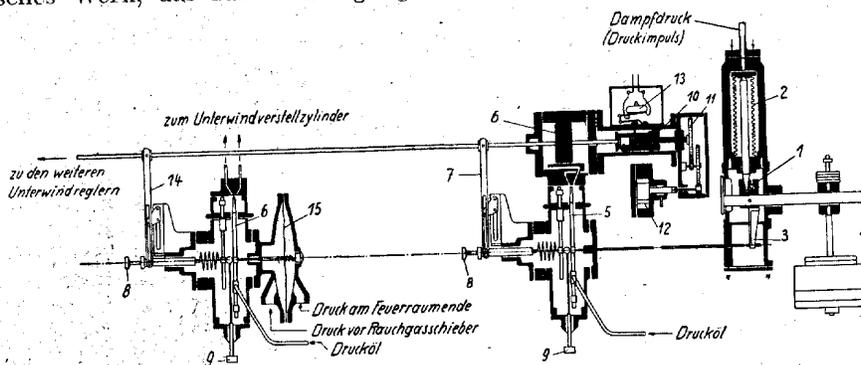


Abb. 2. Steuerwerk (rechtsseitig) und Unterwindregler eines Kessels (linksseitig).

- |                      |                     |  |                       |
|----------------------|---------------------|--|-----------------------|
| 1. Schneidenaufleger | 5. Strahlrohr       | 9. Verstellung des Verhältnisschiebers | 12. Olmotor           |
| 2. Wellrohr          | 6. Steuerkolben     | 10. Nockenwalze                        | 13. Quecksilberrelais |
| 3. Zange             | 7. Rückführgestänge | 11. Vorgelege                          | 14. Impulsübertragung |
| 4. Belastungsgewicht | 8. Federverstellung |  | 15. Membran.          |

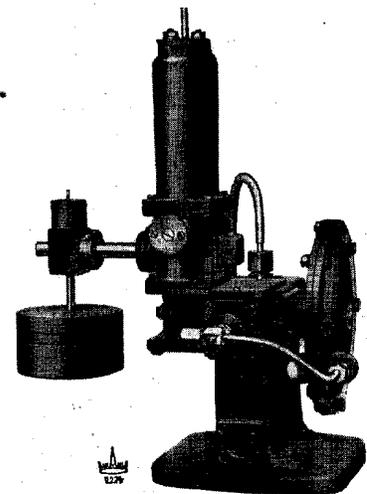


Abb. 3. Steuerwerk.

Handregelung wurden die Kessel mit einer selbsttätigen Askania-Regelung ausgerüstet.

Die selbsttätige Regelung wird durch das Steuerwerk, das durch die abgegebene Dampfmenge beeinflusst wird, eingeleitet. Ein Maß für diese Dampfmenge ist der Druckabfall von den Kesseln bis zur Hauptdampfleitung, der sich in quadratischer Abhängigkeit von der Durchflußmenge ändert, so daß eine Steigerung der Dampfmenge bereits eine überproportionale Beeinflussung ausübt. Der Dampfdruck wirkt gemäß Abb. 2, rechtsseitiger Teil, und Abb. 3 auf eine oben geschlossene Membrane, die bereits auf Druckunterschiede von  $\frac{1}{100}$  anspricht. Der Druck wird auf einen auf einer Schneide gelagerten Hebel übertragen, auf dessen längeren Hebelarm ein veränderliches Belastungsgewicht wirkt, das auf den gewünschten Druck eingestellt werden kann. Die Schwankungen dieses Hebelarmes beeinflussen ein Öl-Strahlrohr, das sich vor zwei Öffnungen befindet, die zum Steuerzylinder führen. Das durch die Ausschläge des Strahlrohres gesteuerte Drucköl bewegt den Steuerkolben entsprechend hin und her. Am Gestänge des Steuerkolbens greift ein Rückführhebel an, der mittels einer Feder mit dem Strahlrohr verbunden ist. Die Vorspannung der Feder kann durch eine Schraube verändert, die Kraftübertragung der Feder auf das Strahlrohr auch noch durch einen sog. Verhältnisschieber beeinflusst werden. Weiterhin befindet sich auf dem Steuerkolbengestänge entgegengesetzt der Rückführung eine Nockenwalze, die durch einen Ölmotor mit Vorgelege in gleichmäßiger Umdrehung (etwa 1 Umdrehung/min) gehalten wird. Diese Nockenwalze besitzt linksseitig eine kurze Nocke, die sich nach rechts zu stetig verlängert, bis am Ende auf dem vollen Umfang nur mehr die äußere Rast vorhanden ist. Auf dieser Walze läuft ein Schaltstift, der durch die Nocke angehoben wird und einen Quecksilberschalter in Tätigkeit setzt. Läuft dieser Stift auf dem linksseitigen Teil der Nocke, so wird der Quecksilberschalter nur kurzzeitig eingeschaltet, während er, wenn er auf dem rechtsseitigen Teil der Nocke läuft, nur kurzzeitig oder gar nicht mehr ausgeschaltet wird. Dieser Schalter betätigt die Rostmotoren, bei denen eine andere Regelung, z. B. durch Drehzahländerung, nicht möglich war, da es sich um Asynchronmotoren handelt. In Anlagen in denen Gleichstrom vorhanden ist, oder bei denen die Kosten für ein Leonard-Aggregat nicht gescheut werden, wird die Rostregelung nicht durch kurzzeitiges Ein- und Ausschalten des Rostmotors bewirkt, sondern durch Veränderung der Erregung des Antriebsmotors bzw. des Leonard-Satzes. Diese Art der Regelung ist der Schaltregelung natürlich technisch überlegen.

Neben der Abstimmung der Kohlenzufuhr auf die Dampfmenge läuft die richtige Zuteilung der zur Verbrennung der aufgegebenen Kohlenmenge nötigen Luftmenge. Durch Veränderung des Unterwinddrucks ist diese ohne weiteres durchzuführen. Das mit dem erwähnten Steuerkolben verbundene Gestänge spannt gleichzeitig die Feder auf der einen Seite eines weiteren Strahlrohrreglers (Abb. 2 linke Seite) und steuert dadurch ein Strahlrohr vor den beiden ihm gegenüber liegenden Öffnungen. Das Drucköl strömt, wenn kleinere Verstellkräfte benötigt werden, unmittelbar zu einem Steuerzylinder (Abb. 4), der an der Unterwind-

regelklappe angebracht ist und verstellt diese entsprechend. Bei größeren Verstellwiderständen wird ein Folgekolben zwischengeschaltet, der weiter unten noch beschrieben wird. Die Reglerrückführung wird durch eine auf der anderen Seite des Strahlrohrreglers angebrachte Membrane bewirkt, auf die der Druckunterschied zwischen dem Druck am Feuerraumende und dem Druck vor dem Rauchgasschieber wirkt. Dieser Druckunterschied ist ein Maß für die durch die Kesselzüge geführte Gas-



Abb. 4. Steuerzylinder.

menge und ist quadratisch von dieser abhängig. Da der Dampfdruck, der das den Impuls übertragende Reglergestänge betätigt, ebenfalls wie oben beschrieben in einem quadratischen Verhältnis zu- und abnimmt, so ist die Reglerrückführung dem Reglerimpuls gleichwertig. Um das Verhältnis zwischen Kohlenmenge und Luftmenge ändern zu können, ist an diesem Verbrennungsregler eine Verstellung der Federkraft durch eine Schraube und durch den sog. Verhältnisschieber möglich. Bei jeder neuen Kohlen Sorte wird an Hand des  $\text{CO}_2$ -Zeigers die Luftmenge entsprechend dem Luftbedarf der Kohlen von Hand verändert. Während des gewöhnlichen Betriebes sorgt der Regler dann für die Aufrechterhaltung des gewünschten Verhältnisses selbsttätig. Der Unterwind der übrigen Kessel wird jeweils mit einem ebensolchen Unterwindregler gesteuert. Diese Regler werden im vorliegenden Fall durch das gleiche Gestänge beeinflusst und sind an die verlängerte Kolbenstange des Kommandogebers angelenkt (Abb. 2 linksseitig).

Bei einer Verstärkung des Unterwindes wird aber naturgemäß ein höherer Druck im Feuerraum entstehen, wenn nicht gleichzeitig auch die Kesselendklappen weiter geöffnet werden. Zur Öffnung dieser Klappen dient ein weiteres Strahlrohr, das von einem Membranregler beeinflusst wird, dessen eine Membranseite an den 1. Feuerzug über dem Rohrbündel angeschlossen ist. Die andere Seite der Membrane steht mit der Außenluft in Verbindung. Wird über dem Rohrbündel der Unterdruck geringer, so wird das Strahlrohr entgegen einer Federkraft nach einer Seite abgelenkt und betätigt dadurch einen sog. Folgekolben (Abb. 5 und 6), der immer dann angewandt werden muß, wenn große Verstellkräfte notwendig sind, wie dies bei den Kesselendklappen der Fall ist. Durch das Strahlrohr wird ein kleiner Kolben mit Hilfschieber hin- und hergeschoben, der verschiedene Ausströmöffnungen für das Drucköl freigibt, so daß das Öl in die eine oder andere Hälfte eines Steuerzylinders, der die Rauchgasklappe betätigt, eintreten kann, während es aus der anderen ab-

fließt. An der einen Seite des Strahlrohres des Rauchgasreglers kann die der Membrane entgegenwirkende Federkraft geändert werden; hiedurch ist die erstmalige Einstellung des Zuges am Ende des oberen Feuerraumes möglich.

Das für die Strahlrohre und die Steuerkolben benötigte Preßöl wird durch eine elektrisch an-

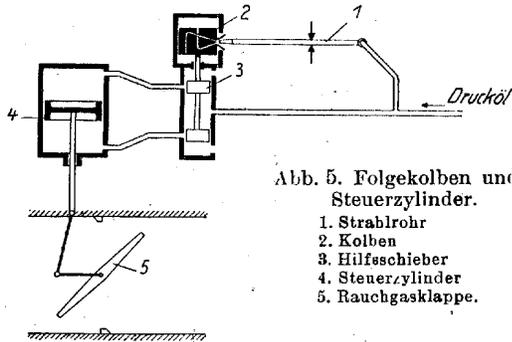


Abb. 5. Folgekolben und Steuerzylinder.

1. Strahlrohr
2. Kolben
3. Hilfschieber
4. Steuerzylinder
5. Rauchgasklappe.

getriebene Pumpe unter 6 at Druck gesetzt. Die Steuerung mit Preßöl hat den Vorteil, daß alle beweglichen Teile überreich mit Öl benetzt sind und daher kaum einem nennenswerten Verschleiß unterliegen.

Die Kesselregelung ist aber nicht vollkommen selbsttätig; einige Handgriffe müssen auch hier noch vom Heizer ausgeführt werden. Z. B. muß der Heizer, wie unten beschrieben wird, wenn der Rost dauernd oder zu kurzzeitig läuft, die nächste Rostgeschwindigkeit einstellen. Er hat ferner, wenn das Feuerbett nicht den ganzen Rost bedeckt, die hinteren Zonen entsprechend abzuschalten und den Schichtregler zu bedienen. Selbstverständlich obliegt ihm auch gegebenenfalls die

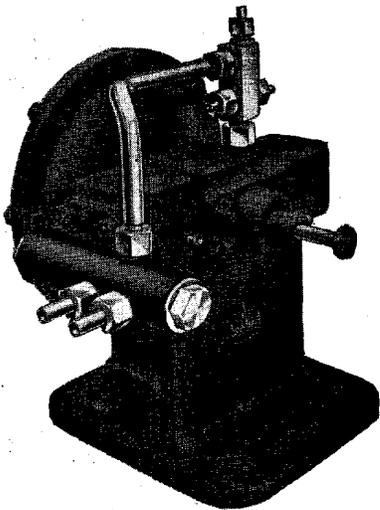


Abb. 6. Folgekolben, angebaut am Steuerwerk für Niederdruckregelung.

Nachbehandlung des Brennstoffes auf dem Rost. Die Speisung der Kessel wird unabhängig von der übrigen Regeleinrichtung wie bisher durch einen Hannemann-Speiseregler bewirkt.

#### Andere Regelungsformen.

Die beschriebene Regelungsform wurde für eine bereits bestehende Kesselanlage gewählt, sie wird deshalb nicht für jede, vor allem nicht für jede Neuanlage die günstigste Lösung darstellen. Es werden verschiedene Arten von Regelungen

ausgeführt, die der jeweiligen Anlage angepaßt sind. Eignet sich z. B., wenn mehrere Kessel verschiedener Bauart zusammengeschaltet sind, das oben beschriebene Steuerwerk nicht, so wird ein besonderer Kommandogebber eingebaut, der den Impuls, der von der Dampfleitung ausgeht, entsprechend umwandelt und ihn an die einzelnen Kessel weitergibt.

Für gewisse Verhältnisse kann es auch zweckmäßig sein, den Regelvorgang nicht durch Änderung der Kohlenzufuhr einzuleiten, sondern durch Änderung des Zuges am Kesselende, wie dies bei Handbeschickung ja meistens auch üblich ist. Abb. 7 zeigt die Ausführungsform einer solchen Anlage, bei der die Regelung der Rostgeschwindigkeit dem Heizer überlassen bleibt, oder aber auch von der Verbrennungsluftmenge abhängig gemacht werden kann. Allgemein wird man selbstverständlich nicht nur einen Teil der Anlage, z. B. nur den Kesselendschieber durch einen Regler bedienen, sondern man wird die nicht mehr ausschlaggebenden Mehrkosten

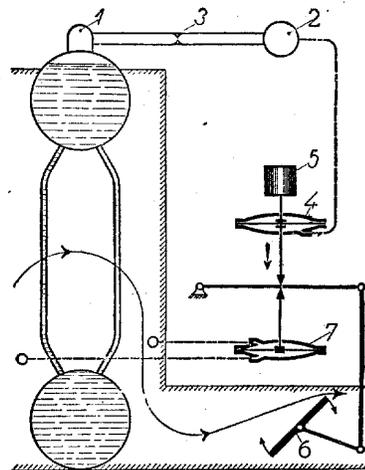


Abb. 7. Regelung der Rauchgasklappe nach der Belastung mit Rückführung durch die Rauchgasmenge:

1. Dampfraum des Kessels
2. Dampfsammelleitung
3. Strömungswiderstand des Überhitzers
4. Belastungsmeßsystem
5. Gewicht
6. Rauchklappe
7. Rückführmeßsystem.

nicht scheuen und möglichst alle Glieder mit Reglern versehen, soweit es sich auf einfache Weise machen läßt.

Wie bei Anlagen, in denen Gleichstrom vorhanden ist, die Schaltregelung vermieden wird, wurde bereits beschrieben.

Man sieht, daß sich die gestellte Aufgabe der selbsttätigen Regelung auf verschiedenartige Weise lösen läßt. Eine Beschreibung der verschiedenen Wege würde zu weit führen,

es sei hier auf die Druckschriften der Hersteller verwiesen.

#### Bewährung im Betrieb.

Die Frage, wie die Anlage im Betrieb arbeitet, beantworten am besten die Abb. 8 und 9. Diese Abbildungen stellen die Aufzeichnungen des Druckschreibers dar, die, mit Abb. 1 verglichen, die Wirkung der Regleranlage erkennen lassen.

In Abb. 8 ist der Druckverlauf am Tag der Inbetriebsetzung des Reglers aufgezeichnet. Bis 10.40 Uhr liefen die Kessel ohne Regelung, von diesem Zeitpunkt ab war bis 13.30 Uhr nur ein Kessel geregelt. Man erkennt bereits einen wesentlichen Erfolg. Ab 13.30 Uhr waren beide im Betrieb stehende Kessel geregelt. Die bis 16.00 Uhr noch manchmal eintretenden kleineren Schwankungen waren mit der Einstellung der günstigsten CO<sub>2</sub>-Werte verbunden. Die Einstellung der vollständig neuen Anlage hatte also nur etwa 3 Stunden in Anspruch genommen. Die Abb. 9 zeigt ein

am übernächsten Tag abgenommenes Druckschaubild. Die Regelung war völlig einwandfrei. Das Gesamtergebnis muß als sehr günstig bezeichnet werden, wenn man bedenkt, daß auch beim Betrieb nach Abb. 1 sicherlich geschulte Heizer, die noch dazu unter ständiger Aufsicht stehen, die Kessel bedienen.

Die Anlage hatte in dem nun fast einjährigen Betrieb keinerlei Störungen aufgewiesen. Dies ist an sich auch nicht verwunderlich, denn eine Be-

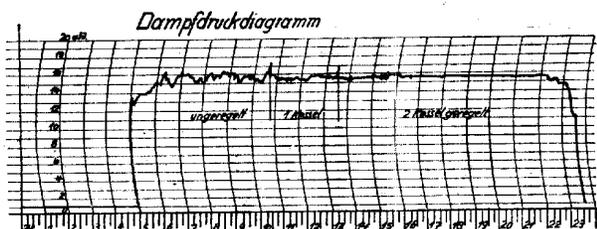


Abb. 8. Druckschaubild vom Tag der Inbetriebsetzung.

trachtung der baulichen Ausführung der einzelnen Teile mit ihrer verhältnismäßig einfachen Durchbildung zeigt, daß an einer derartigen Regleranlage auch nicht mehr Störungsquellen vorhanden sind als beispielsweise an einer neuzeitlichen Dampfmaschine mit Ölumlaufschmierung.

Es war in dieser Anlage in letzter Zeit manchmal nötig gewesen, statt Tschechischer Kohle Mitteldeutsche Brikette zu verfeuern. Die dabei nötige Umstellung des Reglers, d. h. die Nachstellung des Brennstoff-Luftverhältnisses, um das es sich in erster Linie handelt, konnte ohne weiteres von den Heizern selbst vorgenommen werden. Schwierigkeiten haben sich hierbei nicht ergeben.

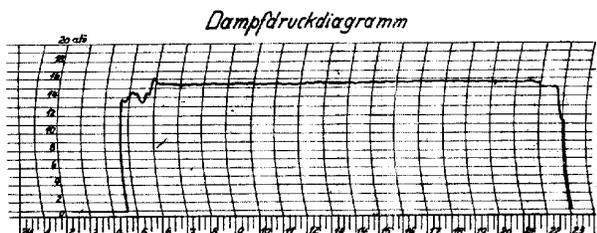


Abb. 9. Geregelter Betrieb.

Der Anlaßstromstoß der Rostmotoren macht sich im Netz nicht bemerkbar, weil bei der beschriebenen Anlage der weitaus größte Teil des Dampfes an sich zur Stromerzeugung benützt wird, und deshalb die plötzlich zugeschaltete Leistung nicht ins Gewicht fällt. Bei Anlagen aber, die vor allem Dampf für Gebrauchszwecke erzeugen oder wo Kraftmaschinen auf eine Transmission arbeiten, kann hier ein Mißverhältnis eintreten. In einem solchen Fall wird die Beschaffung eines Leonardsatzes der Schaltsteuerung vorzuziehen sein. Um bei der vorliegenden Anlage aber auch den mechanischen Anfahrstoß zu mildern, wird versucht werden, den Motor durch Vorschalten von Ohmschem Widerstand ständig ganz langsam weiterlaufen zu lassen, sodaß durch die Schaltsteuerung durch Überbrückung des Widerstandes jeweils nur auf Volldrehzahl geschaltet wird. Wie weit dieses Verfahren Erfolg hat, muß die Erfahrung erst noch zeigen. Man könnte schließlich auch noch bei gleichmäßiger Belastung der Kessel daran denken, die Geschwindigkeit der Schaltwalze der Schaltsteuerung herabzusetzen, was durch Zwi-

schenschaltung eines Getriebes oder durch Drosselung des Ölzuflusses zum Ölmotor möglich wäre. Hierbei müßte die Einstellung der Rostgeschwindigkeit möglichst so erfolgen, daß die Ausschaltzeiten nicht zu groß werden.

Die wichtigste Frage wird meist die nach den erzielbaren Ersparnissen sein. Ersparnisse sind auf dreierlei Weise möglich:

1. durch Verbesserung der Verbrennung und der damit verbundenen Auswirkungen (Verringerung der Abgastemperaturen, der Abgasmenge usw.);
2. durch Vermeiden des Blasens der Sicherheitsventile;
3. durch Verbesserung des Dampfverbrauches der Kraftmaschinen infolge ständiger Erhaltung des höchst möglichen Betriebsdruckes und vor allem auch der für die Kraftmaschine höchstzulässigen Betriebstemperaturen.

Bei der ausgeführten Anlage, die auch vor Einbau des Reglers so gut als von Hand eben möglich bedient wurde, stieg z. B. der mittlere Kohlen säuregehalt von 12 v. H. auf etwa 13,5 v. H.; vor allem war eine viel geringere Streuung der einzelnen Meßwerte festzustellen. Bei der Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Gehalts muß allerdings auch berücksichtigt werden, daß der Heizer jetzt mehr Zeit für die Zonenregelung und die Feuerbettbehandlung hat, aber letzten Endes ist ja auch dies wieder eine Auswirkung der selbsttätigen Regelung. Die laufenden Betriebsaufzeichnungen ließen bei Verwendung gleicher Kohle und unter sonst gleichen Verhältnissen eine Dampfpreissenkung von 2 v. H. erkennen, was mit der errechneten Verbesserung unter Zugrundelegung einer günstigeren Verbrennung und geringer Ersparnisse infolge Vermeidung des Abblasens der Sicherheitsventile annähernd übereinstimmt. Die Ersparnisse durch geringeren Dampfverbrauch der Kraftmaschinen waren zahlenmäßig nicht genau zu erfassen. Man wird sie bei vorsichtiger Schätzung aber kaum höher als 1 v. H. annehmen dürfen.

Bei der besprochenen Anlage kommt noch als weiterer Vorteil hinzu, daß bei den überlasteten Dampfturbinen infolge des konstanten Kessel drucks keine Störungen auf der elektrischen Seite mehr vorkommen.

#### Beschaffungskosten.

Die Beschaffungskosten der Regleranlage für die drei vorhandenen Kessel einschließlich der Aufstellung, die, soweit sie die Rohrleitungen und den Steuerzylinderanschluß betraf, von werkeigenem Personal durchgeführt wurde, betragen rund 16000 *R.M.* Die anteiligen Kosten je Kessel belaufen sich also auf etwas über 5000 *R.M.*, ein Betrag, der gegenüber dem Anschaffungspreis von 375 m<sup>2</sup>-Kesseln nicht ins Gewicht fällt. Wird die Regelung nur für einen Kessel beschafft, so wird die Anlage im Verhältnis teurer, da verschiedene Teile, wie Ölpumpe, Steuerwerk usw. für einen Kessel ebenso wie für mehrere einmalig beschafft werden müssen.

#### Zusammenfassung.

Der nachträgliche Einbau einer selbsttätigen Kesselregelanlage ist auch bei mittleren Industrieanlagen vorteilhaft. Die technische Durchbildung der Regler ist so weit fortgeschritten, daß sie ihren Zweck einwandfrei erfüllen, wobei nennenswerte Störungen an der Anlage nicht zu erwarten sind.

# Grundlagen der Regelung von Dampfkesseln\*)

Von Direktor G. Wunsch, Berlin

Jeder Kessel ist nicht nur ein Dampferzeuger — also Wärmeumformer —, sondern gleichzeitig auch ein Speicher. Andernfalls wäre es überhaupt nicht möglich, Kessel von Hand zu betreiben.

Die Speicherefähigkeit eines Kessels läßt sich beurteilen nach dem Energieinhalt der Teile, die mit Dampf oder siedendem Wasser gefüllt sind, dividiert durch die sekundliche Energieabgabe. Man erhält dann den Begriff „Speicherzeit“, das ist die Zeit in Sekunden, für welche der Kessel theoretisch die volle Dampflieferung aus seinem Wärmeinhalt abgeben könnte.

Dieser Zeitwert ist in erster Linie kennzeichnend für das Verhalten eines Kessels bei schnellen Laständerungen. Je größer die Speicherzeit, um so besser nimmt der Kessel Laststöße auf. Großwasserraumkessel haben Speicherzeiten von  $\sim 2500$  Sekunden, neuere Hochleistungskessel haben jedoch nur Speicherzeiten von wenigen hundert Sekunden. Zum Vergleich sei gesagt, daß die Speicherzeit eines Turbogenerators  $\sim 50$  Sek. beträgt; das bedeutet: Wenn bei Vollast plötzlich die Dampflieferung ausfiele, so würde die Drehzahl um  $\frac{100}{50} = 2\%$  je Sekunde abfallen.

Wir kommen mit unseren neuesten Kesseln vergleichsweise schon recht nahe an das Verhalten einer Dampfturbine heran, und diese Feststellung allein dürfte genügen zur Entscheidung der Frage, ob man die künftigen Kessel von Hand oder mit Reglern fahren wird. Eine Dampfturbine wird sich wohl kein Ingenieur ohne Regler wünschen.

Über die beste Art der Regelung sei vorausgeschickt: Mengenströme sind sehr viel leichter zu regeln als Zustände, wie Druck, Temperatur usw., deren Änderung immer erst eine Folge der Änderungen von Mengenströmen ist.

Beim Dampfkessel kann man glücklicherweise den abgegebenen Mengenstrom — die Dampfmenge — unschwer meßtechnisch erfassen. Ebenso sind die Mengenströme von Verbrennungsluft und Brennstoff verhältnismäßig einfach meßbar. Man brauchte nun nur die Ströme im richtigen Gleichgewicht zu halten — also je 1 kg Dampf z. B. 0,1 kg Kohle und 1 m<sup>3</sup> Luft zuzuführen —, und es würde dann gar kein Grund für eine Dampfdruckänderung vorhanden sein. Im Idealfall könnte man sich eine Art Kapselmotor in die Dampfleitung eingeschaltet denken, dessen Drehzahl der Dampfmenge verhältnismäßig ist und welcher nun ein ähnliches Kapselgebläse für die Verbrennungsluft und eine Förderpumpe für den Brennstoff antreibt. Dann müßte zwangsläufig jederzeit das Gleichgewicht der drei Mengenströme vorhanden sein.

Der Aufwand für derartige Fördereinrichtungen wäre aber gar nicht zu bezahlen, und es ist deshalb sehr viel billiger und besser, die üblichen Fördereinrichtungen für Luft und Brennstoff durch Regler so zu steuern, daß jederzeit die erzeugte Wärmemenge der in Dampf-Form abgegebenen Wärmemenge entspricht.

Andererseits ist aber dieses Gleichgewicht der Mengenströme niemals theoretisch genau einhaltbar, und man muß deshalb den Dampfdruck — den man ja konstant halten will — als zweiten Regelimpuls hinzunehmen. Da über die Wirkung dieses Summenimpulses noch vielfach Unklarheiten herrschen, will ich kurz darauf eingehen. Abb. 1 zeigt einen Kessel mit einem Druckimpuls am Trommelwasserraum und einem

Mengenimpuls, der von dem Druckabfall im Überhitzer abgenommen ist. Beide Impulse werden durch Meßdosen ermittelt und an einem Gestänge als Kräfte summiert. Man erkennt nun, daß sich zwei von den drei Drücken gegenseitig aufheben und daß die gleiche Wirkung erzielt wird, wenn man nur einen ein-

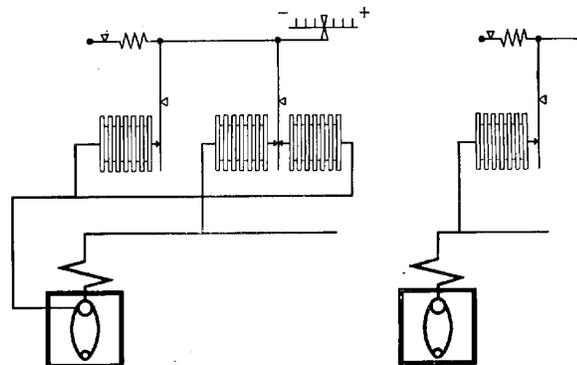


Abb. 1: Dampfdruck- und Mengen-Regelimpuls

zigen Druckimpuls am Kesselausgang benutzt. Man erhält dann immer einen aus Dampfmenge und Dampfdruck zusammengesetzten Mischimpuls. Sinkender Dampfdruck in der Trommel wirkt sich darin wie eine Vergrößerung der Dampfmenge aus.

Diesen Mischimpuls läßt man nun auf einen Regler beliebiger Bauart wirken, der die Brennstoff- und Luftzufuhr steuert, wobei die Meßwerte für diese Größen den Regler entgegengesetzt beeinflussen. (Abb. 2.)

Auf Einzelheiten der Regelung und die verschiedenen Reglerbauarten einzugehen, kann ich mir ersparen, sie sind im Schrifttum und in den Werbeschriften der Hersteller ausführlich behandelt.

Viel wichtiger ist es zu wissen, wie sich die verschiedenen Kesselbauarten in bezug auf die Regelung verhalten.

Wir unterscheiden hier:

- Kessel mit natürlichem Wassenumlauf,
- Kessel mit Zwangsumlauf,
- Durchlaufkessel.

Wie schon eingangs gesagt, richtet sich das regeltechnische Verhalten stark nach der Speicherzeit des Kessels.

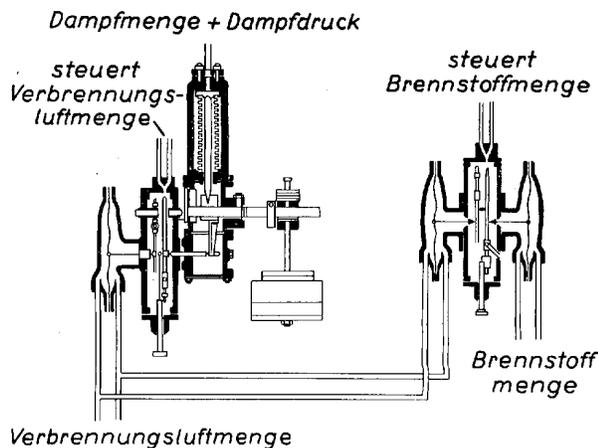


Abb. 2: Regler für Brennstoff- und Luftzufuhr

\*) Werkfotos: Askania-Werke (1—14, 16), Siemens & Halske (15).

Für Steilrohrkessel der üblichen Bauart kann man mit einer Speicherzeit von etwa 500 Sek. rechnen. Bei einem sehr starken und plötzlichen Laststoß von Halb- auf Vollast würde der Druck in

$$\frac{500 \text{ Sek.}}{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{100} = 10 \text{ Sek.}$$

um je 1% absinken. Es bleibt hier offensichtlich noch Zeit, daß die Feuerung nachkommen kann.

Die Wirkung von Gas- und Ölf Feuerungen ist nun praktisch sofort vorhanden, sobald der Regler die Brennstoffzufuhr verstärkt.

Wider Erwarten ist auch bei Wanderrosten und Stokerfeuerungen kaum eine Verzögerung in der Feuerleistung feststellbar. Dies liegt daran, daß stets ein erheblicher Vorrat an Kohle auf dem Rost vorhanden ist, so daß bei einer Steigerung der Luftmenge auch sofort eine stärkere Wärmeentwicklung einsetzt. Die glühende Rostkohle wirkt als zusätzlicher Speicher, der die Trägheit der Kohleverbrennung — Anwärmen, Entgasen, Zünden — überbrückt.

Bei Kohlenstaubfeuerungen können gewisse Verzögerungen auftreten, wenn zwischen Zuteiler (Schnecke, Zellenrad oder -band) und Brenner eine längere Transportstrecke eingeschaltet ist. Diese Verzögerungen sind aber nur selten so groß, daß sie störend empfunden werden.

Viel größere Verzögerungen treten bei manchen Mühlenfeuerungen auf. Von der verstärkten Kohlenaufgabe zur Mühle bis zum Erscheinen der gemahlene Kohle im Brenner können je nach Bauart der Mühle 10 bis 100 Sekunden vergehen.

Derartige Verzögerungen gefährden ernstlich die Stabilität der Regelung und können unter Umständen die Zuschaltung eines besonderen Speichers erforderlich machen, denn bei einem 50prozentigen Laststoß würde, wie vorher gezeigt, der Kesseldruck schon um sechs und mehr Prozent absinken, ehe die Feuerung eingreifen kann.

Auch auf der Luftseite können merkliche Verzögerungen auftreten, insbesondere wenn die Luftförderung durch Gebläse mit großem Trägheitsmoment erfolgt und wenn die Antriebsmotoren eine stark lastabhängige Charakteristik besitzen.

Am besten verhält sich regeltechnisch die Beeinflussung der Luftzufuhr durch eine einfache Drosselklappe; sie ist bei richtiger Ausbildung auch am betriebssichersten. Bei Drehzahlregelung ist Leonardtrieb oder Drehstromnebenschlus-Kollektormotor zu empfehlen.

Der Kessel selbst — das ist immer wieder bestätigt worden — hat keine nennenswerte Trägheit. Wenn der Trommeldruck genau konstant gehalten wird, so arbeitet der Kessel wie ein Kalorimeter; die Dampfbildung ist jederzeit der Wärmezufuhr proportional.

Kessel mit Zwangsumlauf (La Mont) verhalten sich regeltechnisch keineswegs ungünstiger als solche mit natürlichem Umlauf. Ihr Verhalten ist eher als besser anzusprechen, da sie meistens einen größeren Vorrat an siedendem Wasser besitzen und somit ihre Speicherfähigkeit größer ist.

Gänzlich anders verhalten sich jedoch die Durchlaufkessel. Hier treten für die Regelung Schwierigkeiten auf, deren Meisterung noch nicht reslos gelungen ist. Während beim Trommelkessel nur Luft und Brennstoff entsprechend der jeweils angeforderten Dampfmenge zugesteuert werden und das Speisewasser unabhängig von der Dampfmenge nach Maßgabe des Wasserstandes geregelt werden kann, müssen bei Durchlaufkesseln sowohl Luft wie Brennstoff als

auch Wasser genau der Dampf abgabe angepaßt werden.

Beim reinen Durchlaufkessel ist ferner an jeder Stelle des Rohrstranges ein anderer Zustand von Wasser und Dampf vorhanden, und dieser Zustand ist von der Last und der Feuerung (Luftüberschuß) abhängig. Der Wärmeinhalt des Kessels ist deshalb nicht gleichbleibend. Der Vorrat an siedendem Wasser ist sehr klein, und infolgedessen ist auch die Speicherfähigkeit gering. Nach den mir bisher vorliegenden Messungen kann die Speicherzeit weniger als 100 Sekunden betragen; man kommt also regeltechnisch schon in das Gebiet, in dem die Dampfturbinen liegen. Das bedeutet aber, daß man die Wärmezufuhr so schnell und genau den Lastschwankungen nachsteuern muß, wie die Turbinensteuerung die Dampfzufuhr einstellt. Man erkennt, daß dabei die Art der Feuerung eine entscheidende

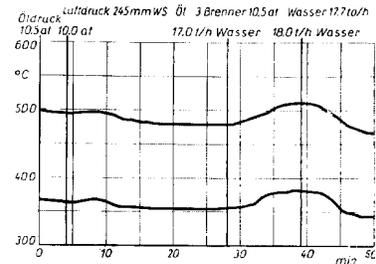


Abb. 3: Dampftemperatur bei Durchlaufkessel

Rolle spielen muß und daß ein Durchlaufkessel mit einer Mühlenfeuerungen ein sehr schwieriges Regelproblem darstellt.

Erschwerend kommt noch hinzu, daß auch im Wasserlauf des Kessels bis zur Siedezone Verzögerungen auftreten, deren Ursachen zum Teil noch unbekannt sind (Abb. 3). Genaue Messungen sind nur selten durchführbar; ich zeige Ihnen Meßergebnisse an einem Schiffskessel, der bei windstillem Wetter im Beharrungszustand mit völlig gleichbleibender Last gefahren werden konnte. Verändert wurde jeweils nur die Wassermenge bzw. die Heizölmenge, und dann die Auswirkung auf die Heizdampfaustrittstemperatur beobachtet.

Man sieht, daß eine plötzliche Verringerung des Heizöl druckes von 10,5 auf 10,0 atü erst nach 5 Minuten in der Dampftemperatur bemerkbar wird und daß erst nach ~ 16 Minuten der neue Gleichgewichtszustand bei einer um 20° niedrigeren Dampftemperatur erreicht wird. Eine Verringerung der Wassermenge von 17,7 auf 17,0 t/Std. macht sich dagegen schon nach ~ 2 Min. bemerkbar, das neue Gleichgewicht ist nach ~ 12 Min. erreicht. Dieselben Zeiten wurden auch bei Erhöhung der Wassermenge von 17 auf 18 t gemessen.

Will man also mit einem solchen Kessel den von der Dampfseite herkommenden Lastschwankungen folgen, so dürfen entweder die Laständerungen nur langsam

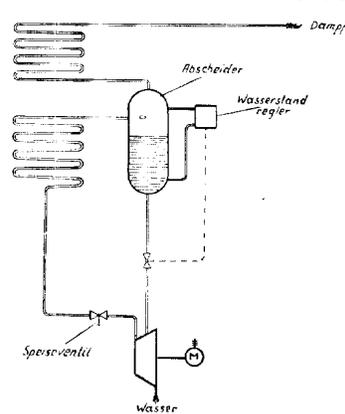


Abb. 4: Durchlaufkessel mit gesteuertem Rücklauf

vor sich gehen, oder aber es muß eine Speicherung eingeschaltet werden, welche zumindest die Verzögerung im Wasserteil überbrückt. Das ist z. B. möglich durch Drucksteigerung, indem man den Kesseldruck mit sinkender Last stark ansteigen läßt. Diese Drucksteigerung muß natürlich von vornherein größer sein als der Strömungsdruck.

mungsdruckverlust im Überhitzer, denn sonst würde ja der Druck des siedenden Wassers gar nicht ansteigen, und es würde überhaupt keine Energiespeicherung vorhanden sein. Man braucht dann meistens hinter dem Kessel einen Druckregler, der den Verbrauchsdruck hält.

Durch Einbau einer Nebenheizstrecke, das ist ein enges Rohr mit schnellem Wasserdurchlauf, kann man die Anzeigeverzögerung für das Auftreten von Ungleichheiten zwischen Dampfmenge und Wassermenge erheblich herunterdrücken, so daß man bei langsam veränderlicher Last den Kessel im Gleich-

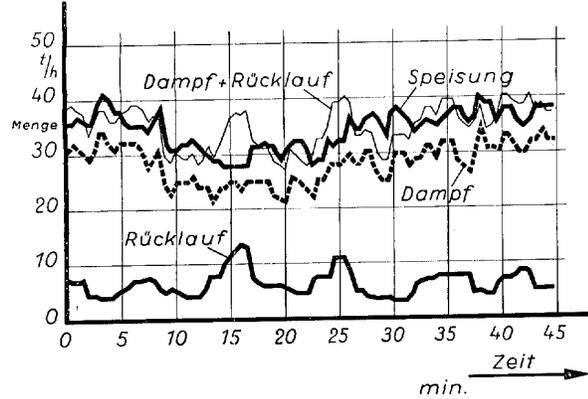


Abb. 5: Regelkurve von Durchlaufkessel mit Rücklauf

gewicht und die Überhitzungstemperatur auf gleichbleibender Höhe halten kann. Jedoch werden durch die Nebenheizstrecke die Verzögerungen im Wasserdurchlauf selbst in keiner Weise behoben.

Es sind nun große Anstrengungen und viele Versuche gemacht worden, um das regeltechnische Verhalten der Durchlaufkessel dem der Wasserumlaufkessel zu nähern. Ich möchte es mir ersparen, im einzelnen die verschiedenen Schaltungen und Verfahren zu besprechen, und will Ihnen nur die Schaltung zeigen, die sich bis jetzt am besten bewährt hat.

Bei dieser Schaltung ist die Länge des Überhitzerteils nicht mehr veränderlich, sondern auf einen bestimmten Wert festgelegt, indem zu Beginn der Überhitzungszone das Restwasser aus dem Dampf abgezapft wird, so daß nur trockener Dampf in den Überhitzer eintritt (Abb. 4). Das Restwasser wird in einem Zentrifugalabscheider gesammelt und einer Stufe der Speisepumpe wieder zugeleitet. An dem Abscheider ist ein Wasserstandsregler angeschlossen, der mit steigendem Wasserstand das Rücklaufventil im gleichen Maße öffnet. Durch die Zuführung des Rücklaufwassers zum Speisewasser entsteht eine sehr wirksame Selbstregelung, die die Kesselführung erheblich erleichtert. Nehmen wir an, die Dampfleistung betrage 40 t, die Rücklaufwassermenge 5 t und die Speisemenge dementsprechend 45 t. Auf diese Menge sei das Speiseventil eingestellt, und der ganze Kessel befinde sich im Beharrungszustand. Wenn nun das Gleichgewicht gestört würde, indem z. B. die Feuerleistung etwas anwächst und statt 40 t deren 42 verdampft werden, so wird dementsprechend die Rücklaufmenge schwächer werden und nach kurzer Zeit von 5 auf 3 t absinken. Da das Speiseventil aber unverändert auf 45 t Durchgang stehenblieb, so muß jetzt von selbst die Frischwassermenge ansteigen und sich auf 45 — 3, d. h. auf 42 t, einstellen. Es ergibt sich bei dieser Schaltung eine genaue Anpassung der Speisung an die Dampfmenge innerhalb des Bereichs der Rücklaufmenge. Eine Voreinstellung des Speiseventils innerhalb dieses Bereichs ist aber mit heutigen Mitteln unschwer durchzuführen.

Aus einer großen Zahl von Versuchsergebnissen möchte ich Ihnen einige Kurven vorführen, aus denen das Verhalten eines solchen Kessels ersichtlich ist (Abb. 5). Es handelt sich hier um einen Kessel von 40 t Stundenleistung mit Mühlenfeuerung, der auf ein großes Dampfnetz mit gleichbleibendem Druck arbeitete und durch Einstellen der Mühlenleistung auf beliebige Dampfabgabe gebracht werden konnte. Die Steuerung des Rücklaufwassers erfolgt durch einen Wasserstandsregler, und Sie sehen eine recht gute Übereinstimmung zwischen Dampfmenge, Speisemenge und Rücklauf. Um die Vorgänge im Kessel deutlicher zu machen, ist übereinander aufgetragen Dampfmenge und Rücklauf und dazu die entsprechende Speisewassermenge. Der Druckunterschied am Speiseventil wird durch einen Differenzdruckregler, der die Dampfzufuhr zur Speisepumpe beeinflusst, konstant gehalten, so daß also jeder Stellung des Ventils unabhängig vom Gegendruck eine bestimmte Wasserdurchgangsmenge entspricht. Durch einen Stellungsregler mit Kurvenrückführung wird das Speiseventil nach Maßgabe der jeweiligen Dampfmenge grob eingestellt, die Feinregelung der Wassermenge erfolgt dann selbsttätig durch den Rücklauf.

Man sollte nun annehmen, daß es möglich wäre, das Speiseventil unmittelbar nach Maßgabe des Wasserstandes im Abscheider zu verstellen; demgemäß wurde versucht, den Wasserstand durch zusätzliche Verstellung des Speiseventils zu halten. Das Ergebnis war unbefriedigend. Man sieht aus dem Verlauf der Kurven (Abb. 6), daß sofort ein Überregeln eintritt, und zwar in einem Ausmaße, daß man die Möglichkeit einer stabilen Regelung bezweifeln muß. In Übereinstimmung mit dem Ergebnis der Versuche an einem Schiffskessel treten auch hier Verzögerungen von etwa 4 Minuten auf, ehe sich eine Änderung der

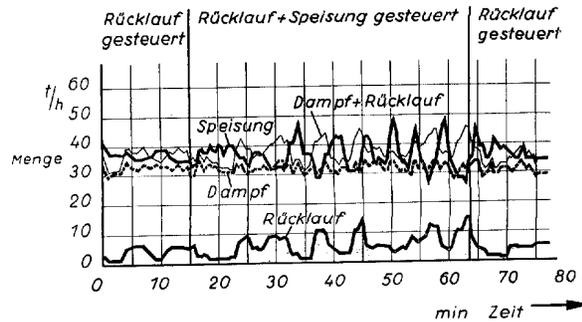


Abb. 6: Regelkurve von Durchlaufkessel mit Rücklauf

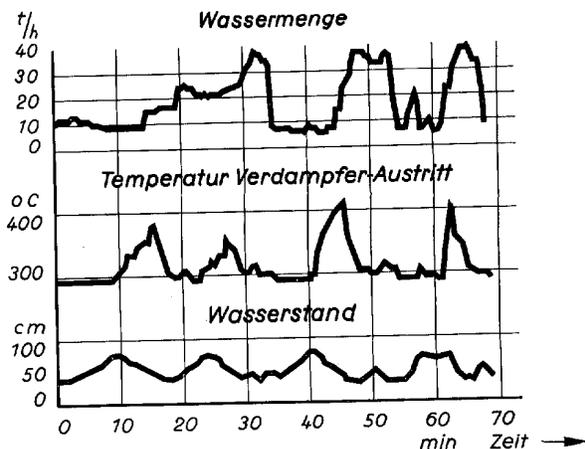


Abb. 7: Regelkurve von Durchlaufkessel, Speisung gesteuert vom Abscheider

Speisemenge am Wasserabscheider, also am Ende der Verdampfungszone, bemerkbar macht. Aus dem Unterschied der Mengenkurven ist zu ersehen, daß während des Regelversuchs der Wasserinhalt des Rohrsystems erheblich schwankt. Gegen Ende dieses Versuches wurde wieder auf reine Rücklaufregelung umgeschaltet, bei der sofort Beruhigung eintritt und die Speisung dem Gleichgewichtszustande zustrebt.

Es sollen hier noch zwei weitere Kurvenbilder von Durchlaufkesseln mit Ölfeuerung für Schiffsbetrieb besprochen werden.

Die Kurven der Abb. 7 zeigen das Ergebnis eines Versuchs, den Wasserrücklauf aus dem Abscheider wegzulassen und die Speisung derart zu steuern, daß der Dampf beim Eintritt in den Abscheider im Mittel praktisch trocken, aber noch nicht überhitzt ist. Sie sehen, daß der Wasserstand im Abscheider in weiten Grenzen pendelt und dementsprechend auch die Temperatur, mit welcher der Dampf in den Abscheider eintritt, dauernd zwischen Sattdampf und etwa 80° Überhitzung schwankt. Regeltechnisch war die Schaltung instabil.

Die Kurven der Abb. 8 sind an einem 40-t-Kessel mit gesteuertem Rücklauf aufgenommen worden. Es sind übereinander gezeichnet:

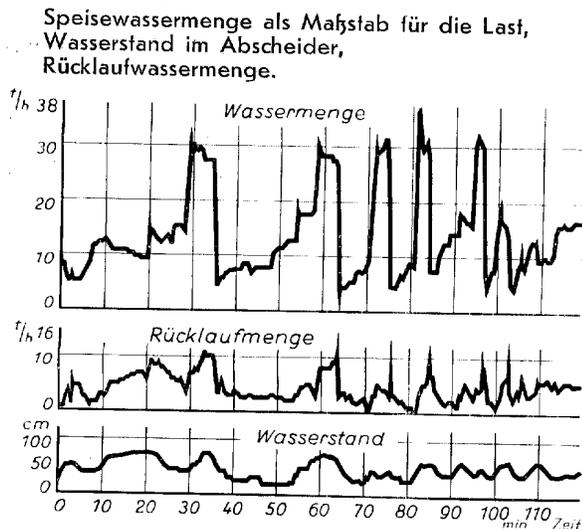


Abb. 8: Regelkurve von Schiffsdurchlaufkessel mit gesteuertem Rücklauf

Man sieht, daß hier sehr scharfe Lastwechsel gefahren wurden, wie sie im Schiffsbetrieb beim Manövrieren wohl auftreten können. Selbst bei diesen Lastwechseln, wie sie bei Landkesseln kaum vorkommen werden, hält sich der Wasserstand im Abscheider in durchaus zulässigen Grenzen, und das regeltechnische Verhalten des Kessels ist stabil; es ist keinerlei Neigung zu unangenehmen Schwingungen zu beobachten. Der Wasserinhalt des Abscheiders ändert sich bei den schärfsten Laständerungen um einen Wert, der etwa 1/2% der Stundenleistung des Kessels entspricht.

Es sind, wie ich schon eingangs darlegte, sehr viele andere Schaltungen versucht worden. Keine hat jedoch auch nur annähernd so gute Regelstabilität ergeben wie die Schaltung mit gesteuertem Rücklauf.

Allerdings bedingt der Rücklauf einen gewissen Energieverlust, jedoch beträgt dieser bei 120 atü Speisedruck und 5% Rücklauf in die 90-atü-Stufe nur ~ 1/30%, ist also ohne Bedeutung.

4

Welche Größe soll nun der Wasserabscheider haben? Nun, das Fassungsvermögen braucht nur so groß zu

sein, daß die Verzögerungen im Wasserlauf ausgeglichen werden können.

Bei Landkesselanlagen dürfte ein Fassungsvermögen von 1% der Stundenleistung des Kessels wohl immer genügen, für einen 100-t-Kessel also etwa 1 m<sup>3</sup>. Bei Schiffskesseln wird man, wenn der Kessel dem extremen Lastwechseln beim Anlegen und Manövrieren folgen soll — im Bruchteil einer Minute von Null- auf Voll- last —, zweckmäßig etwas höher, etwa bis 2% gehen. Ungleichheiten im Wasserlauf, die einen noch größeren Inhalt rechtfertigen, habe ich noch nicht beobachten können. Allgemein kann der Abscheider natürlich um so kleiner ausgelegt werden, je langsamer die Laständerungen vor sich gehen.

Materialbedarf und technischer Aufwand sind so gering, daß sie gegenüber den damit erzielbaren Verbesserungen gar nicht ins Gewicht fallen. Es ist jedenfalls abwegig, aus dem Vorhandensein eines Abscheiders einen Gegensatz: „Durchlaufkessel mit oder ohne Trommel“ konstruieren zu wollen; auch mit dem Abscheider bleibt ein solcher Kessel ein trommelloser Kessel, man müßte sonst auch den Sulzer-Durchlaufkessel und den Velox als Trommelkessel bezeichnen. Mit der Festlegung der Überhitzerfläche durch den Wasserabscheider verzichtet man darauf, die Überhitzungstemperatur durch Mehr- oder Minderspeisung zu beeinflussen. Das erscheint mir aber nicht als Nachteil. Einmal ist dieses Verfahren ohnehin nur bei sehr gleichbleibender Last anwendbar, und andererseits kann man natürlich an Stelle des abgeschiedenen Wassers hinter dem Abscheider wieder Frischwasser zusetzen. Man würde dann gewissermaßen das mit Salzen angereicherte Restwasser durch salzarmes Frischwasser ersetzen, und es würde damit zum mindesten die Versalzung des Kessels stark verringert werden.

Man braucht dann aber auch die Verzögerungen im Wasserlauf nicht mehr zu berücksichtigen, sondern kann das Frischwasser nach Belieben zusetzen und die Überhitzung durch einen Einspritztemperaturregler genau und praktisch verzögerungsfrei konstant halten. Anstatt einzuspritzen kann man die Überhitzung auch durch Klappen im Rauchgasweg beeinflussen und regeln. Wo aber Kondensat zur Verfügung steht, ist die Einspritzregelung die einfachste und billigste Lösung. Wo andererseits Kondensat nicht verfügbar ist, wird man vorläufig ohnehin mit der Verwendung von Durchlaufkesseln noch vorsichtig sein müssen.

Für die Überhitzungsregelung wird gern der Anbau-thermostat genommen (Abb. 9). Dieser benutzt als Impuls die Längenausdehnung eines Stückes der Rohrleitung, er benötigt also keine Anbohrungen oder Einbauten in die Dampfleitung. Bei großen Lastschwankungen verwendet man zweckmäßig mehrere Einspritzdüsen, die durch ein Kurvengetriebe hintereinander zu- bzw. abgeschaltet werden (Abb. 10).

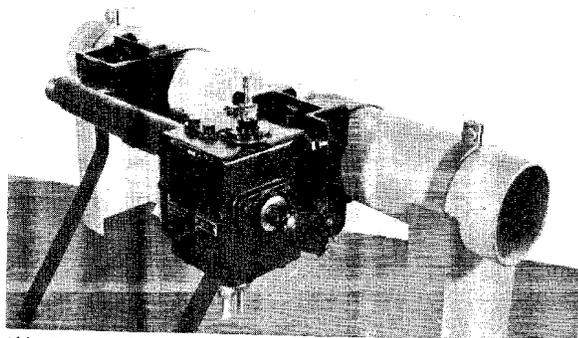


Abb. 9: Anbau-thermostat

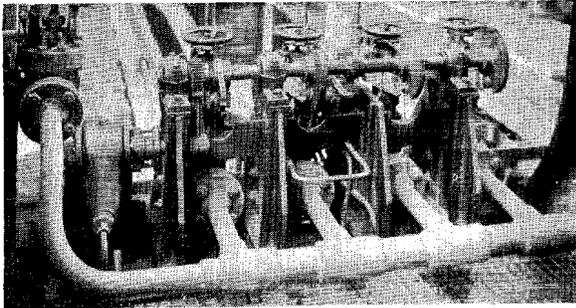


Abb. 10: Einspritzregler mit Kurvengetriebe

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Überhitzung bei Kesseln mit gleichbleibender Überhitzerfläche heute regeltechnisch beherrschbar ist.

Selbstredend gibt es in manchen Fällen, z. B. bei Oberflächenkühlern oder bei großen Rohrlängen — eben dort, wo erhebliche Zeitverzögerungen im Regelkreislauf vorhanden sind — noch Schwierigkeiten zu überwinden, aber meistens lassen sich diese durch eine verständnisvolle Zusammenarbeit zwischen Kessel- oder Apparatebauer und Reglerfirma beheben.

Als Ergebnis der Entwicklungsarbeiten, von denen ich einiges an Hand der Kurvenbilder schildern konnte, darf festgestellt werden:

Man kann Kessel bauen, die alle Vorzüge des Durchlaufkessels — geringen Materialaufwand, einfache Bauart usw. — besitzen, sich aber andererseits genau so einfach und betriebssicher fahren lassen wie Kessel mit natürlichem Wasserumlauf, ja, diese Kessel sind sogar derart elastisch und gut regelbar, daß man ihnen die schärfsten Lastschwankungen im Schiffsbetrieb ohne Bedenken zumuten kann.

In Deutschland sind bisher etwa 1000 Kessel mit Reglern ausgerüstet worden. Dabei hat sich an Hand der gemachten Erfahrungen bereits eine gewisse Norm herausgebildet.

Die Regler werden heute fast immer hinter oder auf einer Tafel angeordnet, welche die Bedienungsgriffe, die für die Einstellung der Regler erforderlichen Meßgeräte und die Hebel für Eingriff von Hand enthält.

Die Einrichtung eines solchen Normalfeldes für die Regelung eines Einzelkessels ist aus folgender Aufstellung ersichtlich (Abb. 11).

Handelt es sich um die Regelung einer Gruppe von mehreren Kesseln, so sieht die Aufstellung folgendermaßen aus (Abb. 12).

Bei Parallelbetrieb mehrerer Kessel ist es schaltungstechnisch meistens einfacher, zuerst den Brennstoff und dann Luft einzusteuern. Man kann auch vom Hauptimpuls aus Brennstoff und Luft parallel anstatt nacheinander fahren.

**Regelung eines Einzelkessels**

| Regler für:    | vom Regler bewegtes Regelorgan  | Bedienung des Reglers  | Meßgröße (mindestforderlich)  |
|----------------|---|--|---|
| Verbrauchsluft | Drosselklappe für Untervind oder Zonenklappen oder Drehzahlstellvorrichtung des Gebläsemotors   | 1) Einstellung des Dampfdruckes in der Trommel bei Nulllast<br>2) Einstellung der Druckspeicherung (Druckwechsel: Null- bis Vollast) | Manometer für Trommeldruck<br>Dampfmesser<br>Differenzdruckmessgerät als Maß für Luft- bzw. Rauchgasmenge |
| Brennstoff     | Drehzahlstellvorrichtung der Wanderstromföhren oder der Förderwinde für Kohlenlauf oder des Zufalles zur Kohlenmühle oder die Brennstoffeile bei Gas- bzw. Ölfeuerung | 3) Einstellung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses (Luftmangel - Luftüberschuß - CO <sub>2</sub> -Gehalt)                              | CO <sub>2</sub> -Messgerät<br>umschaltbarer Temperaturmesser  |
| Feuerdruck     | Rauchgaschieber oder Saugzugklappe oder Drehzahlstellvorrichtung des Saugzugmotors  | 4) Einstellung der Druckhöhe im Verbrennungsraum gegen Außenluft - Kesselhaus  | Druckmesser für Feuerdruck<br>Druckmesser für Untervind<br>Zugmesser für Saugzug                          |

Abb. 11: Regelung eines Einzelkessels

Die folgenden Bilder zeigen einige ausgeführte Anlagen:

Abb. 13 zeigt den Reglerschrank für einen Einzelkessel mit Wanderrostfeuerung. Die ölbetriebenen Strahlrohrregler sind im Schrank untergebracht, die drei Bedienungsgriffe sowie die Umschaltflähne für Handsteuerung sind auf der Tafel deutlich erkennbar.

Abb. 14 zeigt die Anlage für Regelung eines Großkessels mit Mühlenfeuerung. Das linke Feld enthält die Regler mit den zugehörigen Bedienungsinstrumenten, das Mittelfeld nimmt die Überwachungs- und Registrierinstrumente auf, während im rechten Feld die Schalt- und Anzeigergeräte für die Mühle untergebracht sind.

**Regelung einer Kesselgruppe**

| Regler für:               | vom Regler bewegtes Regelorgan  | Bedienung des Reglers  | Meßgröße (mindestforderlich)   |
|---------------------------|---|--|--|
| gemeinsam für alle Kessel |   |  |  |
|                           | Regler gibt Kommandowert gemäß der Dampfdruckregelung an alle Kesselregler  | 1) Einstellung des Dampfdruckes in der Trommel bei Nulllast<br>2) Einstellung der Druckspeicherung (Druckwechsel: Null- bis Vollast) | Manometer für Trommeldruck<br>Anzeiger für Kommandowert                          |
| für jeden Kessel          |   |  |  |
| Verbrauchsluft            | Drosselklappe für Untervind oder Zonenklappen oder Drehzahlstellvorrichtung des Gebläsemotors   | Einstellung: Anteilige Leistungsaufnahme des Kessels   | Dampfmesser<br>Differenzdruckmessgerät als Maß für Luft- bzw. Rauchgasmenge      |
| Brennstoff                | Drehzahlstellvorrichtung der Wanderstromföhren oder der Förderwinde für Kohlenlauf oder des Zufalles zur Kohlenmühle oder die Brennstoffeile bei Gas- bzw. Ölfeuerung | Einstellung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses (Luftmangel-Luftüberschuß - CO <sub>2</sub> -Gehalt)                                   | CO <sub>2</sub> -Messgerät<br>umschaltbarer Temperaturmesser                     |
| Feuerdruck                | Rauchgaschieber oder Saugzugklappe oder Drehzahlstellvorrichtung des Saugzugmotors  | Einstellung der Druckhöhe im Verbrennungsraum gegen Außenluft - Kesselhaus   | Druckmesser für Feuerdruck<br>Druckmesser für Untervind<br>Zugmesser für Saugzug |

Abb. 12: Regelung einer Kesselgruppe

Abb. 15 zeigt eine Überwachungs- und Regeltafel für zwei Hochdruckkessel in vollelektrischer Ausföhrung, und Abb. 16 gibt die Vorderansicht einer Regleranlage für zwei große Schiffskessel wieder. Diese Regleranlage ist wegen der beschränkten Platzverhältnisse außerordentlich gedrängt gebaut. Die beiden Handräder, die mit den Ventilen für das Brennöl gekuppelt sind, drehen sich bei selbsttätigem Betrieb mit. Ihre Stellung, die an einer untergelegten Skala abzulesen ist, ist gleichzeitig ein Maß für die jeweils durchgesetzte Ölmenge.

Noch vor wenigen Jahren hat man die Kesselregelung als eine zwar interessante Sache, aber doch als einen gewissen Luxus angesehen. Das hat sich inzwischen gewandelt. Man weiß heute allgemein, daß die Kesselregelung keine technische Spielerei, kein geheimnisvolles „eisernes Gehirn“ ist, sondern daß die Regler nichts weiter als eine notwendige Vervollkommnung der Fördereinrichtungen für Luft und Brennstoff darstellen. Unter diesem Gesichtswinkel muß m. E. auch die künftige Entwicklung ausgerichtet werden.

Zur Zeit sind zwei verschiedene Entwicklungsrichtungen festzustellen. Bei der einen werden alle Vorgänge am Kessel, also Mengenströme und Drücke, gemessen und auf eine Zentrale fernübertragen. Dort werden die Meßwerte zu Regelimpulsen zusammengesetzt, und diese steuern dann von der Zentrale aus die Stellwerke am Kessel. Die zweite Richtung will die Messung, Impulsbildung und Regelung in der Nähe des Kessels haben und betrachtet den Regler als einen Teil des Kessels bzw. der Fördereinrichtungen.

Ich glaube, daß die Verbindung beider Bauarten die besten Aussichten bietet. Die Turbinensteuerung gibt hierbei das Vorbild. Der eigentliche Regler ist organisch dem Kessel anzugliedern und auf höchste Betriebssicherheit weiterzuzüchten. Auch bei Störungen in der Meßwarte muß er zuverlässig weiterarbeiten.

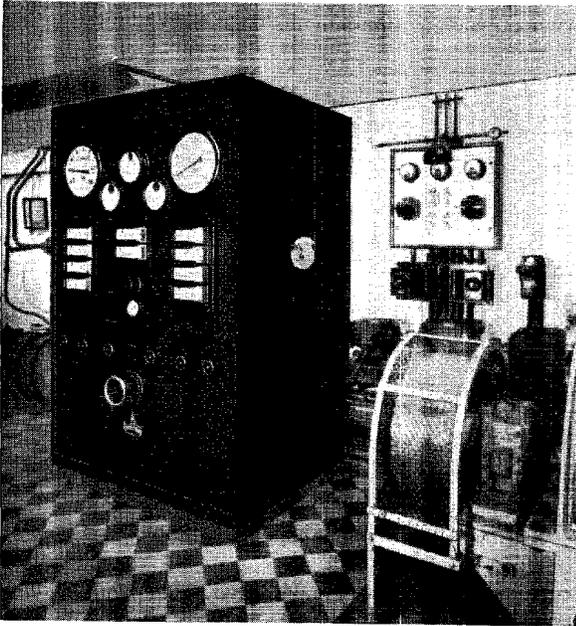


Abb. 13: Mef- und Regelschrank für Hochdruckteilrohrkessel

Dagegen soll die Einstellung und Überwachung des Reglers von der Mefwarte aus möglich sein. Dampfdruck, anteilige Lastaufnahme und  $\text{CO}_2$ -Gehalt sollen Feineinstellung erhalten in ähnlicher Weise, wie ja auch der Drehzahlregler jeder Turbine mit Feineinstellung ausgerüstet wird. Diese Feineinstellung wird man wohl immer elektrisch ausführen; ob man dagegen die Regler selbst besser elektrisch oder hydraulisch (Öl) arbeiten läßt, kann nur an Hand von langen Betriebserfahrungen entschieden werden. Bei der Dampfturbine hat sich bis jetzt die Ölsteuerung überlegen gezeigt.

Im Rahmen dieses Vortrages habe ich einige Fragen, wie z. B. die Speisewasserregelung, nur streifen können, obgleich deren Klärung recht dringend zu werden scheint. Ebenso habe ich nur wenig über den Einfluß der Feuerungsart auf die Kesselentwicklung sagen können.

Beim Übergang zu Kesseln mit geringer Speicherkapazität muß man die Feuerung nicht nur nach der Brennstoffbeschaffenheit, sondern auch mit Rücksicht auf den Verwendungszweck, also auf die dampfseitige Beanspruchung, planen und bemessen. Man wird grundsätzlich unterscheiden müssen

Kessel, die nur eine von der Feuerungsseite her gegebene Grundlast fahren sollen, und

Kessel, die den Dampfdruck halten, also der jeweiligen Dampflast folgen sollen.

Das gleiche Problem ist bei den Kraftmaschinen der E-Werke vorhanden: Maschinen, die Grundlast fahren, und Maschinen, die die Frequenz halten sollen. Im ersten Fall braucht die Maschine keinen Drehzahlregler, im zweiten ist sie ohne Regler nicht zu betreiben. Im E-Betrieb verlangt man, daß nollfalls jede Maschine Frequenz fahren kann und gibt deshalb jeder Turbine einen Drehzahlregler. Beim Dampfkessel braucht man nicht so weit zu gehen, man muß sich nur darüber klar sein, daß gewisse Arten von Kesseln nur zum Grundlastfahren geeignet sind, daß sie aber zur Druckhaltung — ohne Zuschaltung von Kesseln mit guten Regeleigenschaften — nicht zu brauchen sind.

Man kann nun durch Zuschaltung von Speichern auch schlecht regelbare Kessel zur Druckhaltung brauchbar machen, wenn man die Speicher entsprechend dem Lastgradienten, d. i. die Änderungsgeschwindigkeit

der Last, laden oder entladen läßt. Man kommt dann unter Umständen mit sehr kleinen Speichern aus, da man ja bei diesen Speichern das nutzbare Gefälle sehr viel größer machen kann, als dies bei der Speicherung von siedendem Wasser im Kessel der Fall ist. Es würde jedoch den Rahmen dieses Vortrages weit überschreiten, wenn ich darauf näher eingehen wollte.

Es liegt mir nur daran, auf diese kommenden Dinge, deren Probleme und Lösungsmöglichkeiten hinzuweisen. Die bisher geleisteten Vorarbeiten werden dabei sicher gute Dienste tun.

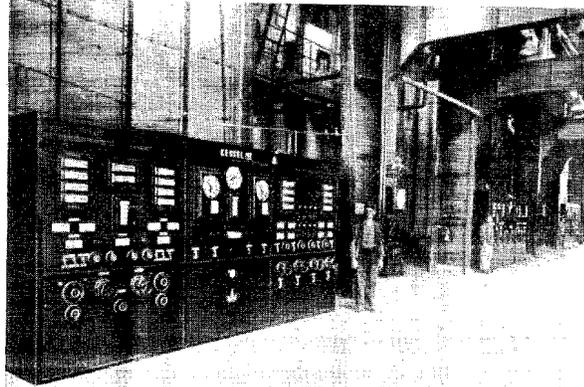


Abb. 14: Mef- und Regelschrank für KSG-90-I-Strahlungskessel mit Mühlenfeuerung

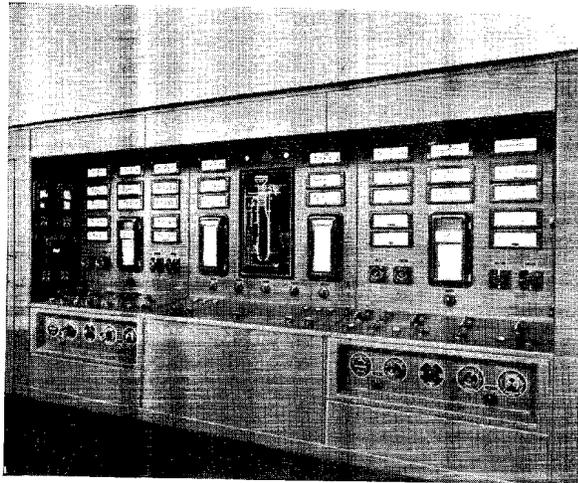


Abb. 15: Ueberwachungs- und Regeltafel für 2 Hochdruckkessel

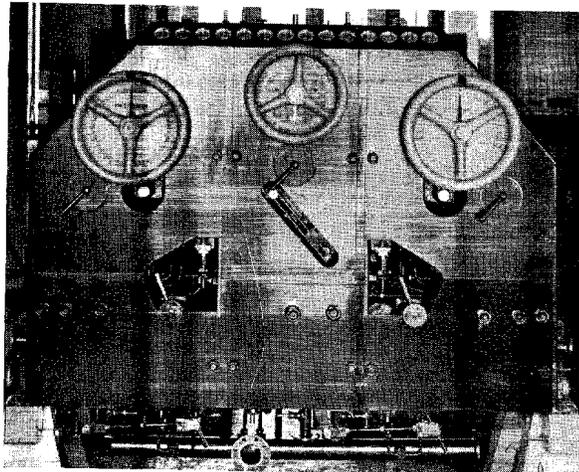


Abb. 16: Regelschrank für 2 HD.-Schiffskessel



RESTRICTED

# Das Verhalten der selbsttätigen Regler

Von G. Wunsch VDI, Berlin-Friedenau<sup>1)</sup>

An Hand von Modellen wird gezeigt, daß das Verhalten der meisten technischen Regelstrecken durch „Anlaufzeit“ und „Ausgleichgrad“ eindeutig festgelegt werden kann. Durch Aufschalten von Reglern verschiedener Bauarten und durch Zustandsschriebe wird gezeigt, welche Reglerbauarten sich für die verschiedenen Regelstrecken eignen. Mittels einfacher Näherungsformeln lassen sich das Verhalten und die Eignung eines Reglers bestimmter Bauart an einer beliebigen Regelstrecke mit ausreichender Genauigkeit voraussagen.

Das regeltechnische Verhalten<sup>2)</sup> jeder Regelstrecke ist jeweils durch zwei Größen gekennzeichnet, die Anlaufzeit  $T_a$  und den Ausgleichgrad  $\varrho$ . Die Bedeutung der beiden Größen ergibt sich von selbst aus der Art der Messung. Bild 1 zeigt eine Druckregelstrecke, die z. B. mit Druckluft von 200 mm WS betrieben wird. Der Solldruck ist zu 100 mm WS festgelegt, das Eingangsdruckgefälle beträgt also 100 mm, genau so wie das Austrittsdruckgefälle. Zu- und Abflußquerschnitte werden durch Regelventile  $a, b$  gebildet, deren Durchlaßquer-

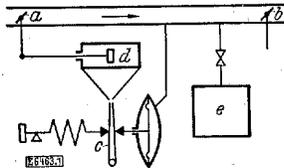


Bild 1. Druckregelstrecke.  
a Zuflußventil  
b von Hand einstellbares Abflußventil  
c Kraftschalter [flußventil  
d Stellmotor  
e Zusatzvolumen zur Darstellung einer Regelstrecke mit größerer Anlaufzeit

schnitt geeicht und in Zahlenwerten aufgetragen ist. Die Ventilstellung 100 soll bei den folgenden Ausführungen die größte Belastung der Regelstrecke bedeuten. Das Zuflußventil  $a$  wird vom Kraftschalter  $c$  bedient, das Abflußventil  $b$  ist von Hand beliebig einstellbar. Verringert man bei abgeschaltetem Regler  $c$  den Zufluß plötzlich auf null, so wird der Druck nach einer  $e$ -Funktion abklingen, Bild 2, da der Abflußquerschnitt ungeändert bleibt.

## Anlaufzeit

Die Anlaufzeit  $T_a$  ist das Verhältnis des durch eine Störung verursachten Unterschieds zwischen Zufluß und Abfluß zu der Geschwindigkeit der hierdurch bewirkten Änderung der Regelgröße. Sie ist gleichbedeutend mit dem Tangens des Neigungswinkels  $\alpha$  zu Beginn der Abklingkurve. In Bild 2 ist die Anlaufzeit  $T_a = 3$  s.

## Ausgleichgrad

Die zweite kennzeichnende Größe, der Ausgleichgrad  $\varrho$ , bedeutet eine Abhängigkeit des Meßwertes von der Stellung des Regelgliedes. Der Ausgleichgrad ist das Verhältnis des durch eine Störung verursachten Unterschieds zwischen Zufluß und Abfluß zu der durch den Ausgleich dieser Störung bewirkten Änderung des Zustandes der Regelstrecke. Bei einer Vermehrung des Zuflusses, würde der Meßwert (Druck) nicht dauernd weitersteigen, wie z. B. bei der Wasserstandsregelung von Dampfkesseln<sup>3)</sup>, sondern die Regelstrecke strebt einem neuen Gleichgewicht zu.

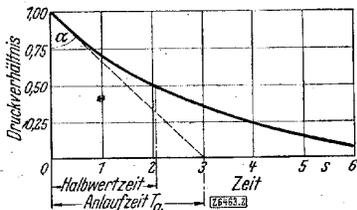


Bild 2. Druckverlauf in der Regelstrecke nach Bild 1 bei plötzlicher Zuflußabspernung.

Verstellt man am Vorführungsmodell das Zuflußventil  $a$  um 10 % über normal, so steigt der Druck von 100 auf 110 mm WS an. Eine Verstellung des Zuflußventils um 10 % unter normal ergibt ein neues Gleichgewicht bei 90 mm WS. Die Prozentzahlverstellung des Regelgliedes  $a$ , die erforderlich ist, um den Meßwert um 1 % zu ändern, ist gleichbedeutend mit dem Ausgleichgrad. Im vorliegenden Falle ist demnach der Ausgleichgrad  $\varrho = 1$ .

Mit den beiden Werten  $T_a = 3$  und  $\varrho = 1$  ist das Verhalten der Regelstrecke eindeutig gekennzeichnet. Entsprechende Werte gibt es für fast alle technischen Regelstrecken, ganz gleichgültig, ob es sich um Druck-, Mengen-, Drehzahl- oder Temperaturregelung handelt.

In Bild 1 ist an die Regelstrecke ein Strahlrohrregler  $c$  angeschlossen, der den Druck selbsttätig gleichbleibend halten soll, bei dem die Geschwindigkeit des Stellmotors  $d$  vom Regelunterschied  $\varphi$ , gleich dem Verhältnis des Unterschieds zwischen Sollwert und Istwert zum Sollwert, abhängig ist. Es ist aber grundsätzlich gleich, ob der Regler  $c$  elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch arbeitet und in welcher Weise die Hilfskraft eingeschaltet ist. Es ist auch gleichgültig, ob der Regler mit oder ohne Hilfskraft arbeitet.

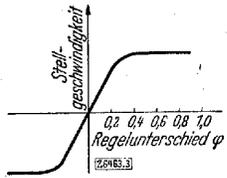


Bild 3. Kennlinie der Stellgeschwindigkeit.

## Stellzeit

Für das dynamische Verhalten des Reglers ist nur eine Größe, die Stellzeit  $T_s$ , kennzeichnend, und das ist die Steilheit der Geschwindigkeitskurve des Stellmotors in Abhängigkeit von  $\varphi$ , Bild 3. Diese Steilheit wird ermittelt, indem der Regler, der auf einen Sollwert von 100 mm WS eingestellt ist, mit einer Abweichung belastet wird. Der Regler wird dazu an eine Eichwaage geschaltet und der Druck von 100 auf 90 mm WS herabgesetzt, entsprechend einem Regelunterschied  $\varphi = 0,1$ . Der Stellmotor setzt sich in Bewegung. Die Zeit zum Durchlaufen der Strecke 90 bis 110, am Stellungszeiger des Regelorgans  $a$ , Bild 1, gemessen, beträgt z. B.

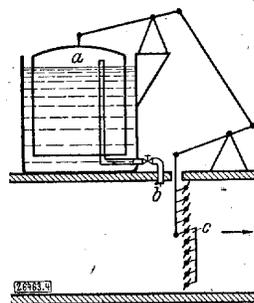


Bild 4. Druckregler ohne Hilfskraft.  
a Tauchglocke b Zuflußrohr c Klappen

5 s; auf den Wert 100 umgerechnet würde das 25 s ergeben. Das gilt für eine Abweichung von 10 %. Ein Maß für die Steilheit der Regelkurve erhält man durch Umrechnung auf 100 % Abweichung. Der Stellmotor würde dann (theoretisch) zehnmal schneller laufen, und es ergäbe sich dann eine Stellzeit  $T_s$  von 2,5 s. Wie schon vorher gesagt, gilt dies auch für Regler ohne Hilfskraft, Bild 4. Wenn die Tauchglocke  $a$  des einfachen Druckreglers gut ausgeglichen ist, so daß sie also in allen Stellungen bei dem Sollwert 100 mm WS im Gleichgewicht wäre, so würde das Verhalten des Reglers nur durch die Drosselung im Zuflußrohr  $b$ , also eben durch die Stellzeit, bedingt sein.

<sup>1)</sup> Umgearbeitete Fassung eines Experimentalvortrages vor dem VDI-Fachauschuß für Regelungstechnik.

<sup>2)</sup> Über den geräte-technischen Aufbau des Reglers vgl. W. Oppelt: Z. VDI Bd. 85 (1941) Nr. 8 S. 191/94.

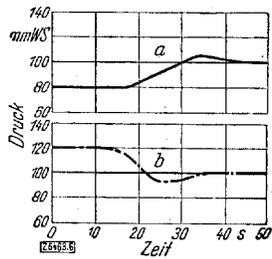
<sup>3)</sup> G. Wunsch: Z. VDI Bd. 85 (1941) Nr. 4 S. 89/93 u. Techn. Mitt. Essen Bd. 31 (1938) S. 580/85.

Daneben ist noch ein anderer Wert von Bedeutung, und zwar die *Schluszeit*, d. h. die kürzeste Zeit, in der der Stellmotor seinen vollen Hub zu durchlaufen imstande ist. Dieser Wert ist aber nicht für die Stabilität des Reglers maßgeblich, sondern nur dafür, welcher Störgeschwindigkeit der Regler zu folgen imstande ist. Bei den meisten Reglerbauarten mit Hilfskraft ist die Stellgeschwindigkeit des Stellmotors nur bis zum Regelunterschied  $\varphi$  von etwa 5 bis 20 % dem Regelunterschied verhältnisgleich, darüber hinaus bleibt sie unverändert, Bild 3.

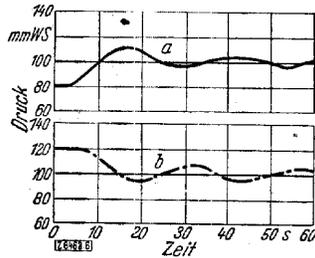
**Regler mit stetig veränderlicher Stellgeschwindigkeit**

**Regelstrecke mit mittlerer Anlaufzeit**

Nunmehr schalten wir den Regler *c*, Bild 1, dessen Stellzeit wir eben mit 2,5 s vermessen haben, auf die Regelstrecke und beobachten, wie nach einer Störung der Sollwert wieder hergestellt wird. Störungen kann man



**Bild 5.** Bei Vollast (Belastungsgrad  $\beta = 1$ ).



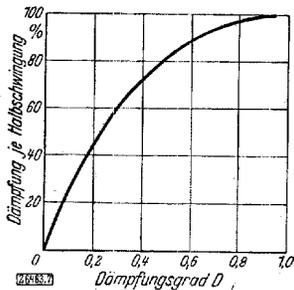
**Bild 6.** Bei Viertellast ( $\beta = 0,25$ ).

**Bild 5 und 6.** Einschwingvorgang bei mittlerer Anlaufzeit ( $T_a = 3$  s).

Ausgleichsgrad  $\varrho = 1$ , Stellzeit  $T_s = 2,5$  s  
*a* bei Drucksenkung *b* bei Druckerhöhung

einmal hervorrufen durch Verändern der Last, also Verstellen des Abflußventils *b*, oder durch Verändern der Solldruckhöhe. Die letzte Art ist wirksamer und aufschlußreicher, denn dabei muß die Regelung zum Erreichen der neuen Sollhöhe mit voller Stärke arbeiten und die Störung beim Erreichen der Solldruckhöhe abfangen.

Wir senken jetzt durch Eingriff in den Regler den Druck auf 80 mm ab und lassen ihn dann einspielen, Kurve *a* in Bild 5. Darauf erhöhen wir den Druck bis auf 120 mm und lassen den Regler wieder einschwngen, Kurve *b*. Man sieht, daß der Regler die Störung mit einer einzigen Überschwingung beseitigt. Daraufhin verändern wir die Last, die jetzt 100 % war, der ein Belastungsgrad  $\beta = 1$  entspricht, durch Verstellen des Austrittsquerschnitts auf 25 % ( $\beta = 0,25$ ), erhöhen den Druck wieder um 20 % und lassen einschwngen. Dasselbe wiederholen wir durch Absenken des Druckes auf 80 mm. Der Regler vollführt jetzt eine ganze Reihe von Schwingungen, Kurven *a*, *b* in Bild 6, ehe er wieder ins Gleichgewicht kommt. Die Schwingungsdämpfung ist schlecht. Die Regelstabilität ist offenbar stark von dem Belastungsgrad  $\beta$  abhängig.



**Bild 7.** Rückgang der Ausschläge in Abhängigkeit vom Dämpfungsgrad *D*.

Aufschluß über die inneren Zusammenhänge gibt die Formel des dimensionslosen Dämpfungsgrades

$$D = \frac{\beta \varrho T_s}{2 \sqrt{T_s T_a}} \dots \dots \dots (1).$$

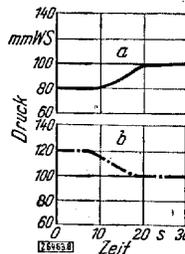
Der Ausdruck im Nenner, multipliziert mit  $\pi$ , bedeutet die Schwingungsdauer des Reglers

$$T = 2\pi \sqrt{T_s T_a}$$

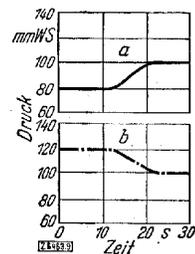
Wenn wir nun die vorher gemessenen Werte einsetzen, so ergibt sich ein Dämpfungsgrad für Vollast ( $\beta = 1$ ) von  $D = 0,45$ , bei Viertellast ( $\beta = 0,25$ ) von  $D = 0,11$ . Aus dem Wert von *D* ergibt sich der Rückgang der Ausschläge je Halbschwingung aus Bild 7<sup>a</sup>). In Übereinstimmung mit Kurve *b* in Bild 6 ist die Dämpfung bei kleiner Last unzureichend. Man sieht aus Gl. (1), daß die Dämpfung durch Vergrößerung von  $T_s$  verbessert werden kann. Das ist zu einem gewissen Grade möglich durch Verwendung eines Kurbeltriebes, der die Bewegung des Regelgliedes in der Nähe der Schließstellung verlangsamt. Im großen ganzen ist aber die Regelung dieser Strecke mit  $T_a = 3$  s nicht als gut anzusprechen. Anlaufzeiten<sup>b</sup>) dieser Größe kommen bei Druckregelungen selten vor. Man findet sie vielleicht bei der Regelung von Gaserzeugern, bei denen großräumige Reinigungsanlagen und große Wassertassen vorhanden sind. Meistens ist dann aber auch die Störgeschwindigkeit verhältnismäßig klein, so daß man mit langen Stellzeiten arbeiten kann. Nur unter besonders ungünstigen Umständen wird man zusätzliche Dämpfungseinrichtungen anwenden müssen.

**Regelstrecke mit kleiner Anlaufzeit**

Wir schalten nunmehr durch Abstellen des Zusatzvolumens *e*, Bild 1, eine andere Regelstrecke ein mit einer Anlaufzeit  $T_a \approx 0,05$  s. Der Ausgleichgrad bleibt  $\varrho = 1$ . Regelstrecken dieser Art umfassen fast das gesamte Gebiet der Mengen- und Druckregler. Nach Gl. (1) ist zu erwarten, daß die Dämpfung besser wird, da die Anlaufzeit viel kleiner ist. Der Regler spielt nach jeder Störung ohne Überschwingung in den neuen Zustand ein, und zwar sowohl bei Vollast, Bild 8, als bei Viertellast, Bild 9. Man



**Bild 8.** Bei Vollast (Belastungsgrad  $\beta = 1$ ).



**Bild 9.** Bei Viertellast ( $\beta = 0,25$ ).

**Bild 8 und 9.** Einschwingvorgang bei kleiner Anlaufzeit ( $T_a = 0,05$  s).

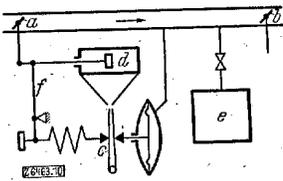
Ausgleichsgrad  $\varrho = 1$  Stellzeit  $T_s = 2,5$  s  
*a* bei Drucksenkung *b* bei Druckerhöhung

könnte hier, falls es der Betrieb erfordert, noch mit erheblich kürzeren Stellzeiten  $T_s$ , also mit einer viel schnelleren Regelung arbeiten, ohne die Stabilität zu gefährden. Daraus geht hervor, daß bei fast allen Druck- und Mengenreglern ohne zusätzliche Dämpfungseinrichtungen eine einwandfreie Regelung auf gleichbleibenden Meßwert erreichbar ist. Die Dämpfung liegt hier in der Regelstrecke und wird durch den Selbstausgleich bewirkt. Der Maßstab für die Beurteilung des Selbstausgleichs ist der Ausgleichgrad  $\varrho$ . Es ist deshalb müßig, wenn bei solchen Regelstrecken Arbeit auf das Finden von besseren Dämpfungseinrichtungen verschwendet wird. Die weitverbreitete Ansicht<sup>c</sup>), daß eine stabile Regelung nur mit einer „statischen Kennlinie“, d. h. mit sinkendem Regelwert bei steigender Last, zu erzielen sei, ist irrig. Man kann durchaus den Regelwert mit wachsender Last ansteigen lassen, ohne die Regelstabilität zu gefährden,

<sup>a</sup>) Von dem errechneten Wert von *D* ist noch ein Betrag von  $\approx 0,1$  abzuziehen für die unvermeidlichen Störungen durch Impulsverzögerungen, Reibungen, Massenwirkungen usw. Vgl. a. Arch. Eisenhüttenw. Bd. 7 (1933/34) S. 402.

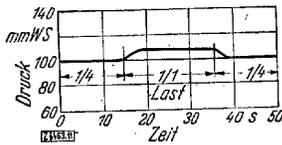
<sup>b</sup>) G. Wünsch: Regler für Druck und Menge. München u. Berlin 1930, S. 73/74; ders. Z. VDI Bd. 81 (1937) S. 1057/64.

<sup>c</sup>) Vgl. a. Th. Stein: Regelung und Ausgleich in Dampfanlagen. Berlin 1926, S. 64.



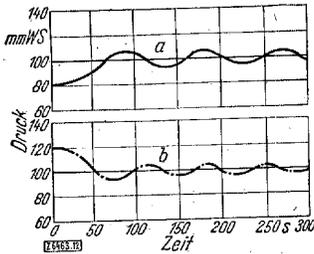
**Bild 10.** Reglerschaltung mit steigendem Druck bei steigender Last.

a bis e s. Erläuterung zu Bild 1  
f Rückführung (mit negativer Wirkung)



**Bild 11.** Einschwingvorgang bei der Reglerschaltung nach Bild 10 bei plötzlichem Lastwechsel zwischen  $\beta = 0,25$  und 1.

Anlaufzeit  $T_a = 0,05$  s  
Ausgleichgrad  $\varrho = 1$   
Stellzeit  $T_s = 2,5$  s  
Ungleichförmigkeitsgrad  $\delta = -0,1$



**Bild 12.** Einschwingvorgang bei großer Anlaufzeit ( $T_a = 100$  s).

Ausgleichgrad  $\varrho = 1$   
Stellzeit  $T_s = 2,5$  s  
a Vollast ( $\beta = 1$ ), Drucksenkung  
b Viertellast ( $\beta = 0,25$ ), Druckerhöhung

**Bild 10.** Der Regler schwingt bei Vollast und auch noch bei Viertellast vollkommen stabil ein, Bild 11. Bei einem Regler ohne Hilfskraft würde sich das gleiche Ergebnis erzielen lassen durch ein Kippgewicht, das bei höherem Austausch der Glocke diese entlastet. Durch Verschieben des Gewichtes könnte man also nach Belieben eine abfallende, eine gleichbleibende oder auch eine ansteigende Kennlinie erzielen. Die Stabilität wird, wie gesagt, durch die Form der Kennlinie nicht wesentlich beeinflusst.

**Regelstrecke mit großer Anlaufzeit**

Das Gebiet von etwa 3 bis 30 s Anlaufzeit ist in der Technik kaum vorhanden. Erst in dem Gebiet von 30 bis etwa 300 s gibt es wieder zahlreiche Beispiele. In dieses Gebiet fallen fast alle Regelstrecken von Drehzahlreglern, und auch die Anlaufzeit von modernen Hochdruckkesseln reicht bis in diese Größenklasse hinunter. Bei einer Anlaufzeit von 100 s und einer Stellzeit von 2,5 s klingen die Schwingungen nur sehr langsam ab, Bild 12, da die Dämpfung ( $D = 0,08$  für  $\beta = 1$ , Kurve a, bzw.  $D = 0,02$  für  $\beta = 0,25$ , Kurve b) ungenügend ist. Eine noch größere Stellzeit wird man schwerlich anwenden können, schon der Wert  $T_s = 2,5$  s erscheint so hoch, daß er z. B. für Drehzahlregler von Dampfturbinen nicht mehr tragbar ist.

Der Betriebsmann, der sieht, daß die natürliche Dämpfung der Regelstrecke (Ausgleichgrad) nicht mehr ausreicht, wird

nun auf den Gedanken kommen, eine künstliche Dämpfung hinzuzunehmen, er wird also eine Rückführung  $f$  anbauen, Bild 13. Die Rückführung bedeutet eine Koppelung des Meßwertes mit der Stellung des Regelventils a derart, daß bei geöffnetem Regelventil der Sollwert erniedrigt wird. In Bild 13 ist die Rückführung  $f$  wie bei Drehzahlreglern üblich gewählt. Der Ungleichförmigkeitsgrad, also der Rückgang des Meßwertes zwischen Null- und Vollast, beträgt jetzt  $\delta = 0,04$ . Überraschenderweise zeigen die Einschwingkurven, Bild 14, daß die Dämpfung wohl etwas besser geworden, jedoch noch durchaus ungenügend ist. Der Grund für dieses Versagen ist aus dem Bau der Dämpfungsformel<sup>7)</sup> erkennbar.

$$D = \frac{\beta \varrho}{2} \sqrt{\frac{T_s}{T_a}} + \frac{\delta}{2} \sqrt{\frac{T_a}{T_s}} \dots \dots (2).$$

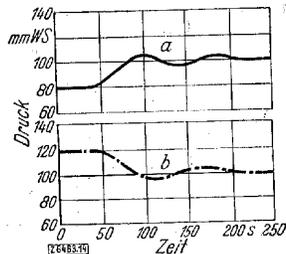
Der Dämpfungsgrad wird mit den Zahlenwerten des Beispiels, Bild 14,  $D = 0,207$ . Man sieht, daß der Ausgleichgrad  $\varrho$  in Verbindung mit großer Stellzeit  $T_s$  wirksam wird, während die Wirkung der Rückführung mit kleiner werdender Stellzeit anwächst.

Man kann zwar die Stellzeit so wählen, daß sowohl Ausgleichgrad wie Rückführung in annähernd gleichem Maße dämpfend wirken, dann ist jedoch die Gesamtwirkung immer noch unzulänglich. Macht man nun die Stellzeit sehr kurz, so muß man zwar auf die Dämpfung durch den Ausgleichgrad praktisch verzichten, dafür wird aber die Dämpfung durch die Rückführung so groß, daß sie allein sehr viel stärker wirkt als vorher beide zusammen. Hier liegt nun die Schwierigkeit für den Betriebsmann, der versucht, durch Ausnutzung der Einstellmöglichkeiten einen Regler einem bestimmten Verwendungszweck anzupassen. Der Übergang von langer auf kurze Stellzeit ist nämlich bei den meisten Reglern nicht oder nur in unzureichendem Maße möglich. Da ein Regler für eine bestimmte Verstellkraft am Stellmotor ausgelegt wird, so kann er leistungsmäßig viel kleiner bemessen werden, wenn die Stellzeit lang ist — der volle Hub des Stellmotors also nur in vielleicht 20 s durchlaufen zu werden braucht —, als wenn dies bereits innerhalb 2 s erfolgen muß, wie es zur wirksamen Ausnutzung der Dämpfung durch Rückführung erforderlich wäre. Die Leistungen der Drehzahlregler an Dampfturbinen u. dgl. sind deshalb gemeinhin um mehr als eine Größenordnung höher als die der üblichen Druck- und Mengenregler. Man kann also nicht ohne weiteres von der einen Dämpfungsart auf die andere umschalten, sondern man muß sich vorher überlegen, welche Reglerbauart voraussichtlich für den beabsichtigten Verwendungszweck geeignet ist. Die Dämpfungsformeln (1) und (2) geben dafür einen ausreichenden Anhalt.

Bei unserer Regelstrecke wollen wir nun auf einen Regler mit größerem Arbeitsvermögen und einer Stellzeit von 0,14 s umschalten. Die Rückführung ist die gleiche geblieben,  $\delta = 0,04$ . Wir leiten wieder eine Störung ein und sehen, daß der Regler jetzt nahezu aperiodisch einschwingt, Kurve b in Bild 15. Auch bei Viertellast ist das Einschwingen annähernd gleich gut, Kurve a. Gl. (2) ergibt mit dieser Stellzeit einen Dämpfungsgrad  $D$  von 0,555. Die Regelung ist als durchaus gut zu bezeichnen, allerdings ist der Regelwert jetzt nicht mehr gleichbleibend, sondern von der Last abhängig. Durch eine nachgiebige Rückführung läßt sich das bis zu einem gewissen Grade beheben, so daß dann also auch mit Stellungsrückführung eine Gleichwertregelung erreicht werden kann.

Noch größere Anlaufzeiten als auf dem Gebiet der Drehzahlregler gibt es auf dem Gebiet der Temperaturregelung. Technische Öfen haben Anlaufzeiten<sup>8)</sup> zwischen 500 und 5000 s; auch bei Raumtemperaturreglern (Klimahelzungen) werden Anlaufzeiten von der Größenordnung 1000 s gemessen. Nach den bisherigen Versuchsergeb-

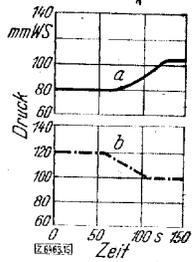
<sup>7)</sup> Näherungsformel, die jedoch für Überschlagsrechnungen vollaufgenügt.  
<sup>8)</sup> G. Jungnitz: Arch. Eisenhüttenw. Bd. 8 (1934/35) S. 376.



**Bild 14.** Einschwingvorgang bei großer Stellzeit ( $T_s = 2,5$  s) mit Rückführung nach Bild 13.

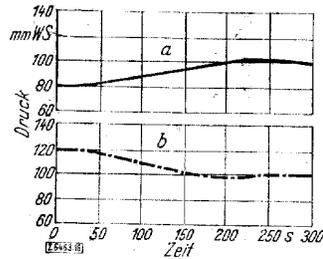
Ausgleichgrad  $\varrho = 1$   
Anlaufzeit  $T_a = 100$  s  
Ungleichförmigkeitsgrad  $\delta = 0,04$   
Vollast (Belastungsgrad  $\beta = 1$ )  
a bei Drucksenkung  
b bei Druckerhöhung

REST



**Bild 15.** Einschwingvorgang bei kleiner Stellzeit ( $T_s = 0,14$  s) mit Rückführung nach Bild 13.

Ausgleichgrad  $\rho = 1$   
 Anlaufzeit  $T_a = 100$  s  
 Ungleichförmigkeitsgrad  $\delta = 0,04$   
 a bei Drucksenkung,  
 Belastungsgrad  $\beta = 0,25$   
 b bei Druckerhöhung,  $\beta = 1$



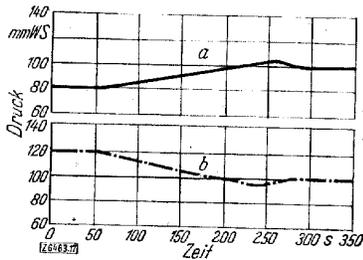
**Bild 16.** Einschwingvorgang bei sehr großer Anlaufzeit ( $T_a = 800$  s) mit Rückführung nach Bild 13.

Ausgleichgrad  $\rho = 6$   
 Stellzeit  $T_s = 0,14$  s  
 Ungleichförmigkeitsgrad  $\delta = 0,04$ , Vollast ( $\beta = 1$ )  
 a bei Drucksenkung  
 b bei Druckerhöhung

nissen ist anzunehmen, daß bei diesen sehr langen Anlaufzeiten nur Regler mit zusätzlicher Dämpfung in Frage kommen. In der Tat ergibt der Regler mit Stellungsrückführung und kurzer Stellzeit, den wir eben benutzt haben, auch an der Regelstrecke von  $T_a = 800$  s eine sehr gute Regelstabilität, Bild 16. Nach einer Störung stellt sich der Meßwert praktisch aperiodisch wieder ein.

**Regler mit großer Stellzeit**

Wir wollen nun aber einmal versuchsweise einen einfachen, ungedämpften Regler einschalten, und zwar mit einer Stellzeit von 9 s. Im Hinblick auf die bei den vorigen Ausführungen angestellten Dämpfungsrechnungen wäre an-



**Bild 17.** Einschwingvorgang bei sehr großer Anlaufzeit ( $T_a = 800$  s) ohne Rückführung.

Ausgleichgrad  $\rho = 6$ , Stellzeit  $T_s = 9$  s, Vollast ( $\beta = 1$ )

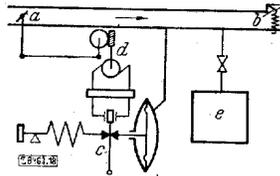
zunehmen, daß der Regler aus dem Schwingen nicht herauskommt. Überraschenderweise zeigt aber Bild 17, daß die Dämpfung verhältnismäßig gut ist und daß man einen Ofen durchaus mit einem solchen einfachen Regler fahren kann. Wie ist das zu erklären? Die meisten technischen Öfen arbeiten ziemlich nahe an der obersten erreichbaren Temperaturgrenze. Auch bei voll geöffneter Beheizung würde die Temperatur nur um vielleicht 10 bis 20 % über den Betriebswert ansteigen. Man braucht dann also eine verhältnismäßig große Verstellung des Regelgliedes, um die Temperatur um 1 % zu erhöhen. Das ist aber gleichbedeutend mit einem großen Ausgleichgrad, der am Modell durch ein federbelastetes Auslaßventil b, Bild 1, erreicht wird. Ist dieses, wie im Falle von Bild 16 und 17, so abgestimmt, daß das Zuflußventil um ungefähr 6 % verstellt werden muß, wenn sich der Meßwert um 1 % ändern soll, so ist der Ausgleichgrad  $\rho = 6$ . Nun zeigt die Rechnung für das Beispiel von Bild 17 ( $D = 0,32$ ), daß infolge des großen Ausgleichgrades auch bei derart langen Anlaufzeiten die Dämpfung der Regelstrecke allein für eine stabile Regelung ausreicht.

Zusammenfassend ergibt sich, daß man für kleine Anlaufzeiten, umfassend hauptsächlich das Gebiet der

Druck- und Mengenregler, mit einfachen Reglern auskommt. Für mittlere Anlaufzeiten, die hauptsächlich das Gebiet der Drehzahlregler umfassen, braucht man Regler mit zusätzlicher Dämpfung und großem Arbeitsvermögen. Für lange Anlaufzeiten, hauptsächlich im Gebiet der Regelung von Industrieöfen, sind manchmal zusätzliche Dämpfungen erforderlich; vielfach kommt man jedoch auch mit einfachen Reglern aus. Man sieht, daß es durchaus zweckmäßig erscheint, bei der Planung einer Regelung die kennzeichnenden Eigenschaften der Regelstrecke — Anlaufzeit und Ausgleichgrad — abzuschätzen und an Hand der Dämpfungsformel das voraussichtliche Verhalten eines Reglers zu ermitteln.

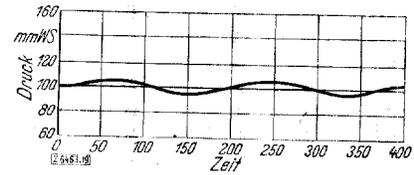
**Regler mit gleichbleibender Stellgeschwindigkeit**

Bild 18 zeigt die Arbeitsweise eines Reglers mit gleichbleibender Stellgeschwindigkeit, der eine schlechte Stabilität besitzt, Bild 19. Das Regelventil pendelt bis fast in seine Grenzlagen hin und her. In Bild 20 ist für einen der vorher behandelten Regler die Stellgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Regelunterschied  $\varphi$  aufgetragen. Die Stellzeit  $T_s$  ist um so kleiner, je steiler die Geschwindigkeitskurve verläuft. Wie bereits erörtert, gibt es für jeden Regler ohne zusätzliche Dämpfung eine bestimmte Stellzeit, bei der die Stabilität null wird. Kurve b möge die entsprechende Stellgeschwindigkeit darstellen. Bei größeren Stellzeiten, Kurve c, wird die Regelung stabil, bei geringeren, Kurve a, schwingt der Regler. Ein Regler, der bei kleinstem Regelunterschied nach Plus oder Minus eine gleichbleibende Stellgeschwindigkeit nach der einen oder anderen Richtung einschaltet, Kurve d, wird nur insoweit im stabilen Gebiet arbeiten, als der Regelunterschied  $\varphi$  innerhalb der schraffierten Fläche



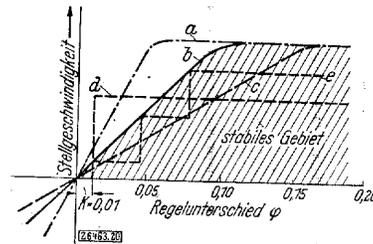
**Bild 18.** Regler mit gleichbleibender Stellgeschwindigkeit.

a bis e s. Erläuterung zu Bild 1.



**Bild 19.** Einschwingvorgang des Reglers nach Bild 18.

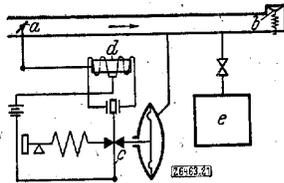
Ausgleichgrad  $\rho = 6$   
 Anlaufzeit  $T_a = 800$  s  
 Stellzeit  $T_s = 9$  s, Vollast ( $\beta = 1$ )



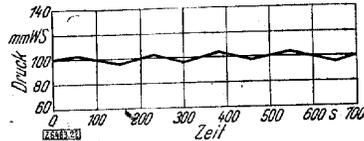
**Bild 20.** Regelstabilität bei verschiedenen Stellgeschwindigkeiten.

Bei kleiner Stellzeit  $T_s$ , Kurve a, bei mittlerer, Kurve b, bei großer, Kurve c, bei gleichbleibender, Kurve d, und bei Stellzeit in drei Stufen, Kurve e  
 K Kontaktabstand

liegt. Bei kleinerem Regelunterschied kommt er dagegen ins instabile Gebiet; er wird sich also um so weiter aufschaukeln müssen, je größer die Stellgeschwindigkeit, also je kürzer die Stellzeit  $T_s$  gewählt worden ist. Er kann überhaupt nur zur Ruhe kommen, wenn die Stellbewegung erst bei einer gewissen Abweichung eingeschaltet wird, wenn also ein endlicher Kontaktabstand eingehalten wird. Wird der Schaltkontakt bei Annäherung an den Sollzustand gelöst, Bild 18, so hört zwar die Stellbewegung

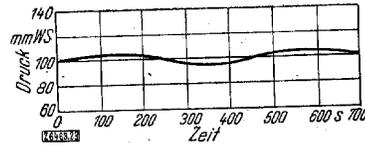


**Bild 21. Auf-Zu-Regler.**  
a bis e s. Erläuterung zu Bild 1



**Bild 22. Einschwingvorgang des Reglers nach Bild 21.**

Ausgleichgrad  $\varrho = 6$   
Anlaufzeit  $T_a = 800$  s  
Stellzeit  $T_s = 9$  s  
Regelunterschied  $\varphi = 0,02$



**Bild 23. Einschwingvorgang des Reglers eines Ofens nach Bild 21 mit Heizleistung im Nebenstrom**

Ausgleichgrad  $\varrho = 6$       Stellzeit  $T_s = 9$  s  
Anlaufzeit  $T_a = 800$  s      Regelunterschied  $\varphi = 0,02$

auf, der geregelte Zustand wird sich aber entsprechend der Größe der Anlaufzeit noch weiter ändern. Dadurch wird dann der Gegenkontakt erreicht, und das Regelspiel beginnt von neuem. Wenn die Regelung innerhalb des Kontaktabstandes zur Ruhe kommen soll, so muß für den Kontaktabstand  $K$  die Bedingung

$$K \geq \frac{T_a}{\varrho T_s} \dots \dots \dots (3)$$

erfüllt sein. Daraus läßt sich für jeden geforderten Kontaktabstand und jede Regelstrecke die erforderliche Stellzeit berechnen. In unserem Beispiel, Bild 19, ergibt sich, wenn der Kontaktabstand  $\pm 1\%$ , also  $K = 0,02$ , betragen soll,

$$T_s = 6700 \text{ s.}$$

Man sieht, daß dieser Wert viel zu hoch liegt, als daß er praktisch verwirklicht werden könnte. Der Regler würde eintretende Störungen überhaupt nicht herausregeln können. Man kann solche Regler also nur bei mittleren Stellzeiten einsetzen, und auch nur da, wo die Störgeschwindigkeit sehr gering ist, so daß man also mit langen Stellzeiten auskommt. Bei elektrischen Reglern, z. B. Fallbügelreglern, kann man große Stellzeiten durch kurze Einschaltzeiten und lange Pausen erzielen, bei hydraulischen Reglern durch Drosselung der Zuflußleitung.

Größere Störgeschwindigkeiten kann man auch mit Reglern beherrschen, die verschiedene Geschwindigkeitsstufen des Stellmotors einschalten. Die Abstufung muß dann aber so vorgenommen werden, daß die Geschwindigkeitskurve  $e$  innerhalb des stabilen Gebietes von Bild 20 zu liegen kommt. In der Rechnung kann man solche Bauarten wie Regler mit stetig veränderlicher Stellgeschwin-

digkeit behandeln. Die mittlere zulässige Stellgeschwindigkeit ist bei Stufenreglern natürlich immer etwas geringer, da die Ersatzkurve  $b$ , die einem Regler mit stetiger Veränderung entspricht, durch die Spitzen der Treppenkurve gelegt werden muß.

**Auf-Zu-Regler**

Für Regelstrecken mit großer Anlaufzeit lassen sich unter Umständen recht gute Ergebnisse mit ganz einfachen Auf-Zu-Reglern erzielen. Bild 21 zeigt eine Regelstrecke mit solchem Regler, bei dem das Zuflußventil bei einer Überschreitung des Sollwertes um 2% geschlossen, bei einer Unterschreitung um denselben Betrag wieder geöffnet wird, so daß der Regelunterschied  $\varphi = 0,02$  ist. Dieser Regler kann natürlich nie zur Ruhe kommen, sondern der Meßwert wird innerhalb der Schaltgrenzen dauernd pendeln, Bild 22. Die Zeiten für „Zufluß offen“ und „Zufluß geschlossen“ wechseln je nach der Last, die Zeitdauer zwischen zwei Öffnungsimpulsen ist jedoch annähernd gleichbleibend. Bei elektrisch beheizten Öfen ist ein dauerndes Zu- und Abschalten meist unbedenklich; bei gasbeheizten Öfen ist dagegen ein solches Verfahren seltener durchführbar. Da der Regler vielfach nicht den gesamten Lastbereich zu beherrschen braucht, genügt es oft, die Heizleistung nur zwischen zwei Werten zu wechseln. Bei Gasheizungen legt man dann zweckmäßig zur Hauptheizung einen Nebenstrom, der vom Regler bedient wird. Da man die Kontaktspanne praktisch beliebig eng stellen kann, lassen sich auf diese Weise recht genaue Regelungen durchführen, Bild 23. Die Anwendung dieses Verfahrens ist jedoch praktisch auf Regelstrecken mit langer Anlaufzeit beschränkt.

B 6463



Sonderdruck aus: »GWF Das Gas- und Wasserfach« 85 (1942), H. 3/4, S. 29/37

## Grundsätzliches über die Regelungstechnik und ihre Anwendung im Gasfach

Von Dipl.-Ing. Ingwård Lorenz, Berlin<sup>1)</sup>

Der Aufsatz behandelt die Grundbegriffe und die kennzeichnenden Merkmale der Regelstrecken und der Regler sowie ihrer Zuordnung zueinander. Diese Zusammenhänge sind in leicht faßlicher Form unter Vermeidung schwieriger mathematischer Ableitungen dargelegt und an einfachen, der Gastechnik entnommenen Beispielen erläutert.

Die Regelungstechnik hat auf den verschiedensten Teilgebieten des Gasfaches von jeher eine bedeutende Rolle gespielt. Sie bekam innerhalb des Gasfaches etwa während der letzten 10 Jahre u. a. dadurch neue Bedeutung, daß man dazu überging, Gasfeuerstätten, namentlich häusliche Warmwasserbereiter, Gasheizöfen und dergleichen, mit fest eingebauten Reglern zu versehen. Diese und fast sämtliche anderen im Gasfach vorkommenden Regelaufgaben sind wesentlich einfacher zu lösen als diejenigen, die etwa auf dem Gebiete neuzeitlicher Hochdruckdampfkesselanlagen oder gar der Kursregelung von Fahrzeugen aller Art vorliegen. Infolgedessen kann sich der Gasfachmann in den meisten Fällen die Mühe ersparen, bis in die letzten Feinheiten der Theorie der Regelungstechnik einzudringen, die alle Vorgänge im wesentlichen auf Schwingungsvorgänge zurückführt und daher häufig zu verwickelten mathematischen Hilfsmitteln greift. Dabei handelt es sich vor allem um Differentialgleichungen zweiter und höherer Ordnung, so daß der in der Praxis stehende Ingenieur schon allein aus Zeitmangel oft gar nicht die Möglichkeit hat, sich mit diesen Dingen näher zu befassen.

Dagegen ist, wenn man schon in dieser Weise verzichten muß, ein Überblick über die Regelungstechnik, der die Erkenntnis der wirklich wichtigen grundsätzlichen Zusammenhänge erleichtert, auch für den Betriebs- und Außendienstingenieur als unentbehrliches geistiges Rüstzeug von entscheidender Bedeutung. Eine solche Übersicht, die man etwa als Knochengertist der Regelungstechnik bezeichnen könnte, läßt sich an einfachen Beispielen anschaulich erläutern.

### Kennzeichen und Begriffe der Regelstrecke.

#### 1. Die Regelstrecke.

Man stelle sich einen Behälter beliebiger Form vor (Bild 1). In den Behälter führt eine Zuflußleitung, aus ihm heraus eine Abflußleitung. Der Durchfluß durch diese beiden Leitungen sei durch Hähne, Ventile, Drosselklappen oder dergleichen einstellbar. An der Stelle A möge z. B. der Druck in dem Behälter gemessen werden. Eine solche Einrichtung ist etwa das, was die Regeltechnik unter einer Regelstrecke versteht. Ein wesentliches Merkmal der Regelstrecke ist also, daß

<sup>1)</sup> Vorgetragen während des im September 1941 vom Gasinstitut an der Technischen Hochschule Karlsruhe veranstalteten Gaskurses.

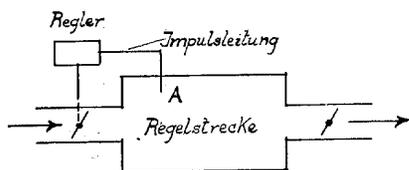


Bild 1. Schema einer Regelstrecke.

etwas durch die Regelstrecke fließt, z. B. ein Gas oder sonstiger Flüssigkeitsstrom. Es können aber auch, wie bei der Temperaturregelung, Wärmemengen fließen. Ebenso gut kann man sich aber auch eine Dampfmaschinenanlage unter diesem ganz allgemeinen Schemabild einer Regelstrecke vorstellen. In diesem Falle stellt der zur Maschine strömende Dampf oder besser dessen Energieinhalt den Zufluß dar, während die Belastung der Maschine den Abfluß kennzeichnet. Bei der Temperaturregelung ist der Zufluß die je Zeiteinheit dem Ofen im Brennstoff zufließende Wärmemenge. Der Abfluß entspricht der Belastung des Ofens, dargestellt durch die Wärmeabgabe an das Heizgut einschließlich der Abgasverluste und der sonstigen Ofenverluste. Man kann also mit diesem Schemabild die Vorstellung einer Regelstrecke ganz beliebiger Art verbinden. Es soll den Begriff »Regelstrecke« veranschaulichen.

#### 2. Der Regelzustand.

Am einfachsten wird es allerdings sein, sich zunächst eine Druckregelstrecke vorzustellen. Durch das Zuflußventil fließt z. B. dem Behälter je Zeiteinheit eine bestimmte Gasmenge zu und, wenn Gleichgewicht vorhanden ist, fließt eine gleich große Gasmenge durch den Abfluß ab. Unter der Voraussetzung eines solchen Beharrungszustandes stellt sich in dem Behälter ein bestimmter Druck ein. Nimmt man nun an, daß Wasser durch die Regelstrecke fließt, wobei der Behälter oben offen sein soll, so stellt sich bei Beharrung eine bestimmte Flüssigkeitshöhe in dem Behälter ein. Die Regeltechnik bezeichnet diese Meßgröße als den Regelzustand oder kurz als den Zustand. Der Begriff »Zustand« ist also hier enger gefaßt als etwa bei den Zustandsänderungen der Gase in der Thermodynamik. Jede Regelstrecke ist dadurch gekennzeichnet, daß sich an ihr ein solcher Zustand messen läßt, z. B. der Wasserstand, der Druck, die Menge, die Temperatur, bei dem genannten Beispiel der Dampfmaschine die Drehzahl usw. Der Zustand ist also diejenige Größe, auf die es bei der Regelung ankommt und die geregelt werden soll (Regelgröße). Dementsprechend besteht die Aufgabe jeder Regelung darin, Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluß herzustellen, um auf diese Weise einen bestimmten gewollten Zustand herbeizuführen.

#### 3. Die Störung.

Ein solches Gleichgewicht herzustellen, hat natürlich nur Sinn, wenn das Gleichgewicht während des Betriebs durch irgendwelche Einflüsse gestört wird. In dem genannten Beispiel der Dampfmaschinenanlage treten derartige Störungen infolge von Belastungsänderungen der Maschine auf. In einer Gasdruckregelstrecke, die man sich zu diesem Zwecke etwa als das Gasrohrnetz eines Wohnhauses vorstellen möge, wird das Gleichgewicht gestört, wenn zunächst

in dem Hause z. B. nur ein Gasherd im Betrieb ist, im Augenblick der Störung aber ein oder mehrere weitere Gasfeuerstätten zusätzlich in Betrieb gesetzt werden. Die Aufgabe des etwa eingebauten Hausgasdruckreglers besteht dann darin, in irgendeiner Weise die Einstellung eines neuen Gleichgewichtes zu fördern.

#### 4. Die Zufluß- und die Abflußregelung.

An unserer Schemazeichnung (Bild 1) läßt sich eine solche durch Mehrverbrauch hervorgerufene Störung dadurch veranschaulichen, daß das bisher als nur teilweise geöffnet anzusehende Abflußventil weiter geöffnet wird. Würde man nun einen Regler einbauen, so müßte es dessen Aufgabe sein, das Zuflußventil so zu verstellen, daß die Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichtes zwischen Zu- und Abfluß gefördert wird. Unter diesen Verhältnissen ist das Zuflußventil gleichbedeutend mit dem Regelteil, das Abflußventil dagegen als Störungsteil anzusprechen. Das braucht nicht immer so zu sein. Es ist z. B. umgekehrt bei der Armatur eines Gasbadcofens mit eingebautem Wassermengenregler oder mit Wärmewähler. Das Zuflußteil ist dann offenbar die Wasserdrösselschraube oder das Wärmewählerventil, das den Druckunterschied zur Betätigung der Wassermangelsicherung oder des Wassermengenreglers liefert. Verstellt man den Querschnitt dieser Vorrichtung, so stört man das Gleichgewicht zwischen der zu- und abfließenden Wassermenge, so daß der Zustand, nämlich der Druckunterschied an der Drosselstelle bzw. an der Membran des Reglers, sich ändert. Dem Ventilkegel des Wasserreglers, also dem Abflußteil, fällt dann die Aufgabe des Regelteiles zu, nämlich ein neues Gleichgewicht zwischen der veränderten Zuflußmenge und der Abflußmenge zu begünstigen. Die eigentliche Regelstrecke besteht hier aus dem wassergefüllten Teil der Armatur zwischen der Wasserdrösselschraube und dem Ventil des Wassermengenreglers (Bild 2). Hiernach ist es verständlich, wenn man von Zuflußregelung spricht, sofern das Zuflußteil das Regelteil ist, daß eine Regelung dagegen als Abflußregelung zu bezeichnen ist, wenn das Abflußteil mit dem Regelteil gleichbedeutend ist. Bei der Zuflußregelung ist die Strömung von dem Regelteil nach der Meßstelle des Zustandes hin gerichtet, bei der Abflußregelung geht die Strömung dagegen in umgekehrter Richtung von der Meßstelle des Zustandes zum Regelteil.

#### 5. Der Ausgleichsgrad.

Es soll nun an Hand unserer schematisch dargestellten Druckregelstrecke angenommen werden, daß Zufluß- und Abflußventil teilweise geöffnet seien. Es soll Beharrung eingetreten sein, wobei in dem Behälter (Bild 1) der Druck  $h_1$  herrschen möge (Bild 3). Im Zeitpunkt  $t_{st}$  soll eine Störung dadurch eintreten, daß das Abflußventil plötzlich etwas mehr geöffnet wird als vorher und in dieser neuen Stellung stehen bleibt. Die Folge ist ein gegenüber den ursprünglichen Verhältnissen vergrößerter Abfluß, der wiederum ein Absinken des Zustandes bewirkt (Kurve 1). Hierbei besteht ein ganz grundlegendes Merkmal solcher Druckregelstrecken darin, daß der Druck nach der Störung nun nicht ins Unermeßliche absinkt, sondern daß sich nach einer gewissen Zeit ein neues Gleichgewicht einstellt, das durch einen

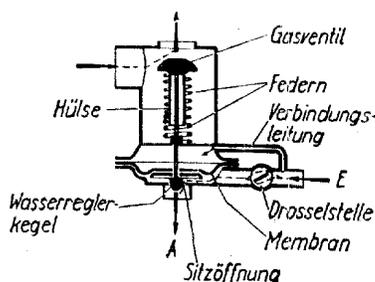


Bild 2. Armatur eines Druckautomaten mit Wassermangelsicherung.

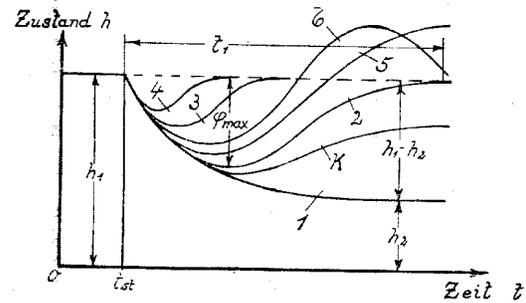


Bild 3. Zustandskurven.

neuen Zustand  $h_2$  gekennzeichnet ist. Dieses Verhalten ist wohlgerne eine Eigenschaft der Druckregelstrecke, das ohne Zutun eines Reglers zustandekommt. In entsprechender Weise sinkt die Temperatur in einem Ofen von dem Augenblick an, in dem man z. B. plötzlich die Ofentür öffnet, und dadurch den Wärmeabfluß vergrößert. Bleibt die Ofentür offen, so sinkt die Temperatur im Ofen jedoch nicht immer weiter, sondern es stellt sich (unter Umständen nach ziemlich langer Zeit) ein neues Gleichgewicht ein, das sich dadurch auszeichnet, daß die zugehörige Beharrungstemperatur um ein bestimmtes Maß geringer ist als ursprünglich bei geschlossener Ofentür.

In diesen Fällen spricht die Regeltechnik von einem Selbstausgleich der Regelstrecke. Dieser Begriff bedeutet also, daß der durch eine Störung hervorgerufene Unterschied zwischen Zu- und Abfluß sich selbsttätig, d. h. ohne äußeres Zutun und insbesondere ohne Zutun eines Reglers, wieder ausgleicht. Nach erfolgtem Ausgleich (Zufluß = Abfluß) hat auch der Zustand einen neuen Beharrungswert angenommen. Er hat sich aber gegenüber dem ursprünglichen Zustandsbetrag um ein bestimmtes Maß verändert. Wie stark sich der Zustand verändert, hängt u. a. von der Größe der Störung ab. Legt man aber eine bestimmte Störung zugrunde, so ist der Selbstausgleich um so besser, je kleiner die Zustandsabweichung ist. Ein Maß für die Größe der Störung ist der im Augenblick der Störung bestehende Unterschied zwischen Zufluß und Abfluß. Dividiert man diesen Unterschied durch die Zustandsänderung  $h_1 - h_2$ , so erhält man eine Kennziffer, die in der Regeltechnik als Ausgleichsgrad bezeichnet wird. Der Ausgleichsgrad ist also ein Maß für die Größe der Störung, die einer bestimmten Zustandsänderung zugeordnet ist. Er ist eine dimensionslose Zahl und gibt Antwort auf die Frage: Um wieviel Hundertteile muß die Durchflußmenge geändert werden, damit der Zustand sich nach wieder eingetretener Beharrung um 1 % geändert hat? Daß sich eine dimensionslose Zahl ergibt, ist an sich ein rein mathematischer Kunstgriff. Man rechnet nämlich in der Regeltechnik zum Zwecke der Rechnungsvereinfachung mit dimensionslosen Verhältniszahlen, bezieht also die gemessenen Werte auf bestimmte Normalwerte. Alle Dimensionen bis auf die Zeit fallen dann aus den betreffenden Berechnungen heraus, und zwar bedeuten 100 % des Zustandes den Sollzustand und 100 % des Durchflusses den größtmöglichen Durchfluß (Belastung) bei voll geöffneten Ventilen.

An einem Ofen, der mit einer Temperaturregelung ausgerüstet werden soll, wird der Ausgleichsgrad praktisch folgendermaßen ermittelt: In dem Ofen möge sich bei normaler Belastung im Beharrungsfall die Solltemperatur eingestellt haben. Man ermäßigt plötzlich die Energiezufuhr um z. B. 25 % der größtmöglichen Änderung des Energieflusses und nimmt die Kurve des Temperaturabfalles auf. Nach eingetretener Beharrung sei die Temperatur um 5 % des Sollwertes abgesunken. Dann beträgt der Ausgleichsgrad  $\frac{25}{5} = 5$ . Die praktisch vorkommenden Ausgleichsgrade liegen etwa zwischen 0,3 und 5, wobei die kleineren Zahlen etwa für Druckregelstrecken, die größeren für Ofenanlagen gelten.

Leider haben nicht alle Regelstrecken Selbstaussgleich. Das ist eine physikalische Tatsache, die für den Regelfachmann unangenehm sein kann, an der sich aber an sich nichts ändern läßt. Ein anschauliches Beispiel für eine Regelstrecke ohne Selbstaussgleich ist etwa eine Dampfkesselanlage, an der der Wasserstand in der Kesseltrommel geregelt werden soll. Die Speisewasserpumpe möge dem Kessel zunächst je Zeiteinheit gerade soviel Wasser zuführen, als ihm im gleichen Zeitraum in Form von Dampf entnommen wird. Infolge dieses Gleichgewichts zwischen Zu- und Abfluß stellt sich in dem Dampfkessel irgendein Beharrungswert des Wasserstandes ein. Wird nun eine der an das Dampfnetz angeschlossenen Turbinen außer Betrieb gesetzt, die Dampfnahme also ermäßigt, so steigt der Wasserstand im Kessel, ohne einen neuen Beharrungswert zu erreichen. Er steigt sogar unaufhörlich weiter, wobei die Maschinenanlage beschädigt werden kann, wenn nicht durch das Überwachungspersonal oder eine selbsttätige Einrichtung rechtzeitig eingegriffen wird. Bei diesem Vorgang fehlt der Selbstausgleich, weil der Zustand auf das Zufluß- und das Abflußgefälle keinen Einfluß hat. Steigender Wasserstand vergrößert weder die abfließende Dampfmenge noch vermag er die zufließende Wassermenge zu ermäßigen. Der Ausgleichsgrad ist in diesem Falle Null, weil der Wasserstand sich theoretisch bereits unendlich viel ändert, wenn die Wasserspeisung die Dampfnahme nur ganz wenig überwiegt oder umgekehrt.

Um bei der Planung einer Regelanlage von vornherein grundsätzliche Fehler zu vermeiden, ist es unerlässlich, daß man sich über die Größenordnung des Ausgleichsgrades der betreffenden Regelstrecke im voraus Klarheit verschafft. Er ist z. B. bei einem Überlaufgefäß, in dem der Wasserstand geregelt werden soll, so gut, daß es sich nicht lohnen würde, zusätzlich einen Regler einzubauen. Man kann die zu- und über den Überlauf abfließende Menge erheblich verändern, ohne daß der Wasserstand dadurch wesentlich beeinträchtigt wird. Der Ausgleichsgrad reicht aber allein noch nicht aus, um die Eigenschaften der Regelstrecke erschöpfend zu beurteilen.

#### 6. Die Anlaufzeit.

An Hand des Bildes 3 wird ohne weiteres klar, daß bei ein und derselben Größe der verhältnismäßigen Störung verschiedene Anfangsgeschwindigkeiten des Ausgleichsvorganges (Kurve 1) zu dem neuen Beharrungswert  $h_2$  führen können. Wie groß diese Anfangsgeschwindigkeit ist, hängt im wesentlichen von den Abmessungen der Regelstrecke und den durchfließenden Mengen ab und kann auf Grund der Speicherfähigkeit der betreffenden Regelstrecke beurteilt werden. Bei Ofenanlagen ist also z. B. die Wärmespeicherung der Ofenwände, bei Gasdruckregelstrecken die Aufspeicherung von Gasmenigen durch Volumenverminderung unter erhöhtem Druck maßgebend. Besteht die Regelstrecke in einer Wasserleitung, so ist keine wesentliche Speichermöglichkeit vorhanden, weil das Wasser praktisch nicht zusammendrückbar ist.

Zur Kennzeichnung dieser Dinge benutzt die Regeltechnik den Begriff der Anlaufzeit. Man versteht darunter diejenige Zeit, die nach einer Störung nötig wäre, um die Regelstrecke auf den Sollwert »aufzufüllen«, oder um sie beginnend mit dem Sollwert zu »entleeren«, vorausgesetzt, daß die »Füllung« oder »Entleerung« (der Ausgleichsvorgang) mit unveränderlicher Geschwindigkeit vor sich ginge. (Unveränderliches Zu- oder Abflußgefälle.) Dabei ist außerdem vorausgesetzt, daß die Störung 100 % beträgt, d. h. im Augenblick der Störung muß das betreffende Ventil, das die Störung hervorruft, von der ganz geschlossenen in die ganz geöffnete Stellung bewegt werden, oder umgekehrt. Füllt man also einen leeren Behälter, der unter einem Wasserhahn steht und in dem der Wasserstand geregelt werden soll, bei voll geöffnetem Zufluß und geschlossenem Abfluß auf die gewünschte Flüssigkeitshöhe auf, so ist die dazu erforderliche Zeitspanne gleichbedeutend mit der Anlaufzeit des Behälters. Dabei sind die beiden ge-

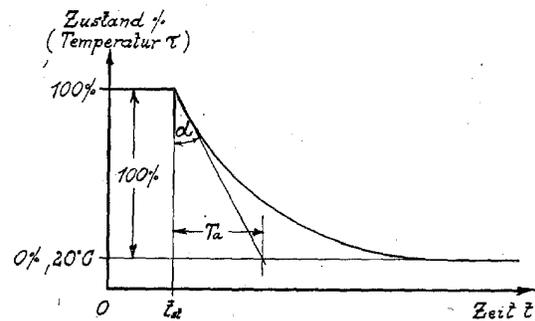


Bild 4. Der Begriff der Anlaufzeit.

nannten Voraussetzungen erfüllt, denn der Wasserstand steigt mit gleichbleibender Geschwindigkeit und die Größe der Störung, d. h. der zwischen Zufluß und Abfluß bestehende Unterschied beträgt 100 %.

Für einen Ausgleichsvorgang, bei dem die Zustandsänderung mit veränderlicher Geschwindigkeit vor sich geht, wird der Begriff der Anlaufzeit dagegen an Bild 4 anschaulich. Es sei angenommen, daß der Darstellung in Bild 4 ein Versuch an einem Ofen zugrunde läge, in dem sich vor Beginn der Störung bei Beharrung und voller Belastung die Solltemperatur eingestellt hat. Im Zeitpunkt  $t_{st}$  möge der Hauptgashahn in der Zuleitung des Ofens aus der ganz geöffneten Stellung heraus plötzlich ganz geschlossen werden, so daß die Temperatur im Ofen zu sinken beginnt und nach einer gewissen Zeit, deren Länge von der aufgespeicherten Wärmemenge abhängt, um 100 % ihres ursprünglichen Wertes, nämlich auf die Raumtemperatur in der Umgebung des Ofens von z. B. 20° C, abgesunken ist. Während dieses Vorganges nimmt die Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur dauernd ab. Würde sie unverändert bleiben, was vorausgesetzt war, so wäre der Temperaturverlauf durch die Tangente an die Abklingkurve gekennzeichnet, die man im Anfangspunkt an diese Zustandskurve anlegt. Sie schneidet auf der Geraden  $\tau = 20^\circ \text{C}$  eine Strecke  $T_a$  ab, die gleichbedeutend ist mit der Anlaufzeit. Man kann die Anlaufzeit aber auch als den Tangens des Neigungswinkels  $\alpha$  der Tangente auffassen. Der betreffende Wert muß dann allerdings auf eine Zustandsänderung von 100 % umgerechnet werden, wenn sich die Anlaufzeit ergeben soll.

Auch dieser Begriff der Anlaufzeit soll an einem Zahlenbeispiel noch deutlicher herausgestellt werden, und zwar sei ein kleiner gasbeheizter Ofen angenommen, in dem sich bei Vollast (größtmöglicher Wärmeabfluß) im Beharrungsfalle eine Solltemperatur (voll geöffnetes Gasventil) von 900° C einstellt (Bild 5). Während dieses Beharrungszustandes möge die Gaszufuhr plötzlich ganz abgestellt werden (Flußänderung 100 %). Es sei nun festgestellt, daß die Temperatur in der ersten Minute nach Beginn des Temperaturabfalles um 50° abnimmt. Eine Minute ist ein hinreichend kurzer Zeitraum, in dem der Verlauf des Temperaturabfalles als gradlinig angenommen werden kann. Der Tangens des Neigungswinkels  $\alpha$  beträgt also  $\frac{1}{60} \text{ min}/^\circ \text{C}$

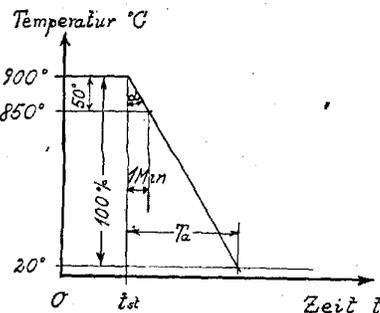


Bild 5. Ermittlung der Anlaufzeit.

oder 60/50 s/°C. Um auf die Anlaufzeit zu kommen, muß die Temperatur jedoch als dimensionsloser Verhältniswert in die Berechnung eingesetzt werden. Beträgt die Raumtemperatur 20°C, so sind  $900 - 20 = 880^\circ\text{C}$  gleichbedeutend mit 100 % des Sollzustandes. Man erhält also eine

Anlaufzeit  $T_a = \frac{880 \cdot 60}{50} = \text{rd. } 1050 \text{ s}$ . Dieser Wert ergibt sich in gleicher Weise aus den geometrischen Zusammenhängen des Bildes 5.

Der Bereich der praktisch vorkommenden Anlaufzeiten ist außerordentlich groß. Sie können etwa zwischen 0,1 und 5000 s liegen. Technische Öfen haben Anlaufzeiten von etwa 500 bis 5000 s, Raumtemperaturregelungen solche in der Größenordnung von 1000 s. Druck- und Mengenregelstrecken haben kleine Anlaufzeiten von weniger als 1 s. An Wasserleitungen, denen ja eine Speichermöglichkeit fast gänzlich fehlt, weil das Wasser unter verändertem Druck sein Volumen praktisch nicht ändert, ist die Anlaufzeit nahezu Null. Das dazwischen liegende Gebiet der Anlaufzeiten von 30 bis etwa 300 s nehmen die Regelstrecken an modernen Hochdruckdampfkesseln und an Drehzahlregelungen ein.

## 7. Die Beurteilung von Regelstrecken.

Zusammenfassend geht aus diesen Betrachtungen hervor, daß Druck- und Mengenregelstrecken einen gewissen Ausgleichsgrad und gleichzeitig kurze Anlaufzeiten haben. Temperaturregelstrecken sind oft durch große Ausgleichsgrade und auch sehr lange Anlaufzeiten gekennzeichnet. Auch Regelstrecken ohne nennenswerten Ausgleichsgrad, wie z. B. die Wasserstandsregelung in einem gasbeheizten Dampfautomaten, haben infolge des immerhin beträchtlichen Wasserinhaltes eines solchen Kessels lange Anlaufzeiten. Diese Gruppen von kennzeichnenden Regelstrecken haben also sämtlich wenigstens eine der beiden wichtigen Kenngrößen Ausgleichsgrad und Anlaufzeit in nennenswertem Maße. Regelstrecken mit sehr geringer Anlaufzeit und gleichzeitig kleinem Ausgleichsgrad kommen kaum vor. Die Bedeutung dieser Tatsache wird im folgenden noch klar werden.

Bei einem Rückblick auf die bisherigen Betrachtungen mögen ferner die Definitionen des Ausgleichsgrades und auch der Anlaufzeit als sehr weit hergeholt erscheinen. Warum man gerade diese Begriffe in ihrer nicht ganz leicht verständlichen Form verwendet, wird sich ebenfalls später noch zeigen. Es wäre beispielsweise denkbar, an Stelle der Anlaufzeit die Änderungsgeschwindigkeit des Zustandes in die Berechnungen einzusetzen. Man bekäme dann jedoch mehrere Dimensionen, während die eingangs erwähnten Differential-Gleichungen bei Verwendung der Anlaufzeit stets nur eine Dimension, die Zeit, enthalten, so daß sie auf verschiedene Regelaufgaben anwendbar sind, einerlei, ob es sich z. B. um Druck-, Temperatur- oder Mengenregelung handelt.

Trotzdem ist es vielleicht überraschend, daß bis hierher in den Erörterungen noch nicht von dem Regler an sich die Rede war, sondern daß es sich bei den erläuterten Begriffen ausschließlich um Eigenschaften der zu regelnden Anordnung, der Regelstrecke, handelte. Der Grund dafür liegt in der außerordentlichen Wichtigkeit namentlich des Ausgleichsgrades und der Anlaufzeit als Grundlage für die Auswahl der geeigneten Bauart und Betriebsweise des betreffenden Reglers. Soll eine Regelstrecke aus einer der genannten kennzeichnenden Gruppen mit einem Regler versehen werden, so lassen sich auf alle Fälle grobe Fehler bereits vermeiden, wenn wenigstens bekannt ist, ob die betreffende Regelstrecke überhaupt einen Ausgleichsgrad hat oder nicht, und in welcher Größenordnung etwa die Anlaufzeit liegt.

### Aufgaben des Reglers und seine Arbeitsweise.

Wir wenden uns nun der Betrachtung der eigentlichen *Regelaufgabe* zu. Sie besteht ja darin, den Zustand trotz der auftretenden Störungen innerhalb gewisser Grenzen zu halten.

Zu diesem Zwecke muß die betreffende Regelstrecke mit einer Einrichtung versehen werden, die den Regelzustand mißt und auf Grund des Meßergebnisses das Regelventil verstellt (Bild 1). Ein solcher Regler besteht also stets grundsätzlich wenigstens aus einem Meßwerk und einer Verstelleinrichtung, die allerdings baulich in mannigfaltigster Weise ausgeführt und miteinander verbunden sein können, wobei insbesondere häufig die verschiedensten Hilfsmittel zur Umformung oder Verstärkung herangezogen werden. Grundsätzlich wird sich die Anordnung einer Regleinrichtung nur lohnen, wenn der Ausgleichsgrad der Regelstrecke gering ist oder wenn der Vorgang der Selbstregelung zu langsam verläuft. Was man dabei von dem Regler erwarten darf, d. h. welche Anforderungen er z. B. hinsichtlich der Schnelligkeit der Regelung erfüllen kann, hängt wesentlich von der Art der Störungen ab, nämlich von ihrer Häufigkeit, ihrer Größe und davon, ob sie plötzlich oder nach irgendeiner Kurve verlaufen. Wir nehmen wieder Bild 3 zu Hilfe, das eine Selbstausgleichskurve 1 zeigt, also angibt, wie eine Störung sich auswirkt, wenn kein Regler vorhanden ist. Sieht man einen Regler vor, so muß dessen Aufgabe sein, die Kurve 1 etwa in die Kurve 2 abzubiegen. Dabei ergibt sich eine größte Abweichung  $\varphi_{\max}$  vom Sollwert  $h_1$ , und es dauert eine gewisse Zeit  $t_1$ , bis der Beharrungszustand, d. h. der Sollwert  $h_1$  wieder erreicht ist. Man wird also wünschen, bei manchen Regelaufgaben sogar fordern, daß  $t_1$  und  $\varphi_{\max}$  möglichst klein werden und daher versuchen, den Regler schneller arbeiten zu lassen, um so Kurve 2 in Kurve 3 oder gar 4 umzuwandeln. Leider sind nun aber der Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit des Reglers praktisch gewisse Grenzen gesetzt. Steigert man die Regelgeschwindigkeit über ein bestimmtes, von Fall zu Fall verschiedenes großes Maß, so gerät der Regler in Schwingungen (Kurven 5 oder 6), die sich unter Umständen sogar aufschaukeln. Die Amplituden werden dann also immer größer. Infolgedessen ist es nicht unbegrenzt möglich, die Höchstabweichung und die Zeitspanne des Ausgleichs dadurch zu ermäßigen, daß man die Laufgeschwindigkeit des Reglers steigert.

Solche Schwingungen machen nun die Regeltechnik eigentlich erst schwierig. Schwingungsfragen ziehen sich durch die ganze Regeltechnik hindurch, und die wesentliche Aufgabe des Regelfachmannes besteht darin, diese Schwingungen zu vermeiden oder jedenfalls hinreichend zu dämpfen.

## Kennzeichen und Begriffe des Reglers.

### 1. Der Laufgeschwindigkeitsregler.

Wie wir bereits gesehen haben, wird bei Anwendung einfacher Regler die Schwingung vermieden, wenn man unterhalb einer gewissen Regelgeschwindigkeit bleibt. Man muß den Regler verhältnismäßig langsam arbeiten lassen. Es kann natürlich sein, daß die bei der betreffenden Regelgeschwindigkeit auftretende Höchstabweichung unzulässig groß oder die Zeit  $t_1$  bis zum Eintritt der Beharrung zu lang wird. Um dann noch schneller arbeiten zu können und trotzdem die Gefahr einer Schwingung zu vermeiden, wendet man einen Kunstgriff an. Man stellt dem Regler nicht, wie bisher angenommen war, die Aufgabe, nach einer Verstellung des Störungsteiles (Belastungsänderung) den ursprünglichen Zustand in gleicher Höhe wieder herzustellen, sondern läßt nach wieder eingetretener Beharrung eine gewisse Abweichung zu (Kurve K). Daß dadurch die Gefahr von Schwingungen vermindert wird, ist ohne weiteres verständlich, denn man erleichtert dem Regler ja auf diese Weise seine Arbeit. Er hat weniger auszugleichen, also auch weniger Bewegungen zu machen.

Aus diesen Zusammenhängen heraus ergeben sich zwei große Gruppen von Reglern mit grundsätzlich verschiedener Arbeitsweise. Die erste dieser beiden Gruppen zeichnet sich dadurch aus, daß der Regler bestrebt ist, den ursprünglichen Zustand in gleicher Höhe wieder herzustellen. Man spricht deshalb von einer Gleichwertregelung. Bei dieser Gruppe wird eine Schwingung um so sicherer vermieden,

je langsamer der Regler arbeitet. Außerdem ist die Gefahr der Schwingungen hier offenbar um so geringer, je größer der Ausgleichsgrad der Regelstrecke ist, denn der Regler hat um so weniger auszugleichen, je besser der Selbstausgleich der Regelstrecke ohnehin schon ist. Wie man an Hand des Bildes 6 erkennen kann, gehört bei dieser Art von Reglern zu einer bestimmten Abweichung des Zustandes vom Sollwert jeweils eine bestimmte Verstellgeschwindigkeit des Regelteiles. Daher werden solche Regler auch als Regler mit Laufgeschwindigkeitszuordnung bezeichnet.

### 2. Der Stellungsregler und die Ungleichförmigkeit.

Bei der anderen großen Gruppe von Reglern, bei der man nach dem Ausgleich der Störung eine Abweichung von dem ursprünglichen Beharrungswert des Zustandes zuläßt, spricht man im Gegensatz zu der Gleichwertregelung von einer Regelung mit Ungleichförmigkeit. Man wird sie anwenden, wenn eine schnellere Regelung verlangt wird, als es mit Hilfe einer Laufgeschwindigkeitszuordnung im Hinblick auf die Schwingungsgefahr möglich ist. Das Wesen der Regelung mit Ungleichförmigkeit liegt also darin, daß man die bei höheren Laufgeschwindigkeiten des Reglers bestehende Schwingungsgefahr auf Kosten der Regelgenauigkeit vermindert. Die Regelung mit Ungleichförmigkeit ist dementsprechend besonders angebracht an Regelstrecken mit großer Schwingungsgefahr. Das sind aber solche mit geringem Ausgleichsgrad, weil der Regler dabei viel auszugleichen hat, das Regelventil also stark verstellen muß. Regelstrecken ohne Ausgleichsgrad lassen sich überhaupt nur durch Regler mit Ungleichförmigkeit stabil regeln, wobei unter Stabilität zu verstehen ist, daß die Schwingung abklingen muß, wie groß also der Dämpfungsgrad sein muß, hängt von dem einzelnen Fall ab.

Um eine Ungleichförmigkeit an einem Regler praktisch zu verwirklichen, muß man die Höhe des Sollzustandes von der Stellung des Regelventils abhängig machen. Jeder Stellung des Regelventils muß nach eingetretener Beharrung jeweils ein ganz bestimmter Regelzustand entsprechen. Im Gegensatz zur Regelung mit Laufgeschwindigkeitszuordnung spricht man deshalb bei dieser Gruppe von Reglern mit Ungleichförmigkeit auch von einer Regelung mit Stellungszuordnung. Da einer bestimmten Stellung des Regelventils auch ein bestimmter Durchfluß (eine bestimmte Belastung) entspricht, besteht bei solchen Reglern mit Stellungszuordnung eine feste Beziehung zwischen der Belastung und dem Sollzustand. Für jede Belastung stellt sich ein anderer Zustand ein, und zwar sinkt der Zustand mit wachsender Belastung, wenn Zuflußregelung zugrunde liegt. Das ist bei Bild 3 der Fall. Dort kam ja die Störung durch Ver-

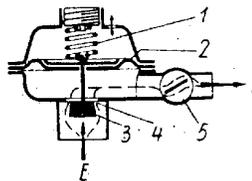


Bild 7. Unmittelbarer Gasdruckregler mit Stellungszuordnung und parabolischem Ventilkörper.

größerung des Abflusses zustande, und der neue geringere Sollzustand (Kurve *K*) ergibt sich, nachdem das Regelventil um einen bestimmten Betrag in öffnendem Sinne verstellt worden ist. Das bedeutet aber eine größere Belastung (Durchflußmenge), die voraussetzungsgemäß mit geringerem Zustand verknüpft ist.

### 3. Der mittelbare und der unmittelbare Regler.

Eine Ungleichförmigkeit ist konstruktiv leicht zu verwirklichen bei sogenannten unmittelbaren Reglern, bei denen eine Meßeinrichtung für den Zustand starr mit dem Regelventil verbunden ist, ohne daß eine Hilfskraft benutzt wird. Diese Regler entnehmen also unmittelbar dem strömenden Stoff die Energie, die zum Verstellen des Regelventils nötig ist. Bei einem solchen Gasdruckregler (Bild 7), der im wesentlichen aus einer Membran mit starr daran befestigtem Ventilkegel bestehen kann, wird die Ungleichförmigkeit durch eine Schraubenfeder hervorgerufen, die dem Gasdruck unter der Membran von der Gegenseite her das Gleichgewicht hält. Zu jedem Gasdruck gehört eine ganz bestimmte Membrankraft. Auf Grund der Federcharakteristik gehört zu jeder Membrankraft eine ganz bestimmte Membranstellung und auch, da der Ventilkegel starr an der Membran hängt, eine ganz bestimmte Stellung des Regelventils. Das ist aber gleichbedeutend mit einer Ungleichförmigkeit. Bei einem unmittelbar wirkenden Druckregler mit Tauchglocke erklärt sich die Ungleichförmigkeit aus dem bei verschiedenen Ventilstellungen verschieden großen Auftrieb der Glocke. Aus solchen unmittelbaren Reglern mit Stellungszuordnung läßt sich in manchen Fällen dadurch ein Gleichwertregler machen, daß man die Federbelastung der Membran durch eine unveränderliche Gewichtbelastung ersetzt (Bild 8). Bei Tauchglocken kann man zu diesem Zwecke geeignete Ausgleichsgewichte anbringen. Ob es sich um einen Gleichwertregler handelt, erkennt man daran, daß ein und derselbe Zustand (in diesem Falle Regeldruck) imstande sein muß, das Membran- oder Glockensystem bei verschiedenen Stellungen im Gleichgewicht zu halten.

Mittelbare Regler verhalten sich ganz ähnlich. Das Kennzeichen solcher mittelbaren Regler besteht ja darin, daß das Regelventil unter Zuhilfenahme von Druckluft, Drucköl (Bild 6), Elektrizität oder einer beliebigen sonstigen Fremdennergie verstellt wird. Zu diesem Zweck ist das Regelventil der unmittelbaren Regler mit einem geeigneten Servomotor gekuppelt, der von der betreffenden Energiequelle in beiden

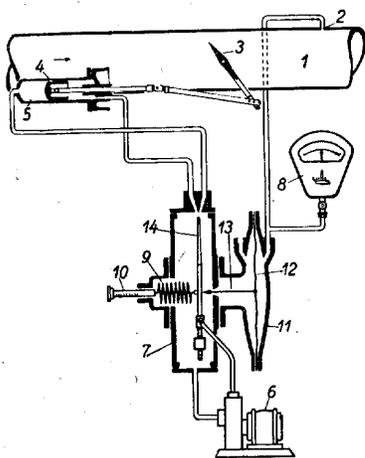


Bild 6. Mittelbarer Gasdruckregler mit Laufgeschwindigkeitszuordnung (Druckölbetrieb).

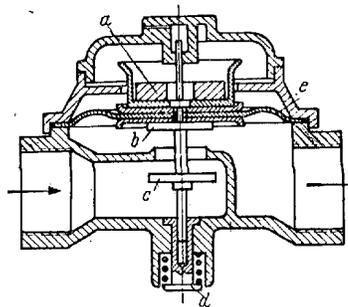


Bild 8. Unmittelbarer Gasdruckregler mit Gewichtbelastung (Gleichwertregler).

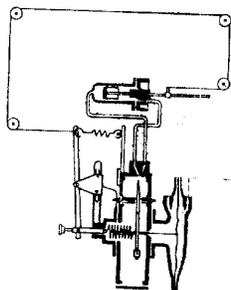


Bild 9. Mechanische Rückführung an einem Regler mit Drucköltrieb.

Bewegungsrichtungen wechselweise angetrieben werden kann, je nachdem, ob es auf Grund des betreffenden augenblicklichen Regelzustandes gerade erforderlich ist, das Regelventil zu öffnen oder zu schließen. Auch hier ist der Gleichwertregler daran zu erkennen, daß ein und derselbe Zustand in der Lage ist, an dem Meßwerk, z. B. der Membran eines Druckreglers, Gleichgewicht herzustellen, unabhängig von der Stellung des Regelventils oder des Servomotors.

#### 4. Die Rückführung.

Soll dagegen ein mittelbarer Regler mit einer Ungleichförmigkeit arbeiten, so muß er mit einer besonderen baulichen Einrichtung versehen werden, die man im allgemeinen als Rückführung bezeichnet und die in Bild 9 beispielsweise dargestellt ist. Sie besteht aus einer geeigneten mechanischen oder sonstigen Verbindung zwischen dem Meßwerk (z. B. der Membran) des Reglers und dem beweglichen Teil des Servomotors. Diese Teile können z. B. durch starre Hebel, durch Seilzüge od. dgl. miteinander verbunden sein. Handelt es sich um einen Druckregler, so wird also bei der Bewegung des Servomotors (und damit des Regelventils) die Spannung der Membranfeder verstellt. Jeder Stellung des Regelventils entspricht eine ganz bestimmte Federkraft, der nur ein ganz bestimmter Zustand das Gleichgewicht halten kann. Wir haben es demnach wiederum mit der Stellungsuordnung zu tun, deren Auswirkungen wir bereits als Ungleichförmigkeit kennengelernt haben.

#### 5. Die Stellzeit.

Während die Regelstrecke vor allem zwei wichtige Kenngrößen, die Anlaufzeit und den Ausgleichsgrad hat, ist der eigentliche Regler, wenn man von der Ungleichförmigkeit absieht, im wesentlichen durch eine solche Kennziffer, die Stellzeit, bestimmt. Hierbei ist es einerlei, ob es sich um einen mittelbaren oder unmittelbaren Regler oder um einen Regler mit oder ohne Ungleichförmigkeit handelt. Man versteht unter der Stellzeit diejenige Zeitspanne, die der Regler bei einer dauernden Abweichung des Zustandes um 100 % vom Sollwert braucht, um das Regelventil um 100 % zu verstellen, d. h. um es von der ganz geschlossenen in die ganz geöffnete Stellung zu bewegen oder umgekehrt. Will man die Stellzeit an einem Regler messen, so wird es in den meisten Fällen zweckmäßig sein, etwa diejenige Zeit zu ermitteln, die das Regelventil bei einer Zustandsabweichung von z. B. 10 % zu einer Stellungsänderung von z. B. 20 % braucht, und das Ergebnis auf 100 % Zustandsabweichung und 100 % Stellungsänderung umzurechnen.

### Kennzeichen und Beurteilung der Zusammenarbeit von Regler und Regelstrecke.

#### 1. Der Begriff der Dämpfung und ihre Berechnung.

Nachdem wir hiermit die wesentlichen Merkmale der verschiedenen Regelstrecken und auch der verschiedenen Regler kennengelernt haben, erhebt sich die Frage, wie die Kenngrößen des Reglers auf diejenigen der Regelstrecke abgestimmt werden müssen, um die jeweils beste Gesamtlösung zu ergeben. Natürlich kann man die Güte solcher Anlagen nach verschiedenen Gesichtspunkten beurteilen.

Dem Regelfachmann kommt es aber in allererster Linie darauf an, das grundsätzliche Übel zu beseitigen, das jeder Regelung anhaften kann. Er muß sein Augenmerk darauf richten, die Schwingungen des Reglers hinreichend zu dämpfen, und benutzt deshalb zur Beurteilung eines Regelvorganges das Dämpfungsmaß der dabei auftretenden Schwingung.

Um den Begriff »Dämpfungsmaß« zu erläutern, ist es zweckmäßig, einige wenige mathematische Beziehungen anzuschreiben, und zwar soll der Buchstabe  $\varphi$  die in jedem Augenblick der Regelung gerade vorhandene, auf den Sollwert bezogene Abweichung des Zustandes vom Sollwert bezeichnen. Zeichnet man in einem Achsenkreuz die Funktion  $\varphi$  in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  auf, so erhält man eine gedämpfte Schwingungskurve, die für jeden Zeitpunkt  $t$  angibt, um wieviel der Zustand gerade von seinem Sollwert abweicht (Kurven 5 und 6, Bild 3). Ein solcher Schwingungsvorgang kann mathematisch im allgemeinen durch eine lineare Differentialgleichung zweiter Ordnung von der allgemeinen Form  $\varphi'' + a\varphi' + b\varphi = 0$  wiedergegeben werden. In schwierigen Fällen ergibt sich dagegen eine entsprechende Differentialgleichung 3. Ordnung. Aus der Gleichung zweiter Ordnung läßt sich der in der Regeltechnik gebräuchliche dimensionslose Dämpfungsgrad  $D$  in Form des Ausdruckes

$$\frac{a}{2\sqrt{b}}$$

ermitteln. Die praktisch in Frage kommenden Werte dieses Dämpfungsgrades liegen zwischen 0 und 1.  $D = 0$  bedeutet keine Dämpfung. Es handelt sich dann um eine harmonische Schwingung, z. B. eine Sinusschwingung.  $D = 1$  kennzeichnet den sogenannten aperiodischen Grenzfall, bei dem gerade keine Schwingung mehr zustandekommt. In diesem Falle pendelt der Zustand nach der Störung nicht um den Sollwert herum, sondern nähert sich von einer Seite her allmählich wieder dem Sollwert. Eine solche Regelung wird in vielen Fällen nur mit erheblichem Aufwand zu erreichen sein, und man gibt sich daher im allgemeinen mit Zwischenwerten zufrieden.

Leider ist dieser Dämpfungsgrad  $D$  nicht die einzige Möglichkeit, die Dämpfung rechnerisch zu erfassen. In der Schwingungstechnik werden vielmehr außerdem noch 4 oder 5 andere Dämpfungsbezeichnungen benutzt. Das führt leider häufig zu erheblichen Mißverständnissen, wenn jemand von Dämpfung spricht, ohne vorher ausdrücklich anzugeben, welches Dämpfungsmaß gemeint ist. Weil es anschaulicher ist als der Dämpfungsgrad  $D$ , benutzt die Regeltechnik auch häufig die sogenannte Prozentdämpfung je Halbschwingung. Sie errechnet sich aus der Beziehung  $\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1}$ , worin  $A_1$  und  $A_2$  die Amplituden der ersten und zweiten Halbschwingung sind. Die Prozentdämpfung gibt also an, um welchen Prozentsatz jede folgende Halbschwingung geringer ist als die vorhergehende. Eine Prozentdämpfung von 75 % bedeutet, daß die zweite Halbamplitude nur noch 25 % der ersten beträgt.

Der Dämpfungsgrad  $D$  und die Prozentdämpfung  $\psi$  hängen nach einer verwickelten mathematischen Funktion zusammen, die man in Form einer Kurve aus dem Schrifttum entnehmen kann. Hat man also den Dämpfungsgrad  $D$  für irgendeinen Regelfall berechnet, so läßt sich an Hand dieser Kurve ohne weiteres ablesen, wie groß die Prozentdämpfung ist. Für  $D = 0,75$  ergibt sich eine Prozentdämpfung von 95 %, für  $D = 0,5$  ist die Prozentdämpfung noch 82 % und selbst für den Dämpfungsgrad  $D = 0,25$  erhält man immer noch eine recht gute Prozentdämpfung von rd. 55 vH. Ein Dämpfungsgrad  $D = 0,25$  bedeutet also, daß jede Halbamplitude nur noch 45 % der vorhergehenden beträgt. Für eine große Zahl von Regelaufgaben wird diese Dämpfung sicher noch ausreichen.

Um nun für den einzelnen jeweils gerade vorliegenden Fall die Dämpfung berechnen zu können, hat die Regeltechnik aus der Differentialgleichung der Regelschwingung eine allgemeine Dämpfungsformel entwickelt, die unter einigen Vereinfachungen als Näherungsformel folgendermaßen lautet:

$$D = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{T_s}{T_a}} + \frac{\delta}{2} \sqrt{\frac{T_a}{T_s}}$$

Darin ist  $\rho$  der Ausgleichsgrad der Regelstrecke und  $T_a$  ihre Anlaufzeit.  $T_s$  ist die Stellzeit des Reglers und  $\delta$  sein Ungleichförmigkeitsgrad. Wenn z. B. ein Druckregler bei Vollast einen Druck von 25 mm WS, bei ganz geringer Last dagegen einen solchen von 30 mm WS einregelt, so beträgt

sein Ungleichförmigkeitsgrad  $\frac{30 - 25}{30} = \text{rd. } 16,5\%$ . Die

Dämpfung ist also, abgesehen von einigen Vernachlässigungen, von je zwei Kenngrößen der Regelstrecke und des Reglers abhängig. Im übrigen kommt uns hier zugute, daß die Definitionen dieser Kenngrößen zum Teil nicht ganz einfach sind. Infolgedessen sagt z. B. das kurze Formelzeichen  $T_a$  sehr viel, dementsprechend wird aber die Dämpfungsformel verhältnismäßig sehr einfach.

Darüber hinaus ist jedoch diese Dämpfungsformel eine der wichtigsten Beziehungen, die in der Regeltechnik überhaupt vorkommen. Sie sagt nämlich, wie die Eigenschaften des Reglers auf die Eigenschaften der Regelstrecke abgestimmt werden müssen, um die beste Dämpfung zu ergeben.

## 2. Die kennzeichnenden Gruppen von Regelungsanlagen.

Handelt es sich um einen Gleichwertregler (ohne Ungleichförmigkeit), so ist  $\delta = 0$  und damit der zweite Summand in der Dämpfungsformel einflusslos. Unter dieser Voraussetzung ist die Dämpfung um so besser, je größer der Ausgleichsgrad ist, wie wir uns schon früher überlegt hatten. Ferner muß die Stellzeit  $T_s$  lang werden, wenn die Regelschwingung schnell abklingen soll, d. h. der Regler muß das Regelventil langsam vorstellen. Auch dieser Einfluß war bereits aus dem Vorangegangenen klar geworden. Als wesentliche neue Erkenntnis kommt jedoch hinzu, daß die Anlaufzeit der Regelstrecke gering sein muß, wenn die Dämpfung ausreichen soll. Daraus folgt weiter, daß die Gleichwertregler (Regler mit Laufgeschwindigkeitszuordnung) zum Einbau in solche Regelstrecken besonders geeignet sind, die einen großen Ausgleichsgrad und gleichzeitig geringe Anlaufzeit haben. Das ist die Gruppe der Druck- und Mengenregler, die wir schon unter diesem Gesichtspunkt kennengelernt haben. Ein wesentliches Merkmal dieser Regelung mit Laufgeschwindigkeitszuordnung liegt darin, daß dabei die Dämpfung eine Folgeerscheinung von Eigenschaften der Regelstrecke ist. Ist der Ausgleichsgrad gering oder die Anlaufzeit groß, so läßt sich durch Eigenschaften des Reglers, nämlich durch eine noch so große Stellzeit, unter Umständen keine ausreichende Dämpfung mehr erreichen. Praktisch scheidet das schon daran, daß man z. B. den Servomotorkolben eines mit Drucköl betriebenen Reglers nicht unbegrenzt langsam laufen lassen kann.

In solchen Fällen mit geringem Ausgleichsgrad und großer Anlaufzeit bleibt nichts anderes übrig, als einen Regler mit Ungleichförmigkeit zu verwenden. Die Dämpfung wird dann vorwiegend durch den zweiten Summanden in der Dämpfungsformel bestimmt, und zwar ist sie um so größer, je größer die Ungleichförmigkeit gewählt wird. Die Dämpfungsformel gibt aber außerdem den Beweis für die bereits erwähnte Tatsache, daß bei der Regelung mit Ungleichförmigkeit die Schwingung um so schneller abklingt, je kleiner man die Stellzeit macht, je schneller man also den Regler steuern läßt. Wie ferner aus der Dämpfungsformel hervorgeht, sind Regelstrecken mit kleinem Ausgleichsgrad und langer Anlaufzeit das gegebene Anwendungsgebiet der Regler mit Ungleichförmigkeit. Hierher gehört z. B. der Wasserstandsregler von gasbeheizten Dampfautomaten oder die Gasbehälterstandsregelung. Das Merkmal dieser Regelung mit Ungleichförmigkeit liegt darin, daß die Dämpfung im wesentlichen durch den Ungleichförmigkeitsgrad, also durch eine Eigenschaft des Reglers bedingt ist. Gleichzeitig ist die Länge der Anlaufzeit, die Eigenschaft der Regelstrecke, bedeutungsvoll, und zwar

wird die Dämpfung hier — ganz im Gegensatz zur Laufgeschwindigkeitsregelung — sogar um so besser, je länger die Anlaufzeit ist.

Wie wir schon gesehen hatten, kommt eine an sich denkbare dritte Gruppe von Regelstrecken mit gleichzeitig geringem Ausgleichsgrad und geringer Anlaufzeit jedenfalls im Gasfach kaum vor. Solche Regelstrecken würden der Regeltechnik schon größere Schwierigkeiten bieten. Dagegen haben wir es bei Temperaturreglern aller Art häufig sowohl mit großem Ausgleichsgrad als auch mit langen Anlaufzeiten der Regelstrecke zu tun. In solchen Fällen wird man zunächst schon aus Gründen der Regelgenauigkeit versuchen, mit einem Laufgeschwindigkeitsregler auszukommen. Das ist auch insofern zweckmäßig, als diese Art von Reglern langsam laufen muß und daher leistungsmäßig ziemlich klein und billig gebaut werden kann. Das läuft also darauf hinaus, die Wärmespeicherung technischer Öfen möglichst gering zu halten. Man muß sich aber darüber klar sein, daß diese billigen Laufgeschwindigkeitsregler mit geringer Regelschwindigkeit arbeiten. Ist eine größere Steuergeschwindigkeit erwünscht, z. B. weil die Störungen schnell und häufig auftreten, oder ist die Abweichung vom Sollzustand zu groß, die sich während der langen Stellzeit ergibt, so muß man den Regler mit Ungleichförmigkeit wählen. Er ist ebenfalls unvermeidlich, wenn die Bestrebungen, die Speicherfähigkeit des Ofens zu vermindern, nur zu einem Teilerfolg führen oder aus baulichen Gründen nicht zu verwirklichen sind, so daß die Anlaufzeit trotzdem verhältnismäßig lang und die Eigendämpfung der Regelstrecke somit schlecht bleibt. Durch die Wahl des Reglers mit Stellungszuordnung legt man sich auf eine größere Steuergeschwindigkeit unter Verzicht auf die Regelgenauigkeit fest. Man erkaufte also die im Regler liegende Dämpfungsmöglichkeit auf Kosten der Regelgenauigkeit. Hat man sich in dieser Weise festgelegt, so ist vom Standpunkt der Regelstabilität der Ofen mit großer Wärmespeicherung sogar günstiger, ja die erforderliche Ungleichförmigkeit ermäßigt sich dann sogar, je größer die Anlaufzeit ist. Die Regelgenauigkeit kann also durch Verlängerung der Anlaufzeit erhöht werden. Es hat also nur Sinn, sich beim Bau des Ofens in bezug auf geringe Wärmespeicherung Mühe zu geben, wenn man von vornherein sicher ist, mit einem Laufgeschwindigkeitsregler auszukommen. Das wird im allgemeinen der Fall sein, wenn bei großem Ausgleichsgrad und verhältnismäßig geringer Anlaufzeit die Störungen langsam und selten auftreten, so daß lange Stellzeiten des Reglers ausreichen.

## 3. Die Ausbildung von Stellungsreglern als Gleichwertregler.

Es gibt natürlich Regelaufgaben, die aus Stabilitätsgründen nur mit einer Stellungszuordnung gelöst werden können, bei denen aber die Ungleichförmigkeit vom Standpunkte der Regelgenauigkeit nicht tragbar erscheint. Man verwendet dann bei mittelbaren Reglern Anordnungen, durch die eine Ungleichförmigkeit nur vorübergehend wirksam wird. Das läßt sich bei Benutzung von Drucköl als Hilfskraft z. B. mit einem Schlupfkolben erreichen, der

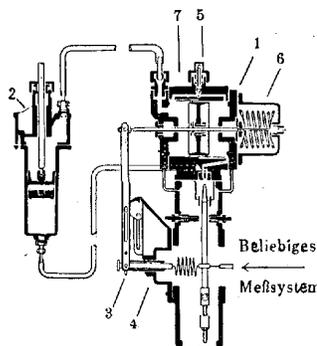


Bild 10. Nachgiebige hydraulische Rückführung.

zu Beginn des Steuervorganges von dem Drucköl mitgenommen, dann aber durch Federkraft allmählich wieder in seine Mittellage zurückgeholt wird. Man spricht hierbei von Schlupf oder auch von einer Nachgiebigkeit, weil die beiden Räume des Steuerzylinders rechts und links des Kolbens durch eine absichtlich angebrachte Undichtigkeit miteinander in Verbindung stehen, so daß es den genannten Federn möglich ist, den Kolben in die Ausgangsstellung zurückzuholen (Bild 10). Der besondere Wert solcher nachgiebigen Rückführungen liegt darin, daß man sich die Vorzüge der Regelung mit Ungleichförmigkeit zunutze macht, ohne daß man dafür ein Opfer an Regelgenauigkeit zu bringen braucht. Bei solchen Anordnungen tritt Beharrung in dem Augenblick ein, in dem der Schlupfkolben unter der Einwirkung der Federkraft in die ursprüngliche Mittellage zurückkehrt. In dieser Stellung ist am Meßwerk des Reglers stets der gleiche Sollwert eingestellt, ganz unabhängig von der jeweiligen Stellung des Servomotors. Es handelt sich also um einen Gleichwertregler mit vorübergehender Ungleichförmigkeit.

In ähnlicher Weise läßt sich bei unmittelbaren Reglern mit Stellungszuordnung die Ungleichförmigkeit häufig durch geeignete Formgebung des Ventilkörpers beseitigen. Man bekommt also dann trotz der unveränderten Stellungszuordnung unter gewissen Voraussetzungen eine Gleichwertregelung. Hierfür liegen Beispiele in dem Wassermengen- und dem Gasdruckregler in der Armatur von Gas-Badeöfen vor (Bild 2 und 7).

### Kennzeichen des Regelimpulses.

#### 1. Die Impulsdämpfung und die Impulsverzögerung.

Wir haben nun die wesentlichen Merkmale der Regelstrecken und auch der Regler kennengelernt und gehört, nach welchen Gesichtspunkten Regler und Regelstrecken aufeinander abgestimmt werden müssen. Das Gesamtbild wird aber erst vollständig, wenn wir Entsprechendes auch noch über das Bindeglied zwischen der Regelstrecke und dem Regler, den Impuls, hören. An Bild 1 wird wiederum deutlich, daß der Zustand, der an der Stelle A meßbar ist, durch eine geeignete Leitung auf den Regler übertragen werden muß. Bei einem Druckregler kann das z. B. eine gewöhnliche Rohrleitung sein, durch die sich der Druck auf die Meßmembran des Reglers überträgt und so den Regler beeinflusst. Bei einem Temperaturregler kann sich an der Stelle A ein Thermoelement befinden, dessen Spannung den Regler mittels elektrischer Leitungen beeinflusst usw. Leider ist dieser Impuls, der am Regler ankommt, nicht immer gleichbedeutend mit dem Zustand, der an der Stelle A meßbar ist, und es ist mitunter auch nicht gleichgültig, wo man die Meßstelle A an der Regelstrecke anbringt. Bei der Temperaturregelung hat z. B. der etwa verwendete Flüssigkeitsthermostat immer eine gewisse Trägheit. Wenn sich der Zustand, der gemessen werden soll, ändert, macht sich allerdings auch an dem Thermostaten sehr bald eine Längenänderung bemerkbar, die aber zunächst sehr klein ist. Erst nach einer gewissen Zeit erreicht die Längenänderung einen entsprechend größeren Betrag, der dem vollen Betrag der Zustandsänderung entspricht. Dieses Verhalten wird in der Regeltechnik gewöhnlich als Impulsdämpfung bezeichnet.

Der Impuls ist mit dem Zustand ebenfalls nicht gleichbedeutend, wenn z. B. durch Mischung zweier Flüssigkeiten eine bestimmte Temperatur, Konzentration oder dergleichen geregelt werden soll (Bild 11): In solchen Fällen stehen an sich verschiedene Stellen der Gemischleitung für den Anschluß des Meßgerätes zur Verfügung. Das Meßgerät, etwa ein Wärmefühler, muß dann möglichst nahe der Mischstelle eingebaut werden, wo eine veränderte Stellung des Regelventils unverzüglich bemerkbar wird. Andernfalls vergeht bei größerer Entfernung dieser beiden Punkte unter Umständen eine beträchtliche Zeit, ehe eine Mischungsänderung sich an der Meßstelle überhaupt bemerkbar macht. Außerdem muß man gegebenenfalls durch Kürzung der Impuls-

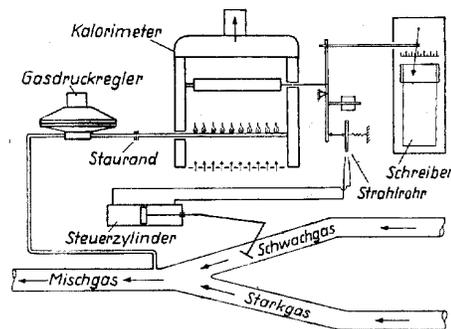


Bild 11. Schema einer Heizwert-Regelanlage.

leitung dafür sorgen, daß der Impuls die Entfernung zwischen Impulsenahmestelle und Regler in kürzester Zeit durchläuft. Im Gegensatz zu der Impulsdämpfung sind diese Vorgänge dadurch gekennzeichnet, daß der Impuls nicht eine gewisse Zeit braucht, um seinen vollen Wert zu erreichen, sondern daß eine gewisse Zeit vergeht, bis der Impuls überhaupt anfängt, sich zu ändern. Die Regelungstechnik bezeichnet das als Impulsverzögerung.

#### 2. Die Maßnahmen bei fehlerhaftem Impuls.

Sowohl die Impulsdämpfung als auch die Impulsverzögerung sind in bezug auf die Regelstabilität sehr unangenehm, denn der gedämpfte oder verzögerte Impuls hinkt ja dem Zustand nach. Er beeinflusst den Regler also zu spät. Wenn der Zustand beispielsweise sinkt und dabei gerade den Sollzustand erreicht hat, ist der Impuls noch nicht Null. Es wird also überregelt. Die Folge ist, daß die Schwingungen des Reglers andauern oder sogar verstärkt werden. In der genannten Dämpfungsformel lassen sich Impulsdämpfung und Impulsverzögerung durch ein zusätzliches negatives Glied berücksichtigen. Diese Einflüsse wirken also stets dämpfungsmindernd.

Dem Einfluß der Impulsdämpfung kann man in vielen Fällen verhältnismäßig leicht durch eine entsprechend große Ungleichförmigkeit begegnen. Die Regelaufgabe wird aber um so schwieriger, je mehr der Meßwert nachhinkt; es ist deshalb in vielen Fällen besonderer Wert darauf zu legen, den Fühler möglichst trägheitslos auszubilden. Bei Impulsverzögerungen ist außerdem darauf zu achten, daß der Impuls an einer Stelle der Anlage entnommen wird, an der unverzüglich eine Wirkung auftritt, wenn man das Regelventil verstellt. Impulsverzögerungen erschweren die Regelung stets ganz erheblich und können sie in krassen Fällen sogar unmöglich machen. In mildereren Fällen genügt es, die Schwingungszeit durch Ermäßigung der Laufgeschwindigkeit des Reglers möglichst lang zu machen. Darunter leidet aber die Güte der Regelung, denn der Regler ist bei so kleinen Laufgeschwindigkeiten nur noch in der Lage, ganz geringen Störgeschwindigkeiten zu folgen.

Wenn man sich diese sämtlichen Zusammenhänge klar gemacht hat, läßt sich die Frage verhältnismäßig leicht beantworten, was zu tun sei, wenn ein Regler schwingt. Man muß dann zunächst versuchen, die Impulsverzögerung und die Impulsdämpfung zu verringern. Außerdem wird man versuchen, durch Änderung der Laufgeschwindigkeit, d. h. der Stellzeit, die Schwingung besser zu dämpfen. Gelingt das mit diesen Mitteln noch nicht, so muß die Regelung mit einer Ungleichförmigkeit ausgestattet oder, wenn das bereits geschehen ist, muß die Ungleichförmigkeit verstärkt werden. Dabei muß dann aber gleichzeitig die Stellgeschwindigkeit weitgehend erhöht werden, damit die dämpfende Wirkung der Ungleichförmigkeit wirksam wird. Die Regelgenauigkeit leidet hierbei unter Umständen in unzulässigem Maße. Es bleibt dann noch die Möglichkeit, die Rückführung nachgiebig zu machen. Im übrigen bezieht sich namentlich das, was für den Regler mit Stellungszuordnung über die Abhängigkeit der Dämpfung von der Stellzeit gesagt wurde, auf den fehlerfreien Regler. Reibung,

zu großes Spiel in den Übertragungsteilen (lockere Gelenke) und ähnliche Mängel vermindern meistens die Dämpfung. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Anforderungen an die Schnelligkeit der Regelung nicht zu überspannen.

#### Zusammenfassung.

Wie die vorangegangenen Überlegungen zeigen, lassen sich die regeltechnischen Zusammenhänge für die meisten im Gasfach vorkommenden Regelungsaufgaben verhältnismäßig leicht übersehen. Zu einem solchen Überblick bedient sich die Regelungstechnik allerdings eines umfangreichen Handwerkszeuges an regeltechnischen Grundbegriffen, das zum Verständnis der Gedankengänge nun einmal nötig ist, und mit dem sich daher wesentliche Hauptabschnitte dieser Arbeit befassen mußten. Hat man sich diese Grundlagen der Regelungstechnik einmal klar gemacht, so ergeben sich die Folgerungen für die Zuordnung des geeigneten Reglers zu jeder Regelstrecke aber sehr einfach, wenn man hierbei insbesondere die Dämpfungsformel zugrunde legt. Streng genommen gelten die betreffenden Berechnungen allerdings nur für den fehlerfrei arbeitend gedachten Regler. Am

Schluß des Aufsatzes werden deshalb die unvermeidlichen Mängel ausgeführter Regelanlagen erwähnt und Hinweise für die Beseitigung ihrer Folgen gegeben.

#### Schrifttum.

1. G. Neumann u. G. Wunsch, Regler (Teile A bis D). Arch. Eisenhüttenw. 6 (1932/33), S. 137/44; 6 (1932/33), S. 183/88; 7 (1933/34), S. 237/46 u. S. 389/402.
2. G. Neumann, Erfahrungen an Reglern. Arch. Eisenhüttenw. 7 (1933/34), S. 499/503.
3. K. Rummel, Die Grundgesetze der Regelung. Arch. Eisenhüttenw. 8 (1934/35), S. 281/92.
4. G. Jungnitz, Die Versuche an der Regelstrecke der »Wärmestelle Düsseldorf«. Arch. Eisenhüttenw. 8 (1934/35), S. 371/77.
5. G. Wunsch, Das Verhalten der selbsttätigen Regler. Z. VDI 85 (1941), S. 444/48.

Druck von R. Oldenbourg, München.

Verlag der Zeitschrift »GWF Das Gas- und Wasserfach«, R. Oldenbourg, München und Berlin.

# Sonderabdruck

aus der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure Bd. 84 (1940) Nr. 44 S. 837 bis 843



## Regelung von Kreiselerdichtern

Von Dr.-Ing. F. Kluge, Duisburg

Die wichtigsten Regelungsarten von Kreiselerdichtern im stabilen Gebiet sind Regelung auf gleichbleibenden Enddruck am Verdichteraustritt oder an einer Entnahmestelle des Netzes, Regelung auf gleichbleibende Ansaugmenge und Regelung auf gleichbleibende Kupplungsleistung. Die Regelung wird von Hand oder bei häufigen und größeren Betriebsschwankungen selbsttätig durchgeführt. Beim Arbeiten im instabilen Gebiet werden die Abblase- oder die Umblaserregelung bevorzugt, wenn die Pumpgrenze nur kurzzeitig unterschritten wird. Andernfalls gibt man der Umblaserregelung mit Entspannungsturbine oder der Aussetzerregelung den Vorzug. Im folgenden werden die einzelnen Regelverfahren hinsichtlich ihrer Wirkungsweise, Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit besprochen.

Die Eigenschaften der Kreiselerdichter und die verschiedenen Forderungen, die von seiten der Betriebsführung an sie gestellt werden, haben zu einer Reihe von Regelungen, die teils von Hand und teils selbsttätig betätigt werden, geführt.

Angesaugte Menge  $Q$ , erzielbarer Enddruck  $p_d$  und Drehzahl  $n$  sind nach dem Verlauf des Kennlinienfelds, Bild 1, miteinander zwangsläufig verbunden. Bei Gebläsen mit kleinem und mittlerem Enddruck ändert sich bei einer Drehzahländerung die Ansaugmenge etwa mit der Drehzahl verhältnismäßig, die Verdichtungsarbeit und der

Lufträume im Innern der Maschine abhängt. Bei kleinen Verdichtungsdrücken bis etwa 1000 mm WS sind die Pumpstöße außerordentlich schwach, vielfach überhaupt nicht feststellbar, so daß hier das gesamte Kennlinienfeld befahren werden kann. Durch Anwendung von verstellbaren Leitschaufeln oder durch entsprechende Gestaltung von Laufrädern und Diffusoren ist es möglich, sehr niedere Pumpgrenzen zu erreichen<sup>1)</sup>.

Um einen Kreiselerdichter verschiedenen Betriebsforderungen anzupassen und um auch den Verdichter für Luftbedarf unterhalb der Pumpgrenze verwenden zu können, sind verschiedene Regelungsarten entwickelt worden, die im folgenden besprochen werden.

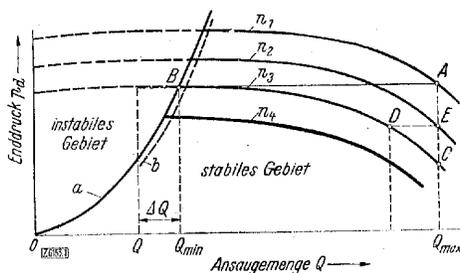


Bild 1. Kennlinienfeld eines Kreiselerdichters bei Drehzahlregelung.

- a Pumpgrenze
- n Drehzahl
- AB Regelung auf gleichbleibenden Enddruck
- AC Regelung auf gleichbleibende Ansaugmenge

Enddruck etwa mit dem Quadrat der Drehzahl. Bei höherem Enddruck ergeben sich jedoch ziemlich starke Abweichungen von diesem Näherungsgesetz.

Ist die Drehzahl der Antriebsmaschine nicht regelbar, dann kann im Betrieb nur eine durch die Drehzahl festgelegte Kennlinie, Bild 1, gefahren werden, während bei Drehzahl-Verstellmöglichkeit das gesamte Kennlinienfeld rechts der Pumpgrenze, Kurve a, bestrichen werden kann. Links der Pumpgrenze treten Loslösen und Abreißen der Strömung in den Kanälen der Laufräder auf, so daß die vollkommen gleichmäßige Strömung des stabilen Gebietes in eine un stetige mit periodischen Druckschwankungen übergeht, die um so stärker sind, je größer das Verdichtungsverhältnis des Verdichters und die Wichte des geförderten Mittels sind, und deren Schwingungszahl u. a. auch von der Größe des Druckluftnetzes und der

- Zu Bild 2:
- a Pumpgrenze
  - b Antriebsleistung  $N$  bei Drosselung in der Druckleitung
  - c Antriebsleistung  $N$  bei Drosselung in der Saugleitung
  - $p_n$  Netzdruck
  - AB Regelung auf gleichbleibenden Enddruck

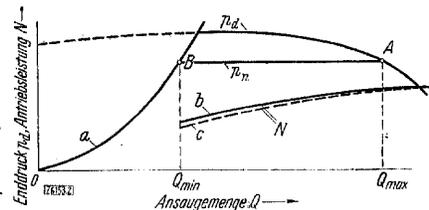


Bild 2. Kennlinienfeld eines Kreiselerdichters bei Drosselregelung.

### Regelungen im stabilen Gebiet

#### Regelung durch Handverstellung

In vielen Fällen begnügt man sich mit einer einfachen Handverstellung zur Veränderung der Drehzahl der Antriebsmaschine. Man kann damit jede Betriebsforderung hinsichtlich Druck und Menge innerhalb des vorgesehenen Drehzahlverstellbereiches erfüllen. Ist die Drehzahl nicht regelbar, ist es möglich, durch Drosselung in der Druckleitung oder Saugleitung auch Punkte unterhalb der Kennlinie zu fahren. Die Drosselung ist stets mit einem Energieverlust verbunden. Bild 2 zeigt den Leistungsbedarf eines in der Drehzahl nicht regelbaren Verdichters zur Erzielung eines gleichbleibenden Netzdruckes  $p_n$  bei Drosselung in der Druckleitung, Kurve b, und in der Saugleitung, Kurve c. Es empfiehlt sich daher, der Drosselung in der Saugleitung den Vorzug

<sup>1)</sup> P. Ostertag, Kolben- und Turbo-Kompressoren, Berlin 1923, S. 239/42.

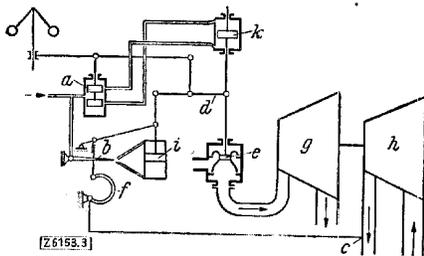
zu geben, wenn nicht besondere Gründe dieses verbieten, z. B. bei Gasverdichtern, wo man mitunter Unterdruck in der Saugleitung vermeiden muß, um das Eindringen von Luft zu verhindern.

**Selbsttätige Regelung**

Bei häufigen und größeren Betriebsschwankungen ist eine selbsttätige Regelung empfehlenswert, die den Betriebsforderungen angepaßt werden muß.

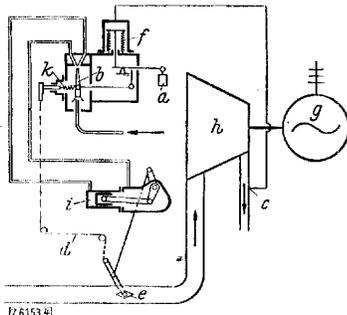
Regelung auf gleichbleibenden Verdichterenddruck<sup>2)</sup>. Diese Bedingung wird z. B. bei Druckluftanlagen in Bergwerksbetrieben gestellt, wo zum Betrieb der Druckluftwerkzeuge und -motoren, unabhängig vom Luftverbrauch, möglichst gleichbleibender Luftdruck benötigt wird. Da der Luftverbrauch während der einzelnen Schichten und Seilfahrten sehr verschieden ist, können beträchtliche Schwankungen im Luftbedarf eintreten, denen die Luftförderung des Verdichters durch die Regelung anzupassen ist.

Ein einfaches Mittel zum Anpassen der Luftförderung an den veränderlichen Verbrauch bei gleichbleibendem Enddruck ist die Drehzahlregelung. Durch Absenken der Drehzahl von  $n_1$  auf  $n_2$  kann man das gesamte stabile Gebiet des Kennlinienfeldes von  $Q_{max}$  bis  $Q_{min}$  befahren, Bild 1.



Zu Bild 3:  
 a Steuerschieber  
 b Strahlrohr  
 c Entnahmestelle für den Druckstoß  
 d Rückführung  
 e Frischdampfventil  
 f Druckregler  
 g Dampfturbine  
 h Verdichter  
 i, k Stellmotoren

**Bild 3.** Selbsttätige Drehzahlregelung auf gleichbleibenden Verdichterenddruck.



Zu Bild 4:  
 a Gegengewicht  
 b Strahlrohr  
 c Entnahmestelle für den Druckstoß  
 d Rückführung  
 e Drosselklappe  
 f Druckregler  
 g Antriebsmotor  
 h Verdichter  
 i Stellmotor  
 k Feder zum Einstellen der Vorspannung

**Bild 4.** Selbsttätige Drosselregelung auf gleichbleibenden Verdichterenddruck.

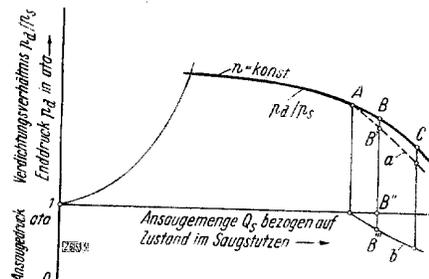
Der Impuls für die Regelung wird der Druckleitung des Verdichters  $h$  im Punkt  $c$ , Bild 3, entnommen. Dieser Druck wirkt auf den Druckregler  $f$ <sup>3)</sup>. Bei absinkendem Netzdruck infolge wachsenden Luftverbrauchs des Netzes steigt die Drehzahl der Antriebsmaschine  $g$  so, daß die Lieferung dem größeren Verbrauch angepaßt und der gewünschte Netzdruck  $p_n$  wiederhergestellt werden. Bei steigendem Netzdruck dagegen wird die Drehzahl herabgesetzt.

Ist eine Drehzahlverstellung nicht möglich, wie es beim nicht regelbaren Antriebsmotor der Fall ist, der wegen der wesentlich geringeren Anschaffungskosten an Stelle des regelbaren Motors verwendet wird, so wird die

<sup>2)</sup> B. Lendorff, Escher Wyss Mitt. Bd. 5 (1932) S. 96/99; A. Lüthi, Escher Wyss Mitt. Bd. 7 (1934) S. 130/33.  
<sup>3)</sup> G. Wünsch, Meßgeräte im Industriebetrieb, Berlin 1936, S. 14, Regler für Druck und Menge, München u. Berlin 1930, S. 50 u. Z. VDI Bd. 81 (1937) S. 1057/64; A. Lüthi, Escher Wyss Mitt. Bd. 5 (1932) S. 19/23.

Drosselregelung angewendet, Bild 2. Der grundsätzliche Aufbau der Regelung durch Drosseln mittels einer Drosselklappe  $e$  in der Saugleitung ist in Bild 4 dargestellt, aus dem die Arbeitsweise leicht zu entnehmen ist. Die größte Menge  $Q_{max}$ , die auf den Netzdruck  $p_n$  bei der Drehzahl  $n_1$  gefördert werden kann, ergibt sich bei vollgeöffnetem Drosselorgan im Punkt  $A$ , Bild 2.

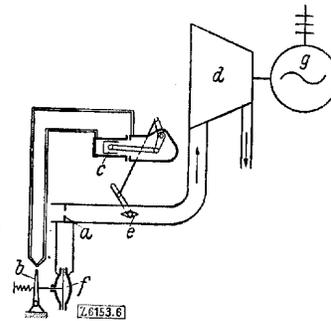
Regelung auf gleichbleibendes Ansauggewicht. Diese Forderung wird z. B. bei Hochofengebläsen gestellt, wo unabhängig vom Widerstand des Hochofens stets die gleiche Luftmenge dem Hochofen zugeführt werden soll, ferner in chemischen Betrieben, wo häufig die Forderung gleichbleibenden Luft- oder Gasdurchsatzes für bestimmte Geräte gestellt wird, deren Widerstand wechseln kann<sup>4)</sup>. Es handelt sich also bei solchen Regelungen darum, ein gleichbleibendes Gas- oder Luftgewicht auf verschiedene Drücke zu fördern. Bleibt während der Regelung der Saugzustand immer der gleiche, dann ist mit dem Gewicht auch das angesaugte Volumen gleichbleibend. Der Regelvorgang bei Drehzahlregelung ist durch die Linie  $AC$ , Bild 1, gekennzeichnet. Hierbei ist der grundsätzliche Aufbau der Regelvorrichtung der der Regelung auf gleichbleibenden Enddruck, Bild 3, gleich. Statt der einfachen Entnahmestelle  $c$  des Druckstoßes wird eine Blende verwendet, die in die



Zu Bild 5:  
 a, b Druckverlauf im Druck- bzw. Saugstutzen

**Bild 5.** Selbsttätige Drosselregelung auf gleichbleibendes Ansauggewicht bei unveränderlicher Drehzahl  $n$ .

Zu Bild 6:  
 a Blende  
 b Strahlrohr  
 c Stellmotor  
 d Verdichter  
 e Drosselklappe  
 f Druckregler  
 g Antriebsmotor



**Bild 6.** Grundsätzlicher Aufbau der Anlage bei Regelung nach Bild 5.

Saugleitung des Verdichters eingebaut ist. Bei Einbau in die Druckleitung müssen die Einflüsse von Druck und Temperatur durch eine besondere Berichtigung Berücksichtigung finden. Die Regelung auf gleichbleibende Ansaugmenge ist dadurch auf Regelung nach gleichbleibendem Druckunterschied an einer Blende zurückgeführt.

Entspricht der Betriebszustand der Maschine Punkt  $C$ , Bild 1, und wird der Netzdruck geändert, dann geht die Ansaugmenge nach der Kennlinie  $n_3$  von  $C$  bis  $D$  zurück, solange die Drehzahl nicht geändert wird. Mit dem Zurückgehen der Ansaugmenge ist jedoch gleichzeitig eine Verkleinerung des Druckunterschiedes an der Blende verknüpft. Der Regler steigert daher die Maschinendrehzahl von  $n_3$  auf  $n_2$ , so daß der ursprüngliche Druckunterschied der Blende wiederhergestellt und der neue Gleichgewichtszustand in  $E$  erreicht wird.

<sup>4)</sup> K. Blasius, Stahl u. Eisen Bd. 53 (1933) S. 375/79.

Gleichbleibende Ansaugmenge kann auch durch Drosselregelung erzielt werden. Durch Drosselung in der Druckleitung kann die Kennlinie  $n = \text{konst.}$  gefahren werden, Bild 5. Da hierbei der Ansaugdruck nahezu unverändert ist, ist es nicht möglich, gleichbleibendes Ansauggewicht zu erreichen. Das ist durch Drosseln in der Saugleitung möglich. Im Punkt A, Bild 5, sei die Saugklappe vollkommen geöffnet, es herrsche der Saugzustand durch den Druck  $p_{sa}$ , die absolute Temperatur  $T_{sa}$  und das Luftvolumen  $Q_{sa}$  gekennzeichnet. Das angesaugte Gewicht ist

$$G_a = Q_{sa} \frac{p_{sa}}{RT_{sa}} \quad (1)$$

wenn  $R$  die Gaskonstante ist.

Im Punkt B sei die Saugklappe so weit geschlossen, daß  $G_b = G_a$  ist. Hierbei stellen sich im Saugstutzen der Druck  $p_{sb}$  und im Druckstutzen der Druck  $p_{db}$  ein, und das Luftvolumen, bezogen auf Saugzustand,  $Q_{sb} = 1B''$ .

Zu  $Q_{sb}$  gehört nach dem Verlauf der Kennlinie AB das Verdichtungsverhältnis  $p_{db}/p_{sb} = B''B$ .

Durch  $Q_{sb}$ ,  $p_{sb}$  und  $p_{db}/p_{sb}$  ist somit  $p_{db}$  festgelegt, Kurve a. Da nach Voraussetzung der Regelung

$$G_b = Q_{sb} \frac{p_{sb}}{RT_{sb}} = G_a \quad (2)$$

ist, folgt

$$p_{sb} = p_{sa} \frac{Q_{sa}}{Q_{sb}} \quad (3)$$

wenn die Anfangstemperatur als gleichbleibend vorausgesetzt wird, was angenommen werden kann. Mit Hilfe von Gl. (3) wurde die Kurve b in Bild 5 ermittelt, die den Druckverlauf im Saugstutzen bei gleichbleibendem Luftgewicht angibt.

Baulich verwirklichen läßt sich eine solche Regelung durch eine Drosselklappe e und eine Blende a in der Saugleitung, Bild 6. Der Unterschiedsdruck der Blende wirkt über ein Strahlrohr b auf einen Stellmotor c, der die Drosselklappe e verstellt.

### Regelung auf gleichbleibenden Druck an einer Entnahmestelle des Netzes

Vielfach ist die Forderung gestellt nach gleichbleibendem Druck nicht unmittelbar hinter dem Verdichter, sondern in größerer Entfernung von diesem<sup>2)</sup>. Zwischen dem Verdichter und der Entnahmestelle liegen ein größerer Rohrleitungsstrang oder Geräte, wie z. B. Trocknungsgeräte, Gasgeneratoren, Koksfilter, deren Widerstand zusätzlich überwunden werden muß. Dieser Widerstand ändert sich mit dem Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit und, da die Rohrleitung in ihren Abmessungen als gegeben betrachtet werden muß, somit mit dem Quadrat des Durchsatzvolumens. Es ergibt sich daher bei gleichbleibendem Druck  $p_n$  im Netz ein erforderlicher Enddruck  $p_d$  am Verdichter in Abhängigkeit vom Ansaugvolumen des Verdichters nach Bild 7.

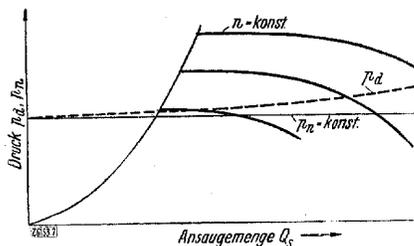


Bild 7. Verlauf des Verdichtungsdruckes  $p_d$  zur Erzielung eines gleichbleibenden Druckes  $p_n$  an einer Entnahmestelle des Netzes.

Hierbei ist besonders der in der Drehzahl verstellbare Antrieb geeignet. Der grundsätzliche Aufbau der Regelung ist in Bild 3 bzw. Bild 4 dargestellt, nur ist in diesem Fall die Entnahmestelle c für den Druckanstöß nicht am Verdichteraustritt, sondern an einem Punkt des Netzes, an dem gleichbleibender Druck gewünscht wird.

Der Druckanstöß kann auch druckmengenabhängig durchgebildet werden, wobei der zum Ausgleich der Rohrleitungsverluste erforderliche Druckollwert in Abhängigkeit von der Fördermenge derart beeinflußt wird, daß mit steigender Fördermenge ein höherer Enddruck und mit sinkender Fördermenge ein niedrigerer Enddruck eingestellt werden.

### Regelung auf gleichbleibende Leistungsaufnahme

Diese Regelungsart hat weniger Bedeutung bei Kreisverdichtern als vielmehr bei Vakuum-Kreiselpumpen, wenn es sich darum handelt, größere Behälter luftleer zu machen, und wenn darauf Wert gelegt wird, den Antriebsmotor möglichst gleichbleibend während des Auspumpens zu belasten, und ihn nicht unnötig reichlich zu bemessen. Die theoretische Verdichtungsarbeit  $L_{is}$ , Kurve c in Bild 8, erreicht den Höchstwert bei einem

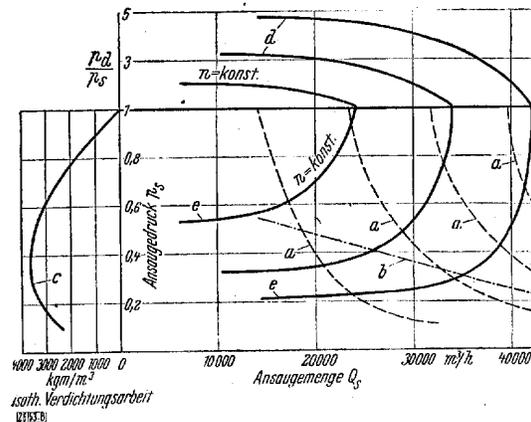


Bild 8. Regelung auf gleichbleibende Leistungsaufnahme, Kurven a, bzw. gleichbleibendes Drehmoment, Kurve b, an der Kupplung einer Vakuum-Kreiselpumpe.

- c isothermische Verdichtungsarbeit  $L_{is}$  bei Verdichtung vom Ansaugdruck  $p_s$  auf 1 ata Enddruck in Abhängigkeit vom Ansaugdruck  $p_s$
- d Ansaugmenge in Abhängigkeit vom Verhältnis des Verdichtersdruckes  $p_d$  zum Ansaugdruck  $p_s$  bei gleichbleibender Drehzahl
- e Ansaugmenge in Abhängigkeit vom Ansaugdruck bei gleichbleibender Drehzahl

Ansaugdruck  $p_s$  zwischen 0,3 und 0,4 ata. Je nach Auslegung hat die Maschine bei einer bestimmten Drehzahl  $n$  einen bestimmten Verlauf des Ansaugdruckes  $p_s$  in Abhängigkeit von der Ansaugmenge  $Q_s$ , Kurven e, und der Wirkungsgradkurve  $\eta_{is}$ . Es ergibt sich daher aus dem Zusammenwirken von  $L_{is}$ ,  $Q_s$  und  $\eta_{is}$  beim Ändern der Drehzahl ein bestimmter Verlauf der Kurven gleicher Antriebsleistung, Kurven a, wonach unter Voraussetzung einer bestimmten Leistung  $N$  mit zunehmender Luftleere ein immer größer werdendes Volumen abgesaugt werden kann, wenn ein Behälter von Umgebungsdruck allmählich luftleer gemacht werden soll.

Bei einer derartigen Regelung auf gleichbleibende Leistung wird allerdings bei kleinen Drehzahlen das Drehmoment sehr groß. Um dies zu vermeiden, kann man im Gebiet kleiner Drehzahl nach gleichbleibendem Drehmoment an der Kupplung regeln, Kurve b.

Die Regelung nach gleichbleibender Leistungsaufnahme bzw. nach gleichbleibendem Drehmoment an der Kupplung ist von der elektrischen Seite aus lösbar und bereitet keine Schwierigkeiten.

### Regelung im instabilen Gebiet

Die oben beschriebenen Regelverfahren erstrecken sich alle auf das rechts der Pumpgrenze *a*, Bild 1, gelegene Kennlinienfeld und befriedigen alle praktisch auftretenden Regelbedürfnisse. Es ist jedoch bei den einzelnen Regelverfahren durchaus möglich, daß während des Regelvorganges die Pumpgrenze berührt oder durchfahren wird. Um die Pumpstöße, die beim Arbeiten im instabilen Gebiet entstehen, im Betrieb zu vermeiden, ist es erforderlich, besondere Pumpverhütungs-Vorrichtungen vorzusehen, die wirksam werden, noch ehe der erste Pumpstoß auftritt, wenn unter Wirkung einer im stabilen Gebiet arbeitenden selbsttätigen Regelvorrichtung die Pumpgrenze erreicht wird. Man kann diese Pumpverhütungs-Vorrichtungen von Hand betätigen, jedoch ist es empfehlenswert, beim Vorhandensein einer selbsttätigen Regelung für das stabile Gebiet auch die Pumpgrenzregelung selbsttätig vorzunehmen.

### Abblaseregulung

Regelung auf gleichbleibenden Verdichterenddruck (Regelung von Kreisverdichtern in Zechenbetrieben). Die Abblaseregulung beruht darauf, daß bei einem unterhalb der Pumpgrenze liegenden Luftbedarf  $Q$  der Verdichter mit der der Pumpgrenze entsprechenden Luftmenge  $Q_{min}$  weiterfährt, Bild 1 und der überschüssige Betrag  $\Delta Q = Q_{min} - Q$  durch ein Abblaseventil abgeblasen wird<sup>b)</sup>. Der Leistungsbedarf zwischen null und  $Q_{min}$  ist dann gleichbleibend, und der spezifische Leistungsbedarf je  $m^3$  ins Netz geförderte Luft wird um so höher, je mehr Luft abgeblasen wird. Da die Pumpgrenze  $Q_{min}$  bei modernen Maschinen bereits sehr tief gelegt werden kann, so daß solche Maschinen schon ohne Pumpgrenzregelung in einem großen Arbeitsbereich  $Q_{min}$  bis  $Q_{max}$  arbeiten können, wird man in vielen praktischen Fällen, wenn man nicht ganz auf eine Pumpgrenzregelung verzichten will, mit kleinen Abblasemengen  $\Delta Q$  auskommen. In solchen Fällen spielt der durch das Abblasen bedingte Energieverlust keine bedeutende Rolle, und die Abblaseregulung ist vollkommen am Platz.

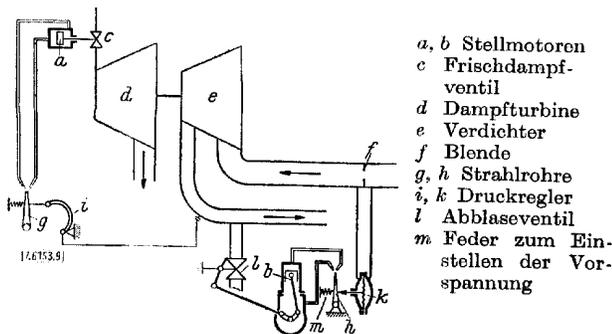


Bild 9. Selbsttätige Abblase- und Drehzahlregelung auf gleichbleibenden Verdichterenddruck.

Den grundsätzlichen Aufbau einer selbsttätigen Abblaseregulung zeigt Bild 9. Zur Verhinderung des Pumpens ist in die Druckleitung das durch einen Regler *k* betätigte Abblaseventil *l* eingebaut, das vom Druckregler *k* auf Grund des Unterschiedsdruckes einer in die Saugleitung eingebauten Stauscheibe *f* geregelt wird. Sinkt die Verbrauchermenge bis auf  $Q_{min}$ , so setzt die Abblaseregulung ein. Der Unterschiedsdruck an der Stauscheibe *f* genügt nicht mehr, um der Sollspannung der Feder *m* das Gleichgewicht zu halten, und das Strahlrohr geht nach rechts, so daß Drucköl auf die obere Seite des Steuerkolbens des Stellmotors *b* geleitet wird. Der Kolben bewegt sich abwärts und öffnet das Abblaseventil *l*, so

<sup>b)</sup> B. Eck u. W. J. Kearton, Turbo-Gebläse und Turbo-Kompressoren Berlin 1929, S. 246; Erwin Schulz, Turbo-Kompressoren und Turbo-Gebläse, Berlin 1931, S. 64.

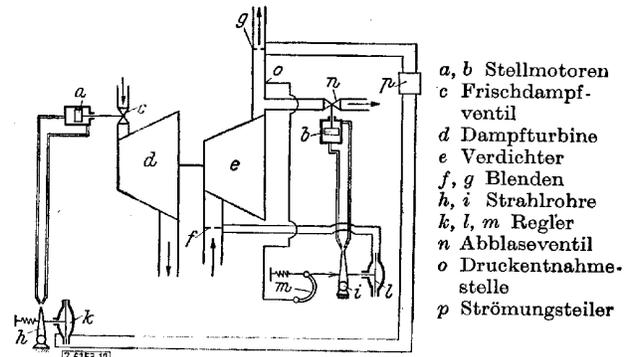


Bild 10. Abblase- und Drehzahlregelung auf gleichbleibende Menge.

daß die Luftentnahme in der Verbraucherleitung zusammen mit der durch das Abblaseventil abströmenden Luftmenge wieder den dem Unterschiedsdruck der Stauscheibe entsprechenden Betrag  $Q_{min}$  erreicht hat.

Um mit Sicherheit Pumpstöße zu vermeiden, ist es empfehlenswert, die Regelung und den Beginn des Öffnens des Abblaseventils so einzustellen, daß das Abblasen bereits kurz oberhalb  $Q_{min}$  beginnt.

Regelung auf gleichbleibende Menge (Regelung von Hochofengebläsen, Gasverdichtern in chemischen Betrieben). Die im vorigen Abschnitt beschriebene Regelung ist auch mit kleinen Änderungen für Regelung auf gleichbleibende, auf einen bestimmten Betrag einstellbare Menge verwendbar, Bild 1. Hierzu ist eine Abblaseregulung notwendig, die in Abhängigkeit von Druck und Menge etwa nach der Kurve *b* etwas vor Erreichen der Pumpgrenze *a* anspricht, Bild 1. Der Anstoß für die Pumpgrenzregelung in Abhängigkeit von Netzdruck und Ansaugmenge wird von der Blende *f* in der Saugleitung, Bild 10, und einer Druckentnahmestelle *o* in der Druckleitung gegeben. Der Anstoß für die Regelung auf gleichbleibendes Gewicht kann in diesem Fall nicht von der Blende der Saugleitung abgenommen werden, da durch diese auch die abzublase Luftmenge mitströmt, muß vielmehr einer in der Druckleitung nach der Abblaseleitung eingebauten Blende *g* entnommen werden. Die Veränderlichkeit von Druck und Temperatur an der Entnahmestelle dieser Blende machen eine Berichtigung des abgenommenen Unterschiedsdruckes durch einen besonders angeordneten Strömungsteiler *p* erforderlich.

### Umbblaseregulung

Anstatt beim Fahren von unterhalb der Pumpgrenze gelegenen Betriebspunkten die überschüssige Luft ins Freie abzublasen, kann man sie in den Saugstutzen des Verdichters zurückführen, Bild 11.

Durch diffusorartige Ausbildung des Einlaufstückes des Umblaseventils *c* kann man einen kleinen Teil der Geschwindigkeitsenergie der umgeblasenen Luftmenge in Druckenergie umwandeln und dadurch wiedergewinnen. Bezüglich Wirtschaftlichkeit gilt das gleiche wie für die Abblaseregulung. Solange nur kleine Mengen  $\Delta Q$  umgeblasen werden, hat der Energieverlust keine überragende Bedeutung und kann im Hinblick auf die Einfachheit der Regelung in Kauf genommen werden. Hat man die Absicht, auch größere Mengen umzublasen, so muß man einen Kühler zur Rückkühlung vorsehen, um zu hohe Eintrittstemperaturen am Verdichter zu vermeiden.

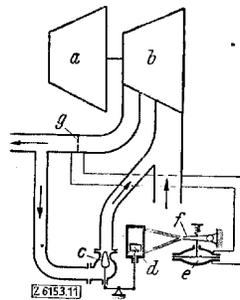


Bild 11. Umbblaseregulung.

- a Dampfturbine
- b Verdichter
- c Umblaseventil
- d Stellmotor
- e Regler
- f Strahlrohr
- g Blende

Die Umblaseregelung ist besonders für Gasverdichter geeignet, die zur Verdichtung hochwertiger oder giftiger Gase dienen. Hier verbietet sich die Abblaserregelung von selbst.

**Entspannungsturbine.** Um die Energie der bei der Abblase- bzw. Umblaseregelung unterhalb der Pumpgrenze abgeblasenen Mengen auszunutzen, wird mitunter an Stelle dieser Regelungen von Entspannungsturbinen Gebrauch gemacht, in denen sich die abgeblasenen Mengen auf den Anfangszustand ausdehnen. Ist die Entspannungsturbine unmittelbar mit dem Verdichter gekuppelt, dann gibt sie ihre Energie an den Verdichter ab und entlastet dadurch etwas die Hauptantriebsmaschine; im stabilen Arbeitsgebiet bringt aber die Entspannungsturbine dauernde Leerlaufverluste (Radreibungs-, Ventilations- und Lagerverluste) mit sich, die den Gesamtwirkungsgrad etwas beeinträchtigen. Getrennte Aufstellung der Entspannungsturbine erfordert eine besondere anzuzeigende Maschine (Stromerzeuger, Arbeitsmaschine oder dgl.), die jedoch nur in Betrieb gehalten wird, wenn mit der Hauptmaschine unterhalb der Pumpgrenze gefahren wird.

Inwieweit eine Entspannungsturbine Vorteile bietet gegenüber der Abblase- und Umblaseregelung, hängt in erster Linie von der Größe der abzublaseenden Gas- oder Luftmengen und vom Wirkungsgrad der Turbine ab. Wenn die Entspannungsturbine nur für kurzzeitigen Betrieb vorgesehen ist, wird man sie mit Rücksicht auf Anschaffungskosten bei den im Bergbau und in der chemischen Industrie üblichen Drücken einfach im Bau halten und nur ein- oder zweistufig ausbilden.

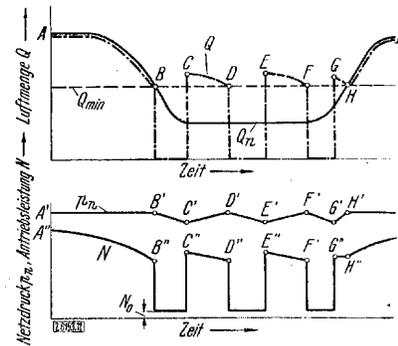
Solange es sich um Gas- oder Luftmengen handelt, die durch zufällige Betriebsschwankungen in der Nähe der Pumpgrenze der Hauptmaschine pendeln, ist der erzielbare Rückgewinn an Energie derart niedrig, daß sich der Aufwand für eine solche Turbine nicht lohnt. Günstiger werden die Verhältnisse, wenn größere Mengen gleichbleibend entspannt werden können, für die die Entspannungsturbine mit bestem Wirkungsgrad ausgelegt werden kann.

### Aussetzerregelung

Ein anderes Regelverfahren für Betriebspunkte unterhalb der Pumpgrenze ist die Aussetzerregelung, bei der die Förderung zeitweilig abgestellt wird<sup>4)</sup>. Das Druckluftleitungsnetz ist ein Energiespeicher von ganz erheblicher Größe, so daß es möglich ist, aus diesem eine gewisse Zeitlang Druckluft zu entnehmen, ohne Druckluft ins Netz zu fördern. Wenn man nun auch in den meisten Fällen aus betrieblichen Gründen Wert auf Unveränderlichkeit des Netzdruckes legt, so sind doch Druckschwankungen, um einige Zehntel at ohne weiteres zulässig.

Bei Betriebspunkten oberhalb der Pumpgrenze besteht keine Veranlassung, die Luft in aussetzendem Betrieb zu fördern. Jedoch für Betriebspunkte unterhalb der Pumpgrenze besteht durch jeweiliges Ab- und Zuschalten des Verdichters vom bzw. zum Netz eine einfache Regelungsmöglichkeit. In Abhängigkeit von der Zeit sei der Luftbedarf des Netzes nach Kurve  $Q_n$ , Bild 12, vorausgesetzt. Solange der Luftbedarf  $Q_n$  des Netzes größer als die Luftmenge  $Q_{min}$  an der Pumpgrenze ist, Bild 1, wird die jeweilige Fördermenge  $Q$  des Verdichters dem Verbrauch durch Handregelung oder selbsttätige Regelung auf gleichbleibenden Enddruck des Verdichters angepaßt. Hierbei ist  $Q_n = Q_s$ , Verlauf AB in Bild 12. Im Punkt B ist der Bedarf  $Q_n$  auf den der Pumpgrenze des Verdichters entsprechenden Betrag  $Q_{min}$  abgesunken. Um das Pumpen zu verhüten, wird nunmehr der Verdichter vom Netz abgeschaltet, so daß keine Druckluft an das Netz mehr abgegeben wird. Der Druckluftbedarf  $Q_n$  der Grube wird aus dem Netz gedeckt, der Netzdruck  $p_n$  beginnt dadurch zu fallen. Ist dieser Druck bis

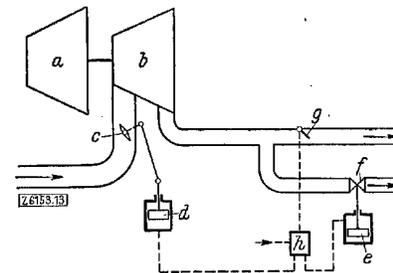
**Bild 12.** Regel-diagramm bei Aussetzerregelung. Von A bis B und von H bis I ist der Netzluftbedarf  $Q_n$  gleich der Fördermenge  $Q$  des Verdichters  
 $Q_{min}$  Fördermenge des Verdichters an der Pumpgrenze  
 $N_0$  Leerlaufleistung des Verdichters



auf das äußerst zulässige Maß gefallen, Punkt C', dann wird der Verdichter wieder ans Netz geschaltet. Da nunmehr die Förderung größer ist als der Bedarf, Punkt C, wird das Netz allmählich wieder aufgefüllt, der Netzdruck  $p_n$  steigt von C' bis D' an, bis in D' das Spiel von neuem beginnt. Auf diese Weise ist es möglich, die Förderung dem jeweiligen Bedarf im Gebiet unterhalb der Pumpgrenze anzupassen. Die Schalthäufigkeit bei diesem aussetzenden Regelvorgang wird bestimmt durch den Druckabfall zwischen B' und C', den man im Netz während des Regels zulassen will, durch die Größe des Luftbedarfs  $Q_n$  des Netzes und durch die Höhe der Förderung  $Q_s$  des Verdichters während seiner Arbeitsspiele. In den Zeiten BC, DE, FG soll die Förderung des Verdichters ins Netz unterbunden werden. Die Förderung des Verdichters in das Netz ist daher während dieser Zeit gleich null. Der Verdichter wird während dieser Zeit durch Schließen einer Klappe in der Saugleitung auf Leerlauf geschaltet. Um hierbei das Auftreten zu hoher Temperaturen im Innern des Verdichters zu vermeiden, wird diese Saugklappe nicht vollkommen geschlossen, so daß während des Leerlaufs eine kleine Luftmenge gefördert und dann durch das Ventil f, Bild 13, abgeblasen wird. Es ist dann dabei lediglich die geringe Leistung  $N_0$  des Verdichters aufzubringen, die etwa 15 % der Pumpgrenzleistung beträgt. Auf diese Weise erhält man eine Regelung, die mit nur geringen Energieverlusten verbunden ist und an Wirtschaftlichkeit die Abblase- und Umblaseregelungen mit oder ohne Entspannungsturbine übertrifft.

**Bild 13.** Aufbau der Anlage bei Aussetzerregelung.

- a Dampfturbine
- b Verdichter
- c Drosselklappe
- d, e Stellmotoren
- f Abblaseventil
- g Rückschlagklappe
- h Steuergerät



Sinkt der Netzbedarf bis auf  $Q_{min}$  ab, dann wird unter Wirkung eines Anstoßes (z.B. Unterschiedsdruck einer Blende oder Schwingen der Rückschlagklappe g, Bild 13, beim Beginn des Pumpens) das Abblaseventil f durch den Stellmotor e geöffnet, wodurch der Verdichtereindruck  $p_d$  sinkt und die Rückschlagklappe g unter dem Netzdruck  $p_n$  schließt. Sobald das Abblaseventil geöffnet ist, wird die in der Saugleitung befindliche Klappe c selbsttätig durch den Stellmotor d geschlossen. Nunmehr arbeitet der Verdichter im Leerlauf, bis unter Wirkung des absinkenden Netzdruckes, Verlauf B'C' in Bild 12, durch ein Steuergerät h der Verdichter ans Netz geschaltet wird, wobei zweckmäßigerweise zunächst die Saugklappe c geöffnet und anschließend das Abblaseventil f geschlossen wird. Sobald  $p_d$  gleich  $p_n$  geworden ist, öffnet sich die Rückschlagklappe g, und die Förde-

<sup>4)</sup> Über die Anwendung dieses Regelverfahrens zur Regelung von Drehkolbenverdichtern der Vielzellenbauart s. a. M. Lackmann. Z.VDI Bd. 84 (1940) Nr. 24 S. 413/19.

nung in das Netz beginnt, Punkt C in Bild 12. Ist der Verdichter neben der Aussetzerregelung für das Gebiet unterhalb der Pumpgrenze mit einer Regelung auf gleichbleibenden Enddruck durch Drehzahlverstellung für das Gebiet oberhalb der Pumpgrenze ausgerüstet, dann muß diese Regelung während des Arbeitens der Aussetzerregelung selbsttätig ausgeschaltet werden, weil sonst der Druckregler während des Leerlaufs BC, Bild 12, die Drehzahl steigern würde und im Augenblick des Zuschaltens, Punkt C', die Maschine auf höchste Drehzahl bringen würde, um den abgesunkenen Netzdruck  $p_n$  möglichst rasch auf volle Höhe, Punkt D', zu bringen. Um plötzliche Belastungsstöße beim Ab- und Zuschalten zu vermeiden, sind keine zu kurzen Steuerzeiten zu wählen.

gesamte Pumpgrenzmengung entspannen, dann muß man die Turbine für die volle Menge auslegen, andernfalls genügt auch die Auslegung für eine Teilmenge.

Für die Aussetzerregelung sei eine Leerlaufleistung von etwa 15% der Pumpgrenzleistung vorausgesetzt. Die Leerlaufzeit  $t_1$  sei für sämtliche Regelspiele gleich, ebenso die Förderzeit  $t_2$ . Es sei weiter vorausgesetzt, daß die Maschine im aussetzenden Betrieb während des Arbeitens auf das Netz mit einer gleichbleibenden Ansaugmenge  $Q^*$  arbeite, Bild 16, während das Netz eine gleichbleibende Menge  $Q_n$ , bezogen auf den Saugzustand des Verdichters,

$$Q_n = i Q^* t_2 = \frac{Q^*}{1 + t_1/t_2} \dots (4)$$

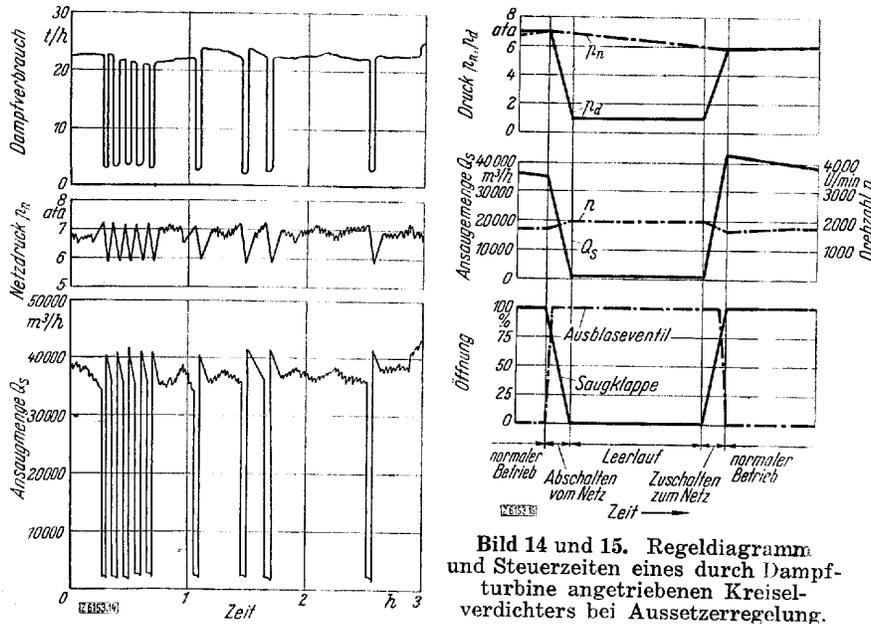


Bild 14 und 15. Regeldiagramm und Steuerzeiten eines durch Dampfturbine angetriebenen Kreisverdichters bei Aussetzerregelung.

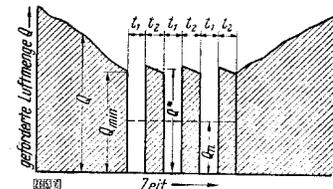


Bild 16. Verlauf der geförderten Luftmenge Q bei Aussetzerregelung.

- $t_1$  Leerlaufzeit
- $t_2$  Förderzeit
- $Q_n$  Luftbedarf des Netzes während der Regelzeit

benötigt, da die stündliche Spielzahl  $i = 1/(t_1 + t_2)$  ist. Die Leerlaufzeit  $t_1$  beträgt

$$t_1 = \frac{\Delta p V_n}{Q_n \gamma_s R T_n} \dots (5)$$

Sie hängt hiernach in erster Linie vom zugelassenen Druckabfall  $\Delta p$  im Netz während der Leerlaufzeit ab, vom Volumen des Netzes  $V_n$  und der Entnahme aus

dem Netz  $Q_n$ . Für eine bestimmte Regelung sind  $\Delta p$  und  $V_n$  als gegeben zu betrachten, ebenso die Wichte  $\gamma_s$  der Luft im Saugzustand, die Gaskonstante  $R$  und die Temperatur im Netz  $T_n$ . Die Förderzeit  $t_2$  folgt aus Gl. (4).

Bild 17 zeigt den Verlauf der Leerlaufzeit  $t_1$ , Förderzeit  $t_2$  und Spielzahl  $i$  in Abhängigkeit vom Netzbedarf  $Q_n$ . Vorausgesetzt ist hierbei, daß das Zu- und Abschalten plötzlich erfolgen und daß der Verdichter während der Förderzeiten  $t_2$  eine Menge  $Q^*$  ansaugt und verdichtet, die etwa der Pumpgrenzmengung  $Q_{min}$  entspricht.

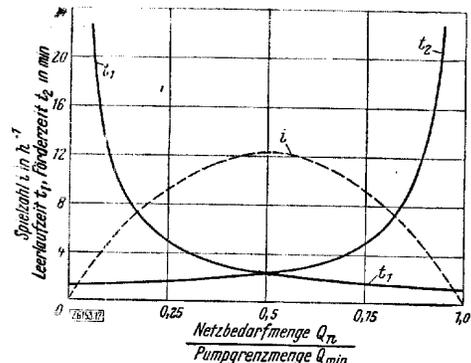


Bild 17. Verlauf der Leerlaufzeit  $t_1$ , Förderzeit  $t_2$  und Spielzahl  $i$  in Abhängigkeit von der Netzbedarfsmenge  $Q_n$ . Inhalt des Druckluftleitungsnetzes  $V_n = 1000 \text{ m}^3$ , Druckabfall im Netz während der Regelspiele  $\Delta p = 0,5 \text{ at}$ , Temperatur im Netz  $T_n \approx 350^\circ \text{ K}$ , Pumpgrenzmengung  $Q_{min} = 20\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ , Normalleistung  $40\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Höchstleistung  $54\,000 \text{ m}^3/\text{h}$

Bild 14 zeigt das Regeldiagramm eines durch Dampfturbine angetriebenen Kreisverdichters, der lange Zeit in der Nähe der Pumpgrenze betrieben wird. Die Pumpgrenze liegt bei einer Ansaugmenge von etwa  $34\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  und bei einem Enddruck von etwa  $7 \text{ ata}$ . Die Aussetzerregelung hat zeitweise alle  $5 \text{ min}$  gearbeitet. Für die Aussetzerregelung wurde ein Druckabfall im Netz von reichlich  $1 \text{ at}$  zugelassen, Bild 14 und 15.

**Vergleich der Regelungen im instabilen Gebiet**

Die Leistung  $N_p$ , die der Verdichter an der Pumpgrenze benötigt, sei für alle vier Regelungen gleich. Die Abblaseregulierung benötigt für alle Punkte unterhalb der Pumpgrenze die gleiche Leistung, da keinerlei Energierückgewinn vorhanden ist. Der spezifische Arbeitsbedarf  $N/Q$  steigt daher bei kleinen Förderungen ins Netz stark an und wird bei Förderung null unendlich groß.

Nicht wesentlich verschieden ist die Umblaseregulierung, bei der nur ein kleiner Teil der Strömungsenergie rückgewonnen werden kann.

Die Wirtschaftlichkeit der Regelung mit Entspannungsturbine hängt stark von der Auslegung und der Beaufschlagung der Turbine ab. Es sei eine Entspannungsturbine vorausgesetzt, die unmittelbar mit dem Verdichter gekuppelt ist. Mit Rücksicht auf geringe Anschaffungskosten sei die Turbine nur einstufig ausgeführt. Man wird dann keinen allzu guten inneren Wirkungsgrad erwarten können, bei voller Beaufschlagung etwa  $65\%$  und bei Teilbeaufschlagung infolge der Ventilationsverluste entsprechend weniger. Die Turbine arbeitet besonders ungünstig bei kleinen Beaufschlagungen, also dicht unterhalb der Pumpgrenze. Will man vorübergehend die

Der praktische Regelvorgang ist mit gewissen Verlusten verknüpft, da, wie schon oben erwähnt, eine Leistung  $N_0$ , die zum Durchblasen kleiner Luftmengen während der Leerlaufzeiten und zum Aufwand der Leerlaufverluste, um das Auftreten zu hoher Temperaturen zu vermeiden, dient, erforderlich ist, Bild 12. Ferner treten Verluste beim Ab- und Zuschalten des Verdichters vom und zum Netz auf, da der Luftinhalt des Verdichters im Augenblick des Abschaltens abgelassen werden muß, und da aus betrieblichen Gründen der Verdichter nicht plötzlich zu- und abgeschaltet werden kann, sondern gewisse Schaltzeiten für das Öffnen und Schließen der Saugklappe und des Abblaseventils erforderlich sind. Hierbei treten Verluste durch Umlasen von Luft auf. Die Zu- und Abschaltzeit  $t_0$  betragen etwa 4 s. Während dieser Zeit  $t_0$  ist im Mittel die Menge  $Q_{\min}/2$  auf den Druck  $p_n/2$  zu verdichten, hierfür wird angenähert  $N_p/4$  benötigt, wenn  $N_p$  die Pumpgrenzleistung ist.

Somit lassen sich die gesamten Verluste der Aussetzerregelung als Summe der Schaltverluste

$$2 i t_0 \frac{N_p}{4}$$

und der Leerlaufverluste

$$i t_1 N_0$$

zusammenfassen. Die zur Förderung einer unterhalb der Pumpgrenze gelegenen Luftmenge  $Q_n$  auf Netzdruck  $p_n$  erforderliche Leistung beträgt:

$$N = 2 i t_0 \frac{N_p}{4} + i t_1 N_0 + i t_2 N_p = i N_p (0,5 t_0 + 0,15 t_1 + t_2) \quad (6)$$

wenn  $N_0 = 0,15 N_p$  ist.

In Bild 18 sind die Leistungen und der spezifische Energiebedarf für die verschiedenen Regelverfahren zusammengestellt. Die spezifische Verdichtungsarbeit ist im Auslegungspunkt (40 000 m<sup>3</sup>/h) am geringsten. Unterhalb der Pumpgrenzleistung  $N_p$  arbeitet am unwirtschaftlichsten die Abblaserregelung; Kurve a. Die Antriebsleistung ist im gesamten Gebiet zwischen null und  $Q_{\min}$  gleichbleibend. Dementsprechend steigt die spezifische Verdichtungsarbeit mit dem Abnehmen der in das Netz geförderten Menge. Die Entspannungsturbine, Kurven b und c, gestattet, einen Teil der aufgewendeten Arbeit zurück-

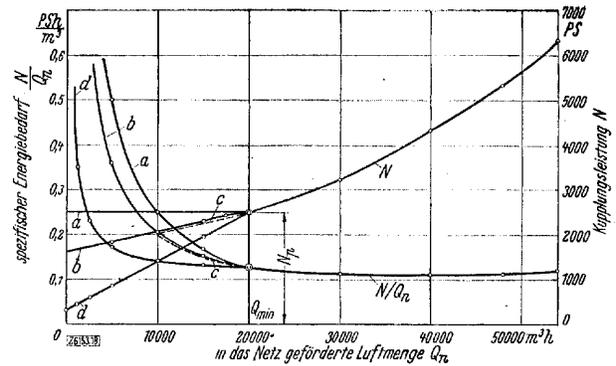


Bild 18. Kupplungsleistung  $N$  und spezifischer Energiebedarf  $N/Q_n$  in Abhängigkeit von der in das Netz geförderten Luftmenge  $Q_n$  für die Verdichteranlage nach Bild 17.

Ansaugdruck  $p_a = 1$  ata, Verdichterenddruck  $p_d = 7$  ata

- a Abblaserregelung
- b, c Umblaserregelung mit Entspannungsturbine ausgelegt zur Verarbeitung von  $Q_{\min}$ , Kurve b, und von  $Q_{\min}/2$ , Kurve c
- d Aussetzerregelung
- $N_p$  Pumpgrenzleistung

zugewinnen. Der Verlauf der Kurve b entspricht der Auslegung der Entspannungsturbine für volle Pumpgrenzmenge  $Q_{\min}$ , der Verlauf der Kurve c entspricht der Auslegung der Turbine für halbe Pumpgrenzmenge.

Am wirtschaftlichsten arbeitet unterhalb der Pumpgrenze die Aussetzerregelung, Kurve d.

Die praktische Anwendung der Regelverfahren ist durch die Anschaffungskosten, die Wirtschaftlichkeit im Betrieb und durch die betrieblichen Verhältnisse beeinflusst. Wird die Pumpgrenze nur kurzzeitig und um kleine Beträge unterschritten, dann ist die Leistungersparnis während der Regelzeiten von untergeordneter Bedeutung, und es ist daher der Abblaserregelung oder Umblaserregelung der Vorzug zu geben, die billig in Anschaffung und einfach im Betrieb sind. Wird jedoch längere Zeit weit unterhalb der Pumpgrenze gefahren, dann ist den zwei anderen Regelungen der Vorzug zu geben. B 6153

# Selbstregelnde Getriebe für Vorschubroste

Von

Dir. G. Wunsch

Berlin-Friedenau

---

*Sonderabdruck aus der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure Bd. 74 (1930) Nr. 42*

## Selbstregelnde Getriebe für Vorschubroste / Von Dir. G. WÜNSCH, Berlin-Friedenau

*Die Anschaffung vollständiger Kesselregleranlagen ist bei der heutigen Geldknappheit oft nicht möglich. Der wirtschaftliche und betriebliche Vorteil selbsttätiger Kesselregelungen ist hauptsächlich in der selbsttätigen Brennstoffzuführung zu suchen, und es wird empfohlen, fürs erste nur die Brennstoffzufuhr selbsttätig zu regeln. Es wird ein neuartiger vereinfachter Rostschubregler beschrieben und Betriebsergebnisse eines Wanderrostkessels mit und ohne Regler werden mitgeteilt.*

Die selbsttätige Regelung des Einbringens von Brennstoff in Kesselfeuerungen ist gemeinhin ein Teil der Aufgaben selbsttätiger Kesselregler, die in den amerikanischen Ausführungen von Bailey, Smoots, Hagan, Carick und in den europäischen von Askania, AEG, Siemens, Arca, Rouéka in hoher Vollendung vorliegen und bereits mehrfach beschrieben worden sind<sup>1)</sup>. Obgleich solche Regler ohne Schwierigkeiten anwendbar sind und auch wirtschaftliche Vorteile bieten, die den Anschaffungspreis rechtfertigen, führen sie sich nur sehr langsam ein; führende Fachleute können sich nicht zur Anschaffung solcher Anlagen für die ihnen unterstellten Betriebe entschließen, weil die Anschaffung für einen mittleren Kessel immer noch rd. 10 000 *RM* kostet und der Einbau in ältere Kessel mitunter Schwierigkeiten macht. Eine Verbilligung wäre erreichbar, erstens, wenn die Regler in größeren Reihen hergestellt werden könnten, zweitens durch Vereinfachung der Konstruktion der regelbaren Rostantriebe. Möglich erscheint auch, die Kesselregelung schrittweise einzuführen, indem man die einzelnen Glieder selbständig durchbildet, so daß sie für sich und nacheinander eingebaut werden können. Bei einigen Neukonstruktionen (AEG-Askania) ist das bereits durchführbar. Es lohnt sich nunmehr, zu untersuchen, wo die Hauptvorteile der Regelung liegen und welcher Teil der Gesamtregelung demnach zuerst in Angriff zu nehmen wäre.

Die Arbeit, die der Kesselwärter zu leisten hat, kann man etwa wie folgt zergliedern:

1. Konstanthalten des Dampfdrucks, d. h. Anpassung der erzeugten Dampfmenge an die augenblicklich geforderte Dampfmenge; hierzu Bedienung des Rauchschiebers, der Saugzuganlage o. dergl.
2. Einhalten eines guten Verbrennungszustandes, gleichbleibenden hohen CO<sub>2</sub>-Gehalts der Abgase, geringen Anteils von Verbrenlichem in der Asche.
3. Bei Kesseln mit Unterwind: Erhalten eines bestimmten Druckes im Feuerraum durch Regeln des Unterwindgebläses.
4. Einhalten eines bestimmten Wasserstandes im Kessel durch Regeln der Speisung.

Die Speisewasserzufuhr wird bei größeren Anlagen schon fast durchweg selbsttätig geregelt, so daß sie für die Handbedienung ausscheiden kann.

Das Einhalten eines konstanten Dampfdruckes macht nur bei Einzelkesseln Schwierigkeiten; bei größeren Anlagen, in denen mehrere Kessel parallel arbeiten, läßt sich der Dampfdruck durch abgestuftes Ändern der Feuerung bei den einzelnen Kesseln sowie durch Zu- und Abschalten ganzer Kessel genügend fein regeln. Ebenso ist das Einhalten des Druckes im Feuerraum mit Hilfe des Unterwindgebläses mit der Hand durchführbar. Eine selbsttätige Regelung dieser Größen würde wohl den Betrieb verbessern, aber man kann auch ohne sie auskommen.

Schwieriger ist die Aufgabe des Heizers bei der richtigen Einstellung der Verbrennung. Der Rostvorschub, d. h. die Kohlenmenge, und die in den Kessel ziehende Verbrennungsluft müssen aufeinander derart abgestimmt werden, daß in den Abgasen ein hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt — z. B. 12 vH — auftritt; andererseits darf aber auch nur wenig Unverbranntes mit den Rauchgasen abziehen und die Kohle muß genügend ausbrennen, so daß wenig Verbrenliches in der Asche verbleibt.

Wenn die Einstellung derart gelingt, daß diese Bedingungen erfüllt werden, dann hat man nichts anderes erreicht, als daß mit je 10 m<sup>3</sup> Luft rd. 1 kg Kohlenstoff

in den Kessel eingeführt wurde. Nur in diesem Fall sind 12 vH CO<sub>2</sub> in den Rauchgasen möglich, bei gleichzeitig richtigem Abbrand am Schlackenstauer. Brennt die Kohle zu schnell ab, so zieht ein Teil der Luft am Rostende ab und es kommen weniger als 10 m<sup>3</sup> Luft mit der Kohle in Berührung. Infolgedessen verbrennt auch weniger Kohle und das Kohlenbett muß entsprechend schneller vorrücken. Eine übermäßige Anhäufung von Kohle am Schlackenstauer zwingt andererseits den größeren Teil der Luft, durch den vorderen Teil der Brennschicht zu ziehen, so daß der Abbrand stärker und die Anhäufung am Stauer geringer wird. Dies alles gilt nur unter der Voraussetzung, daß unabhängig von dem Widerstand des Brennstoffbettes auf 1 kg Kohle 10 m<sup>3</sup> Luft in die Feuerung eingeführt werden.

Es ist sehr verständlich, daß das Einstellen auf dieses Verhältnis von Brennstoff zu Luft für den Heizer nicht einfach ist, da ihm alle unmittelbaren Meßgrößen, also Kohlenmenge und Luftmenge, gemeinhin fehlen. Er kann nur durch Probieren nach Angabe des CO<sub>2</sub>-Zeigers und Beobachtung des richtigen Abbrandes dahin kommen, daß die Bedingungen für das richtige Mengenverhältnis erfüllt werden.

Hier scheint daher eine selbsttätige Regelung so viele Vorteile zu bieten, daß man die Anschaffung stets rechtfertigen kann. Die ganze Kesselregelung beschränkt sich dann auf die Steuerung des Brennstoffvorschubes, während das Einstellen von Rauchschieber, Saugzug, Unterwind usw. je nach der Kesselbelastung wie bisher mit der Hand erfolgt.

### Die selbsttätige Brennstoffzufuhr durch Drehzahlregelung

Bei einem Wanderrostregler der bisherigen Bauart verlangt das genaue Einhalten eines bestimmten Mengenverhältnisses zwischen Luft und Kohle grundsätzlich einen in weiten Grenzen feinstufig regelbaren Rostantrieb. Die üblichen Stufengetriebe reichen dafür nicht aus. Als gut sind dagegen Druckölmotoren und elektrische Antriebe, insbesondere in Leonard-Schaltung, bekannt. Öltriebe kommen erst in jüngster Zeit auf, aber auch die neuesten Bauarten sind regeltechnisch dem elektrischen Leonard-Antrieb nicht gleichwertig.

Bei der Anwendung des Leonard-Antriebes werden die bisherigen, nicht regelbaren Motoren durch Gleichstrommotoren gleicher Leistung ersetzt, die von einem besonderen kleinen Stromerzeuger versorgt werden<sup>1a)</sup>. Mittels des Spannungsreglers an der Dynamo kann die Drehzahl des Motors feinstufig von nahezu null bis zur Vollast-Drehzahl geändert werden. Bei mehreren Rostbahnen kann man die einzelnen Motoren an die gleiche Spannung legen, sie laufen dann ohne weiteres mit gleicher Drehzahl parallel. Das Stufengetriebe stellt man auf eine bestimmte Übersetzung ein, bei Neuanlagen kann es auch einfach fortbleiben.

Die Drehzahl der Rostmotoren bestimmt ein Gleichgewichtregler, der einerseits von einer Meßgröße für die Luftmenge, andererseits von einer Meßgröße für die Kohlenmenge beeinflußt wird. Die Meßgröße für die Luftmenge gewinnt man aus dem Druckabfall längs des Rauchgasweges, also z. B. aus dem Druckgefälle zwischen Feuerraum und Kesselende oder auch zwischen den Räumen vor und hinter Ekonomiser. Dabei wird allerdings nicht die einziehende Luftmenge sondern die Rauchgasmenge gemessen, aber bei konstantem CO<sub>2</sub>-Gehalt sind Luftmenge und Rauchgasmenge proportional. Der Druckabfall als Meßgröße für die Luftmenge wird zwar noch durch die Temperatur der Rauchgase, Eintritt von Falschluff usw. beeinflußt; doch haben vielfache Nach-

<sup>1)</sup> Vergl. E. Schulz, Z. Bd. 70 (1926) S. 718 u. f., Th. Stein, Regelung und Ausgleich in Dampfanlagen, Berlin 1926.

<sup>1a)</sup> s. Hürte, 2a. Aufl., 2. Bd. S. 975.

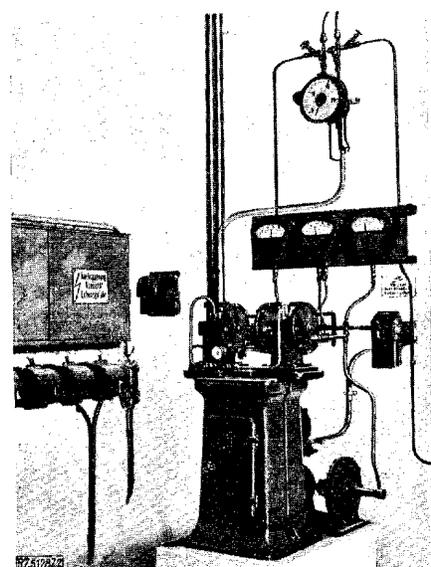
RESTRIKTE

messungen und lange Erfahrung bewiesen, daß damit eine brauchbare Meßgröße für die Luftmenge gegeben ist.

Die Kohlenmenge ergibt sich bei Wanderrosten aus Schütthöhe und Rostgeschwindigkeit, bei Stokern aus Schütthöhe und Drehzahl der Antriebswelle. Bei bekannter Schütthöhe kann man als Meßgröße demnach in jedem Fall die Drehzahl der Antriebswelle des Vorschubgetriebes verwenden. Man verbindet damit zweckmäßig ein kleines Schleudergebläse, dessen Druck als zweite Meßgröße auf den Gleichgewichtregler einwirkt. Dieser Druck ändert sich mit dem Quadrat der Drehzahl. Das ist auch erwünscht, denn auch die Meßgröße für die Luftmenge ist als Strömungsdruck dem Quadrat der Luftmenge proportional. Hiernach müssen Luftmenge und Kohlenmenge stets in einem bestimmten Mengenverhältnis stehen, wenn die beiden Meßdrücke am Regler im Gleichgewicht sind. Der Regler hat weiter nichts zu tun, als bei steigender Rauchgasmenge die Drehzahl des Vorschubgetriebes so weit zu steigern, bis der Druck des Schleudergebläses, die Meßgröße für die Kohlenmenge, dem am Kessel abgenommenen Druckgefälle, der Meßgröße für die Luftmenge, das Gleichgewicht hält.

Abb. 1 zeigt ein vollständiges Schema einer solchen Anlage, Abb. 2 die Ansicht eines ausgeführten Wanderrostreglers. Eine ausführliche Beschreibung der Wirkungsweise ist bereits veröffentlicht<sup>2)</sup>. Vorschubregler der oben beschriebenen Art entsprechen in technischer Beziehung allen berechtigten Anforderungen. Bei vorhandenen Anlagen macht jedoch das Auswechseln der Antriebmotoren mitunter Schwierigkeiten, und man suchte deshalb auf noch einfachere Weise zum Ziel zu kommen.

<sup>2)</sup> Vergl. Schultes, Glückauf Bd. 65 (1929) S. 1509/18.



**Abb. 1 (oben)**  
Selbsttätige Brennstoffzufuhr durch Drehzahlregelung.  
a Meßsystem für Kohlenmenge  
b Meßsystem für Rauchgasmenge  
c Strahlrohr  
d Verhältnisschieber  
e Steuerzylinder  
f Feldreglung  
g Leonard-Maschinensatz  
h Gebläse  
i Rostmotor  
k Rost

**Brennstoffreglung mittels Zeitschalter**

Man kann nämlich die Brennstoffmenge auch so regeln, daß man den Rost eine Zeit lang mit der Höchstgeschwindigkeit vorschubt, dann aber stillsetzt, nach einiger Zeit wieder einschaltet usw. Durch regelmäßiges Ein- und Ausschalten des Vorschubes kann man so jede beliebige Kohlenmenge in der Zeiteinheit abgeben, wenn man das Verhältnis von Stillstandzeit zu Laufzeit verändert. Gelänge es, diese Arbeitsweise betriebsicher und mit einfachen Mitteln durchzuführen, so könnte man die bisherigen Antriebmotoren beibehalten und trotzdem eine beliebig feinstufige Regelung erhalten.

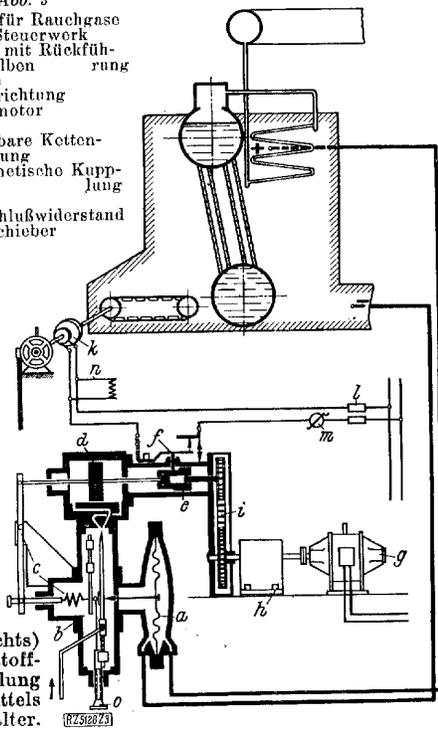
Ein Versuch, die Antriebmotoren selbst regelmäßig ein- und auszuschalten, führte zu großen Schwierigkeiten; dagegen versprach die Verwendung von magnetischen Kupplungen zwischen Motor und Getriebe Erfolg. Die Kupplungen wurden von vornherein für sehr häufiges Schalten bemessen und so entworfen, daß sie ohne weiteres an Stelle der bisherigen elastischen Ledorkupplung eingebaut werden könnten. Die Schaltung erfolgt durch eine Nockenwalze, die einen Vakuum-Quecksilberschalter betätigt. Die Walze wird durch ein kleines Getriebe dauernd gedreht, derart, daß ein Schaltabschnitt, bestehend aus Laufzeit und Stillstandzeit, rd. 1 min dauert.

Das Verhältnis von Laufzeit zu Stillstandzeit kann durch Längsverschieben der Walze von 0 bis  $\infty$  verändert werden, so daß alle Abstufungen der Vorschubgeschwindigkeit möglich sind. Der Regler verschiebt nur diese Schaltwalze nach Maßgabe der Meßgröße für die Luftmenge, die, wie bei dem vorherbeschriebenen Regler, aus dem Druckabfall zwischen Feuerraum und Kesselende gewonnen wird. Jeder Meßgröße für die Luftmenge entspricht eine bestimmte Stellung der Schaltwalze. Die Schaltwalze ist so bemessen, daß einer bestimmten Luftmenge eine proportionale Geschwindigkeit des Vorschubes und damit eine bestimmte Kohlenmenge zugeordnet ist.

Abb. 3 zeigt ein Schema dieses Vorschubreglers. Die Kupplung zwischen dem Differenzdruck der Rauchgase und der Stellung der Schaltwalze erfolgt auf hydraulischem Wege unter Anwendung des bekannten Askania-Strahlrohrs. Steigt der auf die Membran a wirkende Differenzdruck, so wird das Strahlrohr nach links abgelenkt und durch die angegebene Schaltung der vor dem Verteilerstück angeordnete Kolben d gleichfalls nach links

Zu Abb. 3

- a Meßsystem für Rauchgase
- b Strahlrohr-Steuerwerk
- c Gegenfeder mit Rückführung
- d Rückführkolben
- e Schaltwalze
- f Kontaktvorrichtung
- g Asynchronmotor
- h Getriebe
- i auswechselbare Kettenradübertragung
- k elektromagnetische Kupplung
- l Sicherung
- m Schalter
- n Nebenschlußwiderstand
- o Verhältnisschieber



**Abb. 3 (rechts)**  
Brennstoffreglung mittels Zeitschalter.

RESTRIKTE

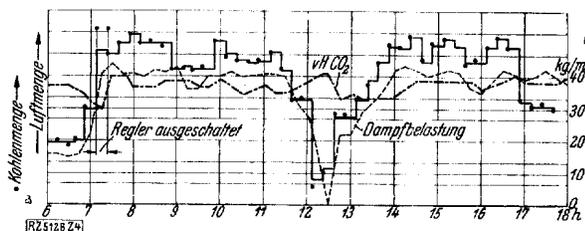


Abb. 4  
Versuchswerte bei  
Wanderrost-  
regelung durch  
Zeitschalter.

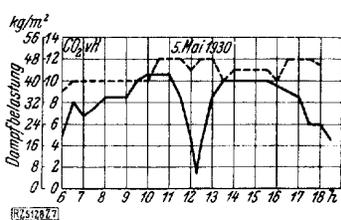


Abb. 7

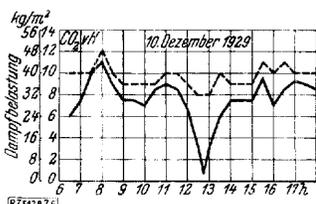
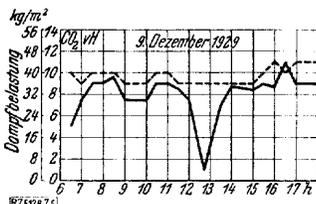


Abb. 5 und 6. Betriebsergebnisse bei Handeinstellung des Rostvorschubes.

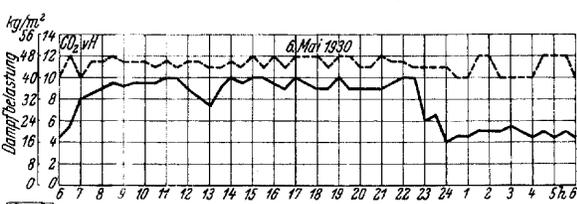


Abb. 7 und 8. Betriebsergebnisse bei selbsttätiger Regelung durch Zeitschalter.

verschoben. Diese über das Rückführgestänge *c* geleitete Bewegung äußert sich infolge einer dazwischengeschalteten Feder in einer erhöhten Gegenkraft auf das Strahlrohr und bringt es in seine Mittellage zurück. In dieser Weise wird auf einfachem Wege jedem Differenzdruck eine bestimmte Kolbenstellung zugeordnet.

Mit dem Kolben *d* ist die Nockenwalze *e* verbunden, die vom Synchronmotor *g* über ein Getriebe *h* und ein Kettenvorgelege *i* mit konstanter Drehzahl angetrieben wird. Sie betätigt über den Kontakt *f* die elektrische Kupplung *k*, wie oben beschrieben. Der Einbau der ganzen Einrichtung beschränkt sich auf das Anbringen der magnetischen Kupplungen sowie das Verlegen der Anschlußleitungen für den Rauchgas-Differenzdruck und der elektrischen Verbindung zu den Kupplungen.

Das Verhalten dieses Getriebes läßt sich aus dem Ergebnis der Versuche erkennen, die an einem Babcock-Kessel von 550 m<sup>2</sup> Heizfläche durchgeführt wurden. Der Kessel arbeitete parallel mit sieben gleichartigen Kesseln, deren Rostvorschub, wie bisher, von Hand bedient wurde. Die Belastung wurde wie bei den übrigen Kesseln durch Verstellen der Rauchgasklappe und Verändern der Drehzahl des Saugzugesbläses entsprechend dem Bedarf des Kraftwerks geregelt. Die Bedienung des Versuchskessels unterschied sich nur insofern von der der anderen, als der Vorschub des Wanderrostes selbsttätig verändert wurde.

Während des Versuchs wurden viertelstündlich Rauchgas-Differenzdruck, Schaltzeit, Rostvorschub, CO<sub>2</sub>-Gehalt, Dampfmenge, Wassermenge und Dampftemperatur gemessen. In Abb. 4 sind Luftmenge, errechnet aus den Differenzdrücken, Kohlenmenge, errechnet aus dem Rostvorschub, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Abgase und Dampfbelastung des Kessels aufgezeichnet. Für Luftmenge und Kohlenmenge wurden übereinstimmende Meßgrößen gewählt. Man sieht ganz einwandfrei, daß die Kohlenmenge in fast genauer Übereinstimmung der Luftmenge nachgesteuert wird. Nur bei ganz geringer Belastung wird eine etwas größere Kohlenmenge eingesteuert. Der Regler macht, wie seiner Arbeitsweise nach nicht anders zu erwarten ist, das, was der Heizer nur durch dauerndes Probieren mit Mühe erreichen kann, ohne Schwierigkeiten in exakter Weise.

Wie gleichfalls vorauszusehen, bleibt der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Abgase nahezu unabhängig von der Belastung in engen Grenzen konstant. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt ist auch nur die Bestätigung des richtigen Mengenverhältnisses von Luft zu Kohle. Die noch erkennbaren Schwankungen sind teilweise in Meßungenauigkeiten, zum größten Teil aber in den Unregelmäßigkeiten der Verbrennung zu suchen, die in der nicht ganz gleichmäßigen Verteilung der Beschaffenheit des Brennstoffes über die Rostbreite begründet sind und eine Strahlenbildung im Rauchgas veranlassen. Gewisse Schwankungen treten bei schnellen Belastungsänderungen auch dadurch auf, daß sich die Entgasungsgeschwindigkeit im vorderen Teil des Rostes nur langsam der Belastung anpaßt, daß also bei abnehmender

Last verhältnismäßig zu viel Gas entwickelt wird. Man kann diese Schwankungen durch Zusatzeinrichtungen ausgleichen. Im allgemeinen sind sie aber so gering, daß man darauf verzichten kann.

Der Abbrand der Kohle am Rostende war vollkommen gleichmäßig, und auch bei den größten Belastungsschwankungen trat keine Neigung zum vorzeitigen Freibrennen oder zum Anstauen auf. Das Ein- und Ausschalten des Rostantriebes durch die magnetischen Kupplungen erfolgte sanft und stoßfrei, und das unterbrochene Arbeiten des Vorschubes ließ keinen Unterschied gegenüber dem gleichmäßig durchlaufenden Rost erkennen.

Nach etwa dreivierteljährigem Betriebe wurde die Anlage nochmals eingehend untersucht; doch wurde keine nennenswerte Veränderung im Arbeiten und auch keine merkliche Abnutzung festgestellt. Der Rost hat sich nicht schlechter gehalten als die übrigen Roste. Dabei war der Kessel außerordentlich schweren Bedingungen unterworfen. Er hatte, da man die Nebenkessel nicht auf niedrige Last einregeln konnte, fast stets die vollen Belastungsschwankungen aufzunehmen. Die Kohle war nicht immer gleichmäßig; unter anderm wurde versucht, ein Gemisch von verschiedenen Kohlsorten, das acht Jahre lang im Freien gelagert hatte und von dem man kaum noch annahm, daß es brennen würde, zu verfeuern. Der Kessel verarbeitete jedoch auch diese Kohle mit verhältnismäßig gutem CO<sub>2</sub>-Gehalt.

Heizer und Betriebspersonal waren von dem neuen Regler befriedigt, da er ihnen die Arbeit wesentlich erleichterte und während der ganzen Zeit keine Störungen oder Unregelmäßigkeiten erkennen ließ. Aus den Betriebsprotokollen, in denen halbstündlich Dampfbelastung und CO<sub>2</sub>-Gehalt vermerkt war, wurden einige wahllos herausgegriffen und aufgetragen, s. Abb. 5 bis 8. Die Diagramme vom 9. und 10. Dezember 1929, Abb. 5 und 6, stammen aus der Zeit vor dem Einbau des Regelgetriebes, die Diagramme vom 5. und 6. Mai 1930, Abb. 7 und 8, aus der Zeit nach Einbau des Regelgetriebes. Aus Abb. 8 läßt sich besonders deutlich ersehen, daß auch während der Nachtzeit bei schwacher Belastung ein annähernd ebenso guter CO<sub>2</sub>-Gehalt aufrechterhalten wird wie am Tage.

Mit dieser Entwicklungsstufe scheint der Zeitpunkt gekommen, um den Wanderrostregler aus dem Bereich der Kesselregelung abzusondern. Die beschriebene Einrichtung kann zwar ohne weiteres zur vollständigen Kesselregelung ausgebaut werden, sie ist aber nicht mehr in dem früheren Sinn ein Bestandteil der vollständigen Kesselregelung, sondern sie ist ein selbstregelndes Vorschubgetriebe. Dieses gehört seiner ganzen Art und Wirkung nach genau so zum Kessel wie das heutige mit der Hand schaltbare Stufengetriebe und ist auch nicht viel teurer. Man kann auch nicht mehr von einer verwickelteren Gestaltung der Anlage sprechen; denn das selbsttätige Schaltwerk ist einfacher als zwei vollständige Stufengetriebe. [B 5128]



RESTRICTED

**Generatorenanlage  
für Braunkohlenbriketts  
mit elektrischer Gasreinigung und  
automatischer Regelung**

Von

**OTTO LEPPIN**

Berlin-Friedenau

---

RESTRICTED

REPRODUCED

Sonderdruck aus: „Die Wärme“ / Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb, Nr. 34 vom 24. August 1928

# Generatorenanlage für Braunkohlenbriketts mit elektrischer Gasreinigung und automatischer Regelung.

Von Otto Leppin in Berlin-Friedenau.

Inhalt: Notwendigkeit von Gasreinigung und Generatorregelung. — Der Weg von der Kohle bis zum Reingas. — Die elektrische Gasreinigung. — Physikalische Grundlagen. — Aufbau. — Die automatische Regelung. — Das Strahlrohr. — Wirkungsweise der Belastungsregelung. — Meßeinrichtungen. — Bauliches. — Abnahmeversuche. — Ergebnisse. — Wärmebilanz. — Wirkungsgrade.

Bei zentraler Anordnung von Generatorgasanlagen in Metallwerken, keramischen und ähnlichen Betrieben ist eine sorgfältige Reinigung des Gases notwendig, da Verunreinigungen durch Teer, Öl und Schwefel nicht nur die Rohrleitungen und Brenner verkrusten, sondern vor allem auch die Beschaffenheit des im Ofen behandelten Gutes beeinträchtigen, sofern die Bauart des Ofens die Berührung zwischen Flamme und Gut nicht vermeidet. Bei Vergasung von Koks ist die Reinigung des Gases sehr einfach, da der Teer dem Brennstoff bereits bei der Verkokung entzogen worden ist. Bei Braunkohlenvergasung spielt die Reinigung des Gases eine bedeutende Rolle. Seit einigen Jahren kommen hierfür immer mehr die Entteerung und die Entölung auf elektrischem Wege in Aufnahme. Dieses Verfahren zeichnet sich durch sehr hohen Wirkungsgrad der Reinigung, durch sauberen und einfachen Betrieb sowie durch sehr geringen Energieverbrauch aus.

Neben der Reinigung des Gases ist die Regelung der Gaserzeugung für die Herstellung eines Gases von gleichbleibenden Eigenschaften von großer Wichtigkeit. Im all-

gemeinen regelt man bei Generatorgasanlagen nur den Reingasdruck und die Windmenge. Arbeiten mehrere Generatoren nebeneinander, so genügt eine Regelung der Windmenge in der Hauptleitung jedoch nicht mehr allen Ansprüchen; dies ergibt sich leicht aus folgender Ueberlegung: Verschleckt ein Generator, so steigt der Widerstand der Brennstoffsäule an und läßt dementsprechend weniger Wind durch. Infolgedessen steigt der Winddruck in der Hauptleitung und bewirkt eine stärkere Windbelieferung des zweiten Generators, dessen Betrieb überanstrengt wird. Entgegen dem bei vielen technischen Vorgängen festgestellten Gesetz der „Selbstregelung“<sup>1)</sup> zeigt sich hier ein entgegengesetztes Verhalten: Der eine Generator wird kälter, seine Gaslieferung geht zurück; der andere wird immer mehr überanstrengt. Auch der durch Abbrand und Beschickung veränderliche Widerstand der Brennstoffsäule erfordert eine Regelung der Windmenge, getrennt für jeden Generator. Andererseits müssen aber die Einzelregler der

<sup>1)</sup> Vgl. Stein, „Selbstregelung, ein neues Gesetz der Regeltechnik“, „VDI“, Bd. 72, Nr. 6 vom 11. Februar 1928, S. 165.

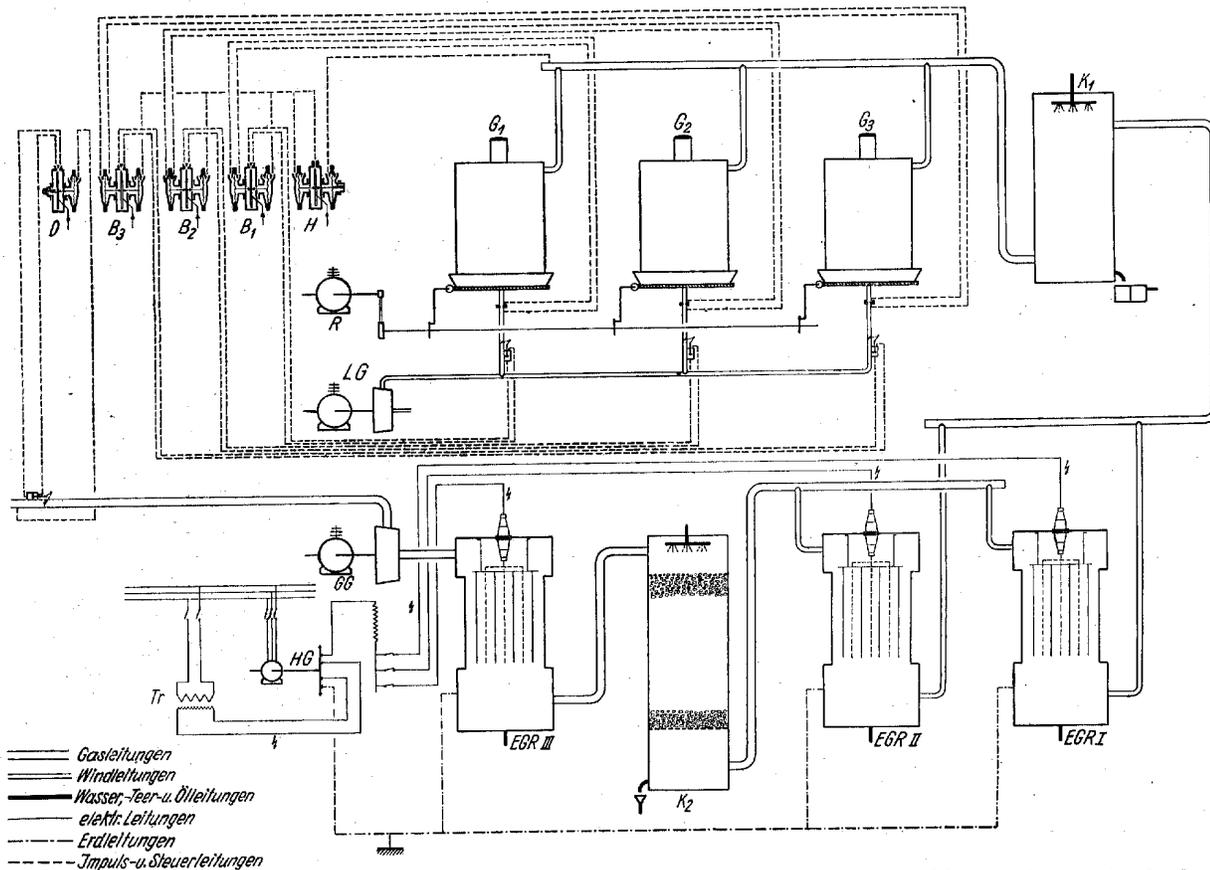
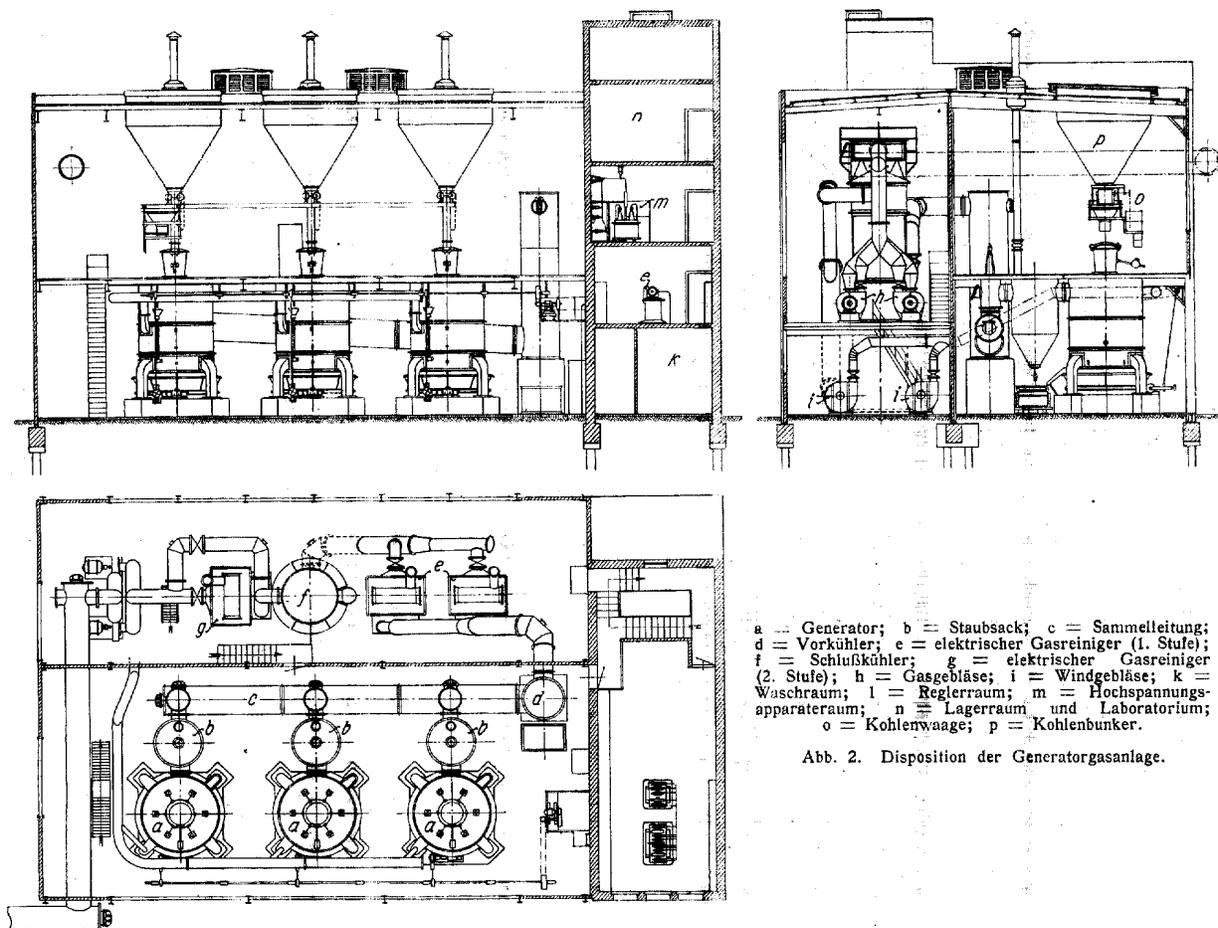


Abb. 1. Schema der Gaserzeugung, Gasreinigung und Gasregelung.



a = Generator; b = Staubsack; c = Sammelleitung;  
 d = Vorkühler; e = elektrischer Gasreiniger (1. Stufe);  
 f = Schlußkühler; g = elektrischer Gasreiniger  
 (2. Stufe); h = Gasgebläse; i = Windgebläse; k =  
 Waschraum; l = Regleraum; m = Hochspannungs-  
 apparateraum; n = Lagerraum und Laboratorium;  
 o = Kohlenwaage; p = Kohlenbunker.

Abb. 2. Disposition der Generatorgasanlage.

nebeneinander arbeitenden Generatoren im Sinne einer Anpassung an die veränderliche Gesamtbelastung gemeinsam gesteuert werden. Diesen Ansprüchen kann nur eine hochentwickelte Regelungseinrichtung gerecht werden. Durch den Einbau einer solchen wird nun die Bedienung nicht etwa auf einfaches Beschicken und zeitweises Stochern beschränkt, vielmehr gibt die Regelung einer aufmerksamen Bedienungsmannschaft durch Beobachtung der den Reglern zugeordneten Meßgeräte Aufschluß über den jeweiligen Zustand der Generatoren. Da feinfühligere Regler schon auf leichte Änderungen ansprechen, sind diese an den Meßgeräten im Entstehen zu erkennen, so daß die erforderlichen Bedienungsmaßnahmen sofort ergriffen werden können. Dies ist für die oben geforderte Gleichmäßigkeit der Gaszusammensetzung wesentlich.

In nachstehendem soll nun eine im Jahr 1927 errichtete Generatorgasanlage beschrieben werden, die nach neuesten Gesichtspunkten ausgebaut ist und für die Reinigung des Braunkohlenbrikettgases eine elektrische Entteerungs- und Entölungsanlage sowie eine selbsttätige Druck- und Leistungsregelung besitzt.

#### Aufbau der Anlage.

Die Gaserzeugung in den drei aufgestellten Drehrostgeneratoren Bauart Körting beträgt bei einem Durchsatz je Generator von 20 t in 24 Stunden insgesamt 132 000 m<sup>3</sup>. Jeder Generator hat einen Schachtdurchmesser von 2,60 m, d. h. also 5,30 m<sup>2</sup> Querschnitt, und ist mit Wassermantel ausgerüstet. Durch den Wasserraum streicht der Wind und sättigt sich hierbei mit Wasserdampf. Aschenschüssel, Antrieb und Beschickungstrichter bieten im Rahmen dieses Aufsatzes nichts Bemerkens-

wertes. Mit Schwelaufsätzen sind die Generatoren nicht versehen, worauf besonders hingewiesen sei. Trotzdem wird ein Tieftemperaturteer gewonnen, da der Schacht 0,5 m höher als bei der Normaltype ausgeführt ist. Jeder Generator hat einen einfachen Gasabzug, an den ein geräumiger Staubabscheider angebaut ist. Auf dem Staubabscheider ist eine Ausblaseleitung aufgebaut, die mit einem Gasbrenner ausgerüstet ist, um eine Belästigung der Nachbarschaft beim Abblasen der Generatoren zu vermeiden. Von den Staubabscheidern tritt das Rohgas durch Ventile in eine Sammelleitung, die in einen Vorkühler mündet; hier wird das Rohgas durch eingespritztes Wasser auf etwa 90 bis 100 °C heruntergekühlt. Mit dieser Temperatur durchströmt das Gas die erste Stufe der elektrischen Reinigung, die aus zwei nebeneinander geschalteten Teerabscheidern besteht, und tritt dann in einen großen Riesekühler (Schlußkühler) ein, in dem seine Temperatur weiter auf 20 bis 30 °C sinkt. Nun erfolgt in der zweiten Stufe der elektrischen Reinigung, die nur aus einem Abscheider besteht, die Reinigung des Gases vom Leichtöl. Das Gas ist damit gebrauchsfertig und wird durch ein Gebläse in die etwa 1100 m langen Verteilungsleitungen zu den Verbrauchsstellen gedrückt. Ein zweites Gasgebläse dient als Aushilfe. Für die Winderzeugung sind zwei Gebläse aufgestellt, von denen ebenfalls nur eins in Betrieb ist. Die Windgebläse entlüften gleichzeitig den Teer- und Ölbehälterraum. Abb. 1 und 2 zeigen Schaltung und räumliche Anordnung der Anlage.

#### Die elektrische Gasreinigung.

Die elektrische Gasreinigungsanlage ist nach dem Cotrell-Möller-Verfahren von der Lurgi-Apparate-

baugesellschaft errichtet worden. Die physikalischen Grundlagen dieses Verfahrens sind mit mehreren Anführungsbeispielen in der Literatur<sup>2)</sup> bereits beschrieben worden. Hier soll daher nur kurz das Wesentliche zum Verständnis der Wirkungsweise zusammengefaßt werden. Nach Weyl haben die in den ungereinigten Gasen vorhandenen Schwebeteilchen (Staub, Ruß, Teer- und Wasserdampf) die verschiedensten Größen, teils bereits ohne Mikroskop sichtbar, teils mit einer Ausdehnung unter  $0,1 \mu$ . Teilchen unter  $0,2 \mu$  unterliegen der Schwerkraft nicht mehr. Alle Schwebeteilchen, auch die kleinsten, werden elektrisch geladen und aus dem Gasstrom abgelenkt, wenn man sie einem starken elektrischen Sprühfeld aussetzt. Der elektrische Gasreiniger besteht aus einem Schacht, der von unten nach oben vom Gas durchströmt wird und im Innern abwechselnd mit isoliert aufgehängten Hochspannungsdrähten (Sprühelektroden) und geerdeten Niederschlagsplatten versehen ist (Abb. 1). Die Hochspannungsdrähte werden durch hochgespannten, pulsierenden Gleichstrom von 50 000 V negativ aufgeladen, da der Koronaeffekt an der negativen Elektrode für die Abscheidung günstiger ist als an der positiven (Abb. 3 und 4); bei der instabilen positiven Korona schlägt nämlich der Strom leicht über. Die Schwebeteilchen im Gas werden durch die Ladung nach den Niederschlags Elektroden abgelenkt und gleiten an diesen herab, sobald die niedergeschlagene Schicht eine gewisse Stärke erreicht hat. Der hochgespannte Gleichstrom wird durch Umspannung auf der Wechselstromseite und anschließende Gleichrichtung in einer umlaufenden Maschine (Abb. 5) aus dem Werkstrom erzeugt. Der Gleichrichter schneidet aus der bekannten Sinuskurve der Wechselstromspannung jeweils die Höchstwerte heraus. Durch entsprechende Schaltung werden hierbei die auf der positiven Seite liegenden Wellen der Spannungskurve in die negative Seite umgeklappt. Damit die Umformung im Takte der Netzfrequenz erfolgt, wird der Gleichrichter durch einen Synchronmotor angetrieben, der direkt am Drehstromnetz hängt. Um eine Störung des Rundfunkempfanges in der Nachbarschaft des Werkes zu vermeiden, ist in der Hochspannungsleitung hinter der Maschine eine Drosselspule

<sup>2)</sup> J. Weyl, „Elektrische Entteerung von Generator- und Koksofengas“, „Stahl und Eisen“ 1926, Nr. 52. — Dr.-Ing. H. Becker, „Die elektrische Entteerung des Braunkohlen-Generatorgases“, „Braunkohle“ 1926, Nr. 9.

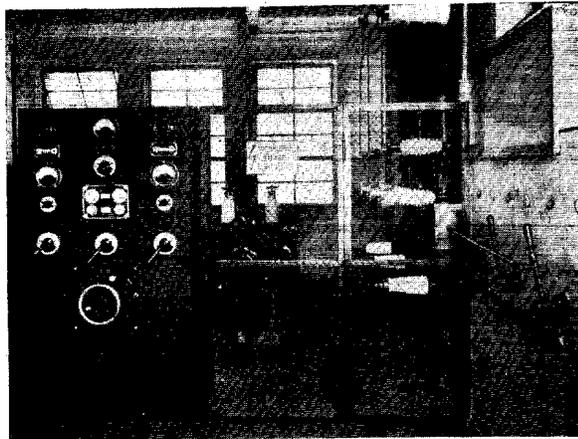


Abb. 5. Hochspannungsmaschinenraum der elektrischen Gasreinigungsanlage.

eingebaut; außerdem ist der Maschinenraum im ganzen noch mit einem unter Putz liegenden, gut geerdeten Drahtgitter umgeben.

Bei der hier beschriebenen Anlage sind, wie schon gesagt, zwei Abscheider in einem Temperaturgebiet von etwa  $90$  bis  $100^\circ\text{C}$  und einer im Gebiet von  $20$  bis  $30^\circ\text{C}$  ausgeführt. Diese stufenweise Unterteilung ist notwendig, um in der ersten Stufe den Teer (oberhalb des Wassertaupunktes) wasserfrei gewinnen zu können. In der zweiten Stufe werden die niedriger siedenden Öle und gleichzeitig Wasser abgeschieden. Hierdurch wird also das Gas gut getrocknet; Öl und Wasser lassen sich in dem im Erdgeschoß des Reinigerraumes aufgestellten Behälter leicht trennen. Im gleichen Raum liegen übrigens auch die Teerbehälter, denen der Teer aus den darüberliegenden Teerabscheidern der ersten Stufe zuläuft. Die beiden Reinigungsapparate der ersten Stufe sind mit Zellenbetonplatten gegen Wärmeabgabe geschützt (Abb. 6). Die Verbindung der Hochspannungserzeuger mit den Abscheidern wurde im vorliegenden Fall mit Hochspannungsgleichstromkabeln ausgeführt.

### Die Regelung.

Neben der Gasreinigung ist die selbsttätige Regelung der Bauart Askania-Werke (Berlin-Friedenau) bemerkenswert. Als wichtigstes Element der Regelungseinrichtung ist der Strahlrohrregler zu nennen, eine unter dem Einfluß von Membranen, Federn od. dgl. im Gleichgewicht gehaltene Düse, die um eine senkrechte Achse schwingt. Durch die Düse strömt ständig Drucköl, das in der Mittelstellung des Strahlrohres gleichmäßig und damit wirkungslos auf zwei in der Gehäusewand des Reglers angeordnete

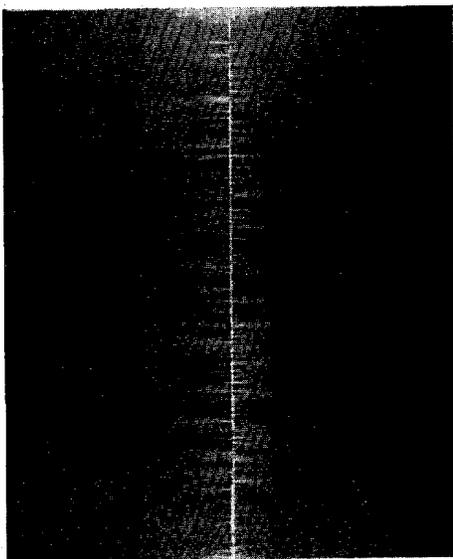


Abb. 3. Korona-Effekt an der positiven Elektrode.

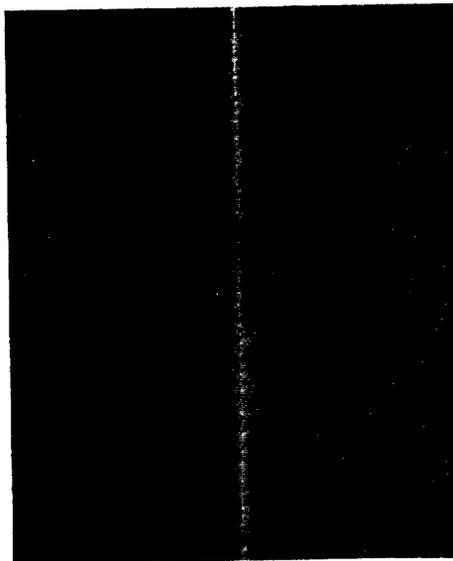


Abb. 4. Korona-Effekt an der negativen Elektrode.

Oeffnungen trifft. Wird jedoch durch eine Schwankung der zu regelnden Größe ein Impuls auf die eine oder andere Membran gegeben, so ist das Gleichgewicht gestört; das Strahlrohr wird dadurch aus seiner Mittellage abgelenkt, und der austretende Oelstrahl trifft mehr oder weniger die eine der erwähnten gegenüberliegenden Oeffnungen. An die Oeffnungen sind zwei Oelleitungen angeschlossen, die mit einem Steuerzylinder (Servomotor) in Verbindung stehen; bei einer Verstellung des Strahlrohres wird sinngemäß der Steuerkolben und damit das eigentliche Regelorgan verstellt. Es ist leicht zu erkennen, daß schon ganz geringe Kräfte genügen, um den Regler zum Ansprechen zu bringen.

Die Anwendung des Strahlrohrreglers auf die hier beschriebene Gasregelung ist aus Abb. 1 ersichtlich. Danach zerfällt die Regelung in zwei Gruppen: Der Regler *D* sorgt für einen gleichmäßigen Reingasdruck, während der Regler *H* zusammen mit den Reglern  $B_1$ ,  $B_2$  und  $B_3$  die Belastung auf alle drei Generatoren gleichmäßig verteilt und die Windzufuhr für jeden Generator entsprechend dem Brennstoffwiderstand im Schacht einstellt. Die Wirkungsweise des Reglers *D* bedarf keiner weiteren Erläuterung; dagegen soll auf die Arbeitsweise der anderen Reglergruppe etwas näher eingegangen werden. Das Hauptsteuerwerk *H* wie auch die Belastungssteuerwerke  $B_1$ ,  $B_2$  und  $B_3$  besitzen je zwei Membranen, die auf die zugeordneten Strahlrohre wirken. Die eine Membran von *H* steht unter dem Einfluß des Rohgasdruckes, die andere ist an die vom Regler zu den drei Belastungssteuerwerken führende Leitung angeschlossen und dient zur Rückführung in die Mittellage. Das Hauptsteuerwerk wird nicht mit Drucköl, sondern mit dem Gebläsewind der Generatorenanlage betrieben. Infolgedessen wirkt der Winddruck über das Hauptsteuerwerk auch auf je eine Membran der drei Belastungssteuerwerke. Die anderen Membranen dieser Steuerwerke sind durch je zwei Leitungen an Stauscheiben in den Windleitungen der zugehörigen Generatoren angeschlossen und sind somit von der Windmenge abhängig, die jeweils durch die Rohrleitung in den betreffenden Generator geblasen wird. Diese Windmenge ist nun wieder von dem Widerstand der Brennstoffsäule abhängig, da ja alle drei Generatoren von einem Gebläse gemeinsam gespeist werden und andererseits auch die Fördermenge des Gebläses von dem Gesamtwiderstand abhängt. Der Regelungsvorgang spielt sich folgendermaßen ab: Bei sinkender Gasabnahme aus dem Netz wird hinter dem Gebläse der Druck durch den Regler *D* konstant gehalten; trotzdem steigt der Rohgasdruck aber etwas an, da ja die Generatoren zunächst noch mit dem gleichen Winddruck arbeiten und die gleiche Gasmenge liefern wie vor der Verringerung der Gasabnahme. Durch die Steigerung des Rohgasdruckes wird das Strahlrohr des Hauptsteuerwerkes *H* abgelenkt und dadurch der auf die Membranen der Belastungssteuerwerke wirkende Gebläsewinddruck verringert. Infolgedessen werden alle drei Belastungssteuerwerke gleichmäßig beeinflusst und verstellen mittels des ihr Strahlrohr durchströmenden Antriebsöles die Steuerkolben an den Windleitungen aller Generatoren. Die Steuerkolben schließen entsprechend dem Impuls etwas die Drosselklappen in den Windleitungen und alle Generatoren arbeiten mit entsprechend geringerer Last. Es wird also erreicht, daß die Last jeweils gleichmäßig auf alle Generatoren verteilt wird. Doch haben die Belastungssteuerwerke noch eine andere Aufgabe zu erfüllen: Sinkt durch Abbrand die Brennstoffhöhe in einem Generator (z. B.  $G_2$ ), so steigt infolge des geringeren Widerstandes die diesem Generator zuströmende Windmenge und damit

auch der Druckunterschied an der zweiten Membran des Reglers  $B_2$ . Infolgedessen wird das Strahlrohr abgelenkt und der Steuerkolben am Generator  $G_2$  verstellt; die Drosselklappe in der Windleitung schließt etwas, das richtige Verhältnis ist wiederhergestellt. Bei steigender Gasentnahme oder bei Vergrößerung des Widerstandes der Brennstoffsäule durch Beschicken oder Verschlacken verläuft die Regelung umgekehrt. Der Regelung ist es zu verdanken, daß die Zusammensetzung und der Heizwert des Gases nahezu gleichbleiben.

Die Steuerwerke sind zusammen mit einigen zugehörigen Meßgeräten in einem besonderen Raum untergebracht (Abb. 7). Hier ist auch ein Gasmengenschreiber angebracht, der fortlaufend die gesamte abgegebene Reingasmenge aufzeichnet. Eine halbautomatische Waage, die unter den Kohlenbunkern läuft, gestattet dazu eine laufende Feststellung des Kohlenverbrauches. Beide Messungen zusammen geben die Gasausbeute. Ferner werden noch an jedem Generator Winddruck, Windtemperatur und Rohgasdruck gemessen. Auch ist ein Zähler für den Stromverbrauch der Anlage vorhanden.

### Bauliches.

Das Gebäude, in dem die Anlage untergebracht ist, ist in Eisenfachwerk mit 13 cm starken gemauerten Wänden ausgeführt und auf Betonpfählen fundiert. Große Fenster geben der Anlage reichlich Licht und Luft. Die Fußböden des Generatorenraumes, des Teerbehälter- und Windgebläseraumes sind mit 4 cm starken Klinkerplatten, der Fußboden des Reinigerraumes mit roten Fliesen und der Fußboden des Reglerraumes mit Linoleum ausgelegt. Infolgedessen ist die Anlage leicht sauber zu halten und unterscheidet sich in dieser Beziehung vorteilhaft von den meisten Generatorenanlagen, die vielfach als Stiefkinder der Betriebe behandelt werden. Außerlich hat das Gebäude durch farbige Betonung der breiten eisernen Binder (Peiner T-Träger) und geschickte Teilung der Gefache mit einfachen Mitteln ein künstlerisches Aussehen erhalten.

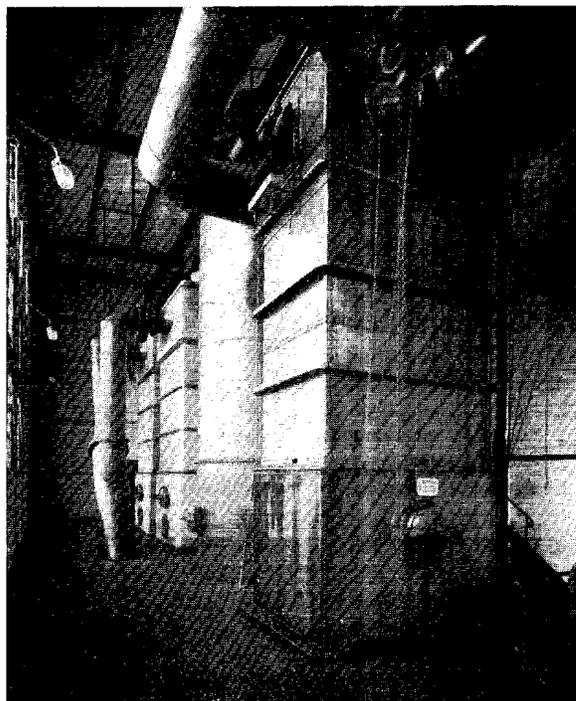


Abb. 6. Reinigerraum.



Zahlentafel 2). Durch wiederholte Staurandmessungen wurde eine Gasmenge von 169 065 m<sup>3</sup> (bei 25 ° C und 145 mm W.-S. Ueberdruck) abgelesen. Die auf 0 ° C und 760 mm Q.-S. reduzierte und entsprechend der vorstehenden Bemerkung korrigierte Gasmenge beträgt 153 600 m<sup>3</sup>. Damit ergibt sich eine Gasausbeute von  $\frac{153\,600}{61\,450} = 2,50 \text{ nm}^3/\text{kg}$ . Der mittlere Heizwert des Gases betrug laut Zahlentafel 3 1480 kcal/nm<sup>3</sup>. Bei Betriebsmessungen lag der Heizwert übrigens stets höher.

Die Reinigungsanlage arbeitet nach den Versuchsergebnissen und nach den 1½-jährigen Betriebserfahrungen einwandfrei. Der Teergehalt des Reingases lag bei dem Versuch immer unter 0,01 g/m<sup>3</sup>. Ein Wattefilter wurde nach Durchleiten von 3 m<sup>3</sup> Gas nicht einmal gefärbt. Es ist in diesem Zusammenhang erwähnenswert, daß bis jetzt eine Reinigung der ausgedehnten Gasverteilungsleitungen nicht erforderlich geworden ist. Der Teer- und Oelanfall geht aus Zahlentafel 4 hervor. Hierzu ist zu bemerken, daß aus besonderen Gründen keine einwandfreie Messung der Oelmenge vorgenommen werden konnte; daher wurde die Oelmenge nach der Garantie mit 10 % der Teermenge eingesetzt. Die spezifische Teer- und Oel- ausbeute betrug  $\frac{4079}{61\,450} = 0,0665$  Kilogramm je Kilogramm Brennstoff. Der Teergehalt der Briketts betrug nach der Schwelanalyse (nach Graefe) 0,0672 kg/kg; damit wird der Gütegrad des Schwelvorganges  $\frac{0,0665}{0,0672} \cdot 100 = 99 \%$ . Dieser Wert ist bei der Graefeschen Schwelanalyse durchaus möglich.

### Wärmeaufstellung des Versuches.

Nach den Versuchsergebnissen ist die Wärmeaufstellung (Zahlentafel 5) errechnet worden. Der Heizwert des Gases ist nach folgender Formel auf trockenes Gas umgerechnet:

$$H_{u \text{ Feuchtg. Gas}} = H_{u \text{ Trockengas}} \frac{p_{\text{Gas}} - p_{\text{Dampf}}}{p_{\text{Gas}}}$$

$$H_{u \text{ Feuchtg. Gas}} = 1480 \frac{(10\,333 + 145) - 324}{10\,333 + 145} = 1440 \text{ kcal/nm}^3.$$

Die in der Bilanz wiedergegebenen Verluste wurden wie folgt ermittelt:

1. Verlust durch Unverbranntes in der Asche =  $V_U$

Aschengehalt des Brennstoffs . . . . . 7,29 %  
 Unverbranntes in der Asche . . . . . 4,35 %  
 Heizwert von Kohlenstoff . . . . . 8100 kcal/kg

$$\text{damit } V_U = \frac{0,0729 \cdot 0,0435 \cdot 8100}{(1 - 0,0435) 4803} = 0,56 \%$$

<sup>3)</sup> Dieser Wert ist errechnet. Gemessen wurden im Durchschnitt 1504 kcal/m<sup>3</sup>. Wie Dr.-Ing. Schneider auf der 70. Jahresversammlung des Deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner in Berlin (siehe das Referat in der „Wärme“ 1929, Nr. 25, S. 494) ausfuhrte, ist die Berechnung des Heizwertes eines Gases aus dem Bestandteile nicht richtig, da die Verbrennungsverhältnisse des Gemisches andere sind und rechnerisch nicht erfassbare Zwischenwirkungen innerhalb des Gemisches auftreten. Wenn trotzdem die errechneten Werte zugrundegelegt wurden, so geschah dies deshalb, weil im Zweifelsfall der ungünstigere Wert berücksichtigt werden sollte.

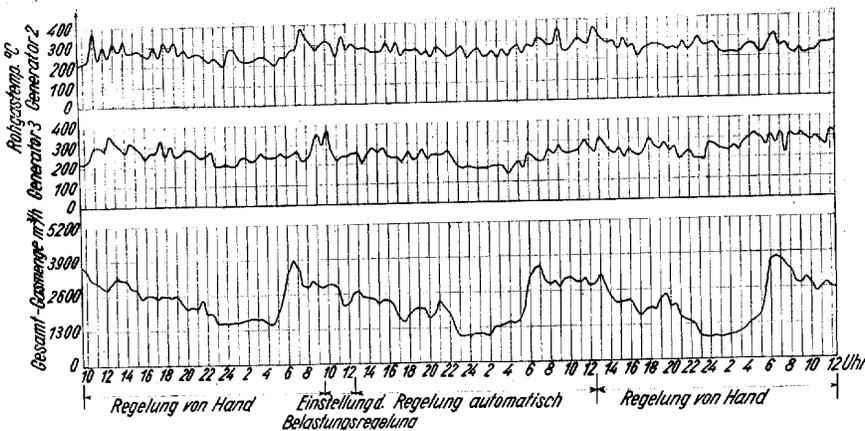


Abb. 8. Rohgastemperaturen und Gesamtgasmenge während der Versuche.

2. Verlust durch Gaskühlung =  $V_K$ .  
 Austrittstemperatur des Gases aus den Generatoren = 253 ° C;  
 Austrittstemperatur des Gases aus der Reinigungsanlage = 25 ° C;  
 mittlere spezifische Wärme  $c_{pm} = \sim 0,3 \text{ kcal/kg}$ ;  
 mittleres spezifisches Gasgewicht  $\gamma = 1,107 \text{ kg/m}^3$ ,  
 damit  $V_K = \frac{2,50 \cdot 1,107 - 0,3 (253 - 25)}{4803} \cdot 100 = 3,92 \%$

3. Verlust durch Strahlung und Leitung =  $V_{St}$ .

Bei Generatoren ohne Wassermantel gilt als begründeter Wert  $V_{St} = 6,5 \%$ . Für die untersuchte Anlage ist hiervon die im Wassermantel auf die vorgewärmte und mit Wasserdampf gesättigte Luft übertragene Wärme abzuziehen.

Mittlere Temperatur des Dampf-Luft-Gemisches = 55 ° C,  
 Druck des Gemisches im Mittel = 90 mm W.-S. Ueberdruck = 10 423 mm W.-S. abs.,  
 Teildruck des Wasserdampfes bei 55 ° C = 0,16 at abs. = 1600 mm W.-S. abs.

Reinluftanteil im Gemisch  
 $\frac{10\,423 - 1600}{10\,423} \cdot 100 = 84,5 \%$

Luftbedarf für 1 kg Brennstoff, berechnet aus dem mittleren N<sub>2</sub>-Gehalt des Gases,

$$L = \frac{48,1}{79} \cdot 2,50 = 1,52 \text{ nm}^3/\text{kg}, \text{ also}$$

Bedarf an Dampf-Luft-Gemisch  $\frac{1,52}{0,845} \sim 1,80 \text{ nm}^3/\text{kg}$ ,

Wärmeinhalt des Gemisches  $i = 83 \text{ kcal/m}^3$ , demnach für Lufterwärmung und Sättigung nutzbar gemacht

$$\frac{1,80 \cdot 83}{4803} \cdot 100 = 3,12 \%$$

### Zahlentafel 2. Brennstoffanalyse.

| Brennstoff: Braunkohlenbriketts                     |              |
|---|--------------|
| Zusammensetzung:                                    |              |
| C . . . . .   | 53,74 %      |
| H . . . . .   | 4,20 %       |
| N . . . . .   | 0,68 %       |
| O . . . . .   | 18,27 %      |
| H <sub>2</sub> O . . . . .                          | 15,82 %      |
| Asche . . . . .                                     | 7,29 %       |
|   | 100,00 %     |
| Unterer Heizwert: $H_U$ . . . . .                   | 4803 kcal/kg |
| Die Schwelanalyse nach Graefe ergab folgende Werte: |              |
| Teerausbeute . . . . .                              | 6,72 %       |
| Schwelwasser . . . . .                              | 40,42 %      |
| Koks . . . . .                                      | 45,66 %      |
| Verlust durch Vergasung . . . . .                   | 7,20 %       |
|   | 100,00 %     |

Zahlentafel 3. Gasanalysen und Heizwertberechnung.

| Bestandteile   | 1. Tag                            |                                 |                |      |                |                 |                | 2. Tag                            |                                 |                |      |                |                 |                | 3. Tag                            |                                 |                |      |                |                 |                |  |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|------|----------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|------|----------------|-----------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|------|----------------|-----------------|----------------|--|
|  | CO <sub>2</sub>                   | C <sub>11</sub> H <sub>11</sub> | O <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub>                   | C <sub>11</sub> H <sub>11</sub> | O <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> | CO                                | C <sub>11</sub> H <sub>11</sub> | O <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> |  |
| Zusammensetzung  | 5,0                               | 0,2                             | 0,1            | 29,1 | 15,5           | 2,2             | 47,9           | 5,5                               | 0,4                             | 0,7            | 28,0 | 15,5           | 2,1             | 47,8           | 6,0                               | 0,2                             | 0,4            | 28,1 | 14,4           | 2,3             | 48,6           |  |
| Molekulargewicht der Gasbestandteile   | 44                                | (52)                            | 32             | 28   | 2              | 16              | 28             | 44                                | (52)                            | 32             | 28   | 2              | 16              | 28             | 44                                | (52)                            | 32             | 28   | 2              | 16              | 28             |  |
| Molekulargewichtsanteile im Gas  | 2,20                              | 0,10                            | 0,03           | 8,14 | 0,31           | 0,35            | 13,42          | 2,42                              | 0,21                            | 0,22           | 7,83 | 0,31           | 0,34            | 13,41          | 2,64                              | 0,10                            | 0,13           | 7,88 | 0,29           | 0,37            | 13,60          |  |
| Molekulargewicht des Gases   | 24,55                             |                                 |                |      |                |                 |                | 24,74                             |                                 |                |      |                |                 |                | 25,01                             |                                 |                |      |                |                 |                |  |
| Spezifisches Gewicht des Gases   | 24,55 : 22,4 = 1,098              |                                 |                |      |                |                 |                | 24,74 : 22,4 = 1,104              |                                 |                |      |                |                 |                | 25,01 : 22,4 = 1,118              |                                 |                |      |                |                 |                |  |
| Heizwert der Gasbestandteile $H_{ij}$  | — (14 000) — 3050   2570   8500 — |                                 |                |      |                |                 |                | — (14 000) — 3050   2570   8500 — |                                 |                |      |                |                 |                | — (14 000) — 3050   2570   8500 — |                                 |                |      |                |                 |                |  |
| Heizwertanteile im Gas   | — 28 — 885   403   187 —          |                                 |                |      |                |                 |                | — 56 — 852   398   179 —          |                                 |                |      |                |                 |                | — 28 — 855   370   195 —          |                                 |                |      |                |                 |                |  |
| Gesamtheizwert des Gases $H_U$   | 1499                              |                                 |                |      |                |                 |                | 1485                              |                                 |                |      |                |                 |                | 1450                              |                                 |                |      |                |                 |                |  |
| Mittlerer Heizwert, bezogen auf die ganze Versuchsdauer, 1480 kcal/nm <sup>3</sup> . |                                   |                                 |                |      |                |                 |                |                                   |                                 |                |      |                |                 |                |                                   |                                 |                |      |                |                 |                |  |

Zahlentafel 4.

Zusammenstellung der angefallenen Teer- und Oelmengen.

| Anfallstelle         | Teer          |           |            | Oel       | Gesamte Wärmemenge in Teer und Oel |
|----------------------|---------------|-----------|------------|-----------|------------------------------------|
|                      | EGR. I und II | Vorkühler | zusammen   |           |                                    |
| Liter (wasserhaltig) | 3313,1        | 912,7     | —          | —         | —                                  |
| Wassergehalt         | 1,23          | 55,75     | —          | —         | —                                  |
| Liter (wasserfrei)   | 3260          | 403       | 3663       | 405       | —                                  |
| Spezifisches Gewicht | 1,013         | 1,013     | 1,013      | 0,916     | —                                  |
| Anfall               | 3300          | 408       | 3708       | 371       | —                                  |
| Unterer Heizwert     | 9460          | 8500      | —          | 10 062    | —                                  |
| Gesamtheizwert       | 31 200 000    | 3 470 000 | 34 670 000 | 3 725 000 | 38 395 000                         |

Zahlentafel 5. Wärmebilanz, bezogen auf 1 kg Brennstoff.

|  | kcal | %     |
|--|------|-------|
| I. Eingbracht:                                   |      |       |
| im Brennstoff                                    | 4803 | 100   |
| II. Ausgebracht:                                 |      |       |
| a) nutzbar:                                      |      |       |
| 1. Heizwert im Gas $1440 \times 2,50$            | 3600 | 75    |
| 2. Heizwert in Teer und Oel (nach Zahlentafel 4) |      |       |
| 38395 000  | 625  | 13    |
| 61 450   |      |       |
| b) verloren:                                     |      |       |
| 3. durch Unverbranntes in der Asche = $V_U$      | 27   | 0,56  |
| 4. durch Gaskühlung = $V_K$                      | 189  | 3,92  |
| 5. durch Strahlung und Leitung = $V_{St}$        | 163  | 3,38  |
| 6. durch fühlbare Wärme im Teer = $V_T$          | 3    | 0,07  |
| 7. Restglied                                     | 196  | 4,07  |
|  | 4803 | 100,- |

(Hierbei ist der Wärmehalt der zugeführten Luft von etwa 15 °C vernachlässigt.) Mit diesem Werte wird

$$V_{St} = 6,50 - 3,12 = 3,38 \%$$

(Hierin ist auch der Verlust durch abfließendes Kühlwasser aus dem Mantel enthalten.)

4. Verluste durch fühlbare Wärme im Teer =  $V_T$ . (Der gleiche Verlust für Oel kann als ganz unbedeutend vernachlässigt werden.)

Ausscheidungstemperatur für Teer = 80 °C,

Abkühlung in den Lagerbehältern auf Raumtemperatur von 15 °C,

mittlere spezifische Wärme vom Teer = 0,80 kcal/kg,

$$\text{damit } V_T = (80 - 15) \cdot 0,80 \cdot \frac{3708}{61450} \cdot \frac{100}{4803} = 0,065 \%$$

Hierzu kommt noch als weiterer Verlust die Kondensationswärme des Teers; dieser Verlust kann jedoch rechnerisch schwer erfaßt werden und wird daher unter „Restverlust“ mitaufgeführt.

Nach der Wärmebilanz beträgt der thermische Wirkungsgrad (Wärme im Gas und Wärme in Teer und Oel dividiert durch Wärme im Brennstoff)

$$\eta_{th} = \frac{75 + 13}{100} = 88 \%$$

Der auf Wärme im Gas allein bezogene thermische Wirkungsgrad wird auch Vergasungswirkungsgrad genannt; er beträgt

$$\eta_{Vergas.} = 75 \%$$

Bei den Versuchen wurde der Verbrauch an elektrischer Energie nicht gemessen. Nach späteren Ermittlungen beträgt er im Durchschnitt 0,0054 KWh/nm<sup>3</sup>; davon entfallen nach Angaben der Firma Lurgi 0,0012 KWh/nm<sup>3</sup> auf die elektrische Gasreinigung. Unter Berücksichtigung des Energieverbrauches vergrößert sich in der Wärmeaufstellung die eingebrachte Wärmemenge um 12 kcal = etwa 0,25 %. Praktisch kann der Stromverbrauch also vernachlässigt werden.

Nachdem in anderthalbjähriger Betriebszeit nun ein Beharrungszustand eingetreten ist, sollen die Versuche wiederholt und auf die Untersuchungen der Abhängigkeit des thermischen Wirkungsgrades von der Generatorbelastung ausgedehnt werden. Hierüber wird an dieser Stelle später berichtet werden.

4) Setzt man an Stelle des errechneten den gemessenen Heizwert ein (s. Fußnote 3), so wird  $\eta_{Vergas.} = 76,5 \%$ ,  $\eta_{th} = 89,5 \%$ .

Es wird oft verlangt, daß bei Auftreten oder Wegbleiben eines Druckes ( Öl, Dampf, Gas oder Luft) ein Ventil ein- oder ausgeschaltet werden soll. Wir haben für diese Fälle ein Ventil entwickelt, dessen Anwendungen sehr vielseitig sind. Es dient zum Abschalten von einer oder gleichzeitig zwei Leitungen. Die Abmessungen des Ventils zeigt RM 378. Durch einen Kolben wird ein Kolbenschieber gegen eine einstellbare Feder betätigt.

Anwendungsfälle:

Ausführung 1 a: 1 Leitung

Ventil öffnet bei aussetzendem Druck. RSa 228.

Um ein Regelorgan bei aussetzendem Druck von Hand leicht und schnell betätigen zu können, ohne dasselbe vom Steuerzylinder zu entkuppeln, schließt das Ventil bei Wegbleiben des Öldruckes den Steuerzylinder kurz.

Bei Druckregelung wird öfters verlangt, daß das Regelorgan bei Wegbleiben des Öldruckes aus Sicherheitsgründen durch ein Schließgewicht abgesperrt werden soll. Für solche Fälle wird vorteilhaft ebenfalls ein Ventil eingeschaltet, um den Zylinder kurz zu schließen. Das Gewicht braucht dann nicht die Widerstände im Verteilerstück bzw. den langen Ölleitungen zu überwinden, um den Steuerkolben schneller in die Endlage zu bringen.

Ausführung 1 b: 1 Leitung

Ventil schließt bei aussetzendem Druck.

Hierfür zeigt RPg 85 ein Anwendungsbeispiel bei der Überström- und Sicherheitsregelung von Gaskompressoren.

Hier wird das Ventil mit dem Dampf einlaß der Antriebsmaschine des Gaskompressors verbunden. Wird der Kompressor in Betrieb gesetzt, so läßt das Ventil selbsttätig den Regulieröldruck des Sicherheitsreglers auch auf die Tourenzahl dieses Kompressors wirken.

Eine weitere Anwendung wäre z.B. RSa 228, Skizze 1. Hier wird bei Ausbleiben des Öldruckes, hervorgerufen durch den Ölzeitschalter, das Ventil geschlossen. Dadurch wird ein selbsttätiges Verstellen des Steuerzylinders, der sonst infolge einseitiger Belastung in seine Endlage fahren würde, verhindert.

Ausführung 2a: 2 Leitungen

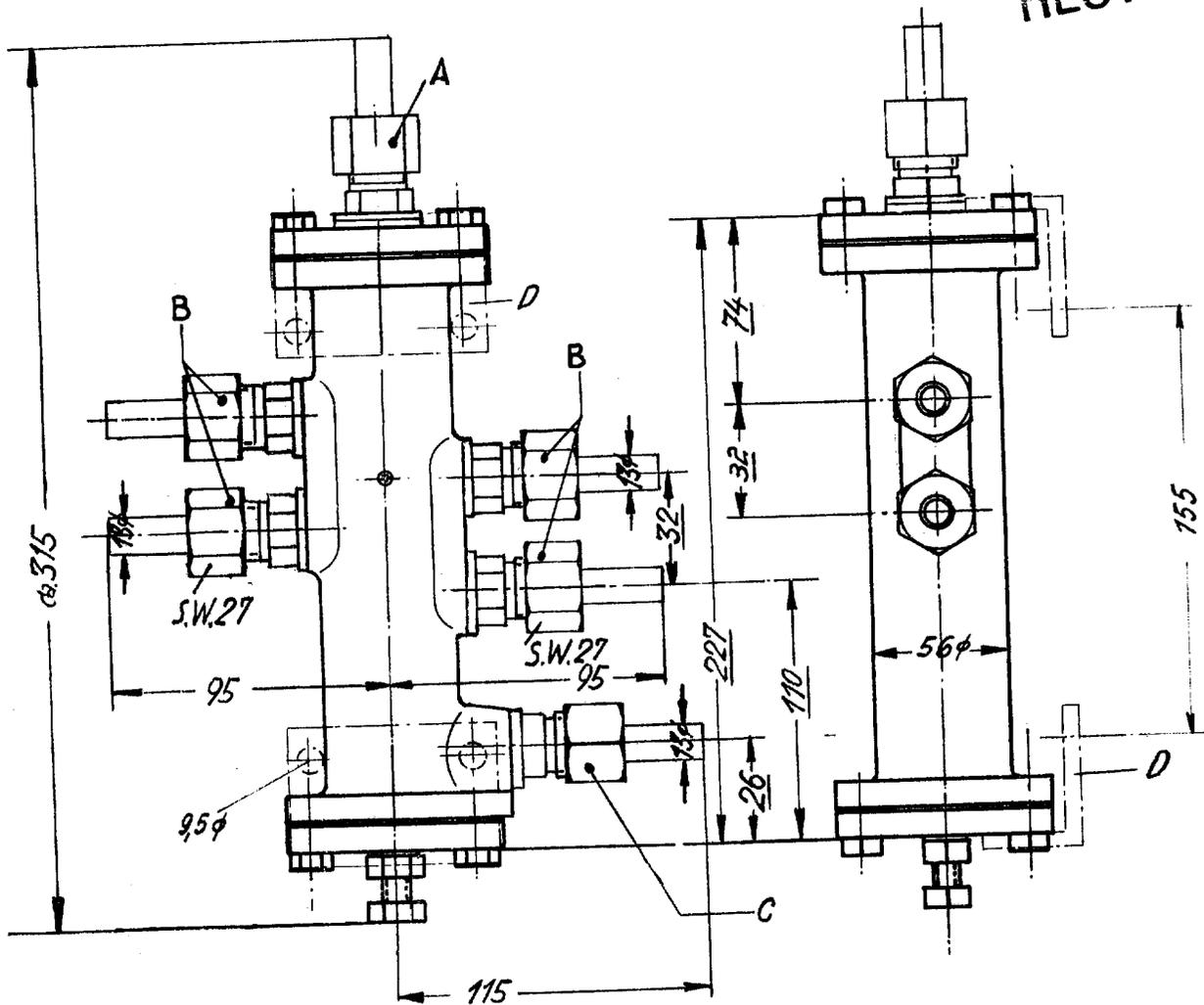
Ventil öffnet bei aussetzendem Druck. RSa 229.

Diese Ausführung hat dieselben Verwendungsmöglichkeiten wie Ausführung 1 a, kann jedoch gleichzeitig 2 Steuerzylinder kurz schließen.

Diese Ausführung ist wichtig, um den Steuerzylinder in seiner Stellung festzuhalten. Näheres siehe in der Beschreibung R 1066.

RESTRICTED

RESTRICTED



"A" Druckoelzuleitung } Löt nipple Außen  $\phi$  13  
 "B" Steuerleitung } Lötlose Rohrleitung  $12\phi \times 10\phi$   
 "C" Leckoelabfluß  
 "D" Winkel für Wandmontage

RF 1007  
 RF 304

Für 1 Leitung fallen die beiden unteren Anschlüsse "B" fort. Früher RM 196.

Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen und sämtlichen Beilagen verbleibt uns. Sie sind dem Empfänger nur zum persönlichen Gebrauch anvertraut. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch nicht dritten Personen, insbesondere Wettbewerbern, mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden. Widerrechtliche Benutzung durch den Empfänger oder Dritte hat zivil- u. strafrechtliche Folgen. Die Zeichnungen und sämtl. Beilagen sind uns im Falle der Nichtbestellung sofort zurückzugeben. (R. G. Bl. 1910 §§ 1, 15, 36 und R. G. Bl. 1910 §§ 18, 19)

**Druckölbetätigtes Ventil**  
 Ausfg. Ia f. 1 Leitg. Ventil öffnet bei aussetzendem Ölldr.  
 " Ib " 1 " " schließt " " " "  
 Ausfg. IIa f. 2 Leitg. Ventil öffnet bei aussetzendem Ölldr.  
 " IIb " 2 " " schließt " " " "

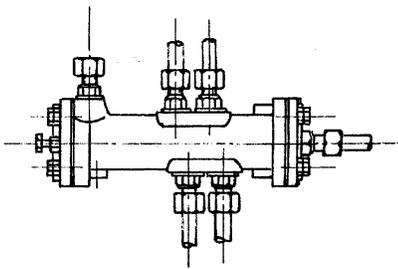
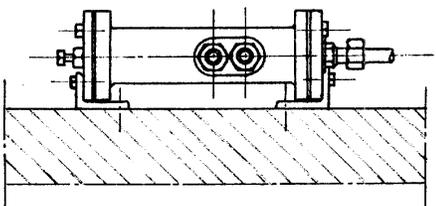
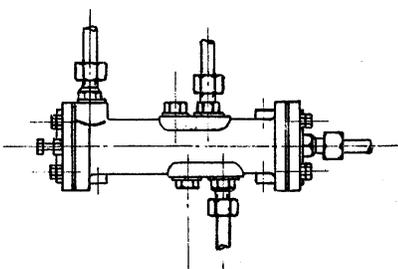
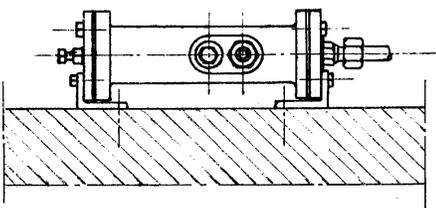


|            | Tag     | Name | Maßstab |
|------------|---------|------|---------|
| Gezeichnet | 9.11.33 | W... | 1:2,5   |
| Geprüft    |         |      |         |
| Gezeichnet |         |      |         |
| Gesehen    |         |      |         |

| Änderungen |  |
|------------|--|
| 1          |  |
| 2          |  |
| 3          |  |
| 4          |  |

Ersatz für: Zeichn. gl. Nr. v. 17.4.31 in Leichtmetall  
 Ausführung  
**RM 378**  
 Zeichnung-Nr.

RESTRICTED

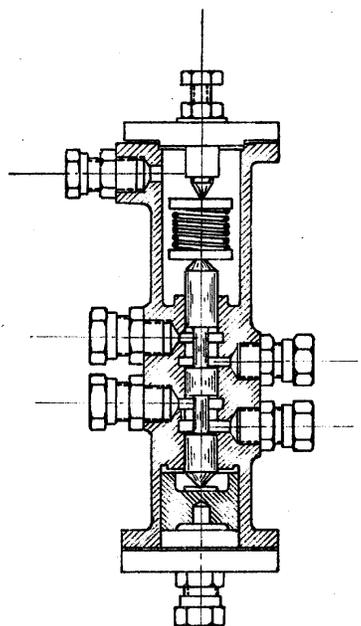
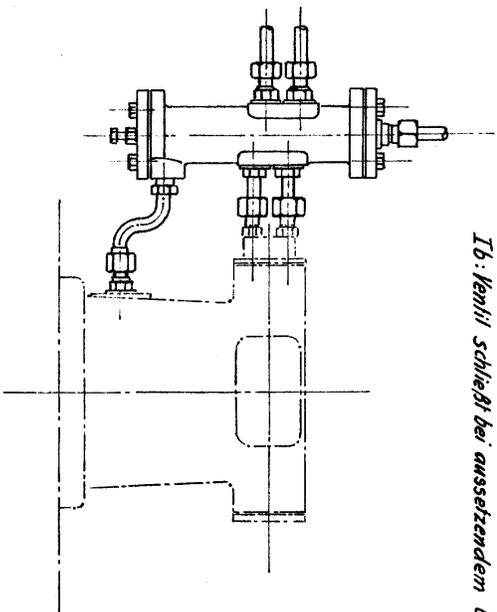


**Ausführung Ia u. Ib für Wandmontage.**

Ia: Ventil öffnet bei aussetzendem Überdruck  
Ib: Ventil schließt bei aussetzendem Überdruck

**Ausführung IIa u. IIb für Wandmontage.**

IIa: Ventil öffnet bei aussetzendem Überdruck  
IIb: Ventil schließt bei aussetzendem Überdruck



**Ausführung IIa u. IIb bei direktem Anschluss  
an das Strahlrohrgehäuse.**

Schnitt durch Druckbetätigtes Ventil M 4:2,5

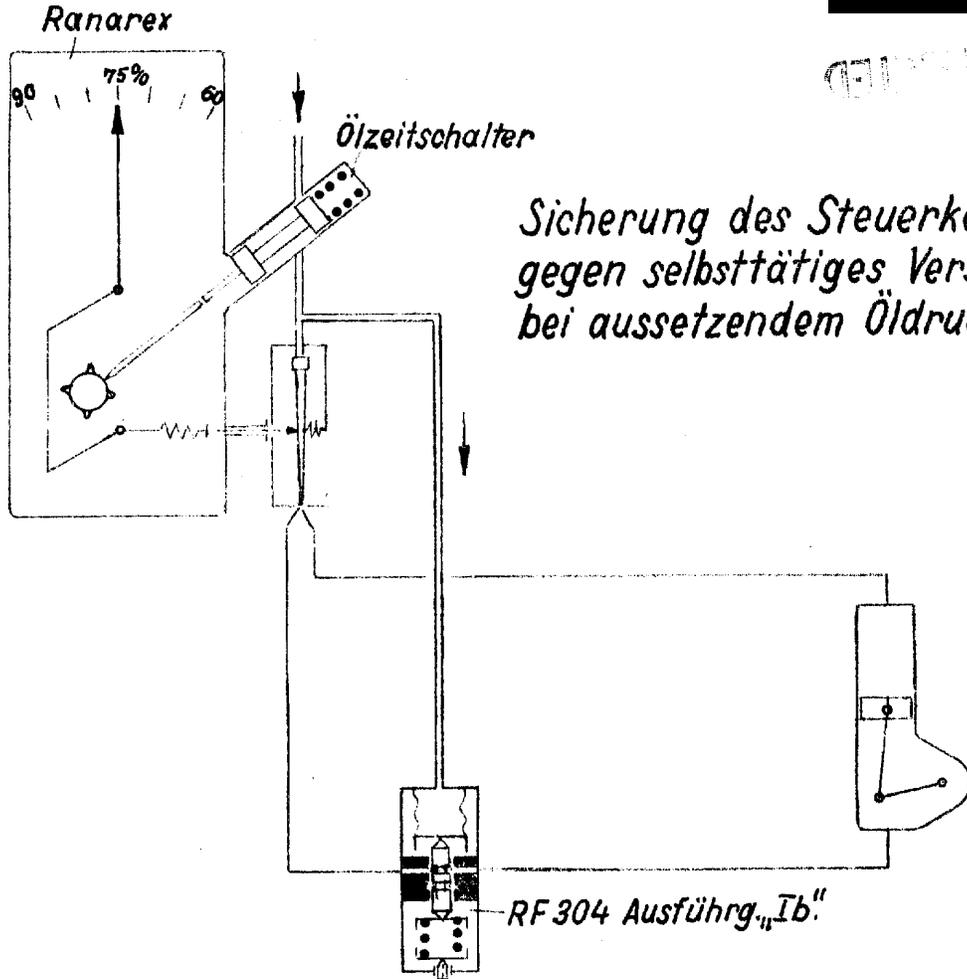
Maßzeichnung RM 378

Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen und sämtlichen Beilagen verbleibt uns. Sie sind dem Empfänger nur zum persönlichen Gebrauch anvertraut. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch nicht dritten Personen insbesondere Wettbewerbern, mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden. Widerrechtliche Benutzung durch den Empfänger oder Dritte hat zivil- u. strafrechtliche Folgen. Die Zeichnungen und sämtlichen Beilagen sind uns im Falle der Nachbestellung sofort zurückzugeben. (R. G. Bl. 1910 §§ 1, 15, 36 und R. G. Bl. 1910 §§ 18, 19)

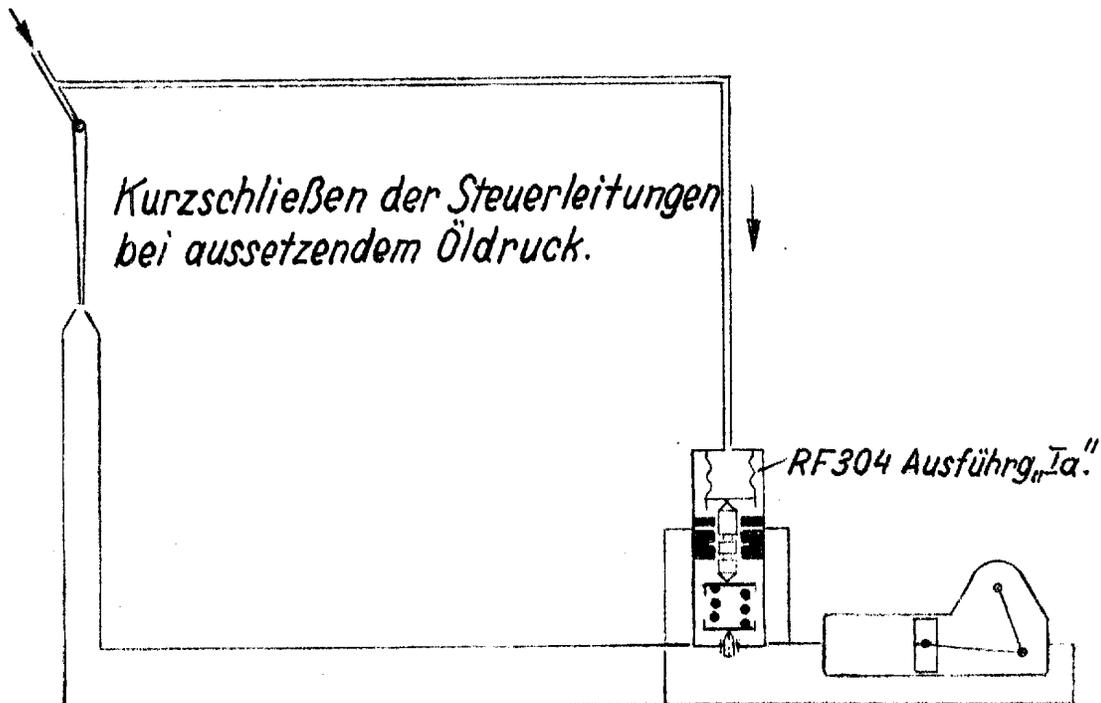
|   |         |                            |         |
|---|---------|----------------------------|---------|
|  |         | Anwendungszeichnung        |         |
|   |         | für Druckbetätigtes Ventil |         |
| Gezeichnet  | 29.5.35 | W.L.M.                     | RF 7007 |
| Geprüft   |         |                            |         |
| Datum   |         |                            |         |
| Name  |         |                            |         |

Für sämtliche Typen können Marine- u. Ermele-anschlüsse verwendet werden, siehe Stücklisten für Anschlüsse

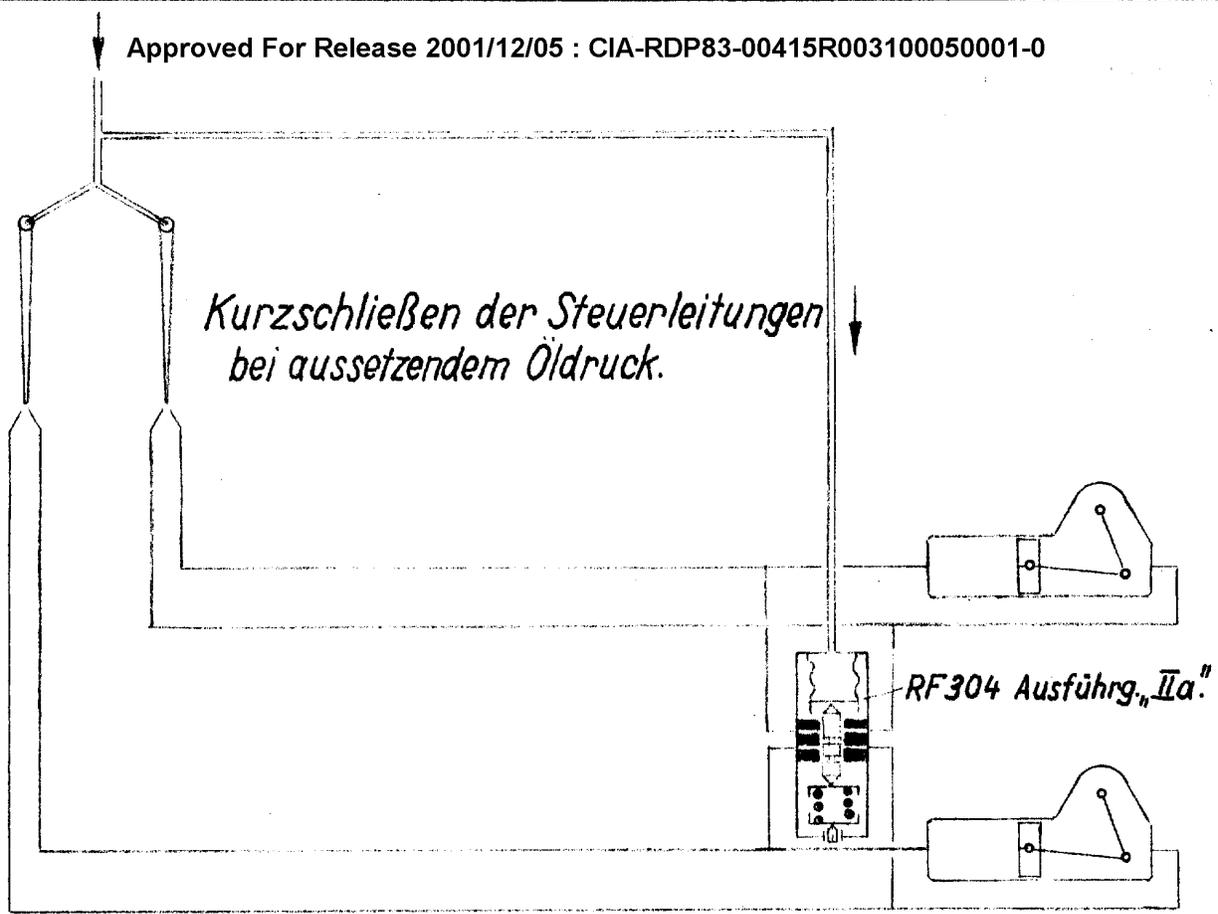
M 1:5



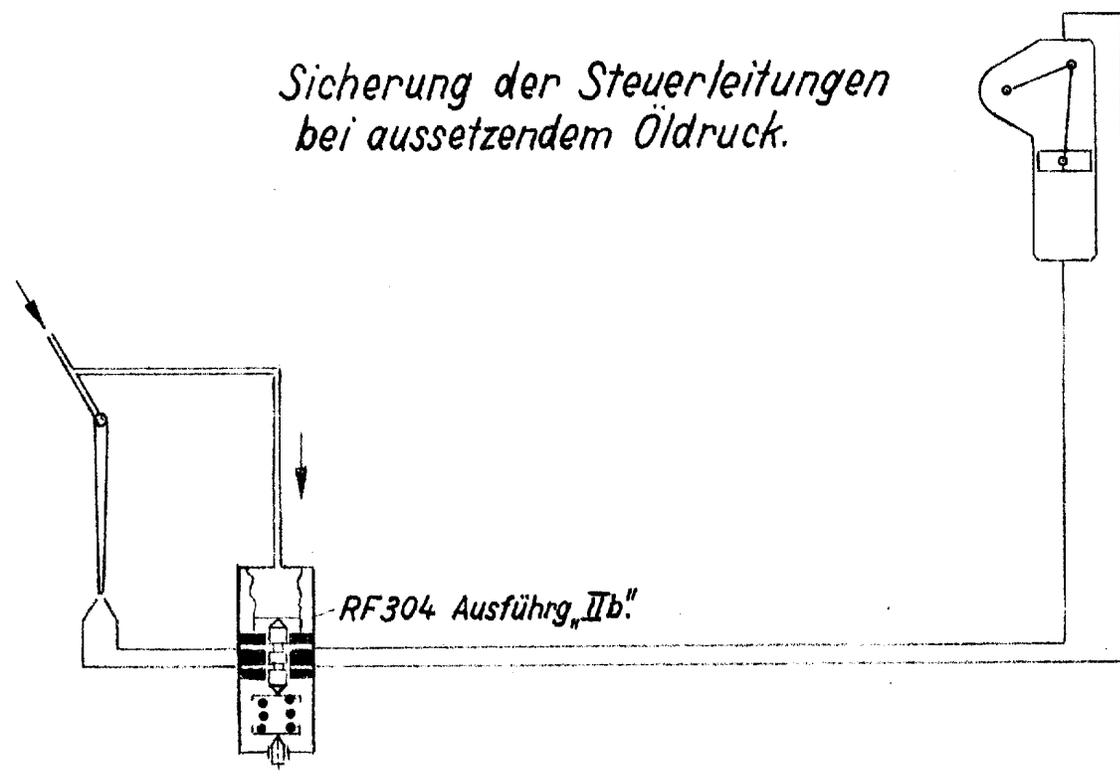
Sicherung des Steuerkolbens gegen selbsttätiges Verstellen bei aussetzendem Öldruck.



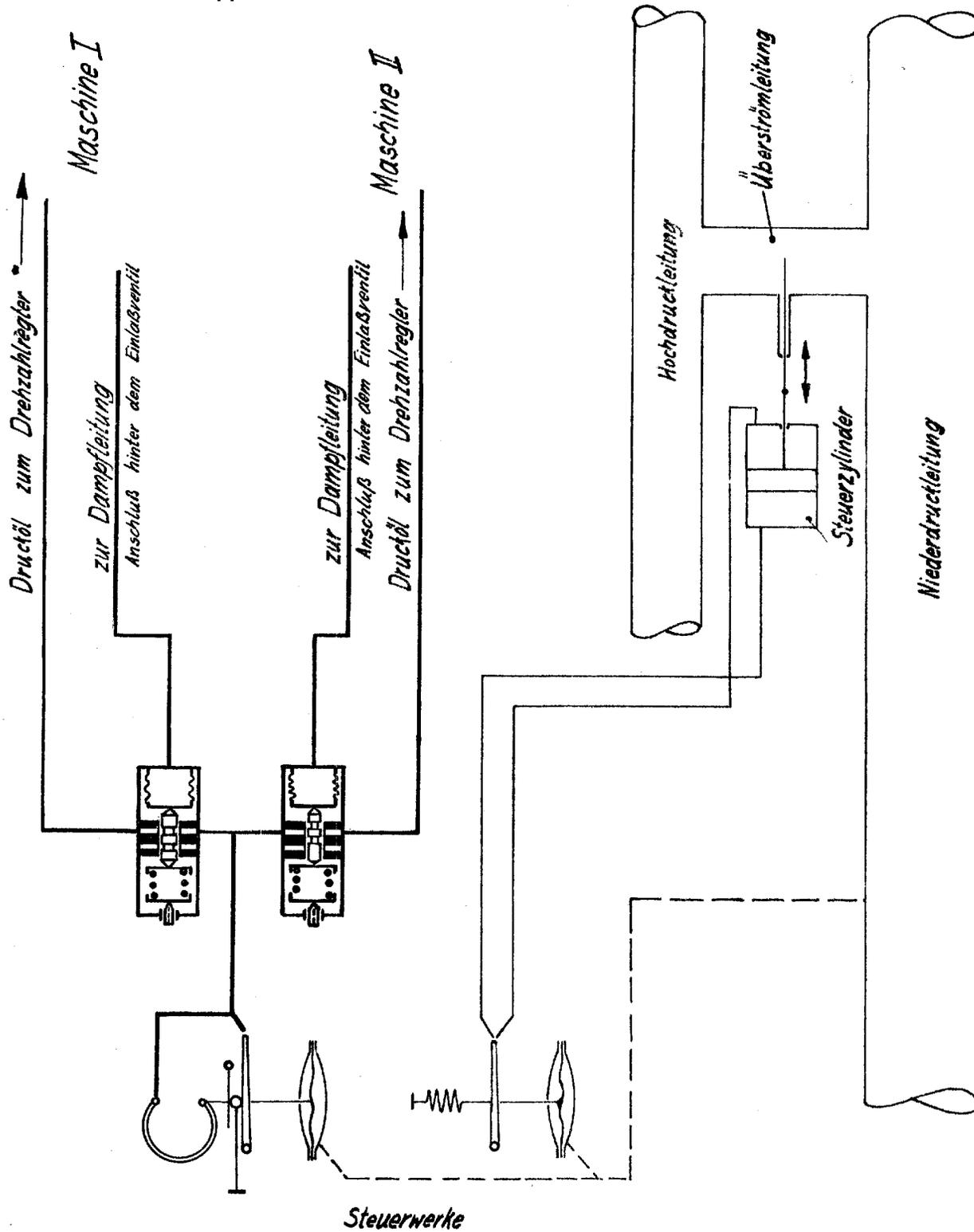
|  |                  |                 |                         |         |            |  |
|--|------------------|-----------------|-------------------------|---------|------------|--|
| ohne Zeichen   | rohe Fläche      | ~ glatte Fläche | ohne Bearbeitungszugabe | Zugabe  | Werkstoff  | Zeichnung-Nr<br><b>RSa 228</b>                               |
| ▽ Schruppfläche  | ▽▽ Schlifffläche | ▽▽▽ Edelfläche  | mit                     | mm      |            |  |
| <b>ASKANIA-WERKE AS</b><br>BAMBERGWERK<br>BERLIN-FRIEDENAU |                  | Tag             | Name                    | Maßstab | Gegenstand | Anwendung von druckbetätigten Ventilen.<br><b>RESTRICTED</b> |
| Gezeichnet<br>Geprüft<br>Gelesen<br>Normgepr.              |                  | 12.5.31.        | JLL.                    |         |            |  |
| Approved For Release 2001/12/05                            |                  |                 |                         |         |            |  |



*Sicherung der Steuerleitungen bei aussetzendem Öldruck.*



|   |                   |                |                         |        |           |                                |
|---|-------------------|----------------|-------------------------|--------|-----------|--------------------------------|
| ohne Zeichen  | rohe Fläche       | glatte Fläche  | ohne Bearbeitungszugabe | Zugabe | Werkstoff | Zeichnung-Nr<br><b>RSa 229</b> |
| ▽ Schrappfläche   | ▽▽ Schlichtfläche | ▽▽▽ Edelfläche | mit                     | mm     |           |                                |
| <br><b>ASKANIA-WERKE AG</b><br>HAMBURGWERK<br>BERLIN-FRIEDENAU |                   |                | Tag                     | Name   | Maßstab   | Gegenstand                     |
| Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R003100050001-0<br>Anwendung für druckbetätigten Ventilen.                                       |                   |                | 12.5.31.                | FU.    |           |                                |
|   |                   |                | Gepüßt                  |        |           |                                |
|   |                   |                | Gelesen                 |        |           |                                |
|   |                   |                | Normgepr.               |        |           |                                |



Steuerwerke

Das Urheberrecht an diesen Zeichnungen und sämtlichen Beilagen verbleibt uns. Sie sind dem Empfänger nur zum persönlichen Gebrauch anvertraut. Ohne unsere schriftliche Genehmigung dürfen sie nicht kopiert oder vervielfältigt, auch nicht dritten Personen, insbesondere Wettbewerbern, mitgeteilt oder zugänglich gemacht werden. Widerrechtliche Benutzung durch den Empfänger oder Dritte hat zivil- u. strafrechtliche Folgen. Die Zeichnungen und sämtl. Beilagen sind uns im Falle der Nichtbestellung sofort zurückzugeben. (R. G. Bl. 1910 §§ 1, 15, 36 und R. G. Bl. 1910 §§ 18, 19)

Gegenstand **RESTRICTED**  
**Gaskompressoren**  
**Überström- und Sicherheitsregelung**

|  |            |        |      |         |            |               |                |
|--|------------|--------|------|---------|------------|---------------|----------------|
| <p><b>ASKANIA</b><br/> <b>ASKANIA-WERKE AG</b><br/>         BAMBERGWERKE<br/>         BERLIN-FRIEDENAU</p> |            | Tag    | Name | Maßstab | Änderungen | Ersatz für:   | Ersetzt durch: |
|  | Gezeichnet | 2.7.30 | W    |         | 1          | Zeichnung-Nr. | PPg 85         |
|  | Gepüft     |        |      | 2       |            |               |                |
|  | Gesehen    |        |      | 3       |            |               |                |
| Approved For Release 2001/12/05 : CIA-RDP83-00415R003100050001-0   |            |        |      |         | 4          |               |                |



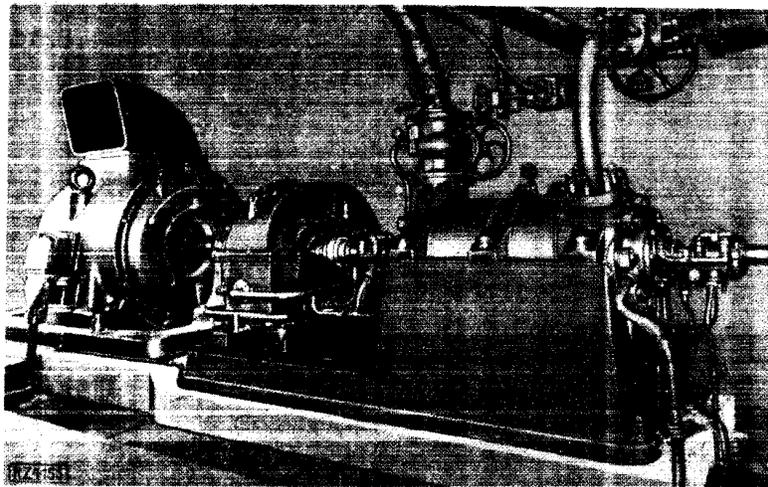
## Kreiselpumpen zum Speisen von Hochdruckkesseln

Von Dir. G. WEYLAND, Frankenthal/Pfalz

**Notwendigkeit zuverlässiger Kesselspeisepumpen für Höchstdruckkessel. — Selbsttätiges Anspringen von Reservespeisepumpen beim Versagen der Betriebspumpen. — Betriebserfahrungen an Hochdruck-Kesselspeisepumpen mit labiler und stabiler QH-Linie. Notwendigkeit stabiler QH-Linien beim Parallelbetrieb mehrerer Kesselspeisepumpen. — Leistungsregelung bei gewöhnlichem Drehstrommotorenantrieb ohne große Verluste, — Erwärmung des Speisewassers beim Durchfluß durch die Pumpe. — Rückführung von Kondensat in die Dampfkessel ohne besondere Pumpe.**

Kesselspeisepumpe von Klein, Schanzlin & Becker für elektrischen Antrieb unter Zwischenschaltung eines Zahnradgetriebes für einen Bensonkessel der Siemens-Schuckertwerke, Berlin-Gartenfeld.

Leistung 60 m<sup>3</sup>/h, Gegendruck 250 at, Drehzahl 6000 U/min, Speisewassertemperatur 153°.



Bei neuzeitlichen Höchstdruckkesseln, deren Wasserräume bekanntlich sehr klein sind, braucht man durchaus zuverlässige Speisevorrichtungen, um so mehr, als die Verdampfung auf die Flächeneinheit sehr hoch ist. Wird die Speisewasserszufuhr nur für mehrere Minuten unterbrochen, so können unter Umständen unabschbare Betriebsstörungen hervorgerufen werden. Wegen der zuweilen plötzlich eintretenden großen Dampfenahme muß bei diesen Anlagen die Speisevorrichtung unbedingt anpassungsfähig sein. Für diesen Zweck sind Kreiselpumpen mit ihren bekannten Vorzügen Kolbenpumpen vorzuziehen, es sei denn, daß die Kesselanlage sehr klein ist.

Aus Gründen der Betriebsicherheit läßt man in vielen größeren Dampfkraftwerken zwei oder mehrere Speisepumpen mit Teillast parallel arbeiten, damit beim Aussetzen der einen Pumpe die andre oder die andern Pumpen sofort die fehlende Leistung ganz oder teilweise übernehmen können. Es ist zweckmäßig, wenn die Antriebsmaschinen der Speisepumpen von verschiedenen Energiequellen versorgt werden.

Soll nur eine Speisepumpe in Betrieb sein, so empfiehlt es sich, die Speiseanlage so zu entwerfen, daß bei plötzlichem Ausfall der Pumpe eine andre innerhalb einiger Minuten mit voller Leistung selbsttätig eingeschaltet wird. Hierzu kann man Pumpen mit elektrischem oder mit Turbinenantrieb verwenden.

Es gibt verschiedene Lösungen für derartige selbsttätige Steuerungen. Die praktische Durchbildung kann man den vorhandenen Anlagen anpassen, bei Neuentwürfen können besondere Ausführungen in weitem Maße berücksichtigt werden. Am zweckmäßigsten für das selbsttätige Anlassen sind Pumpen mit Dampfturbinenantrieb, weil Dampf immer in beliebiger Menge zur Verfügung steht.

### Selbsttätige Speisepumpe mit Dampftrieb

Das nachstehende Beispiel zeigt eine Anlage, in welcher die von einer Dampfturbine angetriebene Speisepumpe sich selbsttätig einschaltet, wenn die elektrisch angetriebene Pumpe versagt. Die Lösung ist so getroffen, daß die Anfahrvorrichtung der Dampfturbine von einem Regler beeinflusst wird, der die Dampfzufuhr zur Turbine öffnet, wenn das elektrisch betriebene Pumpenaggregat ausfällt. Durch die gleiche Vorrichtung wird beim Wiedereinsetzen der Förderung der elektrischen Pumpe die Dampfturbine stillgesetzt.

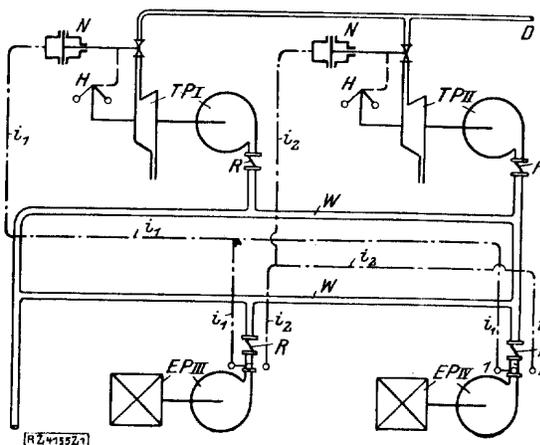
Der Antrieb, der bei Ausfall der elektrischen Pumpe das Anfahrgetriebe der Dampfturbine einschaltet, kann von zwei verschiedenen Stellen der elektrisch betriebenen

Pumpe hergeleitet werden. Naheliegender ist es, diese Anfahrvorrichtung durch den elektrischen Strom, der dem Motor zugeführt wird, zu beeinflussen. Solange die Stromzuführung in Ordnung ist, hält ein im gleichen Stromkreis liegender Magnet die Anfahrsteuerung der Turbine in solcher Lage, daß das Dampfeinlaßventil geschlossen bleibt. Versagt die Stromzuführung zum Elektromotor, so wird auch der Magnet stromlos. Der vom Magneten gehaltene Steuerungsteil wird durch eine dem Magneten entgegenwirkende Feder vom Magneten entfernt, und hierdurch werden die Anfahrventile der Turbine geöffnet.

Diese Anordnung bietet keine Sicherheit, wenn das Aussetzen der Speisewassersförderung der elektrisch betriebenen Pumpe nicht auf ein Versagen der Stromzufuhr zurückzuführen ist, also die Ursache an der Pumpe oder an ihrer Wasserzufuhr liegt. Eine selbsttätige Anfahrsteuerung, die in allen Fällen beim Ausbleiben der Förderung der Elektropumpe in Wirksamkeit tritt, muß also so

Abb. 1  
Schaltplan einer Pumpengruppe für Kesselspeisung mit elektrischem und Dampfturbinenantrieb; die Dampfturbinenpumpen springen selbsttätig an, wenn die elektrischen Pumpen versagen.

D Dampfleitung  
EP Elektropumpe  
H Fliehkraftregler  
 $i_1$  und  $i_2$  Impulsleitungen  
N selbsttätiges Steuerwerk  
R Rückschlagklappe  
TP Turbinenpumpe  
W Speisewasserleitungen



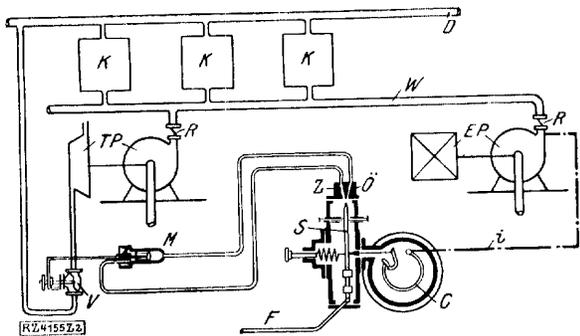


Abb. 2

Einschaltregler für Dampfpumpen, der beim Versagen der elektrischen Pumpen die Dampfpumpe anläßt.

- |                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| C Röhrenfeder   | Ö Öffnen               |
| D Dampfleitung  | R Rückschlagklappe     |
| EP Elektropumpe | S Strahlrohr           |
| F Druckölzufuhr | TP Turbinenpumpe       |
| i Impulsleitung | V Turbineneinlaßventil |
| M Servomotor    | W Speisewasserleitung  |
| K Dampfkessel   | Z Schließen            |

ausgebildet werden, daß der Antrieb für das Anfahrgetriebe nicht vom elektrischen Strom, sondern vom Förderdruck der Elektropumpe hergeleitet wird.

Abb. 1 zeigt die Schaltung einer solchen Pumpengruppe, bestehend aus zwei elektrisch- und zwei turbinen-angetriebenen Pumpen. Als Druck- oder Einschaltregler ist hier ein Steuerwerk N der Askania-Werke, Berlin, vorgesehen. Das im Regler befindliche Drucköl-Strahlrohr S, Abb. 2, wird durch eine unter dem Einfluß des Förderdrucks der elektrisch angetriebenen Pumpe stehende Röhrenfeder C betätigt. Das Strahlrohr lenkt den Öldruck nach der einen oder andern Seite eines Servomotors M, je nachdem das Einlaßventil V der Turbine geöffnet oder geschlossen werden soll.

Beim Regelbetrieb der Elektrospeisepumpe lenkt die Röhrenfeder C das Strahlrohr nach der Schließöffnung Z ab, so daß das Dampfventil V der Turbine geschlossen ist. Fällt der Förderdruck der Elektropumpe aus irgendeinem Grund unter einen am Druckregler beliebig einstellbaren Wert, so wird das Strahlrohr zum Kanal Ö abgelenkt und das Anfahrventil der Turbine durch den Servomotor geöffnet. Ist so die Dampfturbine selbsttätig angefahren, so übernimmt der Flichkraftregler das weitere Steuern der Turbine während des Betriebes.

Sobald nach Wiederanfahren der Elektropumpe der Mindestwasserdruck erreicht ist, schaltet der Druckregler die Dampfpumpe wieder aus. Abb. 3 zeigt eine vereinigte Sicherheits- und Differenzdruckregelung. Als Antrieb für das Eingreifen der Dampfpumpe dient in diesem Falle der Druckunterschied zwischen der Dampf- und der Speisewasserleitung. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß das gleiche Steuerwerk auch zum Regeln der Dampfpumpe benutzt wird.

Hier arbeiten zwei Wellrohrmembranen A gegeneinander, die über einen Waagebalken B mit Hilfe von Gewichten G ausgewogen und vom Dampfdruck und vom Wasserdruck beeinflusst werden. Beim Unterschreiten eines gewissen Unterschiedes dieser Drücke springt die Dampfmembran mit ein und sorgt dafür, daß der gewünschte Überdruck des Speisewassers gegenüber dem Dampfdruck dauernd erhalten bleibt.

Die Leistung jeder Kesselspeisepumpe muß z. B. bei Aufstellung von drei Pumpen für eine Kesselanlage aus Gründen der Betriebssicherheit immer etwas größer als die mittlere Leistung bemessen werden, damit unter allen Umständen die genügende Speisung der Kessel gewährleistet ist. Im Regelbetrieb sind diese Pumpen nicht immer voll belastet; unter gewissen Umständen arbeiten sie sogar mit sehr kleiner Belastung. Beim Entwurf der Pumpen ist daher darauf zu achten, daß sie bei jeder Belastung einwandfrei arbeiten, ohne daß eine besondere Bedienung erforderlich ist. Zu diesem Zweck muß die QH-Linie vor allem

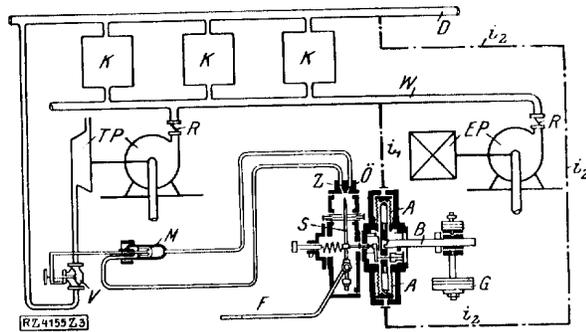


Abb. 3

Einschalter, verbunden mit Differential-Druckregler für Dampfpumpen, die beim Versagen der elektrischen Pumpe selbsttätig anlaufen.

- |  |                        |
|--|------------------------|
| A Wellrohrmembranen                                | K Dampfkessel          |
| B Waagebalken                                      | M Servomotor           |
| D Dampfleitung                                     | Ö Öffnen               |
| EP Elektropumpe                                    | R Rückschlagklappe     |
| F Druckölzufuhr                                    | S Strahlrohr           |
| G Gewicht  | TP Turbinenpumpe       |
| i <sub>1</sub> Impulsleitung von der Speiseleitung | V Turbineneinlaßventil |
| i <sub>2</sub> Impulsleitung von der Dampfleitung  | W Speisewasserleitung  |
|  | Z Schließen            |

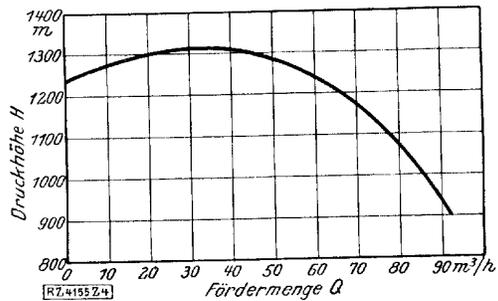


Abb. 4

Labile QH-Linie einer zehnstufigen Kesselspeisepumpe bei gleichbleibender Drehzahl.

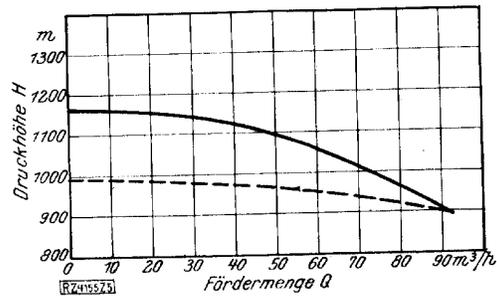


Abb. 5

Stabile QH-Linien einer zehnstufigen Kesselspeisepumpe bei gleichbleibender Drehzahl.

stabil sein, d. h. gegen null stetig ohne Scheitel ansteigen, sonst können bei kleiner Teillast Pendelungen und Schläge in der Speiseleitung auftreten.

Abb. 4 zeigt die Kennlinie einer zehnstufigen Speisepumpe mit unstabiler QH-Linie. Wenn diese Pumpe allein oder parallel mit einer andern arbeitete, so zeigten sich im Betrieb Schläge und Schwingungen, die oft so stark wurden, daß die Eisengerüste, an welchen die Speiseleitungen befestigt waren, gefährdet wurden. Besonders stark treten Schläge und Schwingungen auf, wenn die Rohrleitungen zwischen Pumpe und Kessel sehr lang und elastisch sind oder wenn schmiedeiserne Vorwärmer zwischen Pumpe und Kessel geschaltet werden.

Diese Störungen konnten vollständig beseitigt werden, indem man die Pumpen mit anderen Lauf- und Leitradern ausrüstete; diese ergaben eine stabile QH-Linie, Abb. 5

(ausgezogene Linie). Unbedingt vorzuziehen sind  $QH$ -Linien mit stabilem Verlauf, wenn mehrere Kreiselpumpen parallel arbeiten müssen. Wenn früher bei Kreiselpumpen mit instabiler Drucklinie die erwähnten Betriebsstörungen auftraten, half man sich dadurch, daß man die Speiseleitung anzapfte und einen Teil des Wassers in die Saugleitung oder in den Speisewasserbehälter zurückleitete. In vielen Fällen baute man auch Rückschlagklappen ein, deren Umleitung sich bei geringer Teillast selbsttätig öffnet. Ein Teil der Pumpenförderung gelangte so in den Saugbehälter zurück, so daß die Pumpen nicht im labilen Gebiet der Drucklinie arbeiteten. Die Rückführung des Speisewassers in die Saugbehälter geht selbstverständlich auf Kosten des Kraftbedarfes und ergibt unter Umständen einen Verlust von 30 bis 40 vH.

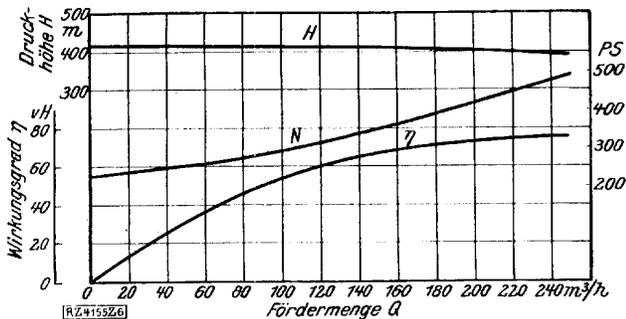


Abb. 6 Versuchsergebnisse einer siebenstufigen Kesselspeisepumpe mit flacher stabiler  $QH$ -Linie bei gleichbleibender Drehzahl.

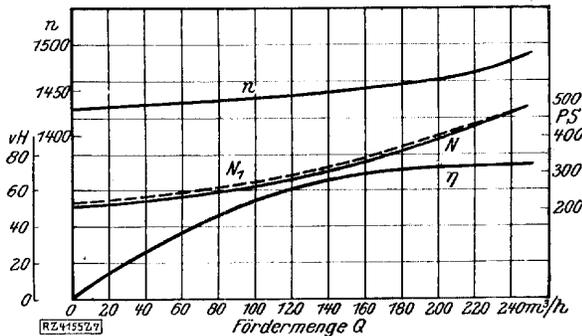


Abb. 7 Versuchsergebnisse einer siebenstufigen Kesselspeisepumpe mit flacher stabiler  $QH$ -Linie und gleichbleibendem Gegendruck.

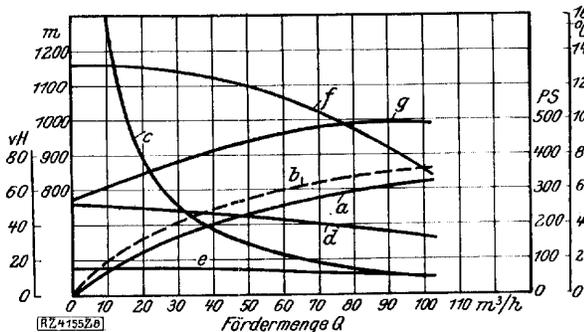


Abb. 8 Kennlinien einer zehnstufigen Kesselspeisepumpe für 100 at.

a Reiner Pumpenwirkungsgrad b Pumpenwirkungsgrad unter Berücksichtigung der zurückgewonnenen Verlustleistung c Temperaturzunahme des Speisewassers in der Pumpe d Verlustleistung, die in Form von Wärme an das Speisewasser übergeht e Zurückgewonnene Verlustleistung f  $QH$ -Linie g Kraftverbrauch

Diese Hilfsmittel zur Verhütung von Schlägen sind bei Pumpen mit stabiler Drucklinie nicht notwendig, weil Pendelungen und Schwingungen in den Leitungen vor und hinter der Pumpe nicht auftreten können. Durch Wahl entsprechender Form der Schaufeln kann man die stabile Drucklinie so legen, daß sie gegen null mehr oder weniger steil ansteigt.

Versuche an Pumpen mit stabiler Kennlinie

Die  $QH$ -Linien in Abb. 5 wurden an einer zehnstufigen Höchstdruck-Speisepumpe von Klein, Schanzlin & Becker, Frankenthal, mit zwei Arten von Laufrädern ermittelt, die für gleichen Betriebsdruck bei gleicher Höchstleistung durchgebildet waren. Die Kurven ergeben einen sehr guten Vergleich und zeigen die Möglichkeiten flach oder steil verlaufender  $QH$ -Linien. Ob man den einen oder anderen Verlauf anstreben soll, hängt von der Antriebsart der Speisepumpe und den sonstigen Betriebsverhältnissen ab.

Abb. 6 zeigt die Versuchsergebnisse einer siebenstufigen Hochdruck-Speisepumpe für ein Großkraftwerk. Es wurde eine stabile, möglichst flache  $QH$ -Linie angestrebt und erreicht. Die geringe Drucksteigerung bei kleiner Teillast oder Nulleistung gegenüber dem Regelbetrieb bei der gleichen Drehzahl war für das sichere Arbeiten der Wasserstandregler Bedingung. Diese Drucksteigerung beträgt zwischen Höchstleistung und null in diesem Fall nur etwa 8 vH. Abb. 7 zeigt die Versuchsergebnisse der gleichen Pumpe bei konstantem Gegendruck von 38,5 at und verschiedenen Drehzahlen. Die Drehzahl ändert sich zwischen Höchstleistung und null nur um 4 1/2 vH.

Mit Rücksicht auf diese geringe Drehzahländerung bei der Leistungsregelung kann man die Pumpen mit gewöhnlichen Drehstrommotoren antreiben. Bisher mußte man Sondermotoren verwenden, die viel Platz beanspruchen und infolge der verlustlosen Drehzahlregelung sehr teuer werden. In Abb. 7 ist über der Linie N der Antriebsleistung eine punktierte Linie  $N_1$  eingezeichnet, welche die geringe Verlustleistung bei Verwendung eines gewöhnlichen Drehstrommotors mit Drehzahlregelung für eine Pumpe mit flacher  $QH$ -Linie einschließt.

Ein Teil der mechanischen Reibung des Pumpenläufers, besonders an den Seiten, und der gesamten Wasserreibung in den Schaufelkanälen wird in Wärme umgesetzt und geht restlos an das Speisewasser über. Diese Erwärmung des Speisewassers kommt dem Gesamtwirkungsgrad der Anlage zugute, muß also dem Pumpenwirkungsgrad wieder gutgeschrieben werden.

Abb. 8 zeigt Leistungen und Wirkungsgrade einer zehnstufigen Kesselspeisepumpe für 100 at. Die Linie a entspricht dem reinen Pumpenwirkungsgrad, Linie b dem Wirkungsgrad mit Gutschrift von — angenommen — 25 vH

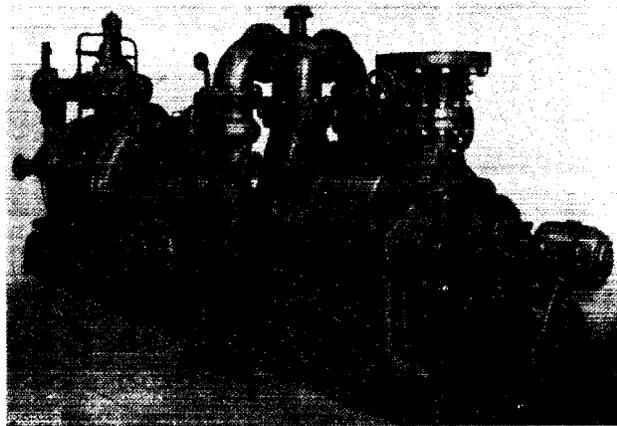


Abb. 9 Höchstdruckspeisepumpe von Klein, Schanzlin & Becker im Großkraftwerk Mannheim für 180 bis 240 t/h, 110 at Gegendruck, 200° Speisewassertemperatur.

der Verlustleistung, die der Anlage zugute kommt. Aus Linie *c* ist die Temperaturzunahme des Speisewassers bei den verschiedenen Pumpenleistungen zu ersehen. Die Verlustleistung, die in Wärme umgesetzt wird, ist aus Linie *d* ersichtlich, während Linie *e* die zurückgewonnene Verlustarbeit darstellt. Bei kleinen Leistungen und hohen Gegendrücken ist hiernach die Temperaturzunahme des Speisewassers beachtenswert.

Diese Höchstdruck-Kesselspeisepumpen, Titelbild und Abb. 9, werden für Heißwasserförderung und auch für Benson-Kessel mit einem Gehäuse ausgeführt, weil sie übersichtlich, raumsparend, betriebsicher und in der Bedienung einfach sind. Mehrere, hintereinander geschaltete Pumpen hätten wegen ihrer größeren Stufenzahl einen etwas besseren Wirkungsgrad, aber vermehrte Stopfbüchsen- und Lagerreibung und den Nachteil, daß die Stopfbüchse an der Zulaufseite des Hochdruckteils wegen der hohen Temperatur und des hohen Drucks eine besondere Bauart und äußerst aufmerksame Bedienung erfordert.

Man nimmt daher den etwas niedrigeren Wirkungsgrad der Einkörperpumpe in den Kauf. Die Kosten für ihre sorgfältige Ausführung fallen wenig ins Gewicht, weil sie auch dann immer noch billiger als eine Doppelpumpe ist. Stufenzahl, Laufraddurchmesser und Drehzahl müssen im bestimmten Verhältnis zueinander stehen, wobei es sich empfiehlt, die Betriebsdrehzahl unterkritisch zu wählen. Die günstigsten Drehzahlen von Einkörperpumpen für hohe Kesseldrücke liegen vielfach höher, als man mit Drehstrommotoren erreichen kann. In solchen Fällen muß man ein Zahnradgetriebe zwischen Pumpe und Motor einschalten.

Die Bauart dieser Pumpengattung ist zur Genüge bekannt<sup>1)</sup>; es sei nur auf die zweckmäßige Isolierung des Pumpengehäuses aufmerksam gemacht, die bei den hohen Speisewassertemperaturen erforderlich ist. Die Verbindung des Pumpenkörpers mit der Grundplatte ist bei allen Heißwasserpumpen wichtig, besonders bei solchen mit Zwischenvorwärmung des Speisewassers. Hierbei treten im Pumpenkörper wesentlich verschiedene Temperaturen auf.

<sup>1)</sup> Vergl. Z. Bd. 73 (1929) S. 995.

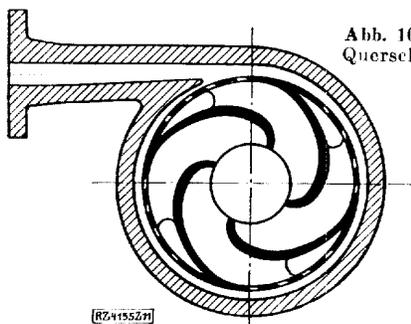


Abb. 10 (links)  
Querschnitt der Kondensateinführung einer Höchstdruckspeisepumpe.

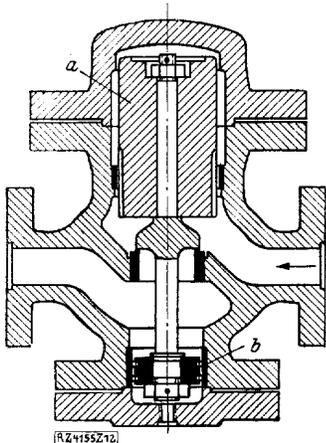


Abb. 11 (links)  
Rückschlagventil für Kondensateinführung in die Hauptspeisepumpen.  
*a* Belastungsgewicht  
*b* Kolben

Die Verbindung muß dann axiale und radiale Wärmedehnungen zulassen, damit der Pumpenläufer stets in der Mittellage bleibt. Die Pumpenfüße werden deshalb zweckmäßig in Höhe der Wellenmitte angeordnet. An einem Kopfstück der Pumpe werden in den Teilfugen zwischen Pumpenfuß und Grundplatte auf beiden Seiten in gleicher Ebene kräftige Stifte als Festpunkte angeordnet, während für die Längsdehnung senkrechte Gleitführungen am unteren Pumpenteil angebracht werden, so daß sich das Pumpengehäuse nach allen Seiten ausdehnen kann. Die Befestigungsschrauben und die Pumpenfüße sind so ausgebildet, daß sie sich auf der Platte leicht und mit Sicherheit verschieben können.

Aus Hochdruckdampfleitungen und dort, wo man Zwischen- oder Gegendruckdampf mit Hochdruckfrischdampf überhitzt, fallen beträchtliche Mengen von Kondensat an, die man zweckmäßig in eine der letzten Stufen der Speisepumpen einführt und so ohne große Druckverluste und

Abb. 12. Einbau des Rückschlagventils für Kondensateinführung in die Hauptspeisepumpe.  
(DRP 471 581 und Auslandspatente).

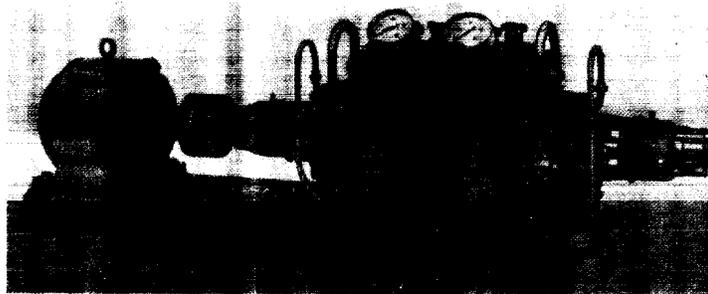
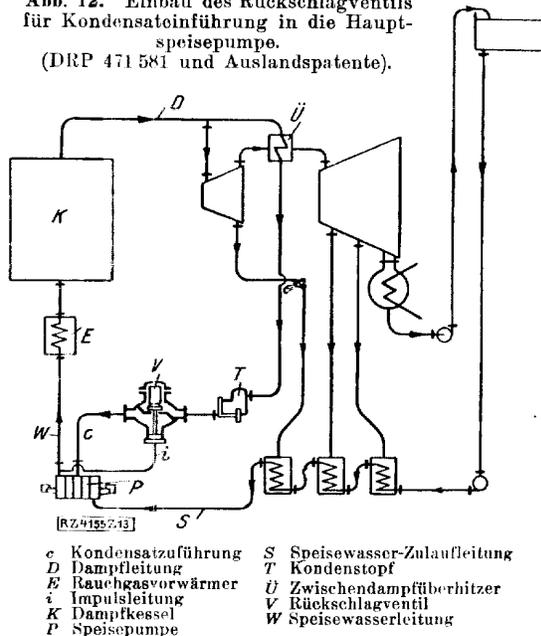
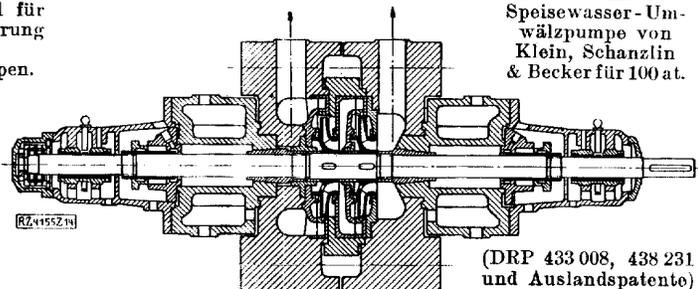


Abb. 13 und 14.  
Speisewasser-Umwälzpumpe von Klein, Schanzlin & Becker für 100 at.



(DRP 433 008, 438 231 und Auslandspatente)

ohne besondere Pumpe dem Dampfkessel wieder zuführt. Abb. 10 zeigt den Querschnitt einer solchen Einführung, die an den Speisepumpen für das Großkraftwerk Mannheim ausgeführt ist. Am Umfange des Überführungsleitrades sind düsenförmige Öffnungen gleichmäßig verteilt, damit das sehr heiße Kondensat von rd. 305° aus dem Dampfüberhitzer mit dem Speisewasser von rd. 200° innig vermischt wird und den Betrieb gefährdende Dampfbildungen ausgeschlossen werden.

Zwischen dem Kondensatabscheider und dem Einführstutzen der Pumpe ist unmittelbar an der Pumpe ein Rückschlagventil eingebaut, das sich schließt, wenn die Pumpe außer Betrieb gesetzt wird. Ein solches Ventil ist unerlässlich, weil bei plötzlichem ungewolltem Stillstand der Pumpe der hohe Druck des Kondensats, der nahezu den Kesseldruck erreicht, durch die stillstehende Speisepumpe in die Vorwärmanlage von wesentlich geringerem Druck gelangen und großen Schaden verursachen könnte. Die Bauart dieses Ventils ist aus Abb. 11, sein Anschluß an die Pumpe aus Abb. 12 ersichtlich. Wenn die Pumpe in Betrieb ist, lastet der Druck der letzten Stufe auf dem Kol-

ben *b* und öffnet das Rückschlagventil. Sobald die Pumpe außer Betrieb ist, wird das Ventil durch das Gewicht *a* und den hohen Kondensatdruck fest geschlossen. Damit kein Speisewasser während des Betriebes von der Pumpe in die Dampfleitung oder die Überhitzer gelangen kann, ist ein Kondensatableiter *T* mit dem bekannten Schieberanschluß eingebaut.

Erwähnenswert ist noch bei der Mannheimer Anlage die Speisewasser-Umwälzpumpe, Abb. 13 und 14, die während des Anheizens das Wasser aus der unteren Kesseltrommel über den Dampfüberhitzer nach der oberen Trommel fördert und so verhütet, daß die Überhitzer während der Zeit, in der kein Dampf dem Kessel entnommen wird, durchbrennen. Diese Pumpe kann Drücken bis zu 100 at und Wassertemperaturen bis zu 310° ausgesetzt werden. Ihr Pumpengehäuse wurde deshalb aus einem vollen Stahlblock gefertigt, ihre Stopfbüchse als wassergekühlte Labyrinthstopfbüchse ausgebildet. Die Ausführung hat den praktischen Anforderungen voll entsprochen. Die Pumpe läuft mit 1450 U/min und fördert 30 m<sup>3</sup>/h gegen 30 m [B 4155]