

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 46 (1955)
Heft: 15

Rubrik: Communications ASE

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: 15.01.2026

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

der Vakuumzellen in der Grössenordnung von $1000 \text{ M}\Omega$ liegt, ist es wesentlich, die Brücke mit einem möglichst hochohmigen Messkreis zu belasten. Diesem Zweck dient der vorher erwähnte Kathodenfolger.

Das Servosystem ist vom Typ 1, d.h. der statische Fehler ist Null. Der dynamische Fehler bei einer konstanten Geschwindigkeit der Blende ist durch den in der amerikanischen Literatur mit «velocity error coefficient» bezeichneten Faktor gegeben. Da die Verstärkung, wie auch die rückgeführte Generatorenspannung einstellbar gemacht sind, lässt sich die dynamische Genauigkeit (bzw. der oben erwähnte Faktor) innerhalb gewisser Grenzwerte einstellen. Um z.B. einen Fehler von 1% des maximalen Ausschlags nicht zu übersteigen, darf die Geschwindigkeit der Blende nicht grösser als etwa 20 mm/s werden.

5. Anwendungsbeispiele und Genauigkeit

Das Resultat der Faltung der Funktion

$$g(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ A & \text{für } 0 \leq t \leq a \\ 0 & \text{für } t > a \end{cases}$$

mit der Funktion

$$f_1(t) = \begin{cases} B & \text{für } t < 0 \\ B \sin \omega t + B & \text{für } t > 0 \end{cases}$$

ist in Fig. 10 dargestellt. Dieser Fall kommt in der Praxis kaum vor. Es wird jedoch dadurch die mit dem Apparat erreichbare statische Genauigkeit gezeigt. Die Operation wurde punktweise durchgeführt. Der mittlere quadratische Fehler über alle gemessenen Punkte beträgt 0,22 %.

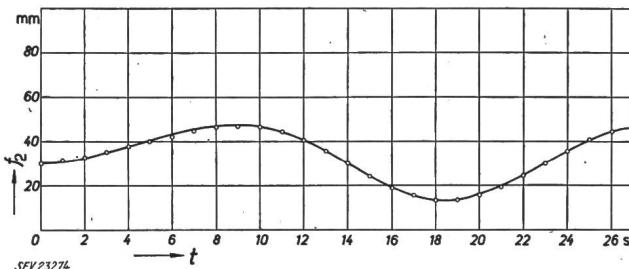


Fig. 10

Beispiel einer statisch durchgeföhrten Faltung
f₂: Ausgangsfunktion; t: Zeit

Charakteristisch für die praktisch vorkommenden Betriebsarten ist die Kurve in Fig. 11. Sie stellt den Einschwingvorgang eines 3stufigen RC-gekoppelten Röhrenverstärkers dar. Die Impulsübergangsfunktion lautet in diesem Fall:

$$g(t) = t^2 e^{-t}$$

Die Eingangsfunktion ist die Sprungfunktion. Der auf den Endausschlag bezogene maximale Fehler beträgt hier 2 %.

6. Anwendung innerhalb eines geschlossenen Regelkreises

Bei der Entwicklung des Analogiegerätes wurde hauptsächlich seine Anwendung für Regel- und Servoprobleme ins

Auge gefasst, speziell für Temperatur- und Druckregelungen. Die mechanische Einrichtung für die Realisierung der Eingangsfunktion (Kurvenschneideapparat) gestattet die direkte Kopplung des Gerätes mit den betreffenden Reglerelementen. Das Analogiegerät lässt sich in dieser Weise innerhalb eines geschlossenen Regelkreises an Stelle eines Elementes desselben einschalten und gestattet dieses nachzuahmen, indem seine Eigenschaften durch die Übergangsfunktion (g-Maske) bestimmt sind.

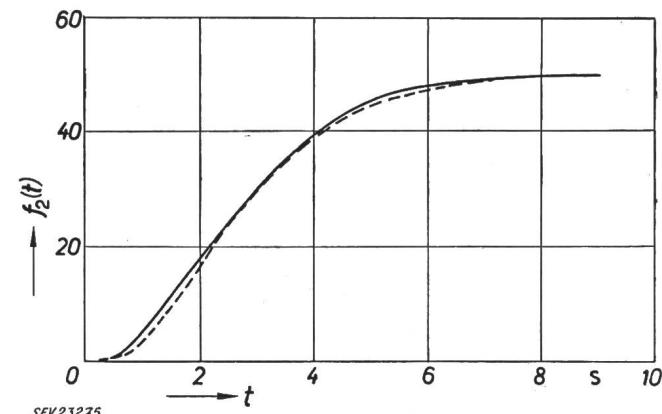


Fig. 11
Einschwingvorgang eines 3-stufigen, RC-gekoppelten
Verstärkers
f₂(t): Ausgangsfunktion; t: Zeit
— berechnete Kurve; - - - theoretische Kurve

Die Idee liegt nahe, zwei oder mehrere Analogiegeräte hintereinander und mit anderen Elementen zu einem geschlossenen Kreis zu verbinden. Es würden sich in dieser Weise ausgedehnte Untersuchungen über kompliziertere Systeme durchführen lassen.

Die bei diesen Anwendungen in Frage kommenden Zeitkonstanten müssen genügend gross sein, damit die dynamischen Eigenschaften des Servosystems und des Kurvenschneideapparates nicht ins Gewicht fallen; diese Bedingung wird erfüllt in vielen in der Industrie vorkommenden Regelungssystemen, wie Temperaturregelung, gewisse Druckregelungen, Regelung von Fabrikationsprozessen, Durchflussmengen usw.

7. Mathematische Anwendungen

Zum Schluss sei noch erwähnt, dass das Analogiegerät als rein mathematisches Instrument zur Berechnung von einfachen bestimmten Integralen bis zu den allgemeinen Integralen des Produktes zweier Funktionen einer Variablen, welche von einem Parameter abhängig sind, brauchbar ist. Zu diesem Zweck können aus schwarzem Papier ausgeschnittene Kurven oder photographische Filme benutzt werden. Das Messer des Kurvenschneideapparates lässt sich in diesen Fällen durch einen Hebel abheben.

Adresse des Autors:

S. Kitsopoulos, Dr. sc. techn., Winterthurerstrasse 156,
Zürich 6/57.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Mutatoren-Tagung bei Brown Boveri in Baden

061.3(494) BBC : 621.314.652

Die A.G. Brown, Boveri & Cie. hat eine Reihe neuer Mutatoren (Quecksilberdampf-Stromrichter) entwickelt und stellte diese auf einer Demonstrationstagung am 31. Mai 1955 in Baden zahlreichen in- und ausländischen Besuchern aus der Industrie, von Bahngesellschaften und von der Presse vor.

Ein Einführungsvortrag streifte kurz den bedeutenden Anteil dieser Firma an der historischen Entwicklung dieser Apparate, erläuterte ihre Leistungsfähigkeit und wies die Vorteile und die Überlegenheit der neuen Brown Boveri Mutatoren nach, die sich vor allem durch eine bessere und

von der Aussentemperatur unabhängige Belastbarkeit, eine feinere Temperaturregelung und durch verlängerte Lebensdauer auszeichnen. Daneben kann Brown Boveri mit Befriedigung auf die Erfolge ihrer Kontaktumformer hinweisen und vernachlässigt schliesslich auch das aussichtsreiche Gebiet der Halbleiter-Gleichrichter (Germanium-Kristalle) nicht.

In den anschliessenden Vorführungen wurden die Eigenschaften der neu entwickelten Mutatoren dem Fachmann und dem Laien eindrucksvoll verdeutlicht.

Vorerst sah man den neuen pumpenlosen luftgekühlten Sechsanoden-Mutator Typ KLg 36 für einen Nennstrom von 1250 A bei 750 V. Es handelt sich um einen typischen Trak-

tionsmutator, bei dessen Entwurf weitgehend auf das Problem der Kälteüberspannungen Rücksicht genommen wurde. Der Mutator stand in einer Kältekammer bei einer Lufttemperatur von 0 °C und wurde im Betrieb vorgeführt, wobei man ihn bis auf seinen Nennstrom belastete. Dabei konnte festgestellt werden, dass die im Oszillographen sichtbare Brennspannung mit steigender Belastung wohl ansteigt, dass aber Kälteüberspannungen als Folge von Instabilitäten im Lichtbogen auch bei niedrigen Raumtemperaturen nicht auftreten.

Bei einem zweiten Versuch wurde der neue, speziell für Vollbahnanlagen bestimmte, ebenfalls luftgekühlte Mutator Typ LPgg 56 mit angebautem Vakuumpumpensatz für einen Nennstrom von 1800 A bei 1500 V vorgeführt, wobei sich die Besucher besonders von der einwandfreien Betriebsweise bei stark wechselnder Umgebungstemperatur und der guten Kurzschlusslöschfähigkeit bei allen Betriebszuständen überzeugen konnten. Dank einer neu entwickelten Temperaturregelung kann der Mutator bei allen Belastungen dauernd mit der günstigsten Betriebstemperatur arbeiten. Der Anodenauflauf wurde derart verbessert, dass bei allen Belastungszuständen eine sichere Kurzschlusslöschung gewährleistet ist.

Für sehr viele Verwendungszwecke des Mutators wird eine gute, stetige und rasch wirkende Regelmöglichkeit der erzeugten Gleichspannung benötigt. Zu diesem Zwecke sind alle neu entwickelten Brown Boveri Mutatoren mit Gittern zur Spannungsregelung und als Schutzorgane gegen die Auswirkungen der Rückzündungen und Kurzschlüsse ausgerüstet. Die Arbeitsweise der Steuergitter wurde in einem weiteren Versuch demonstriert. An einer aus 6 Einanodengefäßen neuester Bauart bestehenden Mutatorgruppe wurden die Sperrbeanspruchungen der Anoden in Abhängigkeit von der Aussteuerung auf einem Instrument sichtbar angezeigt. Damit war auf sinnfällige Weise bewiesen, dass es heute möglich ist, die Beanspruchung der Mutatoren für alle Betriebszustände genau zu messen und die Belastungsgrenzen der Mutatoren in jedem einzelnen Betriebsfall einwandfrei zu bestimmen.

Als weiteres Glied in der Kette der Stromrichter wurde ein mechanischer Gleichrichter, ein sogenannter Kontaktumformer, der Bauart Brown Boveri für einen Betriebsstrom von 10 000 A bei 500 V zusammen mit einer neu entwickelten Steuerung vorgeführt. Dank seines ausgezeichneten Wirkungsgrades auch bei kleinen Betriebsspannungen tritt der Kontaktumformer im besonderen für Elektrolysebetriebe mehr und mehr in den Vordergrund, um so mehr als die neu entwickelten Steuerapparaturen erlauben, die Gleichspannung kontinuierlich bis auf sehr kleine Werte hinunterzuregeln, was für das Anlassen gewisser Elektrolysezellen sehr erwünscht ist. Mit Hilfe eines besonderen Stromreglers, welcher auf die Vormagnetisierung der Schaltdrosselspule wirkt, wurde die Feinregelung vorgeführt, die beispielsweise zum Konstanthalten des Elektrolysestromes dient. Aus dem Oszillogramm der Kontaktspannung konnte man ersehen, dass sich die Arbeitskontakte bei voll ausgesteuertem Betrieb wie auch bei zurückgeregelter Gleichspannung immer praktisch im Nulldurchgang der verketteten Spannung schliessen. Kontaktüberschläge vor dem Schliessen der Kontakte werden damit weitgehend vermieden und die Lebensdauer der Arbeitskontakte steigt entsprechend. Durch rasche Stromänderung von Vollast auf Leerlauf und umgekehrt wurde gezeigt, wie der Ausschaltzeitregler den Ausschaltzeitpunkt der Arbeitskontakte innerhalb der stromschwachen Pause festhält, womit ein störungsfreier Betrieb auch bei schlechter Frequenzkonstanz und Spannungshaltung erzwungen wird.

Besonders interessant war die Vorführung eines mutatorgespeisten Antriebes für beide Drehrichtungen, wie er im praktischen Betrieb für Umkehrwalzwerke in Frage kommt. Dabei wurde der Motoranker durch einen Mutator gespeist, dessen Steuergitter durch einen magnetischen Rapidsteuersatz überwacht werden, der mit einer Trägheit von nur 15 ms arbeitet. Während der Bremsperiode des Motors wird der Mutator von diesem Steuersatz auf Wechselrichterbetrieb umgesteuert, wobei die kinetische Energie als Bremsenergie bis zum Stillstand des Motors ins Drehstromnetz zurückgeliefert wird. Da der Mutator dank den Steuergittern wohl die Spannung, nicht aber den Strom umkehren kann, so muss zum Reversieren des Motors auch noch die Richtung des Motorfeldes gewechselt werden, wobei man zur Überwindung der magnetischen Trägheit eine besonders gebaute Er-

regermaschine benötigt, die die Erregerspannung vorübergehend auf das Mehrfache des Normalwertes erhöhen kann. Ferner wurde auf anschauliche Weise demonstriert, wie sich die gewünschten Drehzahlen eines bestimmten Walzvorganges entsprechend einem im voraus festgelegten Programm automatisch einstellen lassen, wobei der gesteuerte Walzmotor die einzelnen Programmstufen nach dem Betätigen eines Druckknopfes in der vorgeschriebenen Reihenfolge durchläuft.

Zum Abschluss der Versuche wurde noch ein mutatorgetreuer Einzelantrieb für ein kontinuierliches Drahtwalzwerk vorgeführt. Solche Antriebe erfordern bei konstanter Last eine Drehzahlgenauigkeit von etwa 1 % und gestatten bei plötzlicher voller Belastung des Motors eine vorübergehende grösste Drehzahlsschwankung von höchstens 1 %, die in einer Zehntelsekunde schwingungsfrei ausgeregelt sein muss. Dank der trägeheitslosen Steuerbarkeit über die Gitter eignet sich zur Lösung dieser schwierigen Regelaufgabe ein mutatorgespeister Antrieb ganz hervorragend. Die äusserst feine Drehzahlregelung wurde durch den Vergleich der Spannung am Sollwertgeber mit der Spannung des Tachodynamos erreicht, wobei die Differenzspannung einem elektronischen Verstärker zugeführt wurde, der auf die Gittersteuerung des Mutators einwirkt.

Antriebe dieser Art, die Brown Boveri zusammen mit Walzwerkingenieuren entwickelte, befinden sich schon seit mehreren Jahren in strengem Dauerbetrieb und haben sich aufs beste bewährt. Moderne Verfahren der Regelungstechnik und die neuesten Errungenschaften auf dem Gebiet der gesteuerten Mutatoren erlauben heute der Elektroindustrie, auch für die schwierigsten Regelprobleme der Schwerindustrie praktisch brauchbare Lösungen vorzuschlagen.

So ist es der A.G. Brown, Boveri & Cie. gelungen, ein eindrucksvolles Bild von den Vorteilen ihrer neuen Mutatortypen zu geben. Diese stellen jedoch nur ein kleines Teilgebiet des Fabrikationsprogrammes dar; dass es auch in anderen Sparten interessante Neuentwicklungen gibt, sah man auf einem Rundgang durch den gesamten Komplex der grossen Firma in Baden. Beispielsweise war es eindrucks- voll, die Relaisfertigung und -prüfung in den ansprechenden, hellen Räumen des neuen Hochhauses zu sehen. Präzisionsarbeit wird in der Brown Boveri Röhrenfabrik geleistet, wo Sende- und Gleichrichterröhren sowie Industriethydratrons entstehen. Mehrere grosse Hochspannungs-Druckluftschallschalter für Japan standen gerade in fertig zusammengebaute Zustand zum Versand bereit. Bemerkenswert war auch die bedeutende Anzahl von in Arbeit befindlichen Grossmaschinen, die man in der Generatorenhalle sah, Wasserkraftgeneratoren und wasserstoffgekühlte Turbomaschinen. Und schlüssig boten auch die thermischen Abteilungen der Weltfirma interessante Einblicke in ihr Schaffen. So fiel besonders eine der fahrbaren 6200-kW-Gasturbinenzentralen auf, die z.Z. für Mexiko gebaut werden.

Dieser Rundgang durch die Werkhallen vermittelte den Teilnehmern die Überzeugung, dass Brown Boveri auf zahlreichen anderen Fachgebieten ebenso erfolgreiche und leistungsfähige Neuentwicklungen herausbringt, wie man sie bei dieser Tagung im besonderen auf dem Sektor Mutatoren sah.

Technik der pH-Messung

[Nach F. W. Schröder: Was man über pH wissen sollte, ATM Bd. —(1955), Lieferung 228, S. 2]

1. Der Begriff pH

Analog wie «warm» oder «heiss» ist «sauer» eine Sinnesempfindung, die, wenn man an das Beispiel der sauren Gurke denkt, ein rein geschmacklicher Eindruck wiedergibt, über den man sich bekanntlich schwer einigen kann. Wenn Galilei das Verdienst zugeschrieben wird, im Jahr 1592 durch die Entdeckung des Thermometers die Grundlage für eine zahlenmässige Ausdrucksweise für die Begriffe warm und heiss gefunden zu haben, so muss auf dem Gebiet der Acidität S.P. Sörensen erwähnt werden, der im Jahre 1909 durch den Begriff pH den Weg gewiesen hat, die Empfindung «sauer» zahlenmässig zu definieren. Dabei spielt natürlich nicht die gastronomische Seite dieses Begriffes die

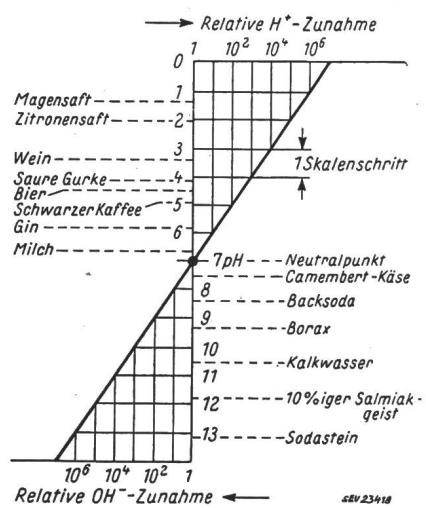
Hauptrolle, sondern seine Bedeutung in fast allen Zweigen der beschreibenden Naturwissenschaft und der Technik, sei es Korrosion, Nahrungsmittelkunde, Wasser oder Abwasser-technik, Medizin, Biologie oder Pathologie.

Es gibt starke und schwache Säuren, von der bekannten Schwefelsäure welche Löcher in die Kleider frisst bis zur Borsäure, welche als Augenwasser benutzt wird. Alle Säuren enthalten in ihrem Molekül ein oder mehrere Wasserstoffatome, die jedoch nur lose gebunden sind und sich im Wasser von dem Rest des Moleküls, dem Säurerest, loslösen können. Bei diesem Vorgang, der als Dissoziation oder Ionisation bezeichnet wird, bleibt jedoch das zum Wasserstoffatom gehörende negativ geladene Elektron im Säurerest zurück, der dadurch negativ geladen wird, und es diffundiert nur das seines Elektrons verlustig gegangene und daher positiv geladene Wasserstoffatom, welches nun Wasserstoffionen oder auch Protonen genannt wird, in die Lösung hinaus. Bei starken Säuren sind praktisch alle Wasserstoffatome zur Ionisation befähigt, bei schwachen Säuren nur ein mehr oder weniger grosser Bruchteil.

Die Stärke einer Säure entspricht also dem Anteil der ionisierten Wasserstoffatome, also der Konzentration der Wasserstoffionen. Da diese Konzentration in sehr weiten Grenzen variieren kann, ist es zweckmässig sie logarithmisch, d. h. als Potenz von 10 darzustellen (z. B. 10^{-4}). Da ferner die Konzentration der Wasserstoffionen in den meisten Fällen kleiner als 1 ist, der Exponent also negativ wird, wird dieser mit -1 multipliziert, um die Bequemlichkeit von positiven Zahlen zu haben. Der so gewonnene Begriff wird als pH bezeichnet, wobei p auf Potenz und H auf Wasserstoffionenkonzentration hindeuten soll, und es bedeutet demnach $pH = 4$ eine Lösung mit einer Wasserstoffionenkonzentration von 10^{-4} . Niedrige pH-Werte bedeuten also hohe Wasserstoffionenkonzentrationen, d. h. stark saure Lösungen, und umgekehrt.

2. Die pH-Skala

Als Gegenstück zum positiv geladenen Wasserstoffion (H^+), welches die saure Reaktion einer Lösung bedingt, gibt es nun auch negativ geladene Ionen, die Hydroxylionen (OH^-), welche für die alkalische Reaktion einer Lösung verantwortlich sind. Die Alkalinität einer Lösung ist durch die Konzentration der Hydroxylionen gegeben. Was besonders interessiert ist der Neutralpunkt, das ist offenbar der Zu-



pH-Skala und ungefähre Werte alltäglicher Substanzen

stand, bei dem gleich viel Wasserstoff und Hydroxylionen in einer Lösung sind. Für wässrige Lösungen liefert uns die Natur ein Normal, indem Wasser befähigt ist gleichzeitig Wasserstoff und Hydroxylionen abzugeben. Das Massenwirkungsgesetz sagt aus, dass das Produkt aus Wasserstoff und Hydroxylionen konstant ist und für Wasser von $20^\circ C$ den Wert von 10^{-14} annimmt. Dies bedeutet, dass für reines Wasser, in dem gleich viel Wasserstoff wie Hydroxylionen vorkommen, die Konzentration jedes Anteils $\sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$

ist. Das pH einer neutralen Lösung hat demnach den Wert von 7, Werte über 7 bedeuten alkalische Lösungen, Werte unter 7 saure Lösungen. Für wässrige Lösungen erstreckt sich die pH-Skala über Werte zwischen 0 und 14 (Fig. 1).

3. Die Messung von pH

Bekannt ist die Farbveränderung von Farbstoffen, wenn sich die Acidität einer Lösung ändert, z. B. Lackmusfarbstoff oder Tee mit Zitrone. Bei Verwendung von geeigneten Farbstoffen als Indikatoren und mit optischen Messungen des Farbtones lassen sich nach diesem Prinzip pH-Bestimmungen ausführen.

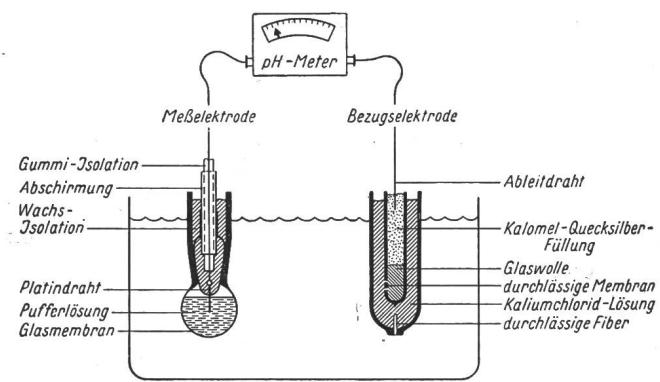


Fig. 2
Messenordnung einer Glas-Kalomel-Elektrodenkette

Wichtiger aber als die kolorimetrische pH-Bestimmung ist die elektrometrische: Aus der Elektrochemie ist bekannt, dass sich zwischen einem Metallstück und der Lösung seiner Ionen, oder zwischen zwei Lösungen verschiedener Konzentration, eine Potentialdifferenz einstellt, welche z. B. im Daniellelement oder im Akkumulator ausgenutzt wird. Die Grösse dieser Potentialdifferenz kann nach der Formel von Nernst berechnet werden, in welcher neben verschiedenen Konstanten auch die Temperatur und die Konzentration der Ionen in der wässrigen Lösung vorkommen. Daraus lässt sich umgekehrt aus einer Potentialmessung die Konzentration der Ionen bestimmen. Da das Wasserstoffion sich wie ein Metallion verhält, kann seine Konzentration und damit das pH bestimmt werden durch Potentialmessung mit einer Elektrode, welche auf die Wasserstoffionenkonzentration konzentrationsrichtig anspricht.

Als solche Elektrode kann ein mit Wasserstoff gesättigtes Platinblech dienen, welches die klassische Wasserstoffelektrode darstellt, oder man verwendet die Glaselektrode, welche im Prinzip eine Konzentrationskette ist, bei welcher eine

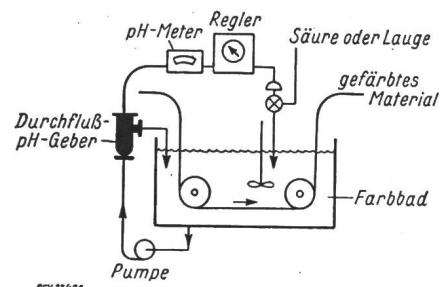
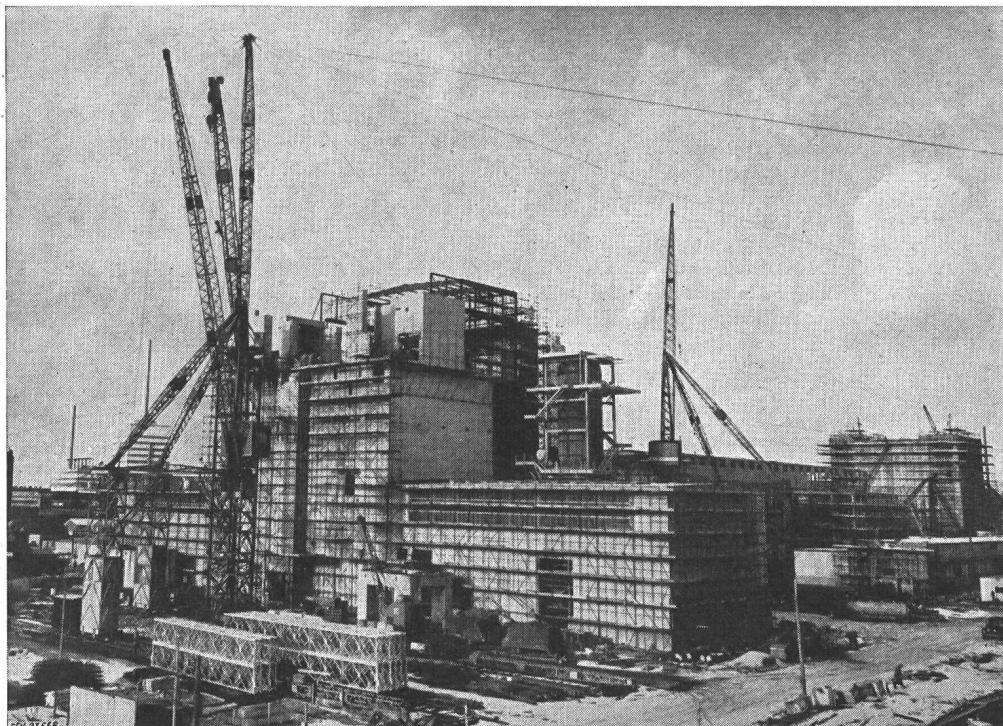


Fig. 3
Überwachung eines biochemischen Prozesses

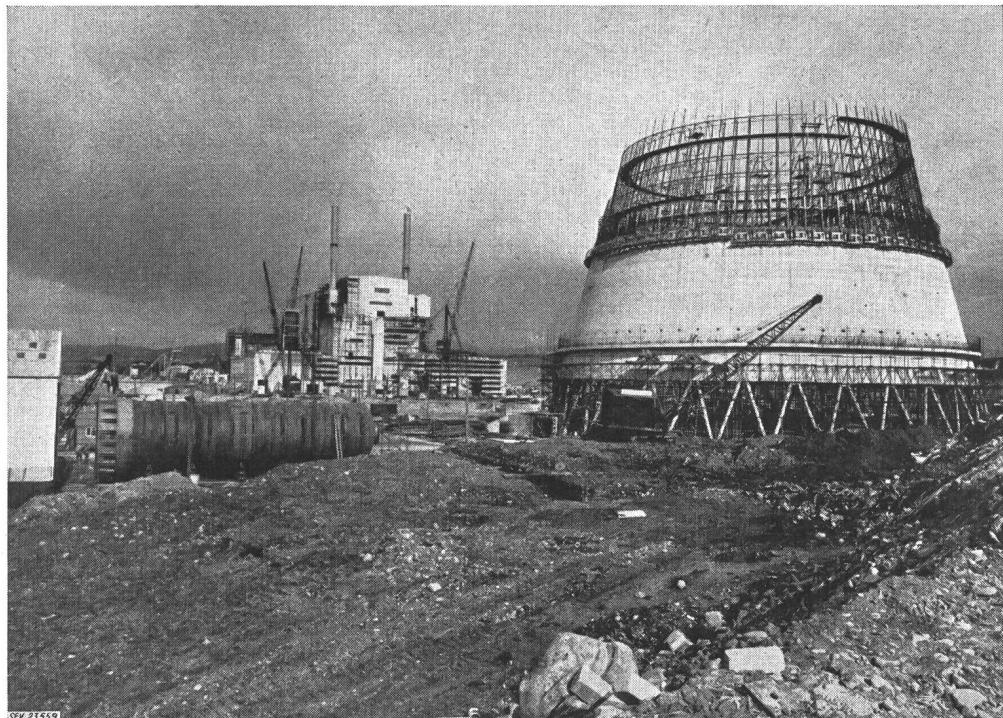
Lösung von bekannter und konstanter Wasserstoffionenkonzentration über eine halbdurchlässige Membran aus Spezialglas mit der zu messenden Lösung in Kontakt gebracht wird (Fig. 2). Zur Messung der Potentialdifferenzen, die möglichst stromlos zu erfolgen hat, und die für 1 pH in der Grössenordnung von 58 mV liegt, werden Kompensationsschaltungen oder Röhrengeräte verwendet, wobei auch die Möglichkeit gegeben ist, Registrier- und Steuergeräte zu verwenden (Fig. 3).
M. Zürcher

Bau eines Atomkraftwerkes der Allgemeinversorgung in Calder Hall, Cumberland (Grossbritannien)



Die beiden ca. 37 m hohen Hallen der Reaktoren befinden sich rechts und links von der Maschinenhalle. Diese wird für vier Dampf-Turbogeneratoren gebaut

Einer der beiden Kühltürme im Bau. Die Höhe eines Turmes beträgt ca. 91 m, bei einem unteren Durchmesser von ca. 61 m. Seitlich erkennt man einen der vier 25 m hohen Dampferzeugertürme



Probleme der Erdung von Höchstspannungsstationen unter besonderer Berücksichtigung der Messung

621.316.99 : 621.317.32 : 621.316.027.7

[Nach W. Erbacher: Probleme der Erdung von Höchstspannungsstationen unter besonderer Berücksichtigung der Messung. ÖZE Bd. 8 (1955), Nr. 1, S. 1..12]

Das Erdungssystem einer Höchstspannungsanlage ist sehr kompliziert. Die verschiedenen Berührungs- und Schrittspannungen, sowie die Potentiale metallischer Gebilde, wie Kabel- und Wasserleitungen usw. im Strömungsfeld einer strom-

führenden Erdung lassen sich nicht berechnen, da die Bodenleitfähigkeit innerhalb mehrerer Dekaden liegen kann. Der Messung der verschiedenen Spannungen kommt deshalb grosse Bedeutung zu.

Sekundäre Erdungen, wie Stark- und Schwachstromkabel, Wasserleitungen, metallische Bauteile, Schienen, Druckleitungen usw. können unter Umständen den Gesamtausbreitungswiderstand des primären Erders bis auf ca. 30 % herabsetzen. Bei der Projektierung einer Erdungsanlage kommt es aus wirtschaftlichen Gründen darauf an, das verwendete Material möglichst gut auf den Raum zu verteilen. Gleichen

Fortsetzung des allgemeinen Teils auf Seite 709
Es folgen die «Seiten des VSE»