

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 56 (1965)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Einige Beispiele für die Anwendung reglungstechnischer Prinzipien auf physikalische Messungen  
**Autor:** Gast, Th.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916390>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

- [21] *G. Klein, P. Pibois et G. Nocton*: Tuyères de conversion magnéto-aérodynamiques de grande puissance en régime subatmosphérique. Proceedings of the MHD-Symposium Paris 1964. ENEA Paris 1964, Vol. 3, S. 1391.
- [22] *J. L. Kerrebrock and M. A. Hoffmann*: Nonequilibrium Ionization due to Electron Heating. Part II. AIAA 2(1964), S. 1080...1087.
- [23] *E. E. Zukoski, T. A. Cool and E. G. Gibson*: Experiments Concerning Nonequilibrium Conductivity in a Seeded Plasma. AIAA January-Meeting 1964, Preprint Nr. 64-28.
- [24] *G. Brederlow, R. H. Eustis and W. Riedmüller*: Measurements of Stagnation Gas Temperatures and Electron Temperatures in a MHD Generator. Proceedings of the MHD-Symposium Paris 1964. ENEA Paris 1964, Vol. I, S. 363.
- [25] *R. T. Schneider*: Problems of Research on Open Cycle MHD-Generators. Discussion-Report. Proceedings of the MHD-Symposium Paris 1964. ENEA Paris 1964, Vol. 4, S. 1966.
- [26] *E. Jenny, M. Rosner and H. Nabholz*: Efficiency of Closed Loops MHD-Generators Utilizing Thermal Non-Equilibrium Ionization. Proceedings of the MHD-Symposium Paris 1964. ENEA Paris 1964, Vol. 3, S. 1627.
- [27] *L. S. Dzong*: Thermal Problems of Gas-Cooled Reactors for MHD Power Generation. Report Nr. 693. Third UN International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva 1964.

Adresse des Autors:

Dr. H. Nabholz, dipl. Physiker, Hägelerstrasse 60, 5400 Baden.

## Einige Beispiele für die Anwendung regelungstechnischer Prinzipien auf physikalische Messungen

Von Th. Gast, Klausenmühle

53.08 : 621—50

### 1. Einleitung

Die lebhaft entwickelte Entwicklung der Regelungstechnik ist auch auf dem Gebiet der physikalischen Messtechnik nicht ohne Einfluss geblieben. In jedem physikalischen Laboratorium sind heute Regler für die verschiedensten Grössen, wie Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, Spannung, Strom, anzutreffen. Es gibt nun verschiedene Grade der Bedeutsamkeit von Reglern und Regelungsvorgängen bei physikalischen Untersuchungen. Dies soll zunächst an drei Beispielen erläutert werden.

Das erste betrifft eine Wolframbandlampe, die zur Aufnahme eines Vergleichsspektrums verwendet werden soll und mit konstantem Strom brennen muss. Hierbei ist es bequem, einen der heute verfügbaren Spannungsregler zu verwenden, der den eingestellten Spannungswert auf besser als  $10^{-3}$ , eventuell sogar  $10^{-4}$ , konstant hält. Es ist aber durchaus tragbar, die Lampe über einen einstellbaren Vorwiderstand aus einer sehr grossen Akkumulatorenbatterie zu speisen und, nötigenfalls, den Strom gelegentlich wieder auf den Sollwert einzustellen, wenn die Batteriespannung um die üblichen, sehr kleinen Beträge abgenommen hat.

Als zweites Beispiel sei die Einstellung der Temperatur in einem elektrischen Ofen zur Messung des Ausdehnungskoeffizienten von Werkstoffen genannt. Hier ist die Temperatur unabhängige Variable oder Parameter. Einstellung von Hand, mittelbar über den Heizstrom, ist möglich, nimmt aber die Aufmerksamkeit des Beobachters in Anspruch. Sollen bestimmte Temperaturprogramme gefahren werden, wie dies bei zeitabhängigem Ausdehnungsverhalten notwendig sein kann, dann lässt sich selbsttätige Regelung kaum umgehen.

Ein drittes Anwendungsbeispiel stellt die Regelung der Temperatur bei der Messung stark temperaturabhängiger Grössen, wie Viskosität von Flüssigkeiten oder spezifischer Widerstand von Isolierstoffen und Halbleitern dar. Hier sind Ultrathermostate mit einer Regelgenauigkeit von besser als  $10^{-2}$  °C gebräuchlich. Von Hand wird nur noch der Sollwert des Temperaturreglers eingestellt.

In die Skale steigender Bedeutsamkeit der selbsttätigen Regelung für den Messvorgang ordnen sich weitere Beispiele ein, die in etwas ausführlicher Darstellung folgen sollen. Wir werden allerdings sehen, dass in einzelnen Fällen Mess- und Regelvorgang noch viel enger miteinander verknüpft sein können.

### 2. Selbsttätige Regelung als nützliches, aber nötigenfalls entbehrliches Hilfsmittel

In diesem Rahmen sei die Messung von Staubkonzentrationen in der Luft betrachtet. Enthält ein Luftvolumen  $V$  die Staubmenge  $G$ , so kann die Staubkonzentration  $c$  definiert werden durch

$$c = \frac{G}{V} \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right]$$

Dieser Konzentrationswert lässt sich bestimmen, indem man den Staub aus einem bestimmten Luftvolumen auf einem Filter niederschlägt und wägt. Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten:

- Man misst das Volumen der Luft direkt, z. B. durch eine Gasuhr;
- Man hält den Luftdurchsatz konstant und misst die Abscheidezeit.

Aus verschiedenen Gründen, zu denen auch die mechanischen Vorgänge an der Ansaugöffnung gehören, ist ein konstanter Durchsatz vorzuziehen.

Aus folgenden Gründen kann eine Kontrolle durch den Beobachter oder selbsttätige Regelung erforderlich werden: Druckunterschiede an Ansaug- und Ausblasöffnung durch äussere Luftströmungen, veränderlicher Strömungswiderstand des Abscheiders, z. B. eines Filters, dessen Poren durch den anfallenden Staub mehr und mehr verstopft werden, Drehzahländerung der Saugpumpe.

Diese Einflüsse können durch einen Regler unwirksam gemacht werden, wie er im folgenden beschrieben wird:

Im Luftstrom des Gebläses ist eine federnd abgestützte Scheibe angeordnet. Diese erfährt eine Kraft von der Grösse

$$P = c_w \frac{\rho}{2} v^2 F$$

worin  $\rho$  die Dichte der Luft,  $v$  deren Strömungsgeschwindigkeit im Ringspalt,  $F$  die Scheibenfläche und  $c_w$  der Widerstandskoeffizient der Scheibe sind.

$c_w$  ist vom Widerstandsbeiwert in freier Strömung verschieden, jedoch, wie jener, in einem weiten Geschwindigkeitsbereich konstant. Durch die Kraft  $P$  wird die Stützfeder zusammengedrückt. Bei einem vorgegebenen Wert von  $P$ , der einer bestimmten, gewünschten Luftgeschwindigkeit entspricht, schliesst der mit der Achse der Stauscheibe verbundene Kontakt. Mittels eines Relais, das zur Entlastung der Kontaktstrecke zweckmässig elektronisch ausgebildet ist,

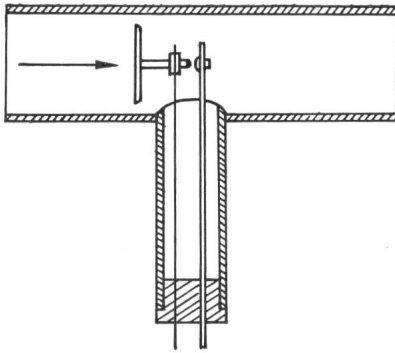


Fig. 1  
Stauscheibenregler

wird dann der Strom durch den Motor unterbrochen. Die Umdrehungszahl vermindert sich daraufhin in bekannter Weise nach einem Exponential-Gesetz, und der Luftdurchsatz nimmt ab. Bei Unterschreiten einer bestimmten Luftgeschwindigkeit öffnet sich der Kontakt wieder, und es fließt von neuem Strom durch den Motor. So stellt sich ein um einen Mittelwert pendelnder Luftdurchsatz ein, dessen obere und untere Grenze um so enger beieinander liegen, je grösser das Trägheitsmoment des Motors einschliesslich Schaufelrad ist und je kleiner die Schwingungsdauer des beweglichen Systems im Stauscheibenregler gemacht werden kann.

Messungen mit Hilfe einer Gasuhr haben ergeben, dass die Genauigkeit des beschriebenen, sehr einfachen Reglers bei 1 % liegt.

Als Fehlerquellen kommen bei dieser Anordnung die Veränderlichkeit der Luftdichte und die Temperaturabhängigkeit der Federkonstanten der Stützfeder in Betracht. Bei einer eventuellen Korrektur wäre zu entscheiden, ob man den Volumendurchsatz  $Q$  oder den Massendurchsatz  $G$  konstant zu halten wünscht.

Es ist nämlich:

$$Q = \frac{G}{\rho} = v F_0$$

$F_0$  Ringspalitfläche

und mithin

$$Q = \rho^{-1/2} F_0 \sqrt{\frac{2P}{F_{cw}}}$$

$$G = \rho^{1/2} F_0 \sqrt{\frac{2P}{F_{cw}}}$$

In beiden Beziehungen sei  $P$  willkürlich vorgegeben. Bei gleichbleibender Einstellung des Reglers nimmt dann der Massendurchfluss mit steigender Temperatur, d. h. fallender Luftdichte, ab, der Volumendurchfluss dagegen zu. Bezieht man den Staubgehalt auf Normalkubikmeter, d. h. Masse, dann gilt die zweite, bezieht man auf effektive Kubikmeter, die erste Formel.

Durch einfache Rechnung ergibt sich:

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{1}{2} \left( -\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dP}{P} \right)$$

$$\frac{dG}{G} = \frac{1}{2} \left( \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dP}{P} \right)$$

Im ersten Fall erscheint auf den ersten Blick ein Ausgleich mit Hilfe der Temperaturabhängigkeit der Feder möglich.

Eine Betrachtung der Grössenordnungen von:

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{d\theta} \quad \text{und} \quad \frac{1}{P} \cdot \frac{dP}{d\theta}$$

zeigt jedoch, dass diese Hoffnung trügt.

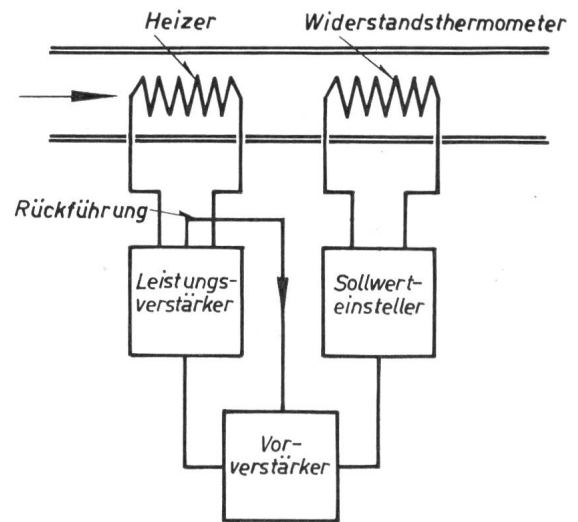


Fig. 2  
Schema des Heissluft-Thermostaten

Im zweiten Fall wäre eine Korrektur denkbar, wenn man als Federmaterial ein Elastomer, z. B. Kautschuk, verwendet, weil dieses einen hohen positiven Temperaturkoeffizienten des  $E$ -Moduls besitzt. Leider ist die Konstanz dieser Materialeigenschaft im Dauerbetrieb nicht befriedigend. So scheidet auch dieser Weg aus.

Es ist jedoch möglich, für einen bestimmten Sollwert  $G$  oder  $Q$  vollständig zu korrigieren, indem man z. B. den feststehenden Kontakt an einer geeignet orientierten Bimetallfeder anbringt, und es ist grundsätzlich auch denkbar, die wirksame Gegenkraft durch Einschalten einer temperaturabhängigen Hebelübersetzung mit der für einen grösseren Sollwertbereich erforderlichen Korrektur zu versehen.

Solche un stetigen Regler werden gern verwendet, wenn das zu regelnde Objekt sehr träge ist, z. B. ein Flüssigkeitsbad, ein grösserer elektrischer Ofen, ein Arbeitsraum usw.

Als nächstes sei die Regelung eines Objektes geringer Trägheit betrachtet, nämlich eines Luftstromes. Über die Geschwindigkeit hinaus soll jetzt noch die Temperatur auf wählbaren Werten konstant gehalten werden. Diese Aufgabe, nämlich die Temperaturregelung, wird auf folgende Weise gelöst:

Ein trägheitsarmer Heizer, z. B. eine doppelte Wendel aus Heizleiterdraht und ein ähnlich ausgebildetes Widerstandsthermometer, sind im zu regelnden Luftstrom hintereinander angeordnet. Fig. 2 stellt ein Schema dieser Anordnung dar, und Fig. 3 zeigt, wie der Heizstrom vom Fühler

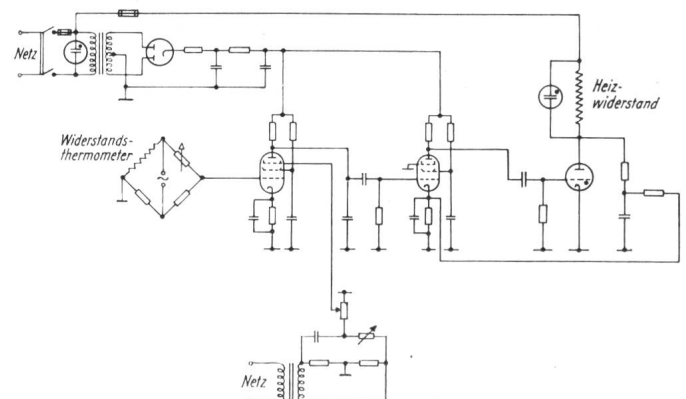


Fig. 3  
Schaltung für die Temperaturregelung

her gesteuert wird [1]<sup>1)</sup>. Hierzu ist das Widerstandsthermometer in eine Wheatstonesche Brücke eingeschaltet, die mit Wechselspannung gespeist wird und deren Diagonalspannung am Eingang eines Verstärkers anliegt. Vergleichswiderstand ist ein Potentiometer, an dem man den Sollwert der Temperatur einstellen kann. Hinter dem Verstärker wird ein bestimmter, um 90° phasenverschobener Bruchteil der Speisenspannung der Brücke zugemischt. Hiedurch entsteht eine Spannung mit einer vom Abgleich der Brücke abhängigen Phasenlage. Mit diesem Signal wird nunmehr der Zündwinkel eines Thyratrons gesteuert, in dessen Anodenkreis der Heizer eingeschaltet ist. Es liegt demnach ein geschlossener Regelkreis vor. Weicht die Temperatur der durch das Widerstandsthermometer strömenden Luft vom Sollwert ab, dann wird die Wheatstonesche Brücke verstimmt. Hiedurch tritt am Ausgang des Mischers eine Phasenverschiebung auf, und der mittlere Anodenstrom des Thyratrons ändert sich soweit, bis sich ein Gleichgewicht einstellt.

Die neue Gleichgewichtstemperatur ist vom Sollwert nur wenig verschieden. Alle Größen ändern sich hierbei stetig. Infolge der Verzögerung in der Regelstrecke, d. h. dem Rohr, in dem Heizer und Widerstandsthermometer untergebracht sind, neigt jedoch dieser Regelkreis zunächst zu Schwingungen. Diesen Nachteil beseitigt eine verzögerte Rückführung vom Ausgang des Verstärkers auf dessen Eingang. Mit ihrer Hilfe wird zwischen dem Vorlauf der Amplitude des Eingangssignals und dem des Ausgangssignals eine Phasenverschiebung erzeugt, welche den Einfluss der Totzeit in der Regelstrecke ausgleicht.

Mit Elementen dieser Regelanordnung lässt sich ein ganz entsprechend wirkender Regelkreis aufbauen, der allerdings nicht zur Beheizung eines Messobjektes verwendet wird, sondern wesentlicher Bestandteil eines Messgerätes, nämlich eines Widerstands-anemometers ist.

Das Prinzip dieser Anordnung wird in Fig. 4 gezeigt. Messfühler ist ein trägheitsarmer, sehr dünner Draht aus einem reinen Metall, wie Platin, Wolfram oder Nickel. Er ist als Zweig in eine Wheatstonesche Brücke eingeschaltet, deren Betriebsspannung dem Ausgang eines Leistungsverstärkers entnommen wird.

Die Diagonalspannung der Brücke wird an den Eingang des Verstärkers zurückgeführt. So ist ein Regelkreis geschlossen, und es stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein. In die-

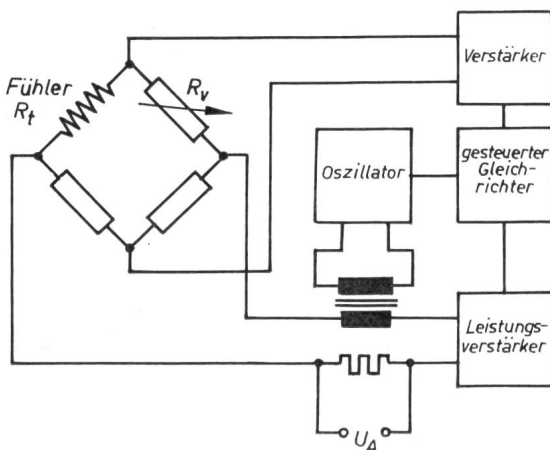


Fig. 4

Widerstands-anemometer mit Regelkreis

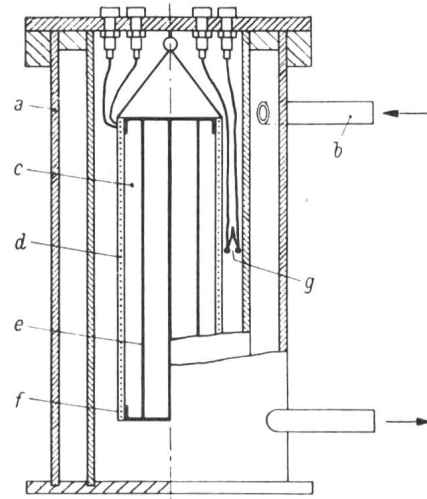


Fig. 5

Adiabatisches Kalorimeter zur Registrierung von spezifischen Wärmen  
a Mantel; b Thermostatenflüssigkeit; c Behälter; d Heizwicklung; e Leitbleche; f Metallfolie; g Thermolement

sem Gleichgewicht befindet sich die Brücke nahe am Abgleichzustand, d. h. der temperaturabhängige Widerstand  $R_t$  und der Vergleichswiderstand  $R_v$  sind nahezu gleich. Nun wird  $R_v$  so eingestellt, dass sich  $R_t$  zum Abgleich auf erhöhter Temperatur befinden muss. Diese stellt sich nach der geschilderten Beschaffenheit des Regelkreises ein, und zwar wegen der hohen, zur Verfügung stehenden elektrischen Leistung sehr schnell.

Setzt man nun den Widerstand  $R_t$  einem Luftstrom aus, so wird er abgekühlt. Hiedurch verstimmt sich aber die Brücke und — mittelbar über den Verstärker — wird dem Heizdraht eine höhere elektrische Leistung zugeführt, die den Wärmeverlust nahezu wieder ausgleicht. Es verbleibt nur eine kleine Differenz, die gerade dazu ausreichen muss, die erforderliche elektrische Leistung bereitzustellen. Da sich der Heizdraht nur um sehr kleine Temperaturbeträge erwärmen bzw. abkühlen muss, wirkt sich seine Wärmeträgheit nur in geringem Masse aus. Ihr Einfluss lässt sich überdies durch elektrische Entzerrung eliminieren, so dass Geschwindigkeitsänderungen bis zu Frequenzen von 100 kHz aufgezeichnet werden können [2]. Die Messanordnung besitzt damit Eigenschaften, die sich ohne den einbezogenen Regelkreis nicht oder nur sehr schwierig erreichen liessen.

Hatte der Regler im besprochenen Beispiel die Aufgabe, einen isothermen Zustand zu wahren, so wird im nächsten Fall die adiabatische Änderung eines Zustands angestrebt. Messgröße ist die spezifische Wärme und Ziel ihre Registrierung über einen grösseren Temperaturbereich [3]. Fig. 5 zeigt einen Schnitt durch das hierzu erstellte Kalorimeter.

In einem von Thermostatenflüssigkeit durchströmten zylindrischen Gefäss befindet sich ein kleinerer Behälter für die Probe. Dieser ist durch eine Widerstandswicklung heizbar. Der Wärmeaustausch mit dem äusseren Mantel wird durch Aufhängung an Fäden, dünne Stromzuführungen und blanke gegenüberstehende Metalloberflächen möglichst eingeschränkt. Ferner wird die Temperaturspanne zwischen innerem und äusserem Gefäss mittels eines Thermoelements kontrolliert und durch einen Regler stets auf Null gehalten. Diesen Regler zeigt Fig. 6.

Die Thermospannung wird einem Galvanometer zugeführt, dessen Lichtzeiger je nach Stellung die eine oder an-

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

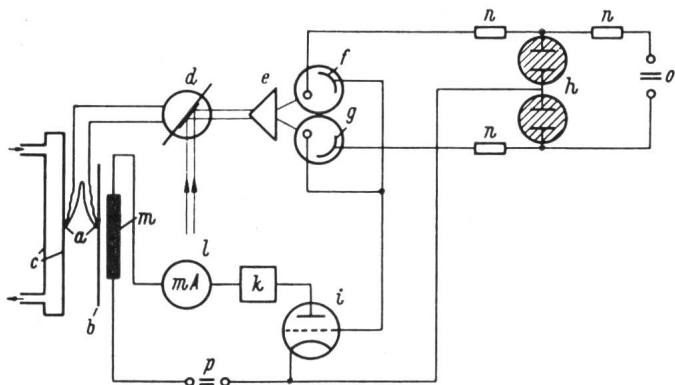


Fig. 6

#### Regler des adiabatischen Kalorimeters

a Thermoelement; b Probenbehälter-Wand; c doppelwandiger Schutz-mantel; d Galvanometer; e Umlenk-Prisma; f, g Photozellen; h stabilisierte Gleichspannung; i Gleichstromverstärker; k Thermoumformer; l Strommesser; m Heizwicklung; n Widerstände; o Gleichspannungs-quelle; p 250-V-Anoden-Gleichspannung

derer zweier symmetrischer, zu einem Prisma angeordneten Photozellen stärker ausleuchtet. Das entstehende Gleichstromsignal wird einer Verstärkerröhre zugeleitet und steuert den Heizstrom für das innere Gefäß. Damit ist der Regelkreis geschlossen. Störende Regelschwingungen lassen sich durch eine thermische Rückführung unterdrücken, die in bewährter Weise aus einem beheizten Thermoelement bestehen kann.

Ein zweiter Regler, der unsteady arbeitet, ist für die Temperatur des äusseren Gefässes massgebend. Als Temperaturfühler enthält er ein handelsübliches Kontaktthermometer, dessen Spindel mit Hilfe eines Uhrwerkes gedreht wird und den Kontakt gleichmässig anhebt. Erreicht das Quecksilber des Thermometers den Kontakt, so wird ein Heizkörper eingeschaltet, der eine Badflüssigkeit erwärmt, die am Thermometer vorbei durch das äussere Gefäß gepumpt wird. So wird ein linearer Temperaturanstieg erzielt. Nun muss, infolge des zuerst besprochenen Regelkreises, die Temperatur der Oberfläche des inneren Gefässes und mit ihr auch die Temperatur der Probe linear ansteigen. Für die hierzu notwendige Wärmeleistung  $P$  gilt:

$$P = C \frac{d\vartheta}{dt}$$

worin  $\vartheta$  die Temperatur und  $C$  die Wärmekapazität des inneren Gefässes einschliesslich Probe ist.

Ferner ist:

$$C = C_p + C_G$$

und somit gilt:

$$C_p(\vartheta) = P \left( \frac{d\vartheta}{dt} \right)^{-1} - C_G(\vartheta)$$

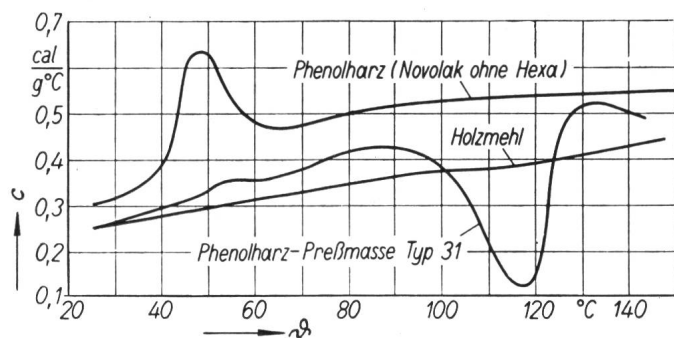


Fig. 7

Spezifische Wärme  $c$  von Kunststoffproben in Funktion der Temperatur  $\vartheta$

Die Wärmekapazität des inneren Gefässes  $C_G$  wird durch einen Leerversuch bestimmt. Eine Kontrolle wurde mit Hilfe von Steinsalz vorgenommen.

Fig. 7 zeigt die spezifische Wärme einiger Kunststoffproben in Funktion der Temperatur. Bei der nicht härtbaren Novolak-Masse ergibt sich durch das Schmelzen des Harzes ein Maximum. Kurven für ein härtbares Harz-Katalysator-gemisch zeigen Minima, die auf einen exothermen chemischen Prozess hindeuten.

Einen anderen Weg geht van Zyl mit einem vor kurzem beschriebenen isothermen Kalorimeter [4]. Hier wird nicht die spezifische Wärme, sondern die Wärmeentwicklung einer Probe untersucht. Der Energiestrom fliesst über einen Wärmewiderstand und ruft ein Temperaturgefälle hervor. Die entstehende Temperaturdifferenz ist ein Mass für die erzeugte Wärme. Damit nun die Temperatur der Probe unverändert bleibt, wird die Temperatur des äusseren Mantels elektrisch gesteuert. Als Temperaturindikator für die Probe dient ein Heissleiter. Er wird in einer Wheatstoneschen Brücke mit einem einstellbaren Widerstand verglichen, der als Sollwertgeber für die Probertemperatur dient. Über einen Verstärker, einen phasenabhängigen Gleichrichter und ein Relais wird in unsteady Weise der Wassermantel beheizt (Fig. 8). Dabei entstehen jedoch zunächst infolge des hohen

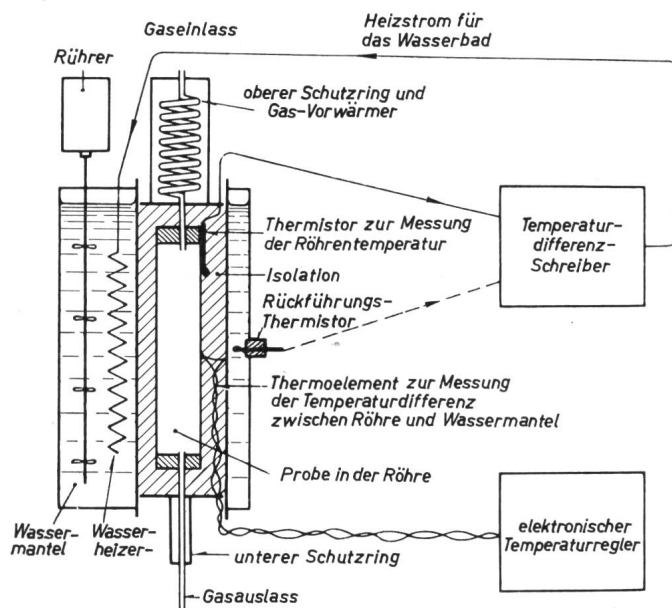


Fig. 8

Isothermes Kalorimeter nach van Zyl

Wärmewiderstandes, der einem trägen Reservoir vorgeschaltet ist, unzulässig grosse Pendelungen. Diese lassen sich durch eine Rückführung beseitigen, wenn man in Kauf nimmt, dass sich die Probertemperatur ein wenig ändert. Die Rückführung wird durch einen zweiten Heissleiter erzielt, der sich im Flüssigkeitsbad befindet und ebenfalls, wenn auch mit vermindertem Einfluss, in die Wheatstonesche Brücke eingeschaltet ist. Bei den beschriebenen Kalorimetern wäre Betrieb ohne selbsttätige Regelung bereits nicht mehr gut denkbar.

Als weiterer Vertreter von Messverfahren, bei denen das Messgerät selbst einen Regler darstellt, sei schliesslich noch das selbstkompensierende Elektrometer in seiner Anwendung als Messwertwandler erwähnt.



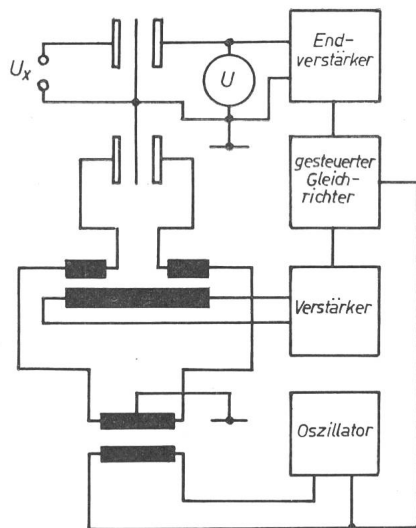


Fig. 9

Selbstkompensierendes Elektrometer als Messwertwandler

Dieses Gerät misst elektrostatische Kräfte durch Kompensation mit Hilfe einer Spannung. Dazu besitzt das Elektrometer einen spannbandgelagerten, sehr leichten metallisierten Glimmerflügel, der zwischen zwei Elektrodenpaaren spielt. Im einfachsten Anwendungsfall ist der Flügel geerdet. Das eine Elektrodenpaar dient zur Messung, das andere zur Lagenanzeige des Flügels.

Gemäss Fig. 9 bildet das zweite Elektrodenpaar zusammen mit dem Flügel einen Zweig einer Brücke. Der andere wird durch die Sekundärwicklung eines Differentialtransformators gebildet, den man mit Hochfrequenz von etwa 1 MHz erregt. Bei Mittelstellung des Flügels besteht zwischen der Mittelanzapfung des Differentialtransformators und Masse keine Hochfrequenzspannung. Verdreht sich der Flügel, dann tritt ein Signal auf, das über einen Verstärker und phasempfindlichen Gleichrichter in bekannter Weise in eine Gleichspannung umgesetzt wird. Diese wird nochmals verstärkt und gleichzeitig dem Messinstrument sowie der einen Seite des zur eigentlichen Messung dienenden Elektrodenpaares zugeführt.

Zwischen die gegenüberliegende Elektrode und Masse wird die zu messende Spannung gelegt. Durch eine Diode im Ausgang des Verstärkers wird dafür gesorgt, dass stets nur eine Polarität der Ausgangsspannung zur Wirkung kommt, weil andernfalls Instabilität eintreten kann.

Durch das elektrische Feld der angelegten Spannung wird der Flügel in der Figur entgegen dem Uhrzeiger verdreht. Dadurch entsteht auf der anderen Seite eine kompensierende Spannung und mit ihr eine Kraft, die den Flügel in entgegengesetzter Richtung zu drehen bestrebt ist. Im Gleichgewicht sind der Effektivwert der zu messenden Spannung und der Betrag der kompensierenden Gleichspannung einander sehr nahe gleich. Es kann eine Messgenauigkeit von  $10^{-4}$  für Effektivwerte von Spannungen der Grössenordnung von 10 V erreicht werden.

### 3. Zusammenfassung

Es werden sechs Beispiele für die Anwendung regelungstechnischer Prinzipien bei physikalischen Messungen besprochen. Das erste ist ein unsteter Durchflussregler, bei dem als Fühler eine Stauscheibe und als Vergleichsgrösse die Rückstellkraft einer Feder dient. Das zweite wird durch einen stetig regelnden Luftthermostaten dargestellt, der als Fühler ein Widerstandsthermometer in einer Brückenschaltung als Wärmeerzeuger besitzt. Ähnlich ist der Regelkreis aufgebaut, mit dessen Hilfe im dritten Beispiel ein Widerstandsanemometer zum schnellanzeigenden Mess- und Registrierinstrument ausgestaltet werden kann, nur sind hier Fühler und Heizleiter in einem einzigen Element vereinigt. Durch Anwendung zweier Regelkreise, eines unsteten mit programmgesteuerter Führungsgrösse und eines stetigen, der lediglich eine Temperaturdifferenz auf Null zu halten hat, gelingt der Aufbau eines registrierenden adiabatischen Kalorimeters. Diesem vierten Beispiel wird als fünftes ein mit selbsttätiger Regelung ausgestattetes isothermisches Kalorimeter gegenübergestellt. Hier ist die Funktionstüchtigkeit des Regelkreises mit einem Verzicht auf streng isothermisches Arbeiten erkauft. Schliesslich wird im letzten Beispiel ein selbstkompensierendes elektrostatisches System beschrieben, das ebenso gut als Regler wie als Messgerät aufgefasst werden kann.

### Literatur

- [1] F. Maak und T. Gast: Eine Anlage zur Klimatisierung von Luftströmen für Staubuntersuchungen. Staub 19(1959)7, S. 255...258.
- [2] F. Mechel: Beeinflussung einer Strömung durch ein Schallfeld. Physikalische Verhandlungen 9(1964), S. 268...278.
- [3] T. Gast: Messung der spezifischen Wärme von Kunstharz-Pressmassen bei stetig ansteigender Temperatur. Z. VDI 100(1958)23, S. 1081...1085.
- [4] L. L. van Zyl: Isothermal Calorimeter with Sample Temperature Control. J. sci. Instruments 41(1964)4, S. 197...202.

### Adresse des Autors:

Prof. Dr.-Ing. Th. Gast, Pfeleidererstrasse 7, Berlin 45.

## Entwurf und Betrieb von grossen Gleichrichteranlagen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 28. April 1965 in Zürich,  
von H. Widmer, Zürich

621.314.6

Grossen Gleichrichteranlagen begegnet man vornehmlich in Fabrikationsstätten der Elektrochemie und der Elektrometallurgie. Chlor, Natriumchlorat, Aetznatron, Aetzkali, Natrium, Zink, Blei, Mangan, Titan, Aluminium, Magnesium und viele andere Stoffe werden in Elektrolysen hergestellt. Kupfer und hochreines Aluminium (um nur diese zu nennen) werden auf elektrolytischem Wege raffiniert, d. h. gereinigt.

Jede dieser Elektrolysearten stellt ihre spezifischen Bedingungen an den Anlagebau. Es würde den Rahmen des Referates sprengen, wollte man auf jede dieser Elektrolysen

eintreten. Es seien daher zwei typische Vertreter herausgegriffen: die Aluminiumelektrolyse und die Chlor/Alkali-elektrolyse mit Quecksilberzellen (Fig. 1). Beide haben eine hohe Zellenstromstärke gemeinsam, was die gleichstromseitige Parallelschaltung von zwei oder mehr Gleichrichtergruppen erfordert. In dieser Art sei auch der Begriff «grosse Gleichrichteranlagen» für die vorliegenden Betrachtungen definiert.

Im übrigen unterscheiden sich aber diese beiden Elektrolysearten. Kein Wunder, dass diese Unterschiede einer