

Arch. Elektr. Mess.

ATM

ARCHIV FÜR TECHNISCHES MESSEN

EIN SAMMELWERK FÜR DIE GESAMTE MESSTECHNIK
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. GEORG KEINATH
UNTER MITWIRKUNG VON WILHELM GEYGER

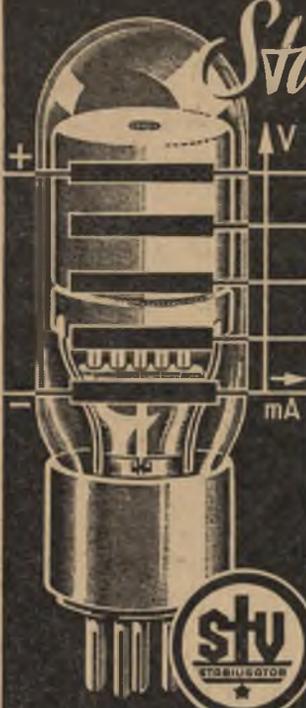
VERLAG R. OLDENBOURG MÜNCHEN 1 UND BERLIN

LIEFERUNG **89** NOVEMBER 1938

INHALT:

	Blatt
TEXT-BLÄTTER	T
Durchfluß-Messung V 1242	141, 142
Anzeigedämpfung von Thermometern V 21	143
Schlupf- und Belastungsmesser V 3611	144
Geophysikalische Messungen V 65	145...147
<u>Toleranz von Rechengrößen J 021</u>	148...150
Aufzeichnen kleiner Wege mit Diamant	
auf harte Stoffe J 031	151, 152
Fehlergrößen des Stromwandlers Z 22	153, 154

Stabilisator



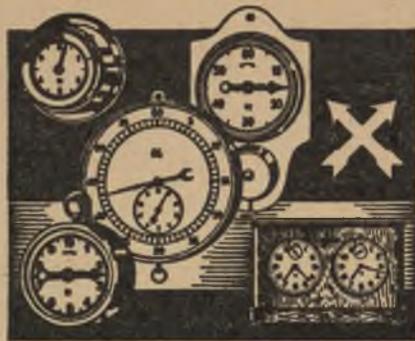
**der trägheitslose
Spannungsregler
und
Spannungsteiler.**

Die Speisespannung kann schwanken, die Stromverbraucher können ein- und ausgeschaltet werden, die »stabilisierten« Gleichspannungen bleiben jedoch konstant. Ein »stabilisierter« Gleichrichter, Umformer oder Dynamo ist einer leistungsfähigen Batterie gleichwertig. Der Stabilisator arbeitet mit Gasentladung, enthält keine Flüssigkeit, ist leicht, klein, betriebssicher, billig.

Spannungskonstanz:
± 0,1% bei ± 10% Netzschwankungen
1-2% zwischen Leerlauf und Vollast, 0,02% beträgt nur die Abhängigkeit der Teilspannungen untereinander.

Ausführliche Beschreibungen sendet auf Wunsch:

STABILOVOLT^{GM}_{BH}
Berlin SW 68 · Wilhelmstraße 130



Unentbehrliche
Hilfsmittel für die
Meßtechnik sind



„Pfeilkreuz-
Kurzzeitmesser“

Generalvertretung: **Hermann Neukamm,**
Berlin-Friedenau I, Sentastraße 3

Meßgeräte

für ballistische Untersuchungen

Schnellaufende Registriertrommeln
Gasdruckgefäße
Rohrrücklaufmesser
Funkenchronographen

HANS BOAS · BERLIN O 17

Festigkeitslehre

mittels Spannungsoptik

Von Professor Dr. *Ludwig Föppl* und
Privat-Dozent Dr.-Ing. *Heinz Neuber*

115 Seiten, 80 Abbildungen. Gr.-8°. Kartoniert RM. 6.60

„Ein wertvolles kleines Werk, aus persönlicher Erfahrung und aus feinem Verständnis für das Wesentliche und Wissenswerte herausgeschrieben. ... Jeder, der sich für Fragen der Festigkeitslehre interessiert, besonders aber derjenige, der sich über Theorie und Ergebnisse der sog. photoelastischen oder spannungsoptischen Versuchsmethoden orientieren will, wird es mit Gewinn lesen. ... Der Praktiker kommt vor allem im letzten Kapitel auf seine Rechnung, wo die Anwendung der Spannungsoptik auf bestimmte Probleme der Festigkeitslehre behandelt wird.“

Schweizerische Bauzeitung

R. Oldenbourg · München I u. Berlin



TORAN-Leuchtfarben

sind das Produkt wissenschaftlicher und praktischer Erfahrung während mehr als 20 Jahren. Ihre Herstellung geschieht unter Beobachtung exakter Kontrollen, daher die gleichbleibend gute, unübertroffene Qualität.

Beratung über die Anwendung von Leuchtfarben bereitwilligst. Meßgeräte, Skalen, Zifferblätter werden auf Wunsch im eigenen Atelier fachgemäß mit TORAN-Leuchtfarbe ausgerüstet.

TORAN

TORAN-Gesellschaft
Laboratorium f. radioaktive Leuchtpräparate · Berlin C 2

FUESS

Optische Instrumente

Gruppe 4

Meß-
Werkstoff-
Polarisations- } Mikroskope

Orthophot-Mikroskopiergerät
für okulare Beobachtung, Photographie,
Mikroprojektion

Sigma-integriervorrichtung
zum Ausplanimetrieren von mikroskopi-
schen Bildern

K a t h e t o m e t e r

Gruppe 5

S p e k t r o s k o p e

S p e k t r o g r a p h e n

Hilfsapparate für Emissions- und
Absorptions-Analysen

Spektrometer, Goniometer

R e f r a k t o m e t e r

Druckschriften kostenlos



AUS MEINEM
FABRIKATIONS-
PROGRAMM:

Auswuchtgeräte

Auswuchtstände

Dehnungsmesser

Drehschwingungs-
messer

Schwingungs-
messer

Schütteltische

Fundamente
eigner Bauweise

*Verlangen Sie
Druckschriften*



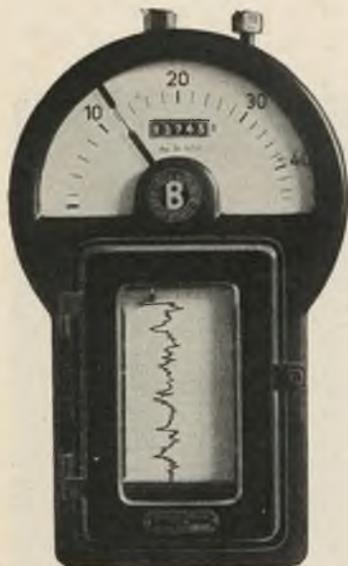
DR.-ING. HANS  HEYMANN

WERKSTÄTTE FÜR SCHWINGUNGS-MESSTECHNIK
DARMSTADT • NECKARSTRASSE 4 • FERNSPRECHER: 4258

Mengenmesser

für

Wasser Dampf Gase



Type L-A-R-Z Syst. Long

Momentanzeige!
Registrierung!
Mech. Zählung!

Mechanisches **Tastzählwerk**
kann auch **nachträglich** in
fast alle Mengenmesser aller
Systeme **eingebaut** werden.

Dr. MARTIN BÖHME

Berlin NW 87 • Klopstockstraße 15 H



Geräte für elektrische Fernmessung

**von Temperatur-Feuchte,
Druck, Wind, Strömungen,
Wasserstand**

anzeigend - schreibend •

**Dosenmanometer
für Über- und Unterdruck**

Baro-Vacuummeter

Anfragen erbeten an:

Wilh. Lambrecht, Göttingen

Gegr. 1859

OVALRAD ZÄHLER

zur genauen Messung von Kraftstoffen,
Schmierölen und
chem. Flüssigkeiten,
Heisswasser usw.

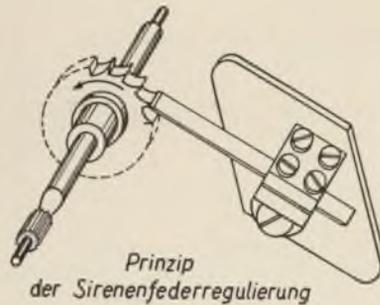
D.R.P. u.
Ausl. Patente



BOPP & REUTHER GM BH

M A N N H E I M - W A L D H O F

Man verlange die neue Druckschrift 251 ATM.



Prinzip
der Sirenenfederregulierung

*Wirklich
einfach*

und deshalb vollkommen zuverlässig!

Die schwingende Feder dient zur Regelung des
Uhrwerks. — Meine

Chronographen, Sekundenkontaktwerke und Großstopuhren

sind ausnahmslos mit dieser Regelung versehen.
Sie gewährleistet einen ganz gleichmäßigen
Papierablauf. — Einzelheiten erfahren Sie aus
Katalog E: Kurzzeitmeßgeräte.

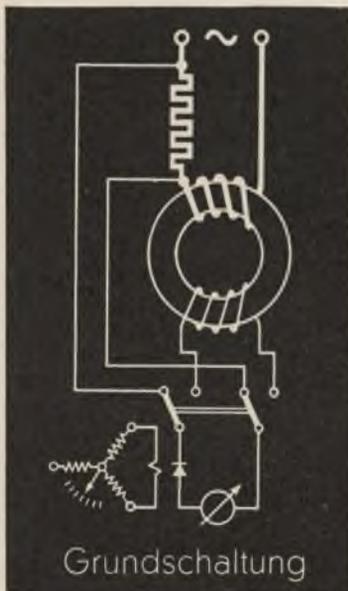
H. WETZER, PFRONTEN

Telegraphenfabrik b. Kempten (Bayern)



SIEMENS MESSTECHNIK

EISENMESSUNG mit dem Ferrrometer



Prüfung der magne-
tischen Eigenschaften
mit technischem
Wechselstrom auch an
kleinsten Proben.

Alle wichtigen
Beziehungen im ganzen
Verlauf genau und
zuverlässig meßbar.

Sehr schnelle Aus-
führung der Messungen.

Unmittelbare
Aufzeichnung der
Kurven mit dem
Koordinatenschreiber.

23 799

SIEMENS & HALSKE AG · WERNERWERK · BERLIN-SIEMENSSTADT

Durchfluß-Messung mit Drosselgeräten bei kleinen Reynoldszahlen

V
1242-1

Verfasser: Dipl.-Ing. Wolfgang Koennecke, Berlin

DK 532.570.83

I. Bedeutung der Durchfluß-Messung bei kleinen Reynoldszahlen.

Bei der Messung des Durchflusses mit Drosselgeräten ist vor allem eine Bedingung zu erfüllen, von der auch schon in früheren Aufsätzen^{1,2} sowie in den DIN-„Regeln“⁴ gesprochen wurde: „Die Durchflußzahl α muß in dem ganzen für die Messung in Betracht kommenden Bereich konstant bleiben.“

Zur Errechnung des Strömungszustandes müssen bekannt sein:

Der Durchfluß: Q (m³/h),
der lichte Rohrdurchmesser: D (mm),
die Zähigkeit des strömenden Mediums
im Augenblick der Messung:

$$\nu \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot 10^{-2} \right),$$

$$Re_D = \frac{354\,000 \cdot Q}{D \cdot \nu}$$

Aus dieser Formel ergibt sich, daß sich Re_D mit dem Durchfluß Q ändert.

Wenn eine Durchfluß-Messung durchgeführt werden soll, so muß zuerst nach der oben angegebenen Formel die höchste und die niedrigste Reynoldszahl errechnet werden. Die höchste Reynoldszahl ergibt sich bei dem größten Durchfluß und der geringsten Zähigkeit, die niedrigste bei dem kleinsten Durchfluß und der größten Zähigkeit.

In diesem Bereich von Reynoldszahlen muß die Durchflußzahl α konstant sein. Ein Drosselgerät kann nur dann zur Messung verwendet werden, wenn die Durchflußzahlkurve in dem für die Messung vorgesehenen Bereich bekannt ist. Die α -Werte müssen in diesem Bereich aus folgendem Grund konstant sein:

Der Durchfluß Q errechnet sich im einfachsten Falle aus folgender Formel:

$$Q = 0,01252 d^2 \sqrt{\frac{H}{\gamma}} \cdot \alpha,$$

d = der lichte Düsendurchmesser (mm),

H = abgelesener Wirkdruck (m WS),

γ = spezifisches Gewicht des strömenden Stoffes (q/cm³).

„ Q “ kann nur errechnet werden, wenn die Durchflußzahl α bekannt ist. „ α “ hängt bei jedem Drosselgerät von dem Strömungszustand Re_D ab, der sich während der Messung einstellt. Wenn Q unbekannt ist, ist auch Re_D und damit α unbekannt. Eine genaue Messung ist demnach nur möglich, wenn α während aller Meßbedingungen konstant ist.

Falls α nicht konstant ist, läßt sich der Durchfluß nur mit einer Näherungsrechnung bestimmen. In den

meisten in der Technik vorkommenden Fällen muß der Durchfluß an dem Anzeige-Instrument direkt ablesbar sein. Diese Bedingung schließt aber die Durchführung einer Näherungsrechnung aus.

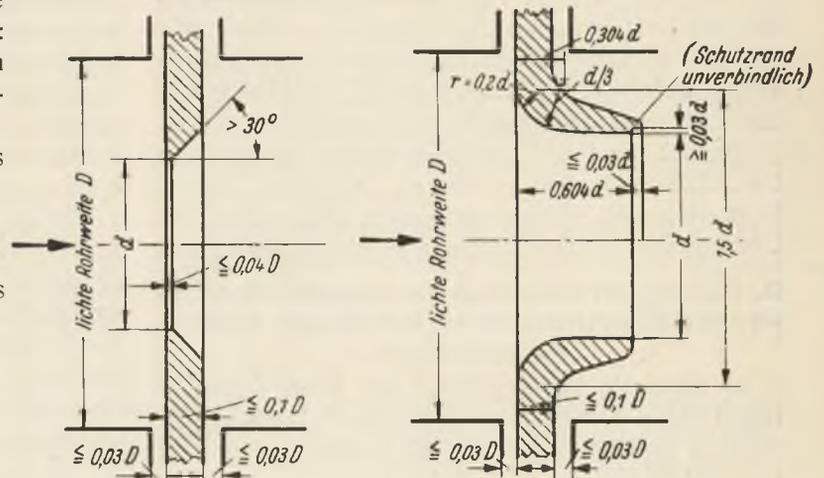


Bild 1. Normblende.

Bild 2. Normdüse.

Zur Durchflußmessung werden die genannten 9 Drosselgeräte (Bild 1 und 2) verwendet. Die α -Kurven (Bild 3 und 4) sind teils aus den „Regeln“ DIN 1952 entnommen und nach italienischen³ und amerikanischen Arbeiten ergänzt, teils durch eigene Messungen⁷ vervollständigt worden. Für wachsende Re_D ist der Bereich konstanter Durchflußzahlen unbegrenzt. Bei kleiner werdenden Reynoldszahlen dagegen ist der Betriebsbereich der genannten Drosselgeräte durch die „Toleranzgrenze“⁸ begrenzt.

Die genannten Drosselgeräte können bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten immer angewendet werden. Die Nachrechnung, ob der gesamte gewünschte Meßbereich im Bereich konstanter Durchflußzahlen liegt, ergibt, daß bei Wasser bei kleinen Rohrleitungen z. B. $D \leq 50$ mm bei der Messung kleinerer Durchflüsse die Gefahr der Unterschreitung der Toleranzgrenze besteht. Die genannten Drosselgeräte eignen sich deshalb besonders für Messung von Dampf und Wasser in mittleren und großen Rohrleitungen oder bei mittleren und großen Geschwindigkeiten sowie zur Messung von Flüssigkeiten z. B. von Ölen und von Gasen bei sehr großen Durchflüssen, bei denen die Re_D -Zahlen oberhalb der Toleranzgrenze bleiben (siehe Bild 3 und 4).

In vielen Zweigen der Industrie besteht das dringende Bedürfnis einer genauen Durchflußmessung mit Stoffen größerer Zähigkeit oder Stoffen, die mit kleinen Geschwindigkeiten oder durch Rohrleitungen kleinen Durchmessers bewegt werden. Hohe Zähigkeitswerte

werden bei Ölen, wasserstoffreichen und heißen Gasen beobachtet. Um diese Fälle näher klarlegen zu können, seien einige wenige Beispiele angeführt:

In Dampfkraftanlagen mit Ölfuehrung, z. B. auch auf Schiffen, muß heute noch der Ölverbrauch nach dem Speisewasserverbrauch von Hand einreguliert werden. Hier kommen Durchflüsse von 0,1 bis 10 t/h bei Zähigkeiten von $\nu = 40$ bis 100 cSt in Rohrleitungen bis 20 mm herab in Betracht, so daß Re_D bis ~ 300 fällt. Im Betrieb kann sich die Zähigkeit u. U. im Verhältnis 1 : 20 ändern.

In der chemischen Industrie tritt sehr oft die Forderung auf, den Durchfluß von Gasen und Flüssigkeiten bei sehr kleinen Durchflußgeschwindigkeiten zu messen und zu regeln, wobei die Zähigkeit außerdem starken Schwankungen unterworfen sein kann. In der Regel liegen hier die Meßbereiche zwischen $R_D = 500$ bis $R_D = 100000$.

Da sich der lichte Düsendurchmesser (d) aus dem Durchfluß und dem gewählten Wirkdruck ergibt, ist es erwünscht, Formen für derartige Fälle geeigneter Drosselgeräte für jedes Öffnungsverhältnis zu kennen.

II. Eignung der bekannten Drosselgerätfornien für die Durchfluß-Messungen bei kleinen und mittleren Reynoldszahlen.

a) **Genormte Drosselgeräte.** Die Bilder 3 und 4 zeigen die α -Kurven der „genormten“ Drosselgeräte auch im unteren Bereich bis $R_D = 100$.

Bei der Normblende (siehe Bild 3) steigen die α -Werte unterhalb der Toleranzgrenze steil an, bei den Normdüsen (siehe Bild 4) fallen die α -Werte, insbesondere bei kleineren Öffnungsverhältnissen, stark ab.

Bei der Normblende erfolgt durch die scharfe Kante des Eintrittsprofils eine Einschnürung des Strahles bis zu einem engsten Querschnitt. Die Durchflußzahl α hängt, besonders bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten, in erster Linie von dem Durchmesser dieses engsten Strömungsquerschnittes ab und bleibt bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten, also großen Reynoldszahlen, konstant. Bei geringeren Strömungsgeschwindigkeiten, also kleiner werdenden Reynoldszahlen (unterhalb der Toleranzgrenze)⁸ bildet sich die Einschnürung weniger stark aus, so daß der engste Querschnitt größer wird und damit die Durchflußzahl α ansteigt. Der zunehmende Einfluß der Reibung bei kleiner werdenden Reynoldszahlen läßt die α -Kurve nach Erreichen eines Höchstwertes steil abfallen.

Bei der Normdüse dagegen ist der Strahl an die Form der Düse gebunden, bleibt jedoch nicht ständig an der Wand anliegen. Bei der starken Krümmung des Einlaufprofils und dem plötzlichen Übergang in den zylindrischen Teil (siehe Bild 2) tritt, je nach dem Strömungszustand, eine Ablösung des Strahles ein. Bei Reynoldszahlen unterhalb der Toleranzgrenze schmiegen sich, besonders bei kleinen Öffnungsver-

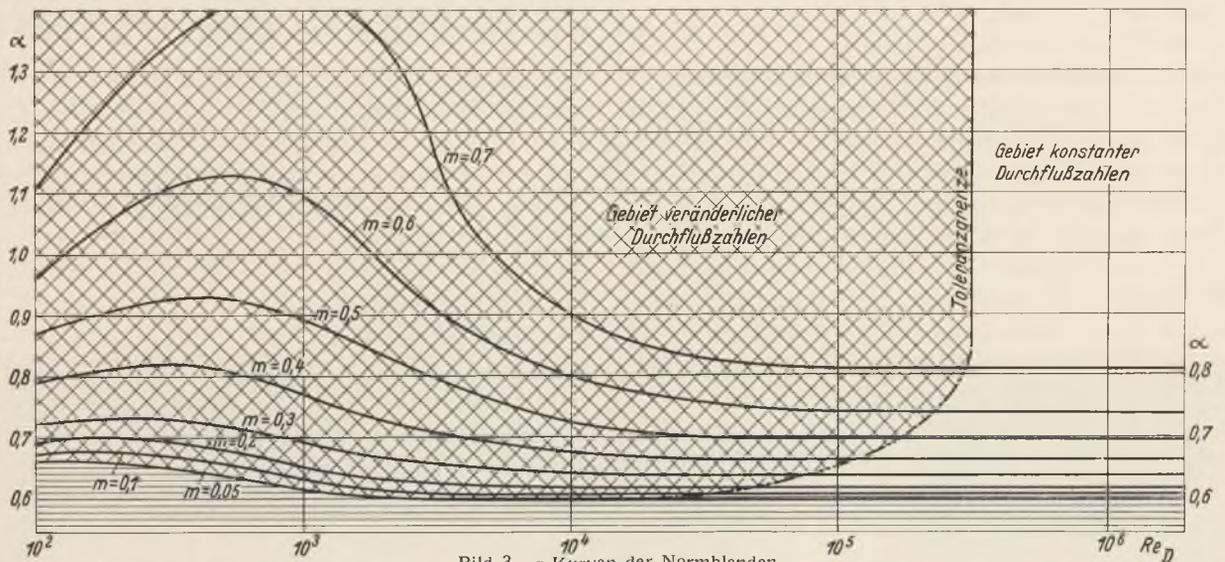


Bild 3. α -Kurven der Normblenden.

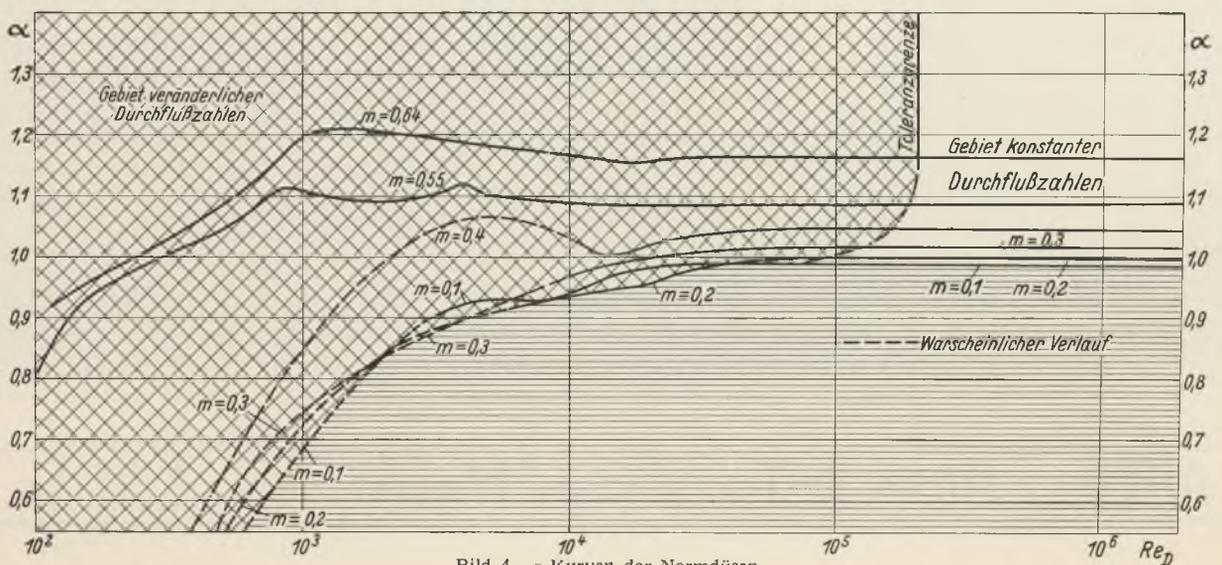


Bild 4. α -Kurven der Normdüsen.

hältnissen, die Stromlinien an die Düsenform an, so daß infolge des steigenden Einflusses der inneren Reibung die α -Kurve langsam absinkt.

b) Drosselgeräte nach veröffentlichten Arbeiten.
Bei der Bedeutung des Problems für die Technik haben schon viele Forscher versucht, Drosselgerätförmungen mit konstanter Durchflußzahl bei kleinen Reynoldszahlen zu entwickeln. In Bild 5 sind die α -Kurven der wichtigsten Drosselgerätförmungen dargestellt. Die []-Bezeichnungen der Kurven beziehen sich auf den Text und die Stelle des Literatur-Verzeichnisses.

In Ausnutzung der Eigenschaften der Blende hat Wälzholz⁶ versucht, durch das Vorsetzen einer zweiten Blende die Einschnürung des Flüssigkeitsstrahles günstig zu gestalten. Die Untersuchungen dieser Düsen haben jedoch gezeigt, daß der Anwendungsbereich für alle Öffnungsverhältnisse zwischen $Re_D = 10000$ bis $Re_D = 200000$ liegt.

Witte¹¹ hat versucht, durch die Ausbildung einer Kegeldüse die Zuströmung zum engsten Querschnitt zu beeinflussen. Es liegt hier nur eine Abmessung für ein Öffnungsverhältnis vor, deren α -Kurve als günstig zu bezeichnen ist. Auch der zweite Vorschlag von Witte,

Normdüsen ohne zylindrischen Ansatz zu verwenden, führt auch nur bei einem Öffnungsverhältnis bei bestimmten Abmessungen zu brauchbaren Resultaten.

Richter¹⁰ versuchte in Fortführung der Versuche von Witte durch besondere Krümmungsausbildung des Einlaufprofils mit der E-, Z- und F-Düse und kurzen, anschließenden Zylinder günstige Düsenformen zu erhalten. Die Versuche, die sich über einen kleinen Bereich von Reynoldszahlen erstrecken, wurden für mehrere Öffnungsverhältnisse durchgeführt. Auch diese Ergebnisse genügen jedoch noch nicht den Ansprüchen der Technik.

Giese⁵ führte Versuche mit halbkreisförmigen Düsen nach Vorschlägen von E. Schmidt durch, die zu brauchbaren Ergebnissen führten, leider aber nur auf ein Öffnungsverhältnis begrenzt blieben. Die Nachkontrolle dieser Messungen durch den Verfasser ergab, daß auch diese α -Kurven noch eine Unregelmäßigkeit von etwa 2% aufwiesen.

Maekawa¹² führte Versuche durch mit zylindrischen Düsen mit beidseitiger kleiner Abrundung. Diese Versuche sind nur in dem Bereich von $R_D = 10^4$ bis 10^5 brauchbar, wobei nur ein Öffnungsverhältnis untersucht wurde.

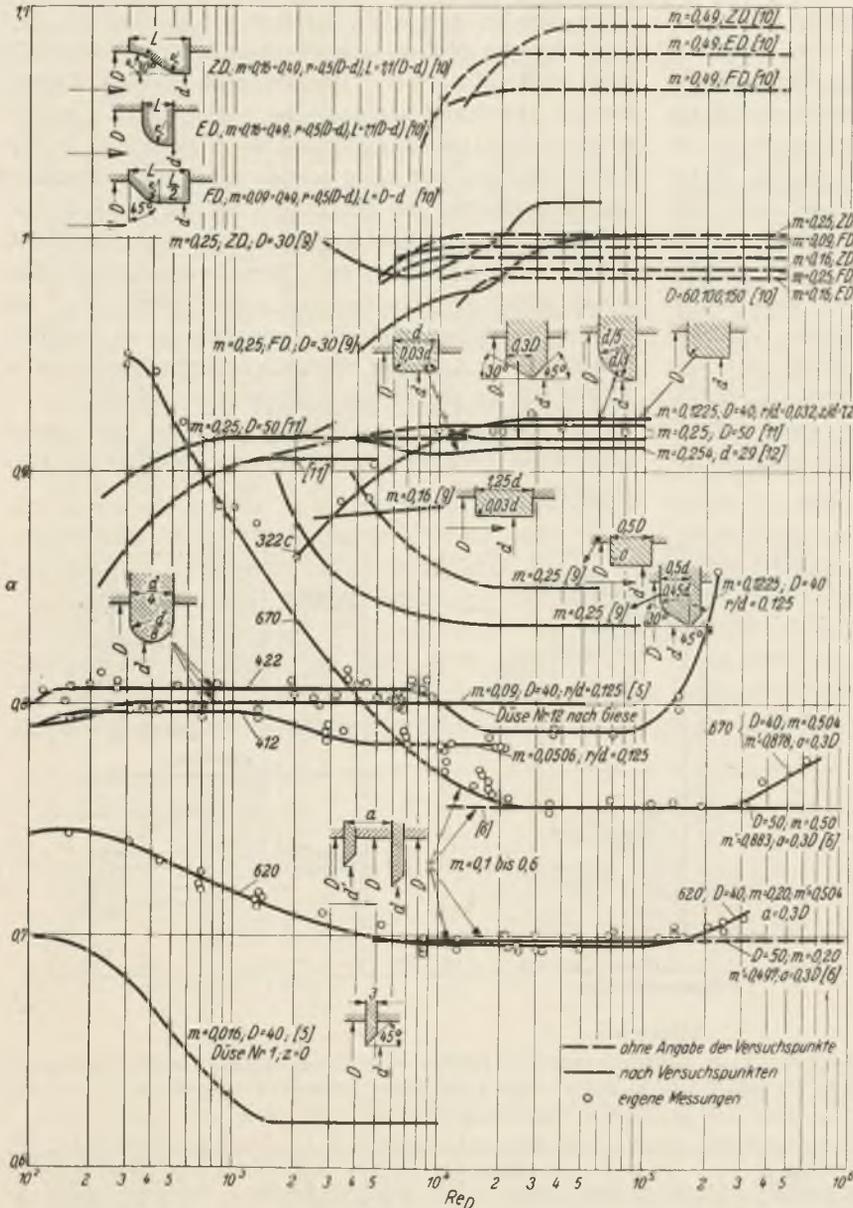


Bild 5. α -Kurven der Drosselgeräte nach bisherigen Veröffentlichungen.

III. Neue Drosselgerätförmungen für die Durchfluß-Messung bei kleinen und mittleren Reynoldszahlen.

Aus allen diesen Versuchen ergibt sich, daß die Maßnahmen, die bisher getroffen worden sind, die α -Kurve konstant zu erhalten, nur in einem gewissen Bereich oder bei einem bestimmten Öffnungsverhältnis brauchbare Resultate ergaben. Die beiden Faktoren, die die Durchflußzahl α ausschlaggebend beeinflussen, wurden gegeneinander noch nicht eindeutig abgeglichen. Es sind dies der Einfluß des Einlaufprofils, der die Einschnürung des Strahles maßgebend beeinflusst, und die Lage der Minusdruckentnahme.

Die Strömung durch Drosselgeräte erfolgt so, daß bei niedrigen Durchfluß-Geschwindigkeiten der äußere Stromfaden sich an das Düsenprofil vollkommen anschmiegt. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten, also steigenden Reynoldszahlen, tritt dann je nach der Form der Düsen eine Ablösung an dem Punkt der stärksten Krümmung ein, der bei weiter steigenden Geschwindigkeiten allmählich zur Einlaufseite hin wandert. Je nach den Geschwindigkeiten tritt dann eine mehr oder weniger starke Einschnürung des Strahles schon innerhalb und auch kurz nach der Düse ein. Bei hohen Reynoldszahlen tritt durch die Turbulenz im Strahl selbst die Auflösung des eingeschnürten Strah-

les schon früher auf. Sind nun die Düsen entsprechend lang, so kann diese Erweiterung des eingeschnürten Strahles bis innerhalb der Düsen selbst wandern.

a) Die Viertelkreis-Düse. Das Einlaufprofil, das durch die Einschnürung die α -Kurve ausschlaggebend beeinflußt wird, besteht bei der Normdüse (Bild 2) zu Beginn aus einem Kreis mit einem kleinen Krümmungsradius ($r = 0,2 d$), der in einen Kreis mit größerem Krümmungsradius ($r = d/3$) übergeführt wird. Der Ablösepunkt des Strahles wandert also auf einer ungleichmäßig gekrümmten Leitkurve. Wenn man versuchen will, durch die Ausbildung des Einlaufprofils die α -Kurve zu beeinflussen, so ist dies auf einfache Weise nur möglich, wenn man die Fläche des Einlaufprofils gleichmäßig krümmt, also einen Viertelkreis wählt (siehe Bild 6). Durch Variation der einen Größe des Abrungradius r kann dann die Abhängigkeit der α -Kurve von diesem Krümmungsradius festgestellt werden.

Versuche mit der Viertelkreis-Düse⁷ haben ergeben, daß es tatsächlich möglich ist, mit der Form des Viertelkreises brauchbare Düsenformen für alle kleinen und mittleren Öffnungsverhältnisse zu finden.

Die Strömung durch die Viertelkreis-Düse bildet sich so aus, daß bei niedrigen Reynoldszahlen keine Einschnürung des Strahles eintritt und der Austrittsquerschnitt voll ausgefüllt wird. Die α -Werte liegen demnach ziemlich hoch. Bei steigenden Reynoldszahlen beginnt nun eine Ablösung des Strahles innerhalb der Düse in der Nähe des Austrittsquerschnittes einzutreten, die bei größer werdenden Reynoldszahlen in dem Maß nach vorn zu wandert, daß die Einschnürung des Strahles sich mit der Abnahme des Einflusses der inneren Reibung kompensiert. Erst bei sehr hohen Reynoldszahlen tritt eine Störung dieses Gleichgewichtszustandes dadurch auf, daß infolge der sich stärker auswirkenden steigenden Turbulenz des Strahles eine Erweiterung des Strahles auch am Austrittsquerschnitt eintritt, wodurch die α -Werte steil ansteigen.

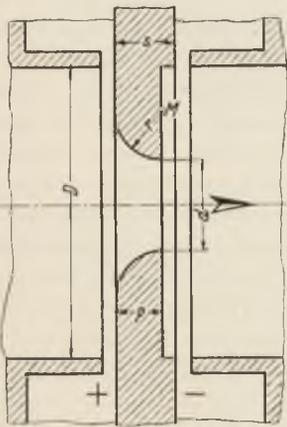


Bild 6. Viertelkreis-Düse.

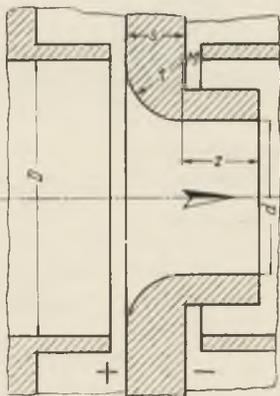


Bild 7. „Kombinierte“ Viertelkreis-Zylinderdüse.

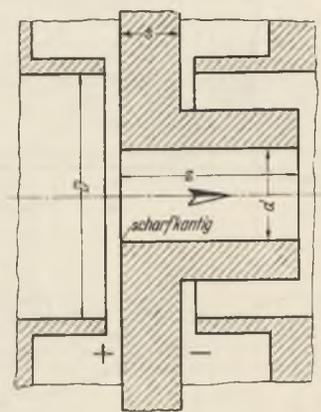


Bild 8. Zylinderdüse.

b) Die Zylinder-Düse. Die andere Möglichkeit, die α -Kurve eindeutig auf einfachem Wege zu beeinflussen, besteht in der Wahl der Lage der Minus-Druckentnahme, wobei man zweckmäßig das Einlaufprofil, ähnlich wie bei einer Blende, scharfkantig ausbildet, so daß die Einschnürung konstant bleibt. Dies führt zu Zylinder-Düsen (siehe Bild 8).

Bei den Zylinder-Düsen bildet sich die Strömung durch die Düsen so aus, daß eine Einschnürung an der Einlaufseite ähnlich wie bei einer Blende erfolgt. Je nach der Größe der Einschnürung und der Turbulenz des Strahles legt sich dann der Strahl selbst früher oder später an die Wand der Zylinder-Düse wieder an. Der Minus-Druckentnahme-Punkt muß nun so gelegt werden, daß bei kleineren Reynoldszahlen die Einschnürung des Strahles an dieser Stelle noch groß ist, da der Einfluß der inneren Reibung ebenfalls groß wird. Bei wachsenden Reynoldszahlen wird dann infolge des höheren Einflusses der Turbulenz des Strahles die Einschnürung an dieser Stelle geringer und muß sich im Verhältnis des Fallens des Einflusses der inneren Reibung verringern.

c) Die „kombinierte“ Viertelkreis-Zylinder-Düse. Durch Kombination dieser beiden Größen: Der Abrundung des Einlaufprofils durch einen Viertelkreis und die Lage der Minusdruckentnahme durch Ausbildung eines Auslaufzylinders, können noch weitere Düsenformen entwickelt werden, die sogenannten „kombinierten“ Viertelkreis-Zylinder-Düsen (siehe Bild 7). Bei diesen wird die Strömung sowohl durch die Krümmung des Einlaufprofils wie durch die Lage der Minus-Druckentnahme durch die Länge des Zylinders beeinflusst.

Bei den „kombinierten“ Düsen werden beide Einflüsse gleichzeitig ausgenutzt, und zwar wird bei maximaler Abrundung die Zylinderlänge so gewählt, daß durch die Lage der Minus-Druckentnahme derselbe Effekt wie bei der reinen Zylinderdüse auftritt.

Die Ergebnisse mit Drosselgeräten, die nach diesen Richtlinien hergestellt wurden, sind im Blatt 1242–2 zusammengefaßt.

Literatur.

1. G. Ruppel, Drosselgeräte als Meßdruckgeber, ATM V 1241–1 (1931).
2. G. Ruppel, Durchflußmessung, ATM V 1241–2 (1932).
3. Le esperienze Italiane sui Boccagli e sui Diaframi Unificati L. Ferroglia, Uni 160 Milano.
4. „Regeln“ für die Durchflußmessung mit genormten Düsen und Blenden DIN 1952, III. Aufl., 1935.
5. H.-G. Giese, Mengenummessung mit Düsen und Blenden, Forsch. Ing. Wes. Bd. 4 (1933), S. 11.
6. G. Wälzholz, Die Doppelblende, Forsch. Ing. Wes. Bd. 7 (1936), S. 191.
7. W. Koennecke, Forsch. Ing. Wes. Bd. 9 (1938). Neue Düsenformen für kleinere und mittlere Reynoldszahlen, S. 109.
8. „Regeln“ Din 1952, III. Auflage, Abs. 45, 46, 79.
9. „Regeln“ Din 1952, III. Auflage, A.B. 1.
10. H. Richter, Versuche mit neuen Formenvon Durchflußdüsen, Forsch. Ing. Wes. Bd. 2 (1931), S. 387.
11. R. Witte, Durchflußzahlen von Düsen und Staurändern, Techn. Mech. Thermodyn. Bd. 1 (1930), S. 113.
12. M. Maekawa, J. Soc. mech. Engrs. Jap. Bd. 37 (1934), Nr. 209, S. 83 und 599.

Anzeigedämpfung von Thermometern bei zeitlichen Temperaturänderungen

V
21-2

Verfasser: Dr.-Ing. Fritz Lieneweg, Berlin

DK 621.314.224.3.088

Durch die Anzeigetragheit eines Thermometers ist bei Temperaturänderungen, z. B. beim Härten von Stahl, beim Erwärmen oder Abkühlen von Flüssigkeiten, beim Umschalten von Regeneratoren, bei Regelvorgängen usw. ein Nachhinken der Anzeige des Thermometers gegenüber der wahren Temperatur seiner Umgebung bedingt. Das zu untersuchende Medium kann nun seine Temperatur entweder einmalig, plötzlich oder mehr oder weniger schnell mit der Zeit ändern. Außerdem hat man mit periodisch um eine Mitteltemperatur schwankenden Temperaturänderungen zu rechnen. Ist ein Über- oder Unterschreiten eines bestimmten Temperaturwertes nicht zulässig, so muß man für diese Vorgänge aus der angezeigten Temperatur die wahre Temperatur der Umgebung bestimmen oder mit Sicherheit ein Thermometer von solch kurzer Anzeigeverzögerung zur Messung auswählen können, daß es den vorkommenden Temperaturänderungen genügend trägheitslos folgt.

Man muß also feststellen können

1. bei einmaligen, plötzlichen sowie bei proportional der Zeit verlaufenden Temperaturänderungen das Verhältnis der vom Thermometer jeweils angezeigten Temperatur Θ zur wahren Temperatur der Umgebung Θ_c (Bild 1a und b),
2. bei periodisch verlaufenden Temperaturänderungen mit der Periodendauer t_0 das Verhältnis der vom Thermometer angezeigten maximalen Temperaturabweichung vom Temperaturmittelwert Θ zur wahren maximalen Temperaturabweichung der Umgebung Θ_c (Bild 1c).

Dieses Verhältnis $\Theta/\Theta_c = \eta$ nennt man den Verkleinerungsfaktor oder Dämpfungsgrad. Er ist außer durch die Art der Temperaturänderung lediglich durch die Anzeigetragheit bzw. Anzeigeverzögerung des benutzten Thermometers bedingt. Diese wird durch die „Halbwertzeit H “ ausgedrückt als Zeit, die vergeht, bis das Thermometer den halben Wert einer einmaligen, plötzlichen Temperaturänderung anzeigt (siehe ATM V 21—1,

in dem die Verfahren geschildert sind, wie die Halbwertzeiten H für beliebige Thermometer in beliebigen Stoffen bestimmt werden können).

Anzeigedämpfung bei einmaligen, plötzlichen Temperaturänderungen. Ändert das zu messende Medium plötzlich seine Temperatur (Bild 1a), so folgt das Thermometer dieser Temperaturänderung annähernd nach einem Exponentialgesetz (siehe ATM V 21—1)

$$\Phi = \frac{\Theta_m}{\Theta_c} = \frac{\Theta_c - \Theta}{\Theta_c} = e^{-\frac{t}{H}} = e^{-\frac{0,693 t}{H}} \quad (1)$$

Der relative Temperaturfehler Φ zur Zeit t kann nach ATM V 21—1 Bild 1 durch Einzeichnen der der Halbwertzeit H des Thermometers entsprechenden Geraden bestimmt werden. Er steht mit dem Dämpfungsgrad in der Beziehung

$$\eta = \frac{\Theta}{\Theta_c} = 1 - \Phi \quad (2)$$

Der Verkleinerungsfaktor 0,9 bzw. 0,95 wird demnach nach einer Zeit von 3,3 H bzw. 4,35 H erreicht.

Anzeigedämpfung bei der Zeit proportionalen Temperaturänderungen. Für Temperaturänderungen, die proportional der Zeit verlaufen (Bild 1b), wie z. B. bei Heiz- und Kühlvorgängen, ist der Dämpfungsgrad η zur Zeit t' berechenbar aus den Gesetzmäßigkeiten für den zeitlichen Temperaturverlauf von Körpern, deren Umgebung sich linear mit der Zeit erwärmt oder abkühlt¹. Hieraus und aus den Kurven, die zur Bestimmung der Halbwertzeit H in Abhängigkeit von der Wärmeübergangszahl α und der Wärmeleitfähigkeit λ in ATM V 21—1 Bild 2 wiedergegeben sind, kann die Beziehung zwischen der Anzeigedämpfung η und der Halbwertzeit H eines Thermometers für beliebige Heiz- oder Abkühlzeiten t' aufgestellt werden (Bild 2)¹. Die gleichen Kurven erhält man nach H. Grüß¹ auch aus der Exponentialfunktion (1). Nach Unterbrechung der Anheizung (Bild 1b) nimmt der Temperaturunterschied zwischen dem Medium und der Anzeige des Thermometers nach einer durch seine Anzeigetragheit gegebenen Ex-

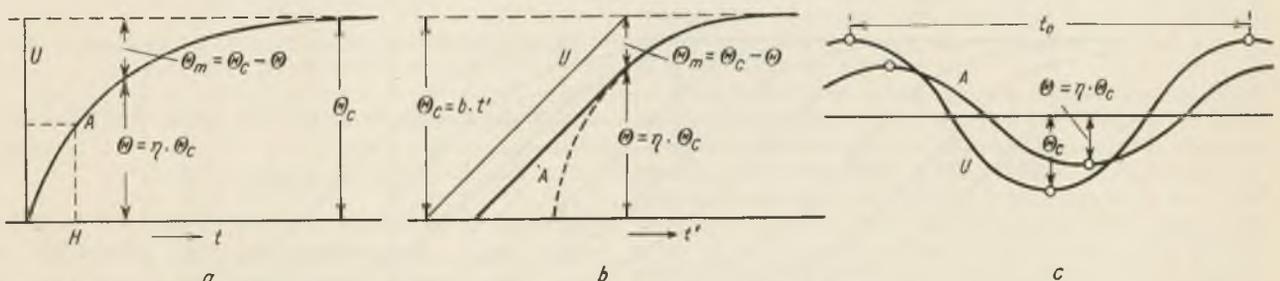


Bild 1. Zeitlicher Verlauf der Umgebungstemperatur U und der Anzeige eines Thermometers A , a) bei einmaligen, plötzlichen Temperaturänderungen, b) bei der Zeit proportional verlaufenden Temperaturänderungen, c) bei periodischen Temperaturänderungen (harmonische Schwingung).

ponentialfunktion ab. Zu dieser Zeit muß deshalb der Differentialquotient der Gleichung (1) gleich dem Temperaturgradienten der Anheizung $b = \frac{\Theta_c}{t'}$ sein. Aus dieser Forderung errechnet sich der Dämpfungsgrad zu:

$$\eta = 1 - \frac{H}{0,693 t'} \quad (3)$$

Beispiel: Bei einer Temperaturregelung schwankt die vom Thermometer angezeigte Temperatur um $\pm 10^\circ \text{C}$. Für eine Halbwertzeit $H = 95 \text{ s}$ und eine Periodendauer von $0,1 \text{ h}$ ist $\eta = 0,43$ (Bild 3). Die wahre Temperaturschwankung beträgt also $10 : 0,43 = 23^\circ \text{C}$. Darf die zulässige Temperaturerhöhung den Sollwert um höchstens 12°C überschreiten, so muß η

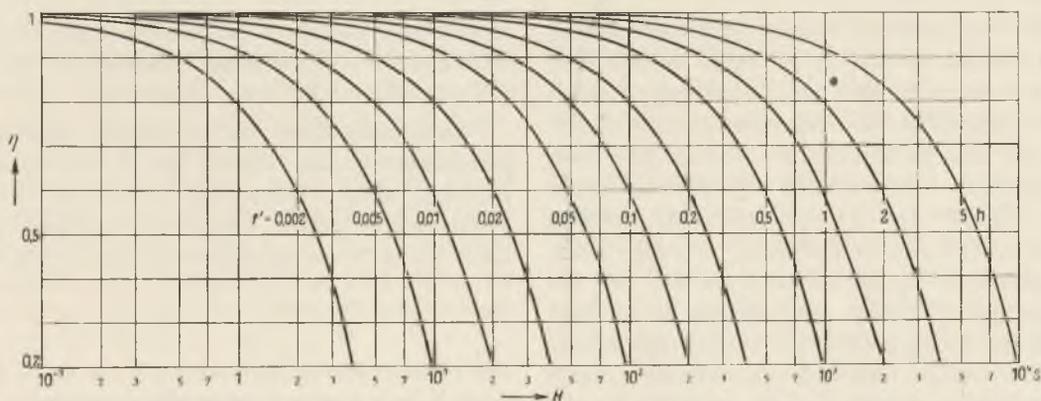


Bild 2. Dämpfungsgrad η bei der Zeit proportionalen Temperaturänderungen in Abhängigkeit von der Halbwertzeit H mit der Erwärmungsdauer t' als Parameter.

Beispiel: Ein Stoff werde in $0,2 \text{ h}$ von 20 auf 170°C erwärmt. Bei einer Halbwertzeit des Thermometers von 95 s ist der Dämpfungsgrad $\eta = 0,80$ (Bild 2), also die angezeigte Temperatur $0,80 \cdot (170 - 20) + 20 = 140^\circ \text{C}$. Soll die Temperatur von 170°C nicht überschritten werden, so müßte bei Verwendung dieses Thermometers die Heizung bereits bei 140°C Anzeige des Thermometers abgebrochen werden. Für ein Thermometer von $H = 10 \text{ s}$ beträgt der Verkleinerungsfaktor $0,98$. Die angezeigte Temperatur ist dann beim Abschalten annähernd gleich der wahren Temperatur (167° statt 170°C).

Anzeigedämpfung bei periodischen Temperaturänderungen. Auch für periodisch verlaufende Temperaturänderungen (Bild 1c) kann man den Dämpfungsgrad η berechnen aus den Gesetzmäßigkeiten für den zeitlichen Temperaturverlauf von Körpern, deren Umgebungstemperatur sich periodisch um einen Mittelwert ändert². Durch Kombination dieser Gesetzmäßigkeiten mit den Kurven zur Bestimmung der Halbwertzeit H (ATM V 21—1 Bild 2) kann wiederum die Beziehung zwischen der Anzeigedämpfung η und der Halbwertzeit H eines Thermometers für beliebige Periodendauern t_0 bestimmt werden¹ (Bild 3).

größer als $10:12 = 0,83$ sein. Die Halbwertzeit H des Thermometers darf also nicht größer als 30 s sein.

Die Genauigkeit der aus den Kurven ermittelbaren Dämpfung beträgt $\pm 10\%$ vom relativen Temperaturfehler $\Phi = 1 - \eta$. Je größer η ist, je mehr also die Temperatur des Thermometers der wahren Temperatur gleichkommt, um so größer ist die absolute Genauigkeit des zu bestimmenden Temperaturunterschiedes.

Aus den dargestellten Kurven kann man also für alle Arten von Temperaturänderungen, die praktisch vorkommen, aus der Anzeige des Thermometers die wahre Temperatur seiner Umgebung bei bekannter Halbwertzeit des Thermometers und gegebener Heizzeit oder Periodendauer bestimmen. Darf eine Überhitzung des Mediums nicht eintreten, so muß man die Heizung bereits unterbrechen, wenn das Thermometer den berechenbaren Temperaturwert erreicht hat. Ebenso darf bei Regelvorgängen die unter Berücksichtigung des Dämpfungsgrades ermittelbare höchstzulässige Anzeigeschwankung nicht überschritten werden. Man kann aber auch auf Grund dieser Kurven die Auswahl der Thermometer hinsichtlich ihrer Anzeigeverzögerung so treffen, daß bei den vorkommenden Zeiten der Dämpfungsgrad $\eta = 1$ und damit die angezeigte Temperatur gleich der wahren Temperatur wird.

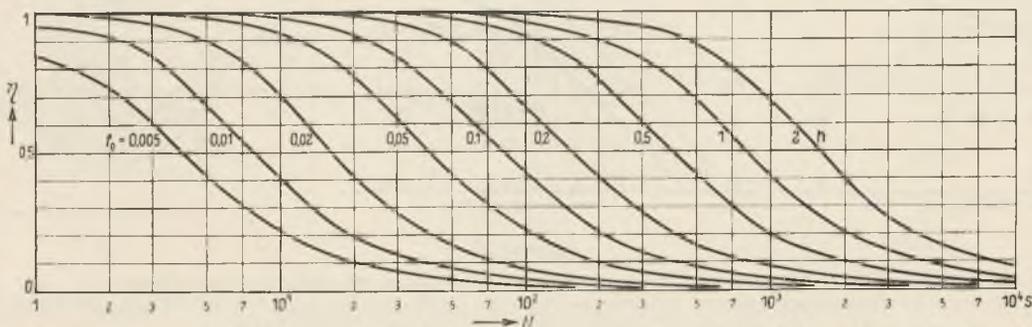


Bild 3. Dämpfungsgrad η bei periodischen Temperaturänderungen in Abhängigkeit von der Halbwertzeit H mit der Periodendauer t_0 als Parameter.

Literatur.

1. F. Lieneweg, Wiss. Veröff. Siemens-Werke XVII, 4 (1938), S. 19...32. — 2. H. Gröber, Forsch. Ing. Wes. H. 300 (1928), S. 3...13.

Schlupf- und Belastungsmesser mit stetiger Anzeige

V
3611-1

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. P. Böning, Breslau

DK 621.317.764
621.317.782

Aufgabe. Da der Schlupf eine kennzeichnende Größe der asynchronen Induktionsmotoren ist, ist seine genaue Messung wünschenswert. Das zu diesem Zweck bestimmte Gerät sollte folgende Bedingungen erfüllen:

1. Unabhängigkeit vom Läuferstrom, damit es bei Motoren mit Kurzschlußläufer benutzt werden kann.
2. Verwendbarkeit für Wechselstrom- und Drehstrommotoren.
3. Brauchbarkeit für kleinen, großen und negativen Schlupf.
4. Stetige Angabe des Augenblickswerts.
5. Fernmessung.
6. Kleiner Leistungsverbrauch, um auch für kleine Motoren verwendbar zu sein.

Ein Gerät, das diesen Bedingungen gerecht wird, wird im folgenden beschrieben.

Da der Schlupf innerhalb des Hauptarbeitsbereichs des Motors sehr nahe der Belastung proportional ist, kann das Gerät als Belastungsmesser dienen.

Theoretische Grundlagen. Eine rechteckige Schleife (Bild 1) mit den Seiten a, b drehe sich mit der konstanten Winkelgeschwindigkeit ω_2 entgegen dem Uhrzeigersinn um die horizontale Achse 0 . Durch 0 sei ein Achsenkreuz x, y gelegt. Zur Zeit $t=0$ falle $a-b$ mit der senkrechten y -Achse zusammen (a auf $+y$); dann ist der von $a-b$ nach einer Zeit t beschriebene Winkel $\alpha = \omega_2 t$.

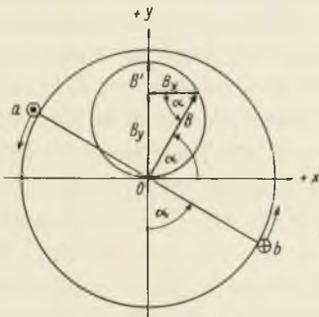


Bild 1. Vektordiagramm der Flußgrößen bei synchronem Lauf der Schleife $a-b$.

Die Schleife werde von einem Wechselstrom durchflossen

$$J_t = J' \sin(\omega_1 t + \varphi),$$

wobei J' der Höchstwert der Stromstärke, $\omega_1 = 2\pi f$ die elektrische Winkelgeschwindigkeit (oder Kreisfrequenz) und f die Frequenz des Stromes ist.

Unter der Voraussetzung, daß $\omega_1 = \omega_2$ und $\varphi = 0$, wird

$$J_t = J' \sin \alpha.$$

Für $\alpha = 90^\circ$ ist $J_t = J'$; dabei sei willkürlich festgesetzt, daß die Richtung des Stromes in der Seite a aus der Zeichenebene sei.

Der Strom erzeugt einen Kraftfluß, der die Schleifenebene senkrecht durchdringt. Die in der Mitte der Schleife (senkrecht zu $a-b$) herrschende Flußdichte ist

$$B = k J' \sin \alpha.$$

Setzt man $k J' = B'$, so ist auch

$$B = B' \sin \alpha.$$

Diese Funktion läßt sich graphisch darstellen. Man zeichnet (Bild 1) einen Kreis mit dem Durchmesser $0,5 B'$, dessen Mittelpunkt auf der $+y$ -Achse liegt, und der durch den Nullpunkt des Achsenkreuzes geht. Der Kreis schneidet aus der zu $a-b$ Senkrechten den Wert von B aus, der dem Drehwinkel $\alpha = \omega_1 t$ entspricht.

Zerlegt man B in zwei Komponenten, von denen die eine in die x -Richtung, die andere in die y -Richtung fällt, so wird

$$B_x = B \cos \alpha \quad B_y = B \sin \alpha \text{ und}$$

$$B_x = B' \sin \alpha \cos \alpha = 0,5 B' \sin 2\alpha$$

$$B_y = B' \sin^2 \alpha = 0,5 B' (1 - \cos 2\alpha).$$

Die zweite Beziehung hat das konstante Glied

$$B_{y1} = 0,5 B'.$$

Eliminiert man dies, so bleibt

$$B_{x2} = 0,5 B' \sin 2\omega_1 t$$

$$B_{y2} = 0,5 B' \cos 2\omega_1 t.$$

Die Resultierende hieraus ist

$$B_{t2} = 0,5 B' \sqrt{\sin^2 2\omega_1 t + \cos^2 2\omega_1 t} \\ = 0,5 B' = \text{konst.}$$

Die resultierende Flußdichte ist also konstant; ihre Richtung dreht sich aber mit der Winkelgeschwindigkeit $2\omega_1$ entgegen dem Uhrzeigersinn, d. h. im Sinne der Schleifendrehung (Drehfluß).

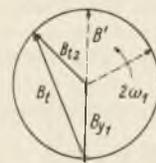


Bild 2. Zusammensetzung des konst. Vektors B_{y1} und des Drehvektors B_{t2} .

In einem beliebigen Augenblick setzen sich B_{y1} und B_{t2} geometrisch zusammen zum absoluten Wert B_t (Bild 2). Dieser schwankt zwischen dem Null- und Höchstwert B' ; sein Mittelwert ist $0,5 B'$.

Ordnet man innerhalb der Schleife, drehbar um die Schleifenachse, eine Magnetnadel an, so ist die Wirkung der Drehflußkomponente auf sie Null. Sie stellt sich daher in Richtung von B_{y1} ein, und zwar mit dem Nordpol in der $+y$ -Richtung. Voraussetzung dabei ist, daß das Trägheitsmoment der Nadel hinreichend groß ist, damit sie nicht den Schwankungen, sondern nur der Hauptrichtung des Feldes folgt. (Der Einfluß des erdmagnetischen Feldes sei vernachlässigt; er kann jedenfalls durch entsprechende Maßnahmen ausgeglichen werden.)

Die Schleife werde von einem zweipoligen Asynchronmotor (am gleichen Netz) angetrieben; dann ist ihre Winkel-

geschwindigkeit $\omega_2 < \omega_1$. In diesem Fall beschreibt die Schleife einen um $\beta = (\omega_1 - \omega_2)t$ kleineren Winkel als vorher in der gleichen Zeit (Bild 3). Ebenso bleiben B' und B gegenüber der früheren Lage um den Winkel β zurück, und es ergeben sich andere Werte für B_x und B_y . Dreht man aber das Bezugssystem x, y um den Winkel entgegen der Drehrichtung

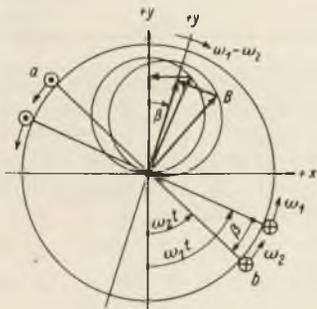


Bild 3. Vektordiagramm der Flußgrößen bei asynchronem Lauf der Schleife a-b.

der Schleife, so erhält man für den betrachteten Augenblick unter sonst gleichen Umständen die gleichen Werte für B_x und B_y . So ergeben sich für jeden Augenblick die im vorigen Abschnitt abgeleiteten Beziehungen, wenn sich das Bezugssystem mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit $\omega' = \omega_1 - \omega_2$ gegenseitig zur Schleife dreht. In diesem Falle ist bei ruhendem Bezugssystem x, y

$$B_x = B' \sin \omega_1 t \cos \omega_2 t$$

$$B_y = B' \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t$$

oder in anderer Form

$$B_x = 0,5 B' [\sin (\omega_1 + \omega_2)t + \sin (\omega_1 - \omega_2)t]$$

$$B_y = 0,5 B' [-\cos (\omega_1 + \omega_2)t + \cos (\omega_1 - \omega_2)t].$$

Ebenso wie die Komponenten kann man die resultierende Flußdichte durch zwei Summanden darstellen. Faßt man zunächst die beiden letzten Glieder zusammen

$$B_{x1} = 0,5 B' \sin (\omega_1 - \omega_2)t$$

$$B_{y1} = 0,5 B' \cos (\omega_1 - \omega_2)t,$$

so folgt

$$B_{t1} = 0,5 B' \sqrt{\sin^2 (\omega_1 - \omega_2)t + \cos^2 (\omega_1 - \omega_2)t}$$

$$= 0,5 B' \text{ konst.},$$

d. h. es ergibt sich wieder eine Flußdichte, die zeitlich konstant ist, deren Richtung sich aber mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega' = \omega_1 - \omega_2$ entgegen dem Drehsinn der Schleife dreht (langsamer Drehfluß).

Ebenso ergibt sich durch Zusammenfassung der anderen Summanden:

$$B_{x2} = 0,5 B' \sin (\omega_1 + \omega_2)t$$

$$B_{y2} = -0,5 B' \cos (\omega_1 + \omega_2)t$$

$$B_{t2} = 0,5 B' = \text{konst.}$$

Auch hier ist das Ergebnis ein Drehfluß; er dreht sich aber mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega'' = \omega_1 + \omega_2$ gleichsinnig mit der Schleife (schneller Drehfluß). Beide Drehflüsse überlagern sich. In jedem Augenblick addieren sich B_{t1} und B_{t2} nach Größe und Richtung. Ihre geometrische Summe B_t schwankt zwischen dem Wert Null und dem Höchstwert (Bild 4). Die träge Nadel folgt der Hauptrichtung

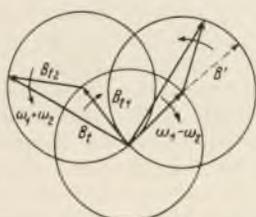


Bild 4. Zusammensetzung des langsamen Drehvektors B_{t1} mit dem schnellen B_{t2} .

des langsamen Drehflusses; sie dreht sich also mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega' = \omega_1 - \omega_2$ entgegen der Drehrichtung der Schleife.

$$\text{Ist nun } n_1 = 60 \frac{\omega_1}{2\pi} = \text{synchrone Drehzahl,}$$

$$n_2 = 60 \frac{\omega_2}{2\pi} = \text{asynchrone Drehzahl,}$$

so wird die auf die synchrone Drehzahl bezogene Drehzahldifferenz, d. h. der Schlupf

$$\sigma = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

Beim Betrieb des vorliegenden Geräts ist n_1 bekannt, die Nadeldrehzahl $n' = n_1 - n_2$ wird mit Hilfe einer Stoppuhr gemessen, daraus ergibt sich

$$\sigma = \frac{n'}{n_1};$$

d. h. die Anordnung dient als Schlupfmesser.

Ausführung. Bei einer ersten Versuchsausführung wurde die Schleife (a—b, Bild 1) bzw. eine Spule mit auf Nuten verteilten Spulenseiten von einem (statorähnlichen) Hohlzylinder aus Hartgummi getragen, der mit der einen, geschlossenen Stirnseite fliegend auf dem Wellenstumpf eines kleinen, zweipoligen Asynchronstrommotors angeordnet war. Auf einem Ansatz des Zylinders waren zwei Schleifringe zur Stromzuführung angebracht. In den Hohlzylinder tauchte mit geringem Spiel eine dünnwandige Büchse (ebenfalls aus Hartgummi), die von einem feststehenden Träger gehalten wurde. In der Büchse, also gegen die Luftbewegung geschützt, war die „Nadel“ angeordnet. Sie bestand aus einem prismatischen Stück Koerzit 600 war 35 mm lang und saß auf einer Welle, die einerseits von einem Lager am Boden der Büchse und andererseits von einer Durchführung im Deckel getragen wurde. Auf dem nach außen ragenden Wellenstumpf konnte ein Zeiger oder ein Zahnrad befestigt werden.

Wurde der Asynchronmotor in Betrieb gesetzt und gleichzeitig die Spule an die Klemmenspannung des Motors gelegt, so drehte sich die Nadel entsprechend der Theorie mit der Schlupfdrehzahl, d. h. bei Leerlauf sehr langsam, mit zunehmender Belastung schneller.

Wesentlich für die Anordnung ist folgendes:

Bis zu einer gewissen Grenze kann man die Schlupfdrehzahl durch Abzählen der Zeigerumdrehungen und mit Hilfe einer Stoppuhr messen. Bei höheren Drehzahlen ist das Verfahren jedoch ermüdend, und schließlich versagt es. Aber die Anordnung gestattet ohne weiteres, die augenblickliche Schlupfdrehzahl an einem Anzeigergerät abzulesen, und zwar an einem beliebigen Ort (Fernmessung). Dazu stehen bereits erprobte Verfahren verschiedener Art zur Verfügung, z. B. das Impulssummenverfahren. Bei kleinen Leistungen des zu untersuchenden Motors kann ein photoelektrischer Impulsgeber angebracht sein; die Belastung beschränkt sich dann auf die Bürsten- und Luftreibung, die sehr klein gehalten werden kann. Das Gerät mit Anzeigevorrichtung kann als Belastungsmesser dienen.

Bei mehrpoligen Motoren wird das Schlupfmeßgerät entweder ebenfalls mehrpolig ausgeführt (bzw. umschaltbar und mit auswechselbarem Rotor), oder es wird durch ein Getriebe mit veränderlicher Übersetzung angetrieben.

Geophysikalische Messungen

Verfahren der Funkmutung

V

65—9

Verfasser: Dipl.-Ing. Dr. Volker Fritsch, Brünn

DK 550.837.7

1. Allgemeines. Unter Funkmutung versteht man Verfahren, die durch funktechnische Vermessung irgendwelche geologische Leiter, insbesondere aber nützliche Vorkommen nach Lage, Ausdehnung und Beschaffenheit bestimmen sollen, ohne diese mechanisch anzufahren. Sie gehört in das Arbeitsgebiet der Funkgeologie, einer neuen Grenzwissenschaft zwischen der Funkphysik und den geologisch-mineralogischen Wissenschaften. Die Funkgeologie hat allgemein die Wechselbeziehungen zu erforschen, die zwischen der gleichzeitigen Existenz eines geologischen Leiters und eines hochfrequenten Wechselstromes oder Feldes bestehen.

Prinzipiell wird bei der Funkmutung immer so vorgegangen, daß die durch die Existenz des zu mutenden Vorkommens bedingte Stromänderung oder Feldverformung gemessen wird und aus dieser Messung dann zunächst auf die elektrischen und aus diesen wieder auf die geologisch-mineralogischen Eigenschaften des betreffenden Vorkommens geschlossen wird. Ihre Anwendung setzt daher die Zusammenarbeit mit den Geologen, Hydrologen, Mineralogen und noch anderen Wissenschaftlern fallweise voraus.

Bei Anwendung der Funkmutung stehen drei verschiedene meßbare Bestimmungsstücke zur Verfügung: Stärke, Frequenz und Phasenlage des Feldes oder Stromes. Gegenüber anderen Verfahren der angewandten Geophysik bietet sie daher den Vorteil der vielseitigeren Modifikationsmöglichkeit.

2. Der geologische Leiter. Unter einem geologischen Leiter, dessen Studium die wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung der Funkmutung darstellt, verstehen wir jedes Mineralkorn, jede Mineralverbindung und schließlich jeden geologischen Körper, der in die Strombahn oder den Feldraum tritt. Er besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen. In elektrischer Hinsicht sind vor allem folgende Faktoren von Wichtigkeit:

- a) der Raumanteil der Bestandteile,
- b) die gegenseitige Lage der Bestandteile und deren Orientierung gegen die Strom- oder Feldrichtung,
- c) die elektrischen Eigenschaften der Bestandteile.

Das Ersatzschema des geologischen Leiters berücksichtigt dessen Eigenschaften als komplexen Widerstand. Es besteht praktisch aus Kapazität und Ohmschen Widerstand in Reihen- oder Nebenschaltung. Das Ersatzschema muß unter Umständen berücksichtigen, daß der Winkel den die Meßachse mit der Richtung des Stromes oder Feldes einschließt, für die Dimensionierung der Ersatzgrößen von Wichtigkeit sein kann. Bei Veränderung der Frequenz tritt fast stets eine Veränderung

des Ersatzschemas ein. Auch bei Änderung der Strom- und Spannungsverhältnisse ist eine solche möglich. Oft werden bei höheren Spannungen isolierende, dünne Zwischenschichten durchschlagen und dadurch die Leitfähigkeit sprunghaft hinaufgesetzt. Umgekehrt kann durch die Austrocknung eines Gesteines bei hohen Stromstärken eine Erhöhung des Widerstandes eintreten. (Fritt- und Trockeneffekt.) Der Einfluß der Frequenz, der bei allen diesen Untersuchungen sehr wichtig ist, ist direkter und indirekter Art. Zunächst wird mit zunehmender Frequenz die imaginäre Widerstandskomponente abnehmen. Dann aber wird der Ohmsche Widerstand in der Regel mit Rücksicht auf den bekannten Skineffekt mit der Frequenz zunehmen. Die Dielektrizitätskonstante ist ebenfalls nicht konstant, sondern schwankt mit der Frequenz. Die Frequenzabhängigkeit ist oft sogar sehr komplizierter Natur.

Als feste Leiterbestandteile kommen die Gesteine in Betracht. Sie sind im allgemeinen ungemein schlechte Leiter. Erze und Kohle besitzen ebenfalls in der Regel sehr hohe spezifische Widerstände, wenn man von einigen wenigen Ausnahmen absieht. Als flüssige Bestandteile kommen jene Lösungen in Betracht, die durch die Berührung des Berg- oder Grubenwassers mit den festen Bestandteilen entstehen. Sie sind für die elektrischen Eigenschaften eines geologischen Leiters — einige wenige Erze abgesehen — von ausschließlicher Bedeutung. Die gasförmigen Einschlüsse haben nur sekundäre Bedeutung. Auch im ionisierten Zustande leisten sie für die Gesamtleitfähigkeit keinen nennenswerten Beitrag.

Die meisten geologischen Leiter sind nur oberflächlich durchfeuchtet. Aus diesem Grunde ist der Widerstand über das gesamte Volumen keineswegs konstant. Oft allerdings sind solche Leiter wieder mit schlechtleitenden Schichten überzogen, die durch die Einwirkung der Witterung entstehen.

Für die elektrischen Eigenschaften größerer geologischer Leitervolumen ist auch die Vegetation von Bedeutung. Durch die Depotwirkung ist die Konzentration und damit die Leitfähigkeit der durch die Vegetationsdecke hindurchfließenden atmosphärischen Wässer wesentlich bedingt.

3. Eigenschaften der geologischen Leiter. Da für die elektrischen Eigenschaften eines größeren mit geologischen Leitern erfüllten Raumes vorwiegend die wäßrigen Lösungen in Betracht kommen, so sind besonders folgende Faktoren zu beachten:

- a) Feuchtigkeitsgehalt pro Volumeneinheit,
- b) Löslichkeit der festen Bestandteile im Wasser,

- c) Temperatur- und Druckverhältnisse; diese werden allerdings in tieferen Schichten oft vernachlässigt werden können,
- d) Geschwindigkeit, mit der die Berg- und Grubenwässer an den festen Mineralien vorbeifließen,
- e) Ionenkonzentration der Lösungen.

Überdies sind natürlich noch viele andere Faktoren zu beachten. Bei Hochfrequenz wird man besonders berücksichtigen müssen, daß die Stromlinienverteilung in mehreren flachen Leiterschichten günstiger ist als in einem Leiter von größerem Volumen.

Je nach dem Gehalt an festen Lösungen und deren elektrischer Beschaffenheit wird die Leitfähigkeit eines geologischen Leiters innerhalb sehr weiter Grenzen schwanken. Dadurch wird es auch oft nahezu unmöglich, verschiedene geologische Leiter auf Grund einer einzigen Meßangabe elektrisch zu unterscheiden, da die

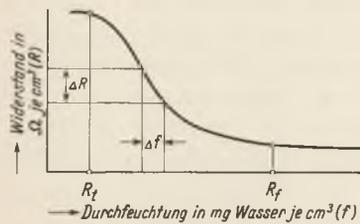


Bild 1. Widerstandskurve eines geologischen Leiters.

Widerstandsbereiche mehrerer Leiter einander praktisch so weit überdecken werden, daß sie eine elektrische Trennung unmöglich machen. Aus diesem Grund muß man zunächst den Widerstand eines geologischen Leiters in Abhängigkeit von seiner Durchfeuchtung untersuchen. In Bild 1 ist eine solche Kurve dargestellt. Auf der Abszisse ist die Durchfeuchtung in mg Wasser pro Raumzentimeter und auf der Ordinate der Widerstand in Ohm oder Megohm pro Raumzentimeter aufgetragen. Die in Bild 1 dargestellte Kurve ist der Deutlichkeit halber etwas verzerrt gezeichnet. Praktisch ist der Abfall noch viel steiler. Wir unterscheiden nun den Trockenwiderstand R_t , den feuchten Widerstand R_f und die relative Widerstandsänderung, die die Steilheit der Kurve im steilsten Teile angibt. Für die Bestimmung des feuchten und trockenen Widerstandes gibt es gewisse Richtlinien, die aber noch nicht einheitlich genormt sind. In der folgenden Tabelle 1 sind einige praktische Werte zusammengestellt.

Wurden zwei verschiedenen geologischen Leitern die Diagrammkörper zugeteilt, so ist es möglich, zu entscheiden, ob diese mit elektrischen Mitteln unterschieden werden können. Durchdringen die Diagrammkörper (siehe Bild 6) einander, so kann die Unterscheidung schon durch eine Einzelmessung möglich werden. Ansonsten kann sie nur dann stattfinden, wenn die Form der zuge teilten Körper verschieden ist. In diesem Falle muß dann die gemessene Größe als Funktion einer Veränderlichen dargestellt werden, wozu eine ganze Meßreihe erforderlich ist.

In Bild 2 und 3 sind praktisch aufgenommene Kurven dargestellt. Der funktionelle Zusammenhang zwischen Durchfeuchtung und Widerstand ist nicht immer umkehrbar. Durch Erwärmung kann z. B. die Durch-

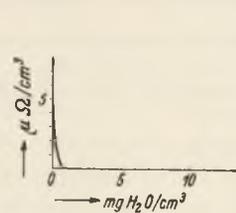


Bild 2. Widerstandskurve eines Bakulitenmergels.

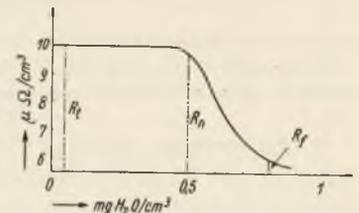


Bild 3. Widerstandskurve eines Kalksandsteins.

feuchtung herabgesetzt, die Konzentration des verbleibenden Restes aber vergrößert werden, so daß der Widerstand dann mit abnehmender Durchfeuchtung entweder konstant bleibt oder sogar noch abnimmt. Ein Beispiel für eine solche Kurve zeigt das Bild 4. Neben der Durchfeuchtung wird man oft auch die Frequenz berücksichtigen müssen. Man erhält dann Diagrammkörper, wie sie z. B. das Bild 5 zeigt. Oft werden solche auch so konstruiert, daß auf den Achsen nur — bei gleichbleibender Durchfeuchtung und bei gleichbleibenden sonstigen Voraussetzungen — die Leitfähigkeit, die Dielektrizitätskonstante und die Frequenz aufgetragen werden, wie dies Bild 6 zeigt.

Wurden zwei verschiedenen geologischen Leitern die Diagrammkörper zugeteilt, so ist es möglich, zu entscheiden, ob diese mit elektrischen

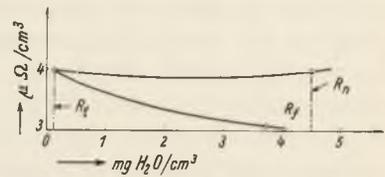


Bild 4. Widerstandskurve eines Kalktuffs.

unterschieden werden können. Durchdringen die Diagrammkörper (siehe Bild 6) einander, so kann die Unterscheidung schon durch eine Einzelmessung möglich werden. Ansonsten kann sie nur dann stattfinden, wenn die Form der zuge teilten Körper verschieden ist. In diesem Falle muß dann die gemessene Größe als Funktion einer Veränderlichen dargestellt werden, wozu eine ganze Meßreihe erforderlich ist.

Tabelle 1. Widerstände geologischer Leiter.

Geologischer Leiter	Fundort	Trockener Widerstand	Feuchter Widerstand	Bemerkung
		R_t	R_f	
		in $M\Omega/cm^3$		
Basalttuff	Winařitz bei Prag	1600	10	normalfeucht 1
Hämatit	Nuřice bei Prag	0,17	0,08	
Quarzgemenge	—	1300	1,5	
Spateisenstein	Kotterbach in der Slowakei	400	gering	
Sandstein	Mittelgebirge	10	0,1	
Mittel-Oligozän	(böh.-sächs. Grenze)			
Schwerspatgemenge	Kotterbach in der Slowakei	800	gering	
Schiefer	do.	1,2	0,3	
Sandsteineinlagerung in Bakulitenmergel	Mittelgebirge	10	0,05	
Lößlehm	Tetschen in Nordböhmen	0,3...0,5	0,04...0,07	
Kalkhaltiger Sandstein	Mittelgebirge	6	—	normal 5
Zeolithisierter Tephrit	Mittelgebirge	5	0,5	normal 0,8
Nephelintephrit	Tetschen	1...1,2	1	normal 1
Lehmiger Sand	Tetschen	—	—	normal 0,5
Kalktuff	Mittelgebirge	4	—	normal 4
Kalksandstein	Mittelgebirge	10	6	
Bakulitenmergel	Mittelgebirge	5	0,06	
Devonkalk	Mähr. Karst bei Brünn	1,2	0,3	

Zu den festen Bestandteilen zählt auch das Eis, das bei niedrigen Frequenzen als Nichtleiter angesehen werden darf. Bei hohen Frequenzen ist dies aber, wie Tabelle 2 zeigt, keineswegs mehr der Fall.

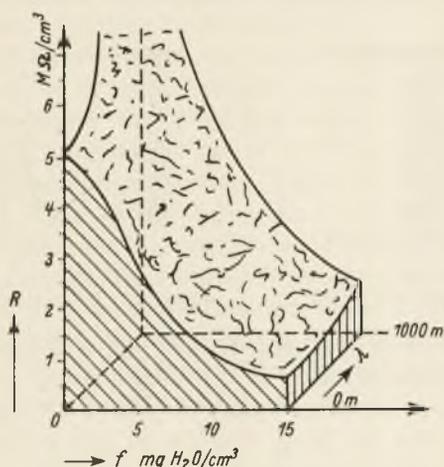


Bild 5. Diagrammkörper eines geologischen Leiters.

Tabelle 2. Widerstand und DK des Eises (nach Granier, C. R. 179, 1924, S. 1313ff.).

Frequenz in Hertz	Spez. Widerstand	DK
6700000	26000	2,05
260000	25000	2,05
5400	27000	12
320	230000	86
4,3 über 10000000		153

Dies ist für uns deshalb wichtig, weil bei Messungen im Winter die Feuchtigkeit der obersten Schichten vereist. Durch Verunreinigung kann die Leitfähigkeit des Eises sprunghaft herabgesetzt werden. Oft ist das Eis von einer dünnen Wasserschicht überzogen, die in der Regel ziemlich gut leitet.

Destilliertes Wasser hat Widerstände bis zu 30000, Grundwasser solche von 1000 bis 15000 Ohm pro Raumzentimeter. Salzwasser kann ganz geringe spezifische Widerstände aufweisen. Wichtig ist, daß Lösungen aus dem Erze in der Regel viel geringere Widerstände aufweisen als solche aus tauben Nebengesteinen. In der Spateisengrube Kotterbach liegen beispielsweise die Verhältnisse folgendermaßen: Im trockenen Zustande ist der Spateisengang als schlechtleitender Einschlus in dem besser leitenden Schiefer aufzufassen. Durch die Wirksamkeit der Berg- und Grubenwässer ändert sich das Verhältnis aber völlig. Die Quellwässer haben ober Tags spezifische Widerstände von einigen 10000 Ohm pro Raumzentimeter. Nehmen wir den Widerstand ober Tags mit 1000 an, so erhalten wir folgende Werte:

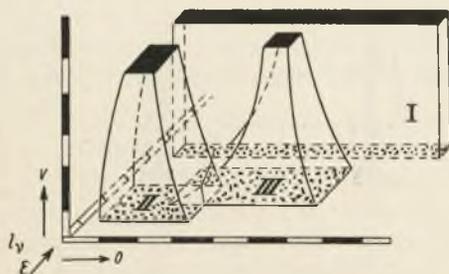


Bild 6. Diagrammkörper geologischer Leiter.

- Wasser aus der erzhaltigen Halde 340
- Grubenwasser aus dem Erze am 1. Lauf . 270
- am 2. Lauf . 180
- am 4. Lauf . 90
- am 6. Lauf . 45

Grubenwasser aus dem tauben Nebengestein am 4. Lauf je nach der Höhe der Überdeckung 130...220.

Die Abnahme des Widerstandes im Erze erfolgt also mit zunehmender Teufe viel rascher als im tauben Nebengesteine.

4. Ausbreitungsverfahren. Wenn wir im Inneren eines geologischen Leitervolumens oder an dessen Begrenzungsfläche eine Hertzsches Feld ausbilden, so können wir aus dessen Verformung auf die elektrischen Eigenschaften der in ihm enthaltenen geologischen Leiter schließen. Darauf beruhen die verschiedenen Ausbreitungsverfahren, die zu den ältesten der Funkmutung gehören.

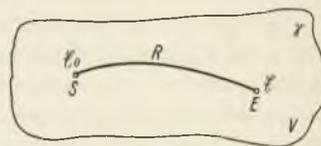


Bild 7. Feldausbreitung.

Schreitet ein Feld, wie dies in Bild 7 gezeigt wird, von S nach E über den Weg R vorwärts, so sind bekanntlich die Feldstärken in folgender Weise bestimmt:

$$E_E = E_S e^{-\gamma R}$$

Hierbei bedeutet γ die sogenannte Extinktion, die von den elektrischen Eigenschaften der geologischen Leiter, von der Frequenz und anderen Faktoren abhängig ist. Oft schreitet das Feld nicht nur über einen, sondern über mehrere Wege zum Aufpunkte E fort. In diesem Falle werden sich Teilfelder überlagern, die in ihrer Phasenlage in der Regel gegeneinander verschoben sein werden. Der Ort aller Punkte gleicher Feldstärke in einer Ebene ist die Feldgleiche. Die Entfernung, in der die Feldstärke auf den $1/e$ ten Teil der ursprünglichen gesunken ist, nennt man die Reichweite. In Bild 8 sind die drei wichtigen Arten der Feldgleichen oder Strahldiagramme dargestellt. Das ursprüngliche Diagramm erhalten wir für einen Sender, der im allseits elektrisch homogenen Raume steht. Steht der Sender auf der Trennebene zweier Räume, von denen der eine homogen, der andere aber infolge verschiedener Einschlüsse nicht homogen ist, so erhalten wir das „ebene“ Diagramm. Ragen in den oberen Teilraum nun noch Leiter aus den unteren hinein, so erhalten wir das „wirkliche“ Diagramm. In Bild 8 sehen wir die Verformung des ursprünglichen Diagramms unter dem Einflusse von Flußläufen im ebenen Gelände in das „ebene“ Diagramm. Würden diese Diagramme noch weiter durch Gebirge verformt werden, so gingen sie in die „wirklichen“ über. Wirk-

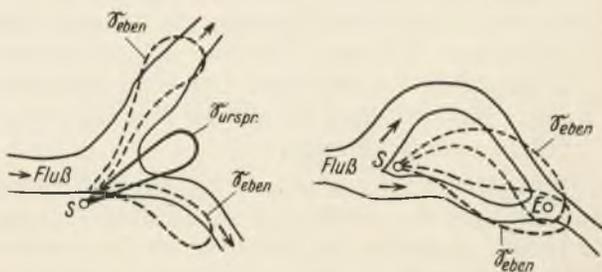


Bild 8. Strahldiagramm.

liches, ebenes und ursprüngliches Diagramm können somit unter gewissen Voraussetzungen auch zusammenfallen.

In Bild 9 sehen wir ein weiteres praktisches Beispiel. Der Fluß hatte ursprünglich die Richtung F' . Später

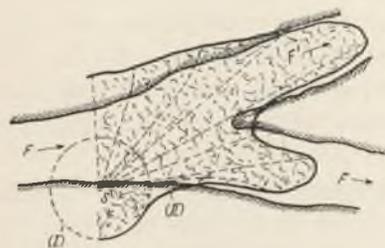


Bild 9. Deformation des Strahlendiagrammes durch einen Fluß.

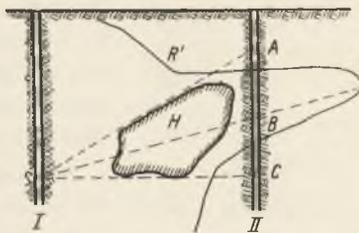


Bild 10. Deformation des Strahlendiagrammes durch eine Höhle.

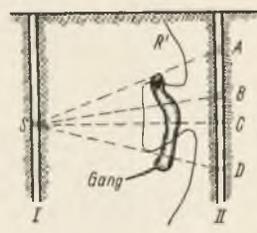


Bild 11. Deformation des Strahlendiagrammes durch einen Erzgang.

wurde er durch Regulierung in das Bett F gebracht. Die Grundwässer verfolgen aber noch die alte Richtung. Man kann diese nun nachweisen, wenn man bei S einen Sender errichtet. Unter dem Einflusse des Flusses wird dessen ursprüngliches Diagramm in der eingezeichneten Richtung verformt. Da die Grundwässer viel besser leiten als das Flußwasser, so ist die Verformung in der Richtung des alten, obertägig ausgetrockneten Bettes stärker als in jener des neuen.

Die Ausbreitungsverfahren der Funkmutung werden sowohl ober als auch unter Tage praktisch verwendet.

Ober Tags wird die Verformung des Strahlendiagrammes bestimmt und aus dieser dann auf die Existenz gutleitender Einschlüsse im Untergrunde geschlossen. Auf diese Weise können Grundwässer, Ausbisse von Spalten und Gängen und andere gute geologische Leiter nachgewiesen werden. Es wird vor allem die Intensität des Feldes und die Richtung des Feldvektors gemessen. Über gutleitendem Untergrunde steht das Feld steil, während es sich über schlechtleitendem Grunde in der Fortpflanzungsrichtung vorneigt. Auch über tiefer liegenden guten geologischen Leitern findet eine Aufrichtung des Feldes statt.

Die älteste Methode ist sicher das Absorptionsverfahren. Bekanntlich ist die Feldstärke vor und nach der Absorption des Feldes in folgender Weise bestimmt:

$$E = E_0 [e^{-\gamma_1 R_1 \cos \varphi_1} + e^{-\gamma_2 R_2 \cos \varphi_2} + \dots]$$

Der Weg R zerfällt nun praktisch in zwei Teile, in jenen Teilweg, der durch das Gebirge führt und „Verschnitt“ heißt und in einen anderen, der in Luft verläuft und der als „Leerlänge“ bezeichnet wird. Es sind prinzipiell zwei verschiedene Verfahren möglich:

- Durch Messung wird die Abnahme der Feldstärke, und aus Karten die Länge des Gesamtweges bestimmt. Unter der Annahme, daß der Weg geradlinig verläuft und daß im untersuchten Gebirge nichts Inhomogenes eingeschlossen ist, kann dann die Schwächungsziffer bestimmt werden.
- Es wird wieder durch Messung die Abnahme der Feldstärke bestimmt. Weiters soll die Schwächungsziffer bekannt sein. Unter der Annahme eines geraden Weges soll aus der Messung dessen Länge ermittelt werden.

Das erste Verfahren wird z. B. bei der Feststellung von Erzgängen, das zweite u. a. bei der Untersuchung von Höhlen verwendet. In Bild 10 ist die Deformation des Strahlendiagrammes durch einen Hohlraum, in Bild 11

durch einen gutleitenden Erzgang dargestellt. Der Sender soll bei S stehen. Ist eine Höhle eingelagert, so wird die Feldstärke im Punkte B größer sein als in A oder C . Wird dagegen ein Erzgang durchstrahlt, so wird die Feldstärke in B und C kleiner als in A und D sein.

Die Schwierigkeiten, die sich der Anwendung des Absorptionsverfahrens in den Weg stellen, sind zweifacher Art. Zunächst einmal ist es oft nicht leicht, den Verlauf und die Länge des Weges zu ermitteln, über den das Feld eingestrahlt wird. Dann aber ist, wie schon erwähnt, die Schwächungsziffer eine mitunter recht komplizierte Funktion der Frequenz. In Bild 12 sind zwei Kurven dargestellt, die dies zeigen. Auf der Ordinate ist das Verhältnis der Feldstärke nach der Durchstrahlung zu jener vor der Durchstrahlung aufgetragen, auf der Abszisse die Wellenlänge. Man sieht, daß die Kurve ein Minimum bei ungefähr 80 m Wellenlänge aufweist. Im Bereiche unter 100 m ist die Form der Kurve bei verschiedenen geologischen Leitern oft kompliziert, und es treten mehrere Extreme auf. Die in Bild 12 dargestellte Kurve heißt „funkgeologische Charakteristik“. Außer vom Verfasser wurde sie auch von Petrovsky, Doborzynski u. a. festgestellt. In Bild 13 ist der Empfang in einer Kalksteinhöhle dargestellt. Die Spitzen bedeuten die Frequenz, der Durchmesser der Kreise die Sendeleistung. Die Ziffern bedeuten von oben die Leistung des Senders, seine Frequenz in kHz und seinen Abstand von Empfänger in km. Man sieht, daß im Rundfunkbande die Feldstärke mit zunehmender

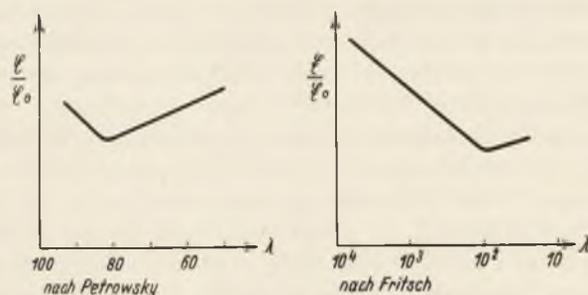


Bild 12. Funkgeologische Charakteristiken.

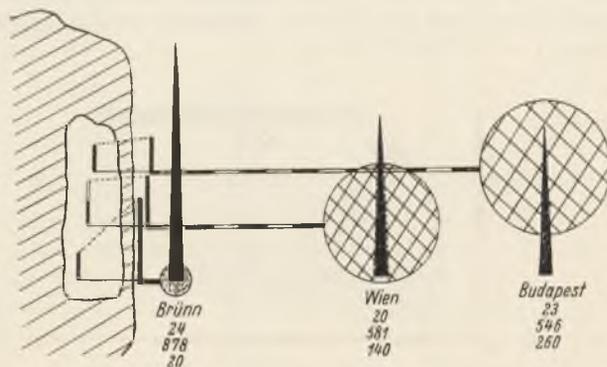


Bild 13. Empfang in einer Kalksteinhöhle.

Frequenz geringer wird. In der gleichen Höhle aber, die ungefähr 130 m unter der Erdoberfläche lag, konnten Amateursender von ganz geringer Leistung auf dem 40-m-Bande gut gehört werden. Dies beweist, daß in diesem Bereiche die Absorption geringer ist als im Bereiche der mittleren Rundfunkwellen.

Durch die Aufnahme der funkgeologischen Charakteristik ist es mitunter möglich, Schlüsse auf die Beschaffenheit des durchstrahlten Gebirges zu ziehen. Dieses Verfahren ist deshalb vorteilhaft, weil zu seiner Anwendung die Kenntnis der Länge des Weges nicht nötig ist. Ein praktisches Ergebnis einer nach dem Absorptionsverfahren durchgeführten Funkmutung zeigt Bild 14. Es handelt sich um die Feststellung einer großen Höhle im Gebiete des Mährischen Karstes. Punktiert ist das Ergebnis der Prognose und stark ausgezogen das Ergebnis der tatsächlichen Erforschung eingezeichnet, die ungefähr ein Jahr später erfolgte.



Bild 14. Funkgeologisches Prognostikon.

5. Widerstandsverfahren. Bei den Widerstandsverfahren wird das zu untersuchende geologische Leiter-volumen in den Meßkreis eingeschaltet und die Veränderung des Stromes, der Eigenfrequenz oder des Phasenwinkels durch Messung bestimmt.

Ganz allgemein wäre es möglich, die heute bereits entwickelten geoelektrischen Meßverfahren, die durchwegs mit Gleich- oder niederfrequenten Wechselstrom arbeiten, auch für die Funkmutung heranzuziehen. In diesem Falle müssen aber besonders folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- Zunächst ist die Tiefe des Aufschlußraumes auch von der Frequenz des Meßstromes abhängig. Durch Veränderung dieser Frequenz kann sie geändert werden. Die Eindringtiefe ist überdies bei Böden von verschiedener elektrischer Struktur ebenfalls verschieden.
- Die Verteilung der Stromlinien über den Leiterquerschnitt ist bei Hochfrequenz in der Regel anders als bei Gleichstrom oder niederfrequentem Wechselstrom.
- Die elektrischen Eigenschaften, insbesondere aber der Widerstand der geologischen Leiter ist bei höheren Frequenzen anders als bei niedrigen.

In der angewandten Geophysik werden oft Modellversuche unternommen, aus denen man dann auf die natürlichen Verhältnisse schließt. Will man solche auch in der Funkmutung anwenden, so muß man bedenken, daß bei maßstäblich richtiger Verkleinerung der Wellenlänge die oben angeführten Komplikationen auftreten

können und daß dann am Modell etwas anderes bestimmt wird als in der Natur.

Die Kopplung des Meßkreises mit dem zu untersuchenden Volumen erfolgt in der Regel kapazitiv durch Meßantennen. Aus diesem Grunde führen die Widerstandsverfahren auch den oft irreführenden Namen „Kapazitätsmethoden“. In Bild 15 sehen wir

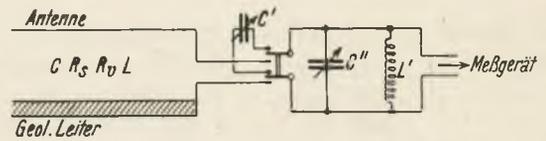


Bild 15. Schema der Kapazitätsmethode.

eine über geologischen Leitern gespannte Antenne, die mit dem Meßkreise L' und C'' verbunden ist. Wir bestimmen zunächst die Eigenfrequenz des Kreises bei angeschalteter Antenne. Dann schalten wir auf die Kapazität C' um und verstellen diese so lange, bis wieder die gleiche Eigenwelle erreicht wurde. C' heißt dann die Antennenersatzkapazität, die natürlich mit der reinen Antennenkapazität nicht übereinstimmen muß. Außer dieser Substitution ist auch Kompensation durch eine parallel liegende Kapazität möglich. Das Grundproblem lautet also:

$$C' = f(\Re)$$

wobei \Re der komplexe Widerstand des geologischen Leiters ist. C'' und L' werden so dimensioniert, daß die Frequenzänderung des Kreises durch eine geringe Änderung von C' möglichst groß wird. Die Mindestwellenlänge ist dadurch bestimmt, daß bei solchen Messungen quasistationäre Voraussetzungen verlangt werden.

In Bild 16 sind die wichtigsten Verfahren schematisch dargestellt: M bedeutet das Frequenzmeßgerät, das in der Regel nach der Reißmethode arbeitet, L stellt die Spule des Meßkreises dar, C' den Kompensationskondensator. C_a bedeutet die reine Antennenkapazität. Der geologische Leiter ist je nach seiner besonderen Beschaffenheit durch die Kapazität C_g und den Ohmschen Widerstand R_g oder nur durch eines dieser beiden Bestimmungsstücke dargestellt. In der oberen Reihe (a...c) sind die Verfahren mit Parallelkompensation und in der unteren Reihe (d...f) jene mit Reihenkompensation dargestellt. Für den Nachweis von Nichtleitern in Nichtleitern, also dann, wenn nur Verschiebungsströme in Betracht kommen, sind die Verfahren mit Reihenkompensation anzuwenden. Beim Nachweise von Leitern

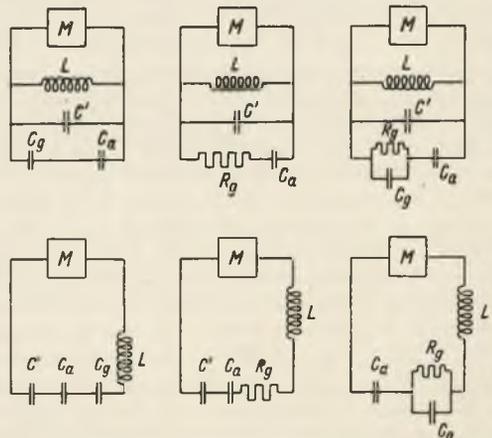


Bild 16. Die wichtigsten Fälle der Kapazitätsmethode.

in Leitern kommt Parallelkompensation in Betracht. In Grenzfällen hat sich die Wahl des Verfahrens danach zu richten, ob den Leitungs- oder Verschiebungsströmen die größere Bedeutung zukommt. In Bild 17 ist eine Meßantenne dargestellt. Wichtig ist auf jeden Fall, daß alle Leitungen straff verspannt sind, da der Durchhang häufig Kapazitätsveränderungen bedingen kann.

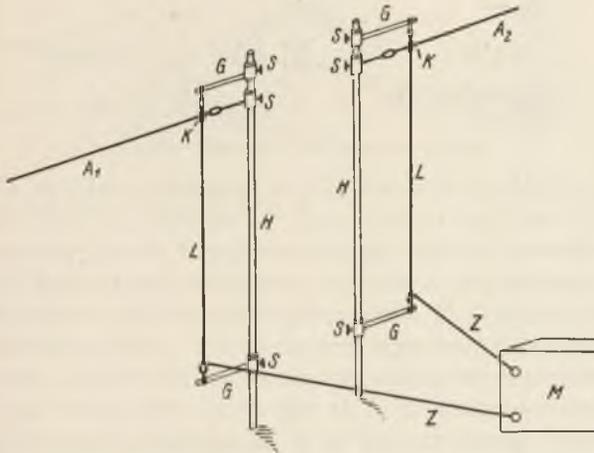


Bild 17. Meßantenne (Z = Zuleitung, A = Antenne, S = Stellschrauben, H = Latten, L = Zwischenleitungen, G = Isolierende Abspannstäbe).

Hat man die Antennenersatzkapazität bestimmt, so handelt es sich darum, diese in übersichtlicher Weise darzustellen. In der Regel werden drei verschiedene Arten der Darstellung gewählt.

1. Man verändert die Antennenhöhe und stellt die jeweilige Ersatzkapazität als Funktion der obertägigen Antennenhöhe dar. Man erhält Kurven, die je nach der Beschaffenheit des Untergrundes verschieden sein werden.

2. Man bestimmt die Antennenersatzkapazität bei gleichbleibender Antennenhöhe, jedoch an verschiedenen Meßorten. Man bestimmt in dem zu untersuchenden Gelände Standlinien und verschiebt entlang dieser die Meßapparatur. Man kann dann die Ersatzkapazität als Funktion des Meßortes darstellen. Man erhält wieder Kurven, deren Abszisse durch die Standlinie dargestellt ist und kann aus dem Verlaufe dieser Kurven Schlüsse auf die Beschaffenheit des Untergrundes ziehen.

3. Man mißt in dem zu untersuchenden Gelände bei gleichbleibender Antennenhöhe an möglichst vielen Orten die Ersatzkapazität und zeichnet nun die Kurven,

die den Ort gleicher Ersatzkapazität darstellen. Man erhält dann die sogenannten C-Gleichen.

In Bild 18 ist ein praktisches Beispiel dargestellt. Wir sehen oben einen Schnitt durch eine Kalksteinhöhle. Über dieser wurden die C-Gleichen im Gelände vermessen. Wir erkennen ganz deutlich, daß diese Kurven im linken Teile der Abbildung mit der Kontur des Domes übereinstimmen, daß sie aber mit der rechten Hälfte über diese weit hinausreichen. Dies weist auf die Existenz eines weiteren Hohlraumes hin. Wie in dem Bild 18 unten dargestellt ist, gelang es tatsächlich, diesen Fortsatz, der mit Lehm erfüllt war, später festzustellen. Oft führen, wie dies in Bild 19 dargestellt ist, von Höhlen Spalten bis an die Erdoberfläche, die infolge ihrer Wasserführung besser leiten als das Nebengestein. Durch Nachweis dieser Spalten kann man insbesondere im größeren Gelände Anhaltspunkte für die vermutliche Lage von Hohlräumen gewinnen und diese dann durch weitere Verfahren näher eingrenzen.

Neben den hier angeführten Verfahren werden neuerdings auch solche angewendet, die die Veränderung des Phasenwinkels bestimmen. Diese arbeiten in der Regel mit Braunscher Röhre. Außerdem werden auch ober Tags Apparaturen verwendet, die aus leichten Sende- und Empfangsgeräten bestehen, mit deren Hilfe die Veränderung des Phasenwinkels unter dem Einfluß funkgeologischer Diskontinuitäten im Untergrunde bestimmt wird.

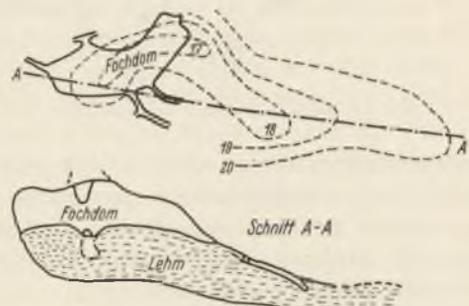


Bild 18. Funkmutung einer Höhle.

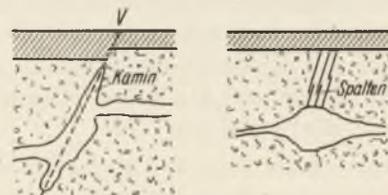


Bild 19. Schnitt durch eine Höhle.

Literatur. Arbeiten des Verfassers über Funkgeologie:

1. „Beitr. z. Radiogeologie“; Beitr. z. ang. Geophysik 5 (1935), 3, S. 315. — 2. „Ausbreitung Hertzscher Wellen u. geol. Beschaffenheit d. Untergrundes“; Gerlands Beitr. Geophysik 5 (1936), 4, S. 375...395. Fortsetz. hierzu: Beitr. z. ang. Geophysik 6 (1936), 1, 100...119; Beitr. z. ang. Geophysik 6 (1937), 3, 277...306; Beitr. z. Funkgeologie III; Beitr. z. ang. Geophysik 6 (1937), 4, 407; Beitr. z. Funkgeologie IV; Beitr. z. ang. Geophysik 7 (1937), 1, 53...67; Beitr. z. Funkgeologie V. — 3. „Funkversuche auf der Donau 1930...1936“; Gerlands Beitr. Geophysik 51 (1937), 1, S. 1. — 4. „Anwendg. kurzer Wellen in der Funkgeologie“; Gerlands Beitr. Geophysik 7 (1937), 2, S. 190...205. — 5. „Einige Grundzüge der Funkgeologie“; Elektrotechn. Z. 57 (1936), 30, S. 857. — 6. „Anwendung der Funkmutung nach dem Absorptionsverfahren“; Elektrotechn. Z. 57 (1936), S. 42. — 7. „Einfluß d. Wassers a. d. Widerstand geol. Leiter“; Elektrotechn. Z. 58 (1937), 12, S. 319. — 8. „Zum Prinzip der Widerstandsverfahren d. Funkmutung“; Elektrotechn. Z. 58 (1937), S. 46. — 9. „Untersuchg. d. Untergrundes m. funktechn. Mitteln“; Elektrotechn. u. Maschinenb. 54 (1936), S. 52. — 10. „Funkgeol. Gesichtspunkte f. d. Anlage v. Blitzschutzeinrichtungen“; Elektrotechn. u. Maschinenb. 56 (1938), S. 9. — 11. „Beitr. z. Studium d. Ausbreitung elektromagn. Felder in unterirdischen Hohlräumen“; Hochfrequenz u. Elektroakustik 39 (1932), S. 136. — 12. „Ausbreitung elektromagn. Felder längs Flußläufen“; Hochfrequenz u. Elektroakustik 41 (1933), S. 100. — 13. „Mitteilg. ü. d. Versuche i. d. Punkwahöhlen“; Hochfrequenz u. Elektroakustik 41 (1933), S. 218. — 14. Mittlg. über die Bergradioversuche in Kotterbach“; Hochfrequenz u. Elektroakustik 43 (1934), S. 189. — 15. „2. Mittlg. über die Bergradioversuche in Kotterbach u. Vers. bei Ostrov“; Hochfrequenz u. Elektroakustik 46 (1935), S. 124. — 16. „Mittlg. ü. d. Versuche bei Ostrov u. M.“; Hochfrequenz u. Elektroakustik 46 (1935), S. 186. — 17. „3. Mittlg. ü. d. Bergradiovers. in Kotterbach“; Hochfrequenz u. Elektroakustik 47 (1936), S. 190. — 18. „Einiges über die Eigenschaften geologischer Leiter und deren Bestimmung“; Hochfrequenz Elektroakustik 51 (1938), S. 138. — 19. „Neuere Ergebnisse der Funkgeologie u. ihre Bedeutung f. d. Funkmutung“; Internat. Kongreß f. Kurzwellen-Forschung. Wien. Kongreßschrift 1937. — 20. „Einfluß meteorol. Faktoren auf die Ergebnisse geoelektrischer Vermessungen“; S. M. P. G. Mitteilungen 17 (1937), S. 271...290. — 21. „Die Messung der Antennenersatzkapazität in der Funkmutung“; Z. f. Geophysik 14 (1938), 3/4, S. 93.

Toleranz von Rechengrößen

Erweiterung auf Plus-Minus-Toleranzen

J

021—4

DK 621.317.088
519.241.5

Verfasser: Dr.-Ing. Hans Prinz, Nürnberg

I. Aufgabenstellung. Im Blatt J 021—3 wurde die Annahme gemacht, daß die Größen, aus denen eine neue Rechengröße durch Anwendung einer bestimmten Rechenoperation bestimmt werde, nur mit Plustoleranzen gegeben oder durch Versuch bekannt seien. Bei technischen Problemen kommt es aber sehr oft vor, daß die Abweichung von den Werten der zu kombinierenden Größen auf Plus-Minus-Toleranzen bezogen wird. Die Frage lautet dann, welche Beziehungen zur Toleranzermittlung der neuen Rechengröße heranzuziehen sind und ob sich gegebenenfalls die bereits für die Plustoleranz abgeleiteten Beziehungen auch auf den allgemeinen Fall der Plus-Minus-Toleranz anwenden lassen. Dabei sollen zwei Sonderfälle untersucht werden, und zwar einmal der Fall, daß die Plustoleranz gleich der Minustoleranz der Bezugsgröße sei, das heißt ist eine Größe a mit einer Toleranz von $\pm x\%$ gegeben, dann soll die größtmögliche Abweichung von ihrem tatsächlichen Wert a nach oben und unten $a(1 + x/100)$ und $a(1 - x/100)$ betragen. Für den zweiten Fall soll die Plustoleranz von der Minustoleranz verschieden sein, d. h., ist eine Größe a mit einer Toleranz von $+x_1\%$ und $-x_2\%$ gegeben, dann soll die größtmögliche Abweichung vom tatsächlichen Wert a nach oben und unten $a(1 + x_1/100)$ und $a(1 - x_2/100)$ betragen.

Die Aufgabenstellung lautet dann wieder, aus 2 oder mehreren gegebenen Rechengrößen, deren Plus-Minus-Toleranzen bekannt sind, bei Anwendung einer bestimmten Rechenvorschrift die Toleranz einer daraus sich ableitenden neuen Größe rechnerisch zu ermitteln.

II. Grundgleichungen. Zunächst sei der Fall gleicher Plus-Minus-Toleranz angenommen. Gegeben seien wiederum die Absolutbeträge zweier Meßgrößen a und b , deren Toleranz $\pm x\%$ und $\pm y\%$ betrage. Gesucht sei die Toleranz $\pm z$ in % einer Größe c , die durch 1. Addition, 2. Subtraktion, 3. Multiplikation und 4. Division aus den gegebenen Größen a und b abgeleitet werden soll. Ferner sei 5. die Potenz, 6. die Wurzel, 7. die Exponentialfunktion und 8. der Logarithmus der Größe a gesucht.

In Übereinstimmung mit den unter J 021—3 angegebenen Rechenverfahren ergeben sich dann die in nachstehender Tabelle 1 angegebenen Formeln zur Berechnung von z . Bei Anwendung dieser Formeln ist zu beachten, daß die oberen Vorzeichen stets für das positive z und die unteren für das negative gelten. Ferner ist darauf zu achten, daß die Toleranzwerte x und y stets ihrem Absolutbetrage nach eingesetzt werden müssen, da die Vorzeichen bereits in den Formeln entsprechend berücksichtigt sind.

Im Vergleich zur reinen Plustoleranz bleiben die Beziehungen für Addition und Multiplikation die gleichen. Die übrigen Beziehungen ändern sich zum Teil der Größe und zum Teil dem Vorzeichen nach.

Interessant ist ferner die Feststellung, daß nur bei Addition und Subtraktion die Plustoleranz der Rechengröße c gleich ihrer Minustoleranz ist. Für die übrigen Rechenoperationen folgen für das positive und negative z stets voneinander verschiedene Werte, und zwar wird für die Multiplikation, die Division, die Potenz und die Exponentialfunktion das positive z stets größer als das negative, während für die Wurzel und den Logarithmus gerade das umgekehrte der Fall ist (s. Tabelle 2). Die Rechenoperationen 3 mit 8 führen somit zu Größen, deren Plus-Minus-Toleranzen nicht mehr einander gleich sind, trotzdem die Toleranzen der Ausgangswerte als einander gleich groß angenommen wurden. Bei Multiplikation und Division werden jedoch die Plus- und Minustoleranzen nur wenig voneinander verschieden sein, solange y unter $\pm 5\%$ liegt. Man kann in diesen Fällen das Glied $y/100$ vernachlässigen, so daß die Beziehungen für Multiplikation und Division einander gleich und z gleich der Summe der beiden Toleranzen x und y wird (siehe auch Näherungsgleichungen).

Nummer werde angenommen, daß die Plus-Minus-Toleranzen der gegebenen Größen a und b voneinander verschieden seien. Gegeben seien wiederum die beiden Meßgrößen a und b , deren Toleranzen $+x_1\%$ und $-x_2\%$ bzw. $+y_1\%$ und $-y_2\%$ betrage. Gesucht sei die Toleranz $\pm z$ in % einer Größe c , die nach den vorher genannten Rechenvorschriften 1...8 aus den gegebenen Größen a und b abgeleitet werde.

Man kann in diesem Fall dieselben Formeln anwenden wie für gleiche Plus-Minus-Toleranz, wobei jedoch aus einem der möglichen Wertepaare von (x_1, x_2) und (y_1, y_2) die Plustoleranz und aus einem anderen Wertepaar die Minustoleranz der Rechengröße z bestimmt wird. Um die größtmögliche Abweichung vom Werte c zu erhalten, sind die in Tabelle 3 angegebenen Wertepaare bei Berechnung von z zu verwenden und ihre Absolutbeträge in die Formeln der Tabelle 1 einzusetzen.

Ausgehend von Größen, deren Plus-Minus-Toleranzen voneinander verschieden sind, ergeben sich somit bei allen Rechenoperationen 1...8 im allgemeinen z -Toleranzen, deren Plus-Minus-Werte voneinander verschieden sind.

Die Formeln der Tabelle 1 lassen sich sinngemäß auch für den Fall verwenden, wo nur eine der beiden Meßgrößen voneinander verschiedene Plus-Minus-Toleranzen hat.

Tabelle 1.

Gegeben sind die Absolutbeträge zweier Meßgrößen a und b , die mit einer Toleranz von $\pm x\%$ und $\pm y\%$ ermittelt wurden. Gesucht ist die Toleranz $\pm z$ in $\%$ einer dritten Größe c bei Anwendung folgender Rechenoperationen:

Nr.	Rechenoperation	c	Sonderfall	z in $\%$ ¹⁾
1	Addition	$a + b$	—	$z = \pm x \left(\frac{\frac{a}{b} + \frac{y}{x}}{\frac{a}{b} + 1} \right)$
			$b = \text{konstante Zahl}$	$z = \pm x \left(\frac{\frac{a}{b}}{\frac{a}{b} + 1} \right)$
			$y = x$	$z = \pm x = \pm y$
2	Subtraktion	$a - b$ ($a > b$)	—	$z = \pm x \left(\frac{\frac{a}{b} + \frac{y}{x}}{\frac{a}{b} - 1} \right)$
			$a = \text{konstante Zahl}$	$z = \pm \frac{y}{\frac{a}{b} - 1}$
			$b = \text{konstante Zahl}$	$z = \pm x \left(\frac{\frac{a}{b}}{\frac{a}{b} - 1} \right)$
			$y = x$	$z = \pm x \left(\frac{\frac{a}{b} + 1}{\frac{a}{b} - 1} \right)$
3	Multiplikation	$a \cdot b$	—	$z = \pm x \left(1 + \frac{y}{x} \pm \frac{y}{100} \right)$
			$b = \text{konstante Zahl}$	$z = \pm x$
			$y = x$	$z = \pm 2x \left(1 \pm \frac{1}{2} \frac{x}{100} \right)$
4	Division	$\frac{a}{b}$	—	$z = \pm x \left(\frac{1 + \frac{y}{x}}{1 \mp \frac{y}{100}} \right)$
			$a = \text{konstante Zahl}$	$z = \pm \left(\frac{y}{1 \mp \frac{y}{100}} \right)$
			$b = \text{konstante Zahl}$	$z = \pm x$
			$y = x$	$z = \pm \frac{2x}{1 \mp \frac{x}{100}}$
5	Potenz	a^n	—	$z = \pm \left[\left(1 \pm \frac{x}{100} \right)^n - 1 \right] 100$
			$n = 2$	$z = \pm 2x \left(1 \pm \frac{1}{2} \frac{x}{100} \right)$
			$n = 3$	$z = \pm 3x \left(1 \pm \frac{x}{100} + \frac{1}{3} \left(\frac{x}{100} \right)^2 \right)$
6	Wurzel	$\sqrt[n]{a}$	—	$z = \pm \left[\sqrt[n]{1 \pm \frac{x}{100}} - 1 \right] 100$
			$n = 2$	$z = \pm \frac{x}{2} \left(1 \mp \frac{1}{4} \frac{x}{100} \pm \dots \right)$
			$n = 3$	$z = \pm \frac{x}{3} \left(1 \mp \frac{1}{3} \frac{x}{100} \pm \dots \right)$
7	Exponentialfunktion	e^a	—	$z = \left(e^{\pm a \frac{x}{100}} - 1 \right) 100$
			Reihenansatz	$z = \pm a x \left(1 \pm \frac{x}{100} \pm \dots \right)$
8	Logarithmus	$\ln a$	—	$z = \left(\frac{\ln \left(1 \pm \frac{x}{100} \right)}{\ln a} \right) 100$
			Reihenansatz	$z = \pm \frac{x}{\ln a} \left(1 \mp \frac{x}{100} \pm \dots \right)$

¹⁾ Die oberen Vorzeichen der angegebenen Formeln gelten für positives z , die unteren für negatives. Für x und y sind stets die Absolutbeträge einzusetzen!

Tabelle 2.

Nr.	Rechenoperation	Für $ x_1 = x_2 $ und $ y_1 = y_2 $ wird für die Plus-Minus-Toleranz von z:
1, 2	Addition und Subtraktion	$ z_1 = z_2 $
3,4,5,7	Multiplikation, Division, Potenz und Exponentialfunktion	$ z_1 > z_2 $
6, 8	Wurzel und Logarithmus	$ z_1 < z_2 $

III. Rechnungsgang. Bei der Auswertung geht man zweckmäßig so vor, daß zunächst aus den gegebenen Meßgrößen a und b und den Absolutbeträgen der gegebenen Toleranzen x und y die Verhältnisse a/b und y/x gebildet werden. Dabei ist für den Fall voneinander verschiedener Plus-Minus-Toleranz das Verhältnis y/x aus den Absolutbeträgen der Wertepaare (x_1, x_2) und (y_1, y_2) nach Tabelle 3 zu berechnen. Die gesuchte Toleranz z ergibt sich dann durch Einsetzen der Verhältnisse a/b und y/x bzw. der Absolutbeträge von x und y in die Formeln der Tabelle 1 unter Beachtung der darin aufgeführten Vorzeichen.

Wenn es sich um die Toleranzberechnung von komplizierteren Ausdrücken handelt, dann werden die abgeleiteten Formeln schrittweise auf die auszuführenden Rechenoperationen angewendet.

Zur überschlagsmäßigen Toleranzberechnung von zusammengesetzten Ausdrücken hat es sich als sehr vorteilhaft erwiesen, für die Formeln der Tabelle 1 Näherungsgleichungen aufzustellen, die in Tabelle 4 übersichtlich zusammengestellt sind. Diese Formeln, die für Toleranzwerte unter $\pm 5\%$ noch hinreichend genaue Ergebnisse liefern, lassen sich kurz folgendermaßen kennzeichnen: Die Toleranz einer Summe ist angenähert gleich der Toleranz der größeren Zahl, wenn die beiden Summanden der Größe nach sehr voneinander verschieden sind. Sind die beiden Summanden nur wenig voneinander verschieden oder einander gleich, dann ist die Toleranz der Summe gleich dem arithmetischen Mittel aus den einzelnen Toleranzen. Für den Subtraktionsfall ist die Toleranz der Differenz gleich der Toleranz der größeren Zahl, wenn die beiden Zahlen sehr voneinander verschieden sind. Für nur wenig voneinander verschiedene Zahlen steigt die Toleranz z mit fallendem Verhältnis a/b sehr stark an (s. Tabelle 4) und wird im Grenzfalle $a = b$ zu $z = \infty$. Bei Multiplikation und Division ist die Toleranz z gleich der Summe der Einzeltoleranzen. Quadrieren einer Zahl bzw. diese in die 3. Potenz erheben, bedeutet Verdoppelung bzw. Verdreifachung der Toleranz der Ausgangszahl. Im Gegensatz dazu bedeutet die Quadratwurzel bzw. Kubikwurzel ein Halbieren bzw. Dritteln der Ausgangstoleranz. Wird eine Zahl a in die e -te Potenz erhoben, dann ist die Toleranz der Exponentialfunktion angenähert a -mal so groß. Beim Logarithmieren der Zahl a ist ihre Toleranz x durch den Wert $\ln a$ zu dividieren, um die Toleranz des Logarithmus von a zu erhalten.

Die Näherungsgleichungen lassen sich selbstverständlich auch bei Rechenoperationen von Zahlen verwenden, deren Plus-Minus-Toleranzen voneinander verschieden sind. Nur müssen hier je nach Rechenvor-

Tabelle 3.

Nr.	Rechenoperation	Um die größtmögliche Toleranz z zu erhalten, sind nachstehende Wertepaare von (x_1, x_2) und (y_1, y_2) zu bilden, und zwar	
		für positives z	für negatives z
1, 3	Addition und Multiplikation	(x_1, y_1)	(x_2, y_2)
2, 4	Subtraktion und Division	(x_1, y_2)	(x_2, y_1)
5,6,7,8	Potenz, Wurzel, Exponentialfunktion und Logarithmus	x_1	x_2

schrift die entsprechenden Wertepaare von (x_1, x_2) und (y_1, y_2) zusammengenommen werden (s. Tabelle 3).

Für den Meßtechniker von besonderer Bedeutung ist es, daß sich die abgeleiteten Formeln auch zur Lösung der umgekehrten Aufgabe heranziehen lassen. Es soll also eine bestimmte Toleranz des Meßergebnisses vorgeschrieben sein. Die Frage lautet dann, wie groß die Toleranzen der Einzelmessungen sein dürfen, damit die vorgeschriebene Toleranz z nicht überschritten wird. Diese Aufgabe wird am einfachsteng raphisch gelöst.

Tabelle 4.

Gegeben sind die Absolutbeträge zweier Meßgrößen a und b , die mit einer Toleranz von $\pm x\%$ und $\pm y\%$ ermittelt wurden.

Gesucht ist die Toleranz $\pm z$ in % einer dritten Größe c bei Anwendung folgender Rechenoperationen:

Nr.	Rechenoperation:	c:	Sonderfall:	z in %:	
1	Addition	$a + b$	$\frac{a}{b} \gg 1$	$z \approx \pm x$	
			$a = b$	$z = \pm \frac{x+y}{2}$	
			$\frac{a}{b} \ll 1$	$z \approx \pm y$	
2	Subtraktion	$a - b$ ($a > b$)	$\frac{a}{b} \gg 1$	$z \approx \pm x$	
			$\frac{a}{b} = 11$	$z = \pm (1,1 x + y)$	
			$\frac{a}{b} = 2$	$z = \pm (2 x + y)$	
			$\frac{a}{b} = 1,1$	$z = \pm (11 x + 10 y)$	
			$a = b$	$z = \infty$	
3	Multiplikation	$a \cdot b$	$y \leq \pm 5\%$	$z \approx \pm (x + y)$	
4	Division	$\frac{a}{b}$			
5	Potenz	a^n	$x \approx \pm 5\%$	$n = 2$	$z \approx \pm 2 x$
				$n = 3$	$z \approx \pm 3 x$
6	Wurzel	$\sqrt[n]{a}$	$x \approx \pm 5\%$	$n = 2$	$z \approx \pm \frac{x}{2}$
				$n = 3$	$z \approx \pm \frac{x}{3}$
7	Exponentialfunktion	e^a	—	$z \approx \pm a x$	
8	Logarithmus	$\ln a$	—	$z \approx \pm \frac{x}{\ln a}$	

(nach einem Vorschlag von K. Wilke). Zu diesem Zweck werden die Additions- und Subtraktionsformeln (1) und (2) umgeformt und nach y aufgelöst, so daß sich bei Addition ergibt

$$y = \frac{a}{b} (z - x) + z$$

und bei Subtraktion

$$y = \frac{a}{b} (z - x) - z.$$

Man zeichnet nun für das gegebene z eine Kurvenschar $y = f(a/b)$ mit x als Parameter, wie das beispielsweise in Bild 1 und 2 bei Addition und Subtraktion für eine Toleranz $z = \pm 1\%$ dargestellt ist. Aus dieser Kurve läßt sich dann leicht feststellen, wie groß x und y bei einem bestimmten gegebenen Zahlenverhältnis a/b sein dürfen, ohne die Toleranz von $z = \pm 1\%$ zu überschreiten. So könnten z. B. bei Addition für ein Zahlenverhältnis $a/b = 5$ die Toleranzen $x = \pm 0,1\%$, $y = \pm 5,5\%$ oder $x = \pm 0,5\%$, $y = \pm 3,5\%$ oder $x = \pm 0,8\%$, $y = \pm 2,0\%$ usw. betragen.

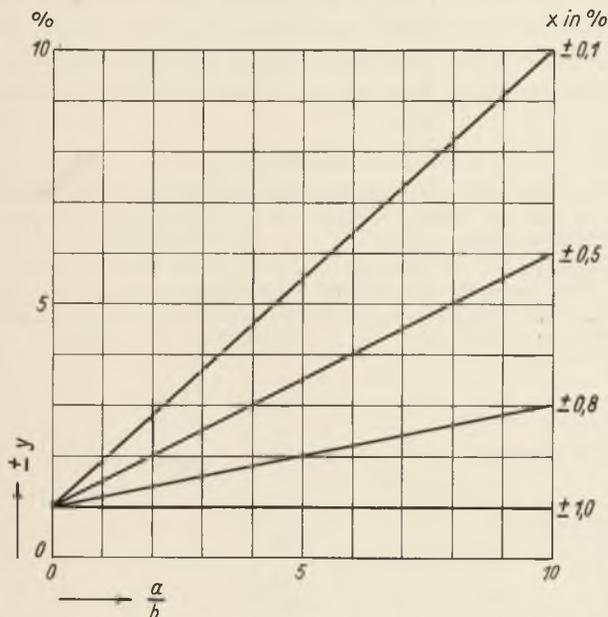


Bild 1. Toleranz $y = f(a/b)$ mit Parameter x bei $z = \pm 1\%$ (Addition).

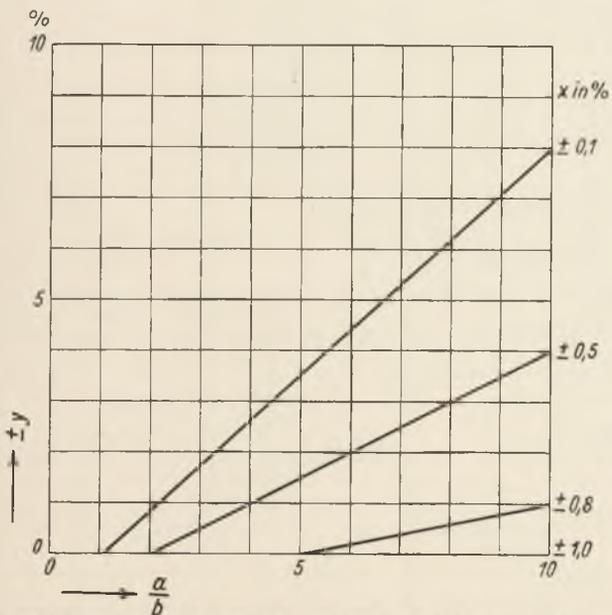


Bild 2. Toleranz $y = f(a/b)$ mit Parameter x bei $z = \pm 1\%$ (Subtraktion).

Ähnliche Diagramme lassen sich für die einfacheren Rechenoperationen 3 und 4 ($z = f(x, y)$), ferner für 5 und 6 ($z = f(n, x)$) sowie für 7 und 8 ($z = f(a, x)$) aufstellen (s. Bild 3 und 4). Auch bei komplizierteren Ausdrücken kann das graphische Verfahren mit Erfolg verwendet werden, wobei jedoch im allgemeinen so viel Diagramme zu zeichnen sind als Rechenoperationen ausgeführt werden müssen.

IV. Beispiele. Zur näheren Erläuterung des angegebenen Rechenverfahrens sollen zunächst einige einfache Zahlenbeispiele durchgerechnet werden. Es folgen dann einige technische Aufgaben.

a) Gegeben seien 2 Zahlen $a = 100$ und $b = 10$, die mit gleicher Plus-Minus-Toleranz von $x = \pm 5\%$ und $y = \pm 10\%$ bestimmt wurden. Es soll die Toleranz der Summe, der Differenz des Produktes und des Quotienten dieser beiden Zahlen berechnet werden.

Aus den Angaben wird für die Verhältnisse $a/b = 10$ und $y/x = 2$ und damit für die Toleranz der Summe der beiden Zahlen nach Gl. (1):

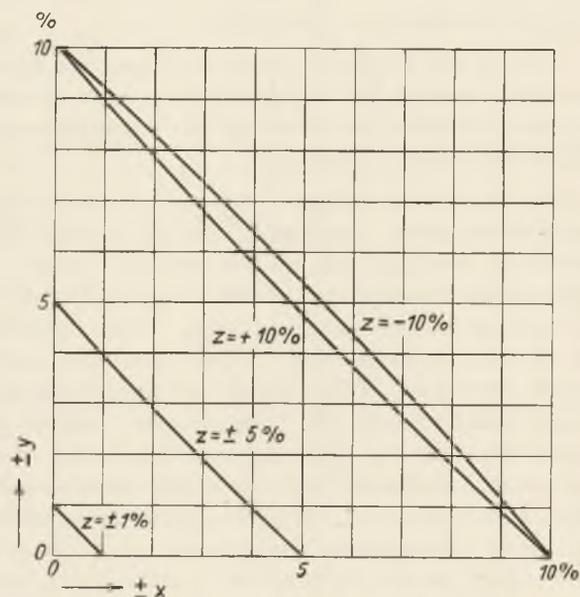


Bild 3. Toleranz $y = f(x)$ mit Parameter z (Multiplikation).

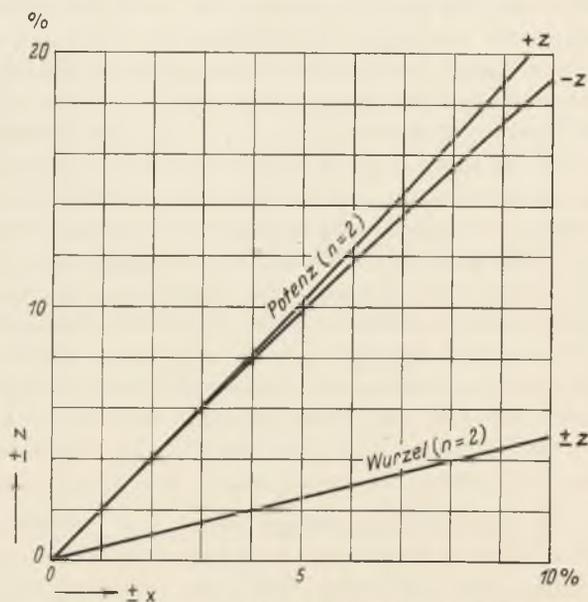


Bild 4. Toleranz $z = f(x)$ für $n = 2$ (Potenz und Wurzel).

$$z = \pm x \left(\frac{\frac{a}{b} + \frac{y}{x}}{\frac{a}{b} + 1} \right) = \pm 5 \left(\frac{10 + 2}{10 + 1} \right) = \pm 5,45\%$$

Nach dem gewählten Beispiel kann die Zahl a zwischen den Werten 95 und 105 und die Zahl b zwischen den Werten 9 und 11 liegen. Die Summe muß demnach zwischen den Werten $95 + 9 = 104$ und $105 + 11 = 116$ liegen. Das entspricht einer größtmöglichen Abweichung von der Summe $a + b = 110$

$$z_1 = \frac{116 - 110}{110} 100 = +5,45\%$$

und

$$z_2 = \frac{104 - 110}{110} 100 = -5,45\%$$

d. h., wie nach Gl. (1) ergibt sich auch nach der Kontrollrechnung eine Toleranz der Summe von $z = \pm 5,45\%$.

Analog wird für den Fall der Differenz für das gewählte Zahlenbeispiel nach Gl. (2)

$$z = \pm x \left(\frac{\frac{a}{b} + \frac{y}{x}}{\frac{a}{b} - 1} \right) = \pm 5 \left(\frac{10 + 2}{10 - 1} \right) = \pm 6,66\%$$

Entsprechend der größtmöglichen Abweichung der Zahlen a und b kann die Differenz liegen zwischen den Werten $95 - 11 = 84$ und $105 - 9 = 96$. Somit wird für die größtmögliche Abweichung in Prozenten der Differenz $a - b = 90$

$$z_1 = \frac{96 - 90}{90} 100 = +6,66\%$$

und

$$z_2 = \frac{84 - 90}{90} 100 = -6,66\%$$

also der gleiche Wert wie nach Gl. (2).

Für die Toleranz des Produktes wird nach Gl. (3)

$$z = \pm x \left(1 + \frac{y}{x} \pm \frac{y}{100} \right) = \pm 5 \left(1 + 2 \pm \frac{10}{100} \right) = \begin{cases} +15,5\% \\ -14,5\% \end{cases}$$

d. h., wie bereits ausgeführt, ergibt sich nunmehr für z eine voneinander verschiedene Plus-Minus-Toleranz. Die gleichen Werte folgen auch aus der Kontrollrechnung. Das Produkt kann zwischen den Werten $9 \cdot 95 = 855$ und $11 \cdot 105 = 1155$ liegen. Bezogen auf das Produkt $a \cdot b = 1000$ wird

$$z_1 = \frac{1155 - 1000}{1000} 100 = +15,5\%$$

und

$$z_2 = \frac{855 - 1000}{1000} 100 = -14,5\%$$

Für die Toleranz des Quotienten wird nach Gl. (4)

$$z = \pm x \left(\frac{1 + \frac{y}{x}}{1 \pm \frac{y}{100}} \right) = \pm 5 \left(\frac{1 + 2}{1 \pm \frac{10}{100}} \right) = \begin{cases} +16,66\% \\ -13,64\% \end{cases}$$

Nach der Kontrollrechnung kann der Quotient zwischen den Werten $95/11 = 8,636$ und $105/9 = 11,666$ liegen, oder bezogen auf den Quotienten $a/b = 10$ wird

$$z_1 = \frac{11,666 - 10}{10} 100 = +16,66\%$$

und

$$z_2 = \frac{8,636 - 10}{10} 100 = -13,64\%$$

Die angegebenen Formeln liefern demnach in allen Fällen die gleichen Werte wie die Kontrollrechnung.

b) Gegeben seien wiederum die beiden Zahlen $a = 100$ und $b = 10$, die mit voneinander abweichenden Plus-Minus-Toleranzen ($x_1 = +5\%$, $x_2 = -10\%$) und ($y_1 = +20\%$, $y_2 = -10\%$) bestimmt wurden. Gesucht sei die Toleranz der Summe, der Differenz, des Produktes und des Quotienten der beiden Zahlen.

Das Verhältnis a/b wird 10. Nach Tabelle 3 ist für die Summe bei positivem z das Verhältnis $y_1/x_1 = 4$ und bei negativem z das Verhältnis $y_2/x_2 = 1$ und demnach nach Gl. (1)

$$z_1 = +x_1 \left(\frac{\frac{a}{b} + \frac{y_1}{x_1}}{\frac{a}{b} + 1} \right) = +5 \frac{10 + 4}{10 + 1} = +6,36\%$$

und

$$z_2 = -x_2 \left(\frac{\frac{a}{b} + \frac{y_2}{x_2}}{\frac{a}{b} + 1} \right) = -10 \frac{10 + 1}{10 + 1} = -10\%$$

Es läßt sich wie im Beispiel a) zeigen, daß die Kontrollrechnung dieselben Toleranzwerte liefert wie die Formel.

Bei der Subtraktion ist nach Tabelle 2 bei positivem z für das Verhältnis $y_2/x_1 = 2$ und bei negativem z das Verhältnis $y_1/x_2 = 2$ und damit nach Gl. (2)

$$z_1 = +x_1 \left(\frac{\frac{a}{b} + \frac{y_2}{x_1}}{\frac{a}{b} - 1} \right) = +5 \frac{10 + 2}{10 - 1} = +6,66\%$$

und

$$z_2 = -x_2 \left(\frac{\frac{a}{b} + \frac{y_1}{x_2}}{\frac{a}{b} - 1} \right) = -10 \frac{10 + 2}{10 - 1} = -13,35\%$$

Für die Multiplikation wird nach Gl. (3)

$$z_1 = +x_1 \left(1 + \frac{y_1}{x_1} + \frac{y_1}{100} \right) = +5 (1 + 4 + 0,2) = +26\%$$

und

$$z_2 = -x_2 \left(1 + \frac{y_2}{x_2} - \frac{y_2}{100} \right) = -10 (1 + 1 - 0,1) = -19\%$$

Analog für die Division nach Gl. (4)

$$z_1 = +x_1 \left(\frac{1 + \frac{y_2}{x_1}}{1 - \frac{y_2}{100}} \right) = +5 \frac{1 + 2}{1 - 0,1} = +16,66\%$$

und

$$z_2 = -x_2 \left(\frac{1 + \frac{y_1}{x_2}}{1 + \frac{y_1}{100}} \right) = -10 \frac{1 + 2}{1 + 0,2} = -25\%$$

c) Gegeben seien drei Meßgrößen α , β und γ , die mit einer Toleranz von $u = \pm 10\%$, $v = \pm 10\%$ und

$w = \pm 20\%$ bestimmt wurden. Gesucht ist die Toleranz einer Rechengröße

$$\delta = K \frac{\alpha^2}{\sqrt{\beta\gamma}},$$

wenn K eine Konstante ist.

Für das Zählerquadrat wird

$$z' = \pm 2 \cdot 10 \left(1 \pm \frac{1}{2} \frac{10}{100} \right) = \begin{cases} + 21\% \\ - 19\% \end{cases},$$

und für das Produkt $\beta\gamma$

$$z'' = \pm 10 \left(1 + \frac{20}{10} \pm \frac{20}{100} \right) = \begin{cases} + 32\% \\ - 28\% \end{cases},$$

und daraus die Quadratwurzel

$$z_1''' = + \frac{32}{2} \left(1 - \frac{1}{4} \frac{32}{100} \right) = + 14,7\%$$

und

$$z_2''' = - \frac{28}{2} \left(1 + \frac{1}{4} \frac{28}{100} \right) = - 15\%,$$

und damit für die Toleranz des gesuchten Ausdruckes δ

$$z_1'''' = + 21 \left(\frac{1 + \frac{15}{21}}{1 - \frac{15}{100}} \right) = + 42,4\%$$

und

$$z_2'''' = - 19 \left(\frac{1 + \frac{14,7}{19}}{1 + \frac{14,7}{100}} \right) = - 29,4\%.$$

Näherungsweise ergibt sich: Quadrat des Zählers: $\pm 20\%$, Produkt des Nenners: $\pm 30\%$, daraus die Wurzel: $\pm 15\%$ und damit für die Toleranz des gesuchten Ausdruckes: $\pm 35\%$ im Vergleich zu $+ 42,4\%$ und $- 29,4\%$ nach der genauen Formel.

d) Es soll, wie im ATM Blatt J 021—3 die Temperaturzunahme einer Kupferspule aus der Widerstandszunahme berechnet werden. Der Widerstand der Spule wurde kalt (R_1) und warm (R_2) mit einer Toleranz von $u = \pm 1\%$ gemessen, wobei $R_2/R_1 = 1,4$ sei. Gesucht ist die Toleranz der Temperaturzunahme nach der Beziehung

$$\Delta\theta = K \frac{R_2 - R_1}{R_1},$$

wenn K eine Konstante darstellt.

Nach Gl. (2) wird für die Differenz im Sonderfall $y = x$

$$z' = \pm u \frac{R_2/R_1 + 1}{R_2/R_1 - 1} = \pm 1 \frac{1,4 + 1}{1,4 - 1} = \pm 6\%.$$

und daraus für den Quotienten nach der Näherungsformel (4)

$$z'' = \pm (z' + v) = \pm 7\%,$$

d. h., wird der Widerstand mit einer Toleranz von $\pm 1\%$ gemessen, dann läßt sich die Temperaturzunahme nur mit einer Meßtoleranz von $\pm 7\%$ ermitteln, was bei der angenommenen 40-proz. Widerstandszunahme einer Temperaturtoleranz von $\pm 7^\circ$ entsprechen würde. Soll die Temperaturzunahme auf $\pm 1^\circ$ genau bestimmt werden, dann müßte der Widerstand mit einer Toleranz von mindestens $\pm 0,14\%$ gemessen werden, wie sich aus obigen Beziehungen leicht beweisen läßt.

e) Mittels einer Brücke wurde der Ohmsche Widerstand einer Spule mit einer Toleranz von $u = \pm 1\%$ ermittelt. Mit einer zweiten Brückenordnung wurde der Selbst-

induktionskoeffizient L der gleichen Spule mit einer Toleranz von $v = \pm 2\%$ gemessen. Gesucht sei die Toleranz des Scheinwiderstandes

$$G = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

bei einer bestimmten Kreisfrequenz ω nach der Näherungsformel, wenn $\frac{\omega L}{R} = 50$ ist.

Für das Quadrat von R und ωL ergibt sich nach der Näherungsbeziehung (5) eine Toleranz von $2u = \pm 2\%$ und $2v = \pm 4\%$. Da $\omega L/R \gg 1$, so wird die Summentoleranz der beiden Quadrate nach Gl. (1) etwa $\pm 4\%$, und für die Wurzel aus der Quadratensumme folgt nach Gl. (6) eine Toleranz des gesuchten Scheinwiderstandes von $\pm 2\%$.

Man sieht, daß mit Hilfe der Näherungsformeln die Rechnung sehr einfach und übersichtlich wird.

f) In einem Schwingungskreis wurde die Kapazität C und der Selbstinduktionskoeffizient L mit einer Toleranz von $u = \pm 0,5\%$ und $v = \pm 1\%$ ermittelt. Gesucht ist die Toleranz, die sich für die Größe der Schwingungsdauer T des Kreises nach der Gleichung

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

errechnen läßt.

Die Toleranz des Produktes LC wird nach Gl. (3) $z' = \pm (u + v) = \pm 1,5\%$ und damit für die Wurzel des Produktes und somit für die Toleranz der Schwingungsdauer selbst $z'' = z'/2 = \pm 0,75\%$.

g) Bei Eichung einer Funkenstrecke werde Effektivwert und Maximalwert U_1 und U_2 der angelegten Spannung mit einer Toleranz von $\pm 0,5\%$ bestimmt. Das Übersetzungsverhältnis n des Transformators sei gegeben. Gesucht ist die Toleranz, mit der sich hieraus die Ansprechspannung U_a der Funkenstrecke ermitteln läßt, wenn

$$U_a = n f U_1$$

und der Scheitelfaktor

$$f = \frac{U_2}{U_1}$$

ist.

Für die Toleranz des Scheitelfaktors wird somit $\pm 1\%$ und damit für die Toleranz der Ansprechspannung $\pm 1,5\%$.

h) Von einem Plattenkondensator mit der Fläche F , zwischen dessen Beläge eine Isolierschicht von der Stärke δ und der Dielektrizitätskonstanten ϵ liege, wurde die Kapazität C durch ein Brückenverfahren mit einer Toleranz von $\pm 1\%$ ermittelt. Die Isolierschichtstärke sowie die Abmessungen des Kondensators konnten mit $\pm 0,5\%$ Toleranz bestimmt werden. Gesucht ist die Toleranz, mit der sich hieraus die Dielektrizitätskonstante des Isolierstoffes nach der Beziehung

$$\epsilon = 36 \pi 10^{11} \frac{C \delta}{F}$$

bestimmen läßt.

Für das Zählerprodukt wird nach Näherungsbeziehung (3) die Toleranz $\pm 1,5\%$, für die Fläche $\pm 1\%$ und damit für die Größe ϵ eine Toleranz von $\pm 2,5\%$.

Aufzeichnen kleiner Wege mit Diamant auf harte Stoffe

J

031-10

Verfasser: Heinrich Freise, Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.,
Berlin-Adlershof

DK 53.087.6:546.26-1

I. Meßverfahren. Bei technischen Messungen lassen sich viele physikalische Größen aus einer Wegmessung bestimmen, z. B. Kräfte aus der Dehnung einer Feder, Drücke aus der Durchbiegung einer Membran, die Beanspruchung eines Bauteils aus seiner elastischen Formänderung usw. Da jene Größen sich gewöhnlich mit der Zeit stark ändern, müssen die Meßwege fortlaufend aufgezeichnet werden.

Diesem Zweck dienende Meßgeräte müssen oft — vornehmlich bei Betriebsmessungen — harte Bedingungen erfüllen: Sie sollen auch von ungeübten Kräften zu bedienen und unempfindlich gegen rauhe Behandlung sein, trotzdem aber eine ausreichende Anzeigegenauigkeit und wegen der meist stark schwankenden Meßgröße eine möglichst geringe Anzeigetragheit besitzen. Gewicht und Abmessungen sollen auf ein Mindestmaß beschränkt sein; gleichwohl wird oft, z. B. für statistische Messungen zum Zwecke der Großzahlforschung, eine große Schreiblänge gefordert. In vielen Fällen muß die Möglichkeit bestehen, an zahlreichen Stellen zu gleicher Zeit zu messen.

Die Meßwege sind nun häufig nur von der Größenordnung einiger zehntel Millimeter, entweder, wie bei Dehnungsmessungen, von Natur aus oder wegen der zu fordernden hohen Eigenfrequenz und damit Starrheit des eigentlichen Meßelementes, etwa der Feder eines Kraftmeßgerätes. Sie müssen also dem Auge zur Auswertung irgendwie vergrößert dargeboten werden. Eine mechanische Hebelübersetzung mit Zapfen- oder Spitzenlagern hat immer Lagerreibung, meist auch Lagerspiel; außerdem ist die Eigenfrequenz, hauptsächlich bei starken Vergrößerungen, häufig nicht hoch genug, um schnelle Vorgänge unverzerrt aufzeichnen zu können. Federgelenke mit großer Steifigkeit sind zwar unter Umständen ein einfaches Mittel zur Erhöhung der Eigenfrequenz, sie üben aber eine ziemlich starke Rückwirkung aus, so daß sie nur dort angewandt werden können, wo entsprechend große Meßkräfte zur Verfügung stehen. Ein weiterer Nachteil der rein mechanischen Vergrößerung der Meßwege ist der große Raum- und Gewichtsbedarf der Meßanordnung. Dies gilt auch für die Gesamtmeßanordnung der im übrigen reibungs- und trägheitsfreien optischen Vergrößerung, die außerdem einen lichtdichten Abschluß des Schreibgerätes erfordert. Zahlreich sind die Verfahren, bei denen die Vergrößerung über irgendeine elektrische Größe (Widerstand, Induktivität, Kapazität usw.) zustandekommt. Wenngleich in diesen Fällen das eigentliche Meßelement (Spule, Kondensator usw.) unschwer genügend klein und leicht ausgebildet werden kann, ist doch die Gesamtmeßanordnung (Oszillograph, Röhrenverstärker) ziemlich umfang-

reich und schwer. Sie ist außerdem nicht ganz einfach zu bedienen und muß häufig nachgeeicht werden.

Die geschilderten Mängel vermeidet ein in der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) benutztes Verfahren, bei dem die Meßwege möglichst in natürlicher Größe durch einen Diamanten in harte Stoffe, gewöhnlich Glas oder Stahl (geschliffen und hochglanzpoliert) geritzt werden; die Auswertung geschieht nach dem Versuch unter einem Mikroskop oder mikrographisch^{1...4}.

Die Auswertgenauigkeit hängt eng mit der Strichbreite zusammen. Diese wiederum ist von dem Kegelwinkel der geschliffenen Diamantspitze, ihrem Anpreßdruck und der Härte der Schreibfläche abhängig. Gewählt wurde ein Kegelwinkel von 60°. Der Anpreßdruck soll mit Rücksicht auf seitliche Beschleunigungen, die den Diamanten von der Schreibfläche abheben könnten, im allgemeinen 10 g nicht unterschreiten. Die Strichbreite bei diesem Druck beträgt auf Glas und gehärtetem Stahl (Brinellhärte = 650 kg/mm²) 3...4 μ , die Reibung 1...2 g. Sie ist meist gering im Verhältnis zur Meßkraft. Häufig sind jedoch nicht so hohe Anpreßdrücke erforderlich; dann sind auch Strichbreite und Reibung entsprechend geringer.

Die Meßwege werden in der Mehrzahl der Fälle in Glas geritzt, das sich sehr gut polieren und reinigen läßt. Treten jedoch sehr heftige Stöße auf, so benutzt man besser Stahl, da Glas wegen des erforderlichen hohen Anpreßdruckes splintern würde. Als Schreibfläche dient meist der Außenmantel eines Hohlzylinders, der sehr einfach und genau gelagert werden kann und die beste Raumaussnutzung ermöglicht.

II. Auswertung. Die Auswertung der Aufzeichnungen wird unter handelsüblichen Mikroskopen mit 100... 200facher Vergrößerung im auffallenden Licht vorgenommen. Das Mikroskop muß zu diesem Zweck mit einem Vertikalilluminator und einem Okularmikrometer ausgerüstet sein, mit dessen geeichter Skala die Aufzeichnungen unmittelbar ausgemessen werden. Von besonders interessierenden Stellen fertigt man — auf normalen optischen Bänken — Mikrophotographien an.

Die Auswertung ist besonders einfach mit Hilfe des Mikrofilmgerätes (Bild 1), das die Aufzeichnungen in 50- bzw. 100facher Vergrößerung fortlaufend auf ein wanderndes lichtempfindliches Band (Film oder Bromsilberpapier) überträgt⁴. Von einem Motor *a* wird einerseits eine gezahnte Rolle *b* angetrieben, deren Zähne in die Perforation des Bandes *c* greifen, das sich von der Vorratsrolle *d* abwickelt, an einem Fenster *e* vorbeiwandert und auf einer zweiten Rolle *f* wieder aufgespult wird. Der Motor treibt andererseits über ein

ATM

Archiv für Technisches Messen

J 031-10
November 1938

Untersetzungsgetriebe *g* den von einer Lampe *h* beleuchteten auszuwertenden Schreibzylinder *i* auf dem Tisch des Mikroskopes *k* an, das ein scharfes Bild der Aufzeichnung in der Ebene des Fensters entwirft. Die Untersetzung des Getriebes ist nun so gewählt, daß die Geschwindigkeit des wandernden Bildes die gleiche ist

mußte naturgemäß besondere Sorgfalt verwandt werden, da etwa entstehendes Spiel wegen der verhältnismäßig geringen Meßwege, die ja meist nur einige zehntel Millimeter betragen, die Aufzeichnungen unter Umständen erheblich fälschen würde. Auch auf stark schwankende Meßtemperaturen, wie sie z. B. bei Messungen an Luftfahrzeugen keine Seltenheit sind, und sonstige atmosphärische Einflüsse mußte entsprechend Rücksicht genommen werden. Zur Erzielung eines möglichst ge-

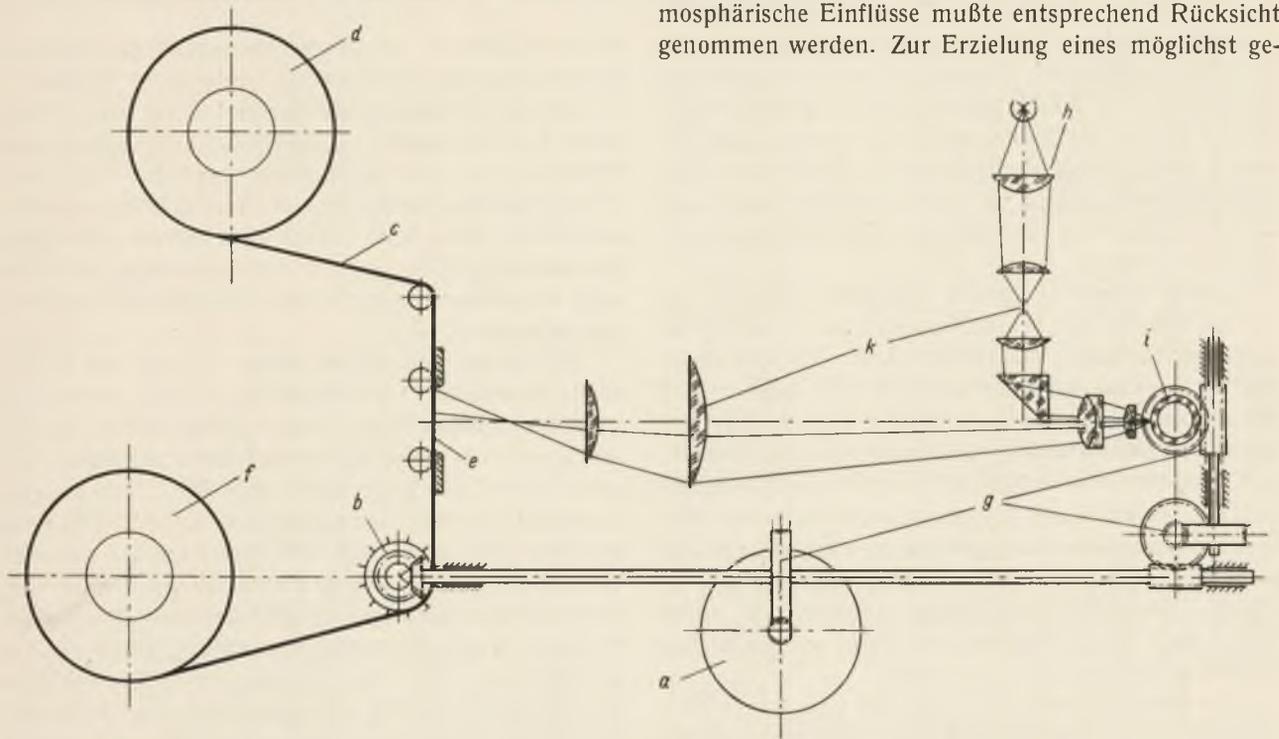


Bild 1. Mikrofilmgerät zur photographischen Übertragung der Aufzeichnungen von Ritzgeräten auf ein wanderndes Band. *a* Antriebsmotor, *b* Transportrolle, *c* lichtempfindliches Band, *d* Vorratsrolle, *e* Bildfenster, *f* Aufspulrolle, *g* Untersetzungsgetriebe, *h* Lampe zur Beleuchtung des Schreibzylinders, *i* Schreibzylinder, *k* Mikroskop.

wie die des ablaufenden Bandes, so daß auf diesem ein scharfes Bild der Aufzeichnung bei verhältnismäßig breitem Fenster entsteht.

In einer Sonderausführung kann man das Bild durch ein zusätzliches Getriebe sowohl langsamer als auch schneller wie das Band wandern lassen³. Man erhält dann bei entsprechend schmalen Fenstern im ersten Falle ein zeitlich auseinandergezogenes, im zweiten Falle ein zusammengedrücktes Bild der Aufzeichnung (Bild 2). Von dieser Möglichkeit, den Zeitmaßstab der Aufzeichnung nachträglich zu verändern (stufenlos in einem Bereich von 1:3...3:1), wird man dann Gebrauch machen, wenn bei mehr oder weniger willkürlich gewähltem Zylindervorschub eine genaue zeitliche Auswertung nicht möglich ist, die Messung aber aus irgendwelchen Gründen nicht wiederholt werden kann. Der Ablesefehler beträgt bei allen Auswertverfahren — je nach Vergrößerung und Strichbreite — etwa $\pm 2...3 \mu$.

III. Das Ritzschreibgerät. Als Schreibfläche wird, wie schon erwähnt, meist der Außenmantel eines Hohlzylinders benutzt. Auf die Ausbildung der Lagerteile

ringen Gewichtes fand weitgehend Leichtmetall Verwendung.

Das jeweils mit dem betreffenden Meßelement (Membran, Feder usw.) zusammenzubauende Ritzschreibgerät in seiner Normalform zeigt Bild 3. Mit der Hauptwand des allseitig geschlossenen Gehäuses *a* ist eine Buchse *b* verschraubt. In dieser ist eine Achse *c* drehbar gelagert, die die Trommel *d* zur Aufnahme des Schreibzylinders *e* von 25 mm Dmr. trägt. Der Antrieb der Trommel erfolgt durch zwei Schneckengetriebe, von denen das eine an der Außenwand, das andere im Innern des Gehäuses angeordnet ist. Die Trommel *d* ist mit dem inneren Schneckengetriebe durch eine Reibungskupplung verbunden, die sich kurz vor Ablauf einer Trommelumdrehung selbsttätig löst, so daß ein Ineinanderschreiben verhütet wird. Der die Meßwege aufzeichnende Diamant *f* ist an dem einen Ende eines sehr leichten, durch zwei Lenker nahezu parallelgeführten Röhrchens befestigt; das andere Ende wird mit dem Meßelement verbunden. Die zur Auswertung erforderliche Bezugslinie schreibt ein zweiter, am Gehäuse befestigter Diamant,

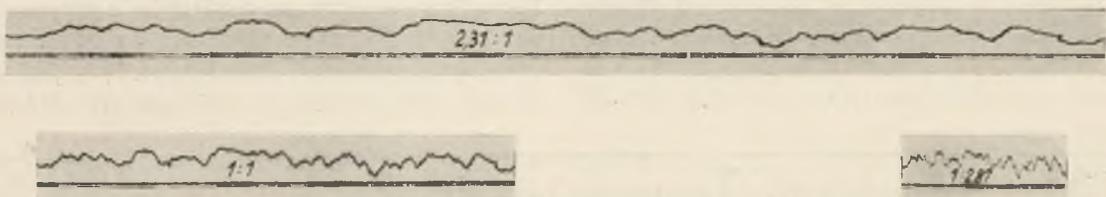


Bild 2. Mikroaufnahmen mit verschiedenem Zeitmaßstab.

der zur Zeitmarkierung durch einen kleinen Elektromagneten bei der älteren Ausführung von der Schreibfläche abgehoben, bei der neuen seitlich ausgelenkt werden kann. Beide Diamanten lassen sich ferner durch

durch eine Hebelübersetzung auf einen Papierstreifen, so müßte dieser etwa 200 m lang sein. Ein derartiges Gerät würde sehr groß und schwer ausfallen, während die äußeren Abmessungen des Langzeit-Ritzschreibgerätes nur etwa $40 \times 40 \times 60 \text{ mm}^3$ betragen. Es wiegt 200 g.

IV. Antrieb. Sollen die Aufzeichnungen zahlreicher Meßgeräte einander zugeordnet werden, so wird das Ritzschreibgerät durch einen selbstanlaufenden Synchronmotor mit den ungefähren äußeren Abmessungen $65 \times 70 \times 75 \text{ mm}^3$ angetrieben (Bild 5). Er besitzt ein dreistufiges Getriebe, dessen Untersetzung so gewählt ist, daß die Umlaufzeit des Schreibzylinders wahlweise 1, 2 und 5 min beträgt. Ein weiteres Getriebe (Bild 6), das bei Bedarf zugeschaltet werden kann, vergrößert diese Zeiten auf das 12fache, so daß man als größte Umlaufzeit für das Normalgerät 1 h, für das Langzeitgerät 25 h erhält.

Den zum Antrieb der Synchronmotore erforderlichen 220 V-Einphasen-Wechselstrom entnimmt man bei Messungen an ortsfesten Anlagen ohne weiteres dem Lichtnetz, bei Messungen an beweglichen Gegenständen, z. B. Luftfahrzeugen, oder an Stellen, wo Wechselstrom aus dem Netz nicht zur Verfügung steht, einem kleinen Einankerumformer, dessen Primärseite an einen Akkumulator angeschlossen wird. In diesem Falle sieht man zweckmäßig noch eine besondere Zeitmarkierung vor, da die Motore wohl untereinander gleich schnell laufen, ihre Drehzahl und somit der Vorschub des Schreibzylinders jedoch von der Spannung des Akkumulators abhängig ist. Auch bei Netzbetrieb gibt man kurz nach dem Einschalten der Motore wegen ihres asynchronen Anlaufes eine Kennmarke auf den Schreibzylinder, auf die man sich dann bei der zeitlichen Auswertung bezieht. Bei Beachtung dieser Vorschriften gelingt es unschwer, die Aufzeichnungen selbst zahlreicher Meßgeräte mit ausreichender Genauigkeit zeitlich einander zuzuordnen.

Bei Einzelgeräten wird meist der auf Bild 7 dargestellte 12 V-Gleichstrommotor benutzt. Auch dieser Motor mit den ungefähren äußeren Abmessungen $50 \times 60 \times 95 \text{ mm}^3$ ist mit einem dreistufigen Getriebe ausgerüstet, an das gleichfalls das Zwischengetriebe gekuppelt werden kann. Die zustandekommenden Umlaufzeiten des Schreibzylinders sind jeweils die gleichen wie beim

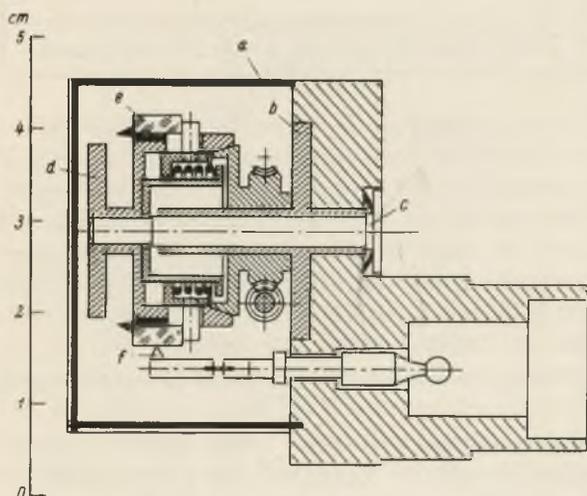


Bild 3. Ritzschreibgerät mit normaler Schreiblänge. a Gehäuse, b Lagerbuchse, c Trommelachse, d Trommel, e Schreibzylinder, f Schreibdiamant.

einen gemeinsamen Bügel von der Schreibfläche abheben. Dies ist notwendig vor jedem Abnehmen und Aufsetzen des Schreibzylinders, um ein Beschädigen der Diamantspitzen zu verhindern. Der Anpreßdruck eines jeden Diamanten ist einstellbar an einer besonderen Blattfeder. Die äußeren Abmessungen des Ritzschreibgerätes betragen etwa $40 \times 40 \times 35 \text{ mm}^3$. Es wiegt 135 g.

Die Schreiblänge des beschriebenen Gerätes ist meist völlig ausreichend. Statistische Untersuchungen fordern jedoch sehr viel größere Schreiblängen. In diesen Fällen wird das Langzeit-Ritzschreibgerät benutzt (Bild 4). Es unterscheidet sich von dem Normalgerät lediglich dadurch, daß die durch zwei Stangen *a* angetriebene, den Schreibzylinder *b* tragende Trommel *c* sich während der Drehung auch in axialer Richtung auf einer Gewindespindel *d* mit 0,5 mm Steigung fortbewegt. Auf diese Weise wird die Schreiblänge entsprechend der Zahl der Trommelumdrehungen auf das 25fache erhöht. Wollte man die Meßwege unmittelbar an Ort und Stelle 100fach vergrößert aufzeichnen, z. B.

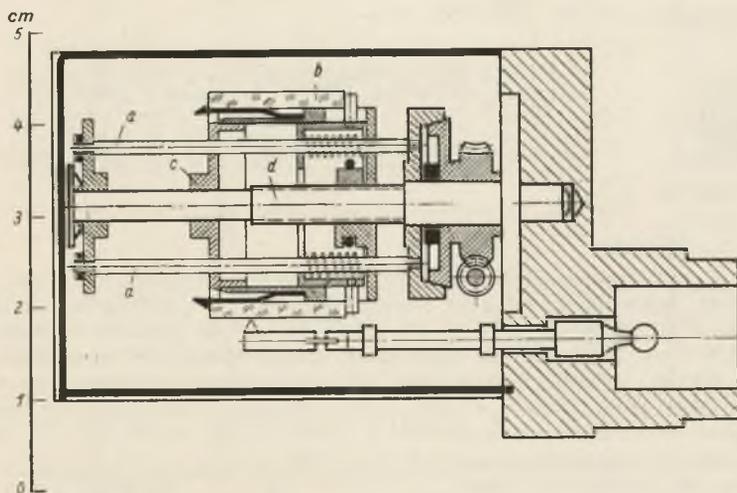


Bild 4. Ritzschreibgerät mit großer Schreiblänge. a Führungsstangen, b Schreibzylinder, c Trommel, d Gewindespindel.

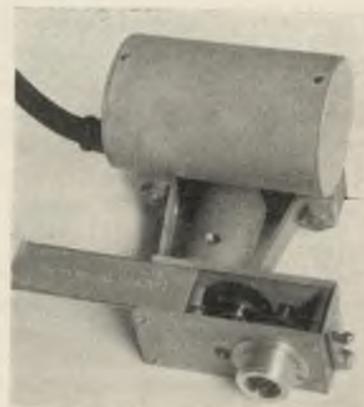


Bild 5. Synchronmotor mit dreistufigem Schaltgetriebe.

Synchronmotor. Die Verbindung stellt in beiden Fällen eine kurze biegsame Welle her. Für Sonderzwecke werden noch wesentlich kleinere Gleichstrommotore, gelegentlich auch Federwerke benutzt.

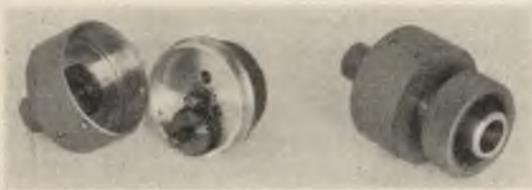


Bild 6. Zwischengetriebe (Untersetzung 1:12).

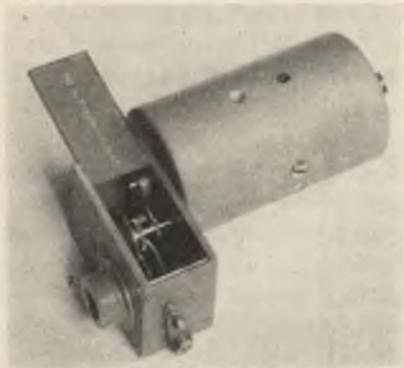


Bild 7. Gleichstrommotor mit dreistufigem Schaltgetriebe.

V. Anwendung. Zahlreich sind die Anwendungsmöglichkeiten des Diamantritzverfahrens in der Meßtechnik. Wegen des einfachen Aufbaues der mechanischen Meßanordnung, die gleichwohl eine hohe Anzeigegenauigkeit und — wegen der geringen Masse des Schreibgestänges — geringe Anzeigeträgheit besitzt, und der dadurch bedingten Betriebssicherheit und Unempfindlichkeit gegen rauhe Behandlung eignet sich das Verfahren vor allem zum Aufzeichnen schneller Vorgänge unter schwierigen Versuchsbedingungen (stark wechselnde Temperatur, Niederschläge, Spritzwasser, Staub, heftige Erschütterungen usw.), wie sie bei Betriebsmessungen an Luft- und Schienenfahrzeugen, Schiffen, Brücken und Förderanlagen fast immer vorliegen. Gelegentlich kann auch die Unempfindlichkeit des Ritzverfahrens gegen elektrische und magnetische Einflüsse von Wichtigkeit sein.

Der kleine Raum- und Gewichtsbedarf der Ritzgeräte ist hauptsächlich bei Messungen an Luftfahrzeugen

von Bedeutung, ebenso wie die Möglichkeit der gleichzeitigen Messung an vielen Stellen. So wurde z. B. die resultierende Stoßkraft bei Start und Landung von Seeflugzeugen aus zahlreichen Dehnungsmessungen im

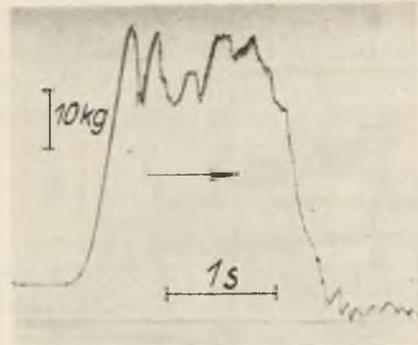


Bild 9. Verlauf der Höhensteuerkraft beim plötzlichen Hochreißen eines Flugzeuges.

Schwimmergestell ermittelt⁵. Ganz ähnlich hinsichtlich der Vielzahl der Meßstellen liegen die Verhältnisse auf Schiffen.

Besonders geeignet ist das Ritzverfahren wegen seiner großen Schreibdauer für statistische Messungen der verschiedensten Art, z. B. zur Ermittlung der Beanspruchung von Luftfahrzeugen in böigem Wetter, von Förderseilen bei wechselnder Belastung, von Schiffen im Seegang usw. Die Geräte arbeiten bei diesen Messungen über lange Zeiten völlig selbsttätig ohne jede Wartung. So wurden an Flugzeugen der Deutschen Luft Hansa fortlaufend Dehnungsmessungen im normalen Luftverkehr an einem Flügelholm^{6,7}, ferner unter sehr schwierigen Versuchsbedingungen auf einer Hochseemeßfahrt der „San Francisco“ der Hamburg-Amerika-Linie zahlreiche Dehnungs- und Druckmessungen an der Schiffsbeplankung durchgeführt⁸. In diesem Zusammenhang sei auch auf ein Langzeit-Ritzgerät zum Aufzeichnen des Seeganges verwiesen⁹.

Das Diamantritzverfahren wurde in den letzten Jahren auf vielen Gebieten unter den verschiedensten Versuchsbedingungen praktisch erprobt. Es hat sich gut bewährt. Einige kennzeichnende Ausschnitte aus Aufzeichnungen, die bei diesen Messungen gewonnen wurden, sind auf den Bildern 8...10 wiedergegeben. Gegenstand eines demnächst erscheinenden ATM-Aufsatzes soll die Anwendung des Diamantritzverfahrens in der Luftfahrt sein.

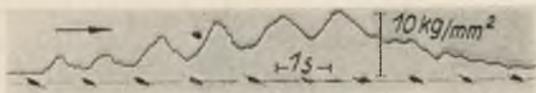


Bild 8. Spannungsverlauf im Fachwerkstab einer Brücke beim Befahren mit einem schweren Fahrzeug.

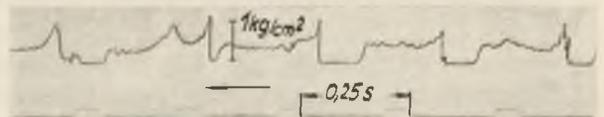


Bild 10. Druckverlauf am Boden eines Flugbootes bei der Landung.

Literatur.

1. F. Seewald, Über die Messung der Kräfte an Luftfahrzeugen. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 19 (1928), S. 474...481, Nr. 19; DVL-Jahrb. 1929, S. 127...134. — 2. W. Pabst, Aufzeichnung schneller Schwingungen nach dem Ritzverfahren. Z. VDI 73 (1929), S. 1629...1633, Nr. 46; DVL-Jahrb. 1930, S. 31...36. — 3. H. Freise, Neue Ritzgeräte für die Luftfahrtforschung, Luftf.-Forsch. 14 (1937), S. 373...386, Nr. 14. — 4. H. Freise, Ritzgeräte zum Aufzeichnen schnell wechselnder Spannungen, Drücke und Kräfte. Z. VDI 82 (1938), S. 457...461, Nr. 16. — 5. W. Pabst, Über den Landestoß von Seeflugzeugen. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 22 (1931), S. 13...28, Nr. 1; DVL-Jahrb. 1931, S. 43...58. — 6. F. Seewald, Messungen mit dem Glasritzdehnungsschreiber der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt. Maschinenbau 10 (1931), S. 725...727, Nr. 23. — 7. H. Freise, Spitzenwerte und Häufigkeit von Böenbelastungen an Verkehrsflugzeugen. Jahrbuch 1938 d. deutsch. Luftfahrtforsch., S. I 289...1302. — 8. G. Schnadel, Beanspruchung des Schiffes im Seegang. Z. VDI 80 (1936), S. 208...210, Nr. 8. — 9. W. Pabst, Über ein Gerät zur Aufzeichnung und Messung des Seegangs. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 24 (1933), S. 598...600, Nr. 21 u. S. 616...619, Nr. 22; DVL-Jahrb. 1933, S. II 13...II 19.

Fehlergrößen des Stromwandlers

Einfluß der Wellenform des Primärstromes

Z

22-1

Nach John H. Park, J. Res. Nat. Bur. Stand. 19 (1937), S. 517...530

DK 621.314.224.3.088

Die Untersuchung von P. G. Agnew¹, nach der die Beeinflussung des Übersetzungs- und Winkelfehlers von Stromwandlern durch Änderung der Wellenform des Primärstromes bei den praktisch vorkommenden Wellenformverzerrungen vernachlässigbar klein ist, bezieht sich nur auf verhältnismäßig kleine Primärstromstärken. J. H. Park² hat deshalb den Einfluß der Wellenform auf die Fehlergrößen von Stromwandlern für höhere Stromstärken (500...4000 A) experimentell untersucht. Die mit den gebräuchlichen Stromwandler-Prüfeinrichtungen gemessenen Werte des Übersetzungs- und Winkelfehlers stellen die Beziehung zwischen den Grundwellen des primären und sekundären Stromes dar. Wenn der zeitliche Verlauf des zu messenden Primärstromes nicht nahezu sinusförmig ist, dann weicht diese Beziehung von der die Oberwellen berücksichtigenden ab und entspricht somit nicht mehr den tatsächlichen Verhältnissen. Deshalb wurden bei der vorliegenden Untersuchung nicht nur der Übersetzungs- und Winkelfehler zwischen den Grundwellen des Primär- und Sekundärstromes, sondern auch die Übersetzungs- und Winkelfehler zwischen den einzelnen Oberwellen des Primärstromes und den entsprechenden Oberwellen des Sekundärstromes gemessen. In diesem Zusammenhang war es notwendig, zunächst die bei nichtsinusförmigen Strömen für den Übersetzungs- und Winkelfehler sich ergebenden Werte zu definieren und durch die der Grundwelle und den Oberwellen entsprechenden Größen auszudrücken.

1. Definition des Übersetzungs- und Winkelfehlers für nichtsinusförmige Ströme. Geht man von der Annahme aus, daß der dem Stromwandler zugeführte Strom nur ungeradzahlige Oberwellen enthält und daß sein Augenblickswert durch die Gleichung

$$i_1 = I_m [\sin \omega t + k_3 \sin (3 \omega t + \varphi_3) + k_5 \sin (5 \omega t + \varphi_5) + \dots] \quad (1)$$

darstellbar ist, so ergibt sich der entsprechende Augenblickswert des Sekundärstromes aus der Gleichung

$$i_2 = \frac{I_m}{N} \left[\frac{1}{c_1} \sin (\omega t + \delta_1) + \frac{k_3}{c_3} \sin (3 \omega t + \varphi_3 + \delta_3) + \frac{k_5}{c_5} \sin (5 \omega t + \varphi_5 + \delta_5) + \dots \right] \quad (2)$$

wobei N das Nennübersetzungsverhältnis des Stromwandlers ist und c_1, c_3, c_5 diejenigen Faktoren bedeuten, mit denen N multipliziert werden muß, um die wirklichen, der Grundwelle und den einzelnen Oberwellen zugeordneten Übersetzungsverhältnisse zu erhalten,

während $\delta_1, \delta_3, \delta_5$ die dazugehörigen Fehlwinkel bezeichnen.

Gemäß der üblichen Definition für das Übersetzungsverhältnis eines Stromwandlers bei nichtsinusförmigen Strömen ist dieses Übersetzungsverhältnis durch den Ausdruck „(Effektivwert des primären Stromes) : (Effektivwert des sekundären Stromes)“ bestimmt und kann durch die der Grundwelle und den einzelnen Oberwellen zugeordneten Übersetzungsverhältnisse folgendermaßen ausgedrückt werden.

Aus den Gl. (1) und (2) ergeben sich die Effektivwerte des primären und sekundären Stromes zu

$$I_1 = \frac{I_m}{\sqrt{2}} (1 + k_3^2 + k_5^2 + \dots)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

und

$$I_2 = \frac{I_m}{N \sqrt{2}} \left(\frac{1}{c_1^2} + \frac{k_3^2}{c_3^2} + \frac{k_5^2}{c_5^2} + \dots \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Das Übersetzungsverhältnis I_1/I_2 ist also durch die Beziehung

$$I_1/I_2 = N \cdot c_e = N \left(\frac{1 + k_3^2 + k_5^2 + \dots}{\frac{1}{c_1^2} + \frac{k_3^2}{c_3^2} + \frac{k_5^2}{c_5^2} + \dots} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

bestimmt, wobei c_e den Faktor darstellt, mit dem man das Nennübersetzungsverhältnis N multiplizieren muß, um das wirkliche Übersetzungsverhältnis I_1/I_2 des Stromwandlers zu erhalten. Hieraus ergibt sich für den Faktor c_e , wenn man die Glieder vierter und höherer Ordnung von k_n , wie z. B. $(1 - c_1^2/c_n^2)k_n^4$, vernachlässigt,

$$c_e = c_1 \left[1 + \left(1 - \frac{c_1^2}{c_3^2} \right) k_3^2 + \left(1 - \frac{c_1^2}{c_5^2} \right) k_5^2 + \dots \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

und, wenn $k_n \leq 0,2$ ist, der vereinfachte Ausdruck

$$c_e = c_1 [1 + (c_3 - c_1) k_3^2 + (c_5 - c_1) k_5^2 + \dots] \quad (7)$$

Die Gl. (7) ermöglicht, das Übersetzungsverhältnis I_1/I_2 aus den der Grundwelle und den einzelnen Oberwellen zugeordneten Übersetzungsverhältnissen in einfacher Weise zu berechnen. Bemerkenswert ist, daß I_1/I_2 mit dem Übersetzungsverhältnis der Grundwellen des Primär- und Sekundärstromes nahezu übereinstimmt, solange keine erheblichen Unterschiede zwischen den Übersetzungsverhältnissen der Oberwellen und dem Übersetzungsverhältnis der Grundwelle vorhanden sind.

Weiterhin ergibt sich als Definition für den Winkelfehler δ eines Stromwandlers bei nichtsinusförmigen Strömen die (durch Vernachlässigung der Glieder höhe-

rer Ordnung und durch die Annahme, daß $k_n \leq 0,2$ ist, vereinfachte) Beziehung

$$\delta = \delta_1 + \frac{k_3^2 \frac{c_1}{c_3} (3\delta_3 - \delta_1) + k_5^2 \frac{c_1}{c_5} (5\delta_5 - \delta_1) + \dots}{1 + k_3^2 \frac{c_1}{c_3} + k_5^2 \frac{c_1}{c_5} + \dots}, \quad (8)$$

die den Winkelfehler δ durch die Übersetzungsverhältnisse bzw. Faktoren c_1, c_3, c_5 und Winkelfehler $\delta_1, \delta_3, \delta_5$ der Grundwelle und der einzelnen Oberwellen ausdrückt und aus diesen Werten zu berechnen ermöglicht.

2. Meßanordnung und praktische Durchführung der Untersuchung. Es wurden sieben Stromwandler untersucht, die sich durch die Art des Eisenkernes, durch die räumliche Verteilung der Windungen und durch das Übersetzungsverhältnis voneinander unterschieden. Zur Messung der der Grundwelle und den einzelnen Oberwellen zugeordneten Werte des Übersetzungs- und Winkelfehlers wurde die im National Bureau of Standards gebräuchliche Stromwandler-Prüfeinrichtung³ benutzt, die an sich in Verbindung mit einem auf die Frequenz der Grundwelle abgestimmten Vibrationsgalvanometer arbeitet, so daß nur die Grundwellen des Primär- und Sekundärstromes zur Messung herangezogen werden, während die Oberwellen unberücksichtigt bleiben.

Um die Wellenform des dem zu untersuchenden Stromwandler zugeführten Stromes gesetzmäßig ändern zu können, wurde die zur Speisung der Meßanordnung dienende Spannung aus zwei hintereinandergeschalteten, regelbaren Teilspannungen von 60 Hz bzw. 180 Hz zusammengesetzt, die den Ständerwicklungen zweier miteinander starr gekuppelter und von einem Gleichstrommotor angetriebener Wechselstromgeneratoren entnommen wurden. Die Ständer dieser Generatoren konnten gegeneinander verdreht werden, der größte Verdrehungswinkel entsprach einer Phasenverschiebung von 180° des 60-Hz-Generators, d. h. einer halben Periode der Grundwelle. Die Klemmenspannung des

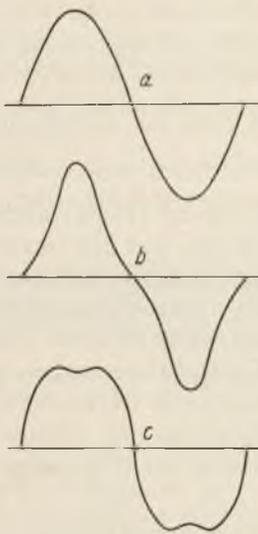


Bild 1. Zusammenstellung der Wellenformen, die bei der experimentellen Untersuchung benutzt wurden:

a) Sinus-Kurve; b) spitze Kurve, bestehend aus der Grundwelle und einer dritten Harmonischen von 20% der Grundwelle, wobei der Scheitelwert der positiven 60-Hz-Halbwellen mit dem Scheitelwert einer positiven 180-Hz-Halbwellen zusammenfällt; c) flache Kurve, bestehend aus der Grundwelle und einer dritten Harmonischen von 20% der Grundwelle, wobei der Scheitelwert der positiven 60-Hz-Halbwellen mit dem Scheitelwert einer negativen 180-Hz-Halbwellen zusammenfällt.

60-Hz-Generators und die des 180-Hz-Generators waren praktisch sinusförmig, die in ihnen enthaltenen Oberwellen betragen in allen Fällen höchstens 2 bzw. 5% der Grundwelle. Bei der vorliegenden Untersuchung wurden drei verschiedene Wellenformen benutzt (Bild 1):

a) Sinus-Kurve (60-Hz-Grundwelle, wobei der 180-Hz-Generator abgeschaltet wurde),

b) spitze Kurve, bestehend aus der Grundwelle und einer dritten Harmonischen von 20% der Grundwelle, wobei der Scheitelwert der positiven 60-Hz-Halbwellen mit dem Scheitelwert einer positiven 180-Hz-Halbwellen zusammenfällt,

c) flache Kurve, bestehend aus der Grundwelle und einer dritten Harmonischen von 20% der Grundwelle, wobei der Scheitelwert der positiven 60-Hz-Halbwellen mit dem Scheitelwert einer negativen 180-Hz-Halbwellen zusammenfällt.

Die Größe und Phase der dritten Harmonischen wurden durch Ändern der Felderregung des 180-Hz-Generators bzw. durch Verdrehen seines Ständers eingestellt und mit einem Wattmeter gemessen, dessen Hauptstromspule in den Sekundärstromkreis des zu untersuchenden Stromwandlers eingefügt war, und dessen Spannungspfad an eine von dem 180-Hz-Generator erzeugte Hilfsspannung angelegt wurde. Die Phasenlage der dritten Harmonischen gegenüber der Grundwelle wurde durch Beobachtung des Kurvenbildes eines Spiegeloszillographen verfolgt, dessen Schleife ebenfalls mit dem Sekundärstromkreis des zu untersuchenden Stromwandlers verbunden war.

Um den Einfluß von Änderungen der Wellenform des Primärstromes auf die Fehlergrößen der verschiedenartigen Stromwandler festzustellen, wurden an jedem Wandler (bei sechs Sekundärstromstärken, und zwar bei 0,5, 1, 2, 3, 4 und 5 A) folgende Messungen ausgeführt:

a) Die Wellenform des Primärstromes entspricht der Kurve a in Bild 1 (Sinus-Kurve), die bei den obengenannten Sekundärstromstärken sich ergebenden Übersetzungs- und Winkelfehler werden in der üblichen Weise mit dem auf die Frequenz 60 Hz abgestimmten Vibrationsgalvanometer gemessen.

b) Die Wellenform des Primärstromes entspricht der Kurve b in Bild 1 (spitze Kurve). Bei jeder der obengenannten Sekundärstromstärken werden zunächst die Werte des Übersetzungs- und Winkelfehlers der Grundwelle (mit dem auf die Frequenz 60 Hz abgestimmten Vibrationsgalvanometer) und anschließend die Werte des Übersetzungs- und Winkelfehlers der dritten Harmonischen (mit einem anderen, auf die Frequenz 180 Hz abgestimmten Vibrationsgalvanometer) ausgemessen.

c) Die Wellenform des Primärstromes entspricht der Kurve c in Bild 1 (flache Kurve). Bei jeder der obengenannten Sekundärstromstärken werden die Werte des Übersetzungs- und Winkelfehlers der Grundwelle und der dritten Harmonischen mit dem auf die Frequenz 60 Hz bzw. 180 Hz abgestimmten Vibrationsgalvanometer je für sich getrennt ausgemessen.

Sämtliche Messungen wurden bei allen untersuchten Wandlern zweimal hintereinander vorgenommen. Bei den Wandlern für sehr hohe Primärstromstärken wurde

dabei die räumliche Anordnung der primären Stromzuführungen geändert, um die durch Lageänderungen dieser Stromzuführungen hervorgerufenen Einflüsse feststellen zu können. Hierauf wurden die durch die Gleichungen (7) und (8) definierten Übersetzungs- und Winkelfehler aus den gemessenen, der Grundwelle und der dritten Harmonischen zugeordneten Übersetzungs- und Winkelfehlern berechnet und in Abhängigkeit vom Sekundärstrom zeichnerisch dargestellt.

3. Ergebnisse und Folgerungen. Die in den Bildern 2...5 wiedergegebenen Kennlinien beziehen sich auf drei Stromwandler, von denen der erste (A) zweckmäßige Abmessungen hatte, während die beiden anderen (B und C) absichtlich besonders ungünstig ausgelegt waren.

Bild 2 zeigt, daß sich bei dem zweckmäßig bemessenen Stromwandler A eine Änderung des Übersetzungsfehlers von höchstens 0,05% und eine Änderung des

also eine Abnahme des Übersetzungs- und Winkelfehlers. Bei der flachen Wellenform, deren Mittelwert größer ist als der einer Sinuskurve von gleichem Effektivwert, ist die Wirkung umgekehrt.

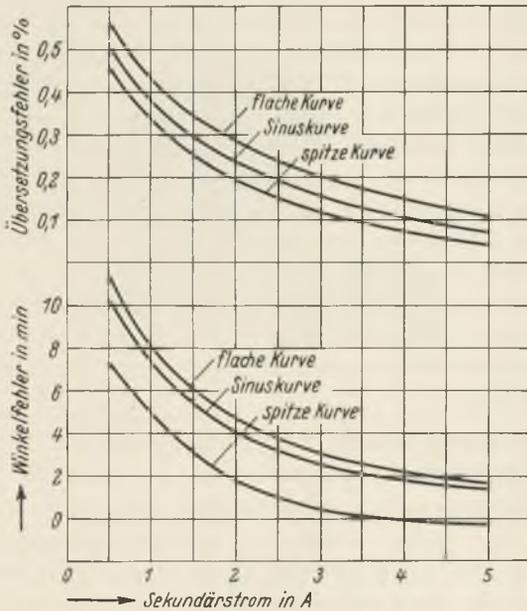


Bild 2. Übersetzungs- und Winkelfehler in Abhängigkeit vom Sekundärstrom bei dem Stromwandler A (Nennübersetzungsverhältnis 2000:5 A; Bürde: 0,4 Ω , 0,00031 Hy; 60 Hz; Rechteck-Eisenkern mit zwei in Reihe geschalteten Sekundärwicklungen von je 200 Windungen auf zwei gegenüberliegenden Schenkeln des Kernes; der Primärstromkreis besteht aus einer durch die Mitte des Kernfensters hindurchgeführten Kupferschiene und vier symmetrisch verteilten Zuführungskabeln).

Winkelfehlers von höchstens 2' ergab, wenn man die Wellenform des Primärstromes durch Überlagerung einer dritten Harmonischen von 20% über die Grundwelle (spitze und flache Kurve) änderte. Die bei verschiedenen Sekundärstromstärken (0,5, 1, 2, 3, 4 und 5 A) gemessenen Übersetzungs- und Winkelfehler sind bei der flachen Stromkurve (c) größer, bei der spitzen Stromkurve (b) kleiner als bei der Sinuskurve (a). Dieses Ergebnis ist folgendermaßen zu erklären: Bei einem richtig dimensionierten Stromwandler stimmt die Wellenform des Primär- und Sekundärstromes mit der Wellenform der vom magnetischen Fluß des Eisenkernes in den Wicklungen induzierten Spannung nahezu überein. Je spitzer diese Wellenform ist, desto kleiner wird ihr Mittelwert, wenn der Effektivwert konstant gehalten wird. Einem kleineren Mittelwert der induzierten Spannung entspricht aber ein kleinerer Scheitelwert des Flusses im Eisenkern und demzufolge auch eine kleinere Zahl der erregenden Amperewindungen,

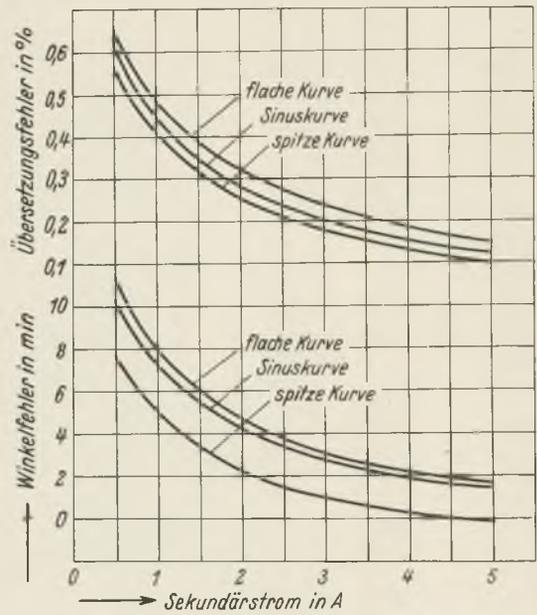


Bild 3. Übersetzungs- und Winkelfehler in Abhängigkeit vom Sekundärstrom bei dem Stromwandler A. Die Versuchsbedingungen unterscheiden sich von den den Kennlinien in Bild 2 zugrunde liegenden nur dadurch, daß die räumliche Anordnung der primären Stromzuführungen im Sinne eines erheblichen Streuungseinflusses verändert wurden (es wurde ein einziges Zuführungskabel verwendet, das dicht neben der einen Sekundärwicklung angeordnet war).

Die den Kennlinien in Bild 3 zugrunde liegenden Versuchsbedingungen unterscheiden sich von den vorhergehenden nur dadurch, daß die räumliche Anordnung der primären Stromzuführungen im Sinne eines erheblichen Streuungseinflusses verändert wurden. Ein Vergleich der Bilder 2 und 3 läßt erkennen, daß der Wellenformeinfluß in beiden Fällen ungefähr gleich

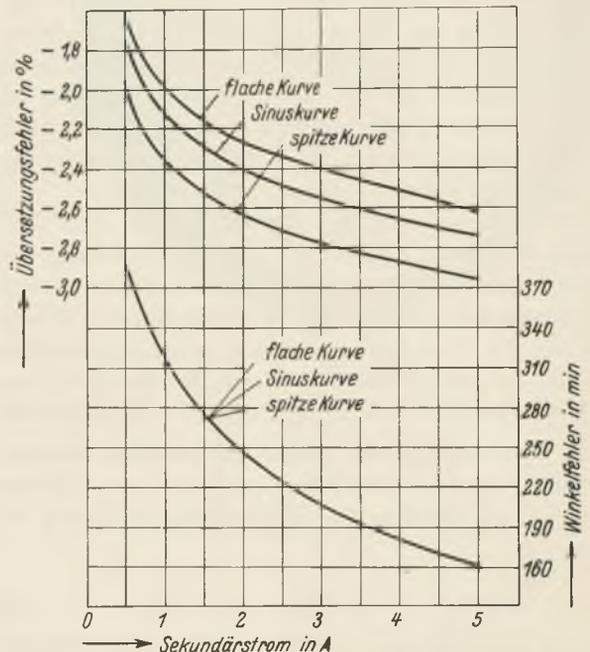


Bild 4. Übersetzungs- und Winkelfehler in Abhängigkeit vom Sekundärstrom bei dem Stromwandler B (Nennübersetzungsverhältnis 50:5 A; Bürde: 0,16 Ω ; Rechteck-Eisenkern mit 38 gleichmäßig verteilten Sekundärwicklungen und 4 Primärwicklungen, wobei um jeden Schenkel des Kernes eine Windung gelegt war).

groß ist, und daß die durch die Änderung der räumlichen Lage der Stromzuführungen verursachten Änderungen des Übersetzungs- und Winkelfehlers größer sind als die durch den Wellenformeinfluß hervorgerufenen.

Die in den Bildern 4 und 5 wiedergegebenen Kennlinien beziehen sich auf die beiden absichtlich sehr ungünstig bemessenen Stromwandler, von denen der eine (B) mit sehr wenig Amperewindungen arbeitete, während bei dem anderen (C) die primären und sekundären

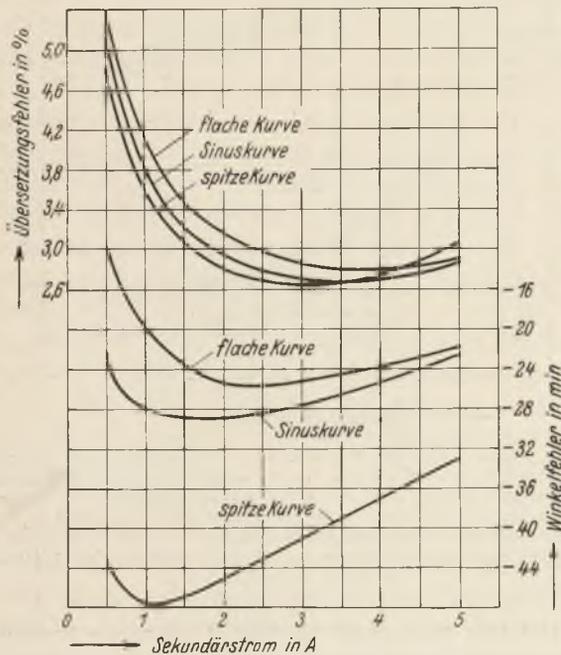


Bild 5. Übersetzungs- und Winkelfehler in Abhängigkeit vom Sekundärstrom bei dem Stromwandler C (Nennübersetzungsverhältnis 100:5 A; Bürde: 0,4 Ω , 0,00031 Hy; Rechteck-Eisenkern mit einer einzigen Sekundärwicklung von 200 Windungen, die auf einem Schenkel saß; die Primärwicklung von 10 Windungen saß dabei auf dem gegenüberliegenden Schenkel des Kernes).

Windungen auf dem Eisenkern sehr ungleichförmig verteilt waren. Es ergibt sich hier, daß zwar die Fehlergrößen infolge der ungünstigen Bemessung erhebliche Werte annehmen, daß aber der Wellenformeinfluß nicht übermäßig groß ist und höchstensfalls 0,2% bzw. 20' beträgt. Stromwandler dieser Art werden aber in der Praxis, wenn es sich um den Anschluß von Leistungsmessern oder Zählern handelt, nicht benutzt.

Bei allen untersuchten Stromwandlern (mit Ausnahme der beiden absichtlich besonders ungünstig ausgelegten) und bei den drei in Bild 1 gekennzeichneten, verhältnismäßig stark verzerrten Wellenformen stimmten die der Grundwelle und der zusammengesetzten Wellenform entsprechenden Werte des Übersetzungs- und Winkelfehlers auf 0,01% bzw. 1,5' genau überein.

4. Eigenschaften der Silsbee-Stromwandler-Prüfeinrichtung. Diese Einrichtung gestattet, zwei Stromwandler mit gleichem Nennübersetzungsverhältnis be-

züglich ihrer Fehlergrößen miteinander zu vergleichen. Um den Einfluß der Wellenform auf die bei Benutzung einer derartigen Einrichtung erhaltenen Meßergebnisse festzustellen, wurden zwei günstig dimensionierte Stromwandler mit gleichem Nennübersetzungsverhältnis (100:5 A) zunächst nach der bei der vorliegenden Untersuchung verwendeten absoluten Methode³ bei den drei verschiedenen Wellenformen (Bild 1) durchgemessen und dann in einer Silsbee-Stromwandler-Prüfeinrichtung miteinander verglichen, wobei wiederum diese Wellenformen zugrunde gelegt wurden. Die nach den beiden Verfahren erhaltenen Meßergebnisse stimmten praktisch überein, die Unterschiede lagen innerhalb der üblichen Meßgenauigkeit.

Bei der Silsbee-Stromwandler-Prüfeinrichtung besteht das Nullinstrument aus einem fremderregten Elektrodynamometer, dessen Drehspule in dem Kompensationsstromkreis liegt und dessen feste Spule unter Zwischenschaltung eines Phasenreglers mit der zur Speisung der Prüfeinrichtung dienenden Wechselstromquelle verbunden ist. Da die in den beiden Spulen des Elektrodynamometers fließenden Ströme nicht sinusförmig sind, kann die Kompensationseinstellung von der Wellenform des Primärstromes abhängig sein. Es zeigte sich aber, daß die mit dieser Anordnung gemessenen, den Effektivwerten entsprechenden Fehlergrößen mit den bei der Grundwellenmessung (mit einem auf die Grundfrequenz abgestimmten Vibrationsgalvanometer) ermittelten Werten auch dann praktisch übereinstimmten, wenn die Wellenform des Primärstromes sehr stark verzerrt war.

5. Zusammenfassung. Die vorliegende Untersuchung führte zu folgendem Ergebnis:

a) Bei allen untersuchten Stromwandlern (mit Ausnahme der beiden absichtlich unzureichend bemessenen) und bei den drei in Bild 1 gekennzeichneten, verhältnismäßig stark verzerrten Wellenformen stimmten die der Grundwelle und der zusammengesetzten Wellenform entsprechenden Werte des Übersetzungs- und Winkelfehlers auf 0,01% bzw. 1,5' genau überein.

b) Wenn man die Wellenform des Primärstromes durch Überlagerung einer dritten Harmonischen von 20% über die Grundwelle (spitze oder flache Kurve) änderte, so ergab sich bei allen untersuchten Stromwandlern (mit Ausnahme der beiden absichtlich unzureichend bemessenen) eine Änderung des Übersetzungsfehlers von höchstens 0,05% und eine Änderung des Winkelfehlers von höchstens 2'.

c) Die mit der Silsbee-Stromwandler-Prüfeinrichtung gemessenen Fehlergrößen entsprechen der Grundwelle, wenn als Nullinstrument entweder ein auf die Grundfrequenz abgestimmtes Vibrationsgalvanometer oder ein fremderregtes Elektrodynamometer benutzt wird.

W. Geyger.

Literatur.

1. P. G. Agnew, „A study of the current transformer with particular reference to iron losses“, Bull. Bur. Stand., Wash. 7 (1911), S. 470. — 2. J. H. Park, J. Res. Nat. Bur. Stand. 19 (1937), S. 517...530. — 3. F. B. Silsbee, R. L. Smith, N. L. Forman und J. H. Park, „Equipment for testing current transformers“, J. Res. Nat. Bur. Stand. 11 (1933), S. 93...122.

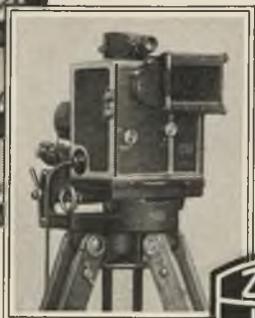
Schnelle Bewegungsvorgänge kinematographisch festhalten

in der Technik, im Heer und im Sport, 1500 Bilder in der Sekunde bei voller Ausnutzung des Normalfilmbildes 18x24 mm herstellen: das leistet die

Zeiss Ikon Zeitlupe

Verlangen Sie den neuen Prospekt In 774 mit Beschreibung des Vorsatzfernrohres für Aufnahmen aus weiter Entfernung, des Zwischenobjektives für Nahaufnahmen, und der Mikrozeitlupe. Prospekt und Auskunft erhalten Sie kostenlos durch die

ZEISS IKON AG.
DRESDEN S 16,
Instrumenten-Abteilung



CALIT-SPULEN HOHER KONSTANZ

Aufgebrannte metallisch ver-
stärkte
Windungen

Garantierter
Mindest-
Gütefaktor

Induktivitäts-
Werte

1 1000 μ H
0,1 200 μ H
0,2 8 μ H

HESCHO

HERMSDORF, THÜR.


SIEMENS
MESSTECHNIK

Ferngesteuertes Abfüllen und Zumessen

Zum Ansetzen und Mischen von Lösungen von einem zentralen Überwachungsort aus haben wir für die zum Messen notwendigen Flüssigkeitsmesser eine Zusatzeinrichtung entwickelt:

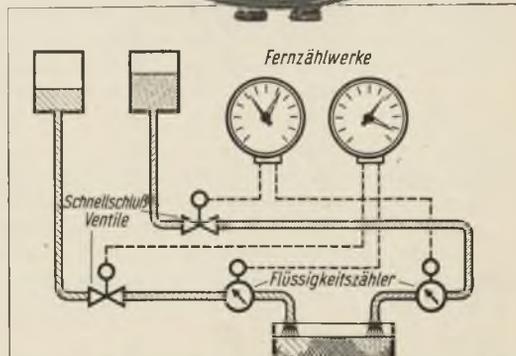
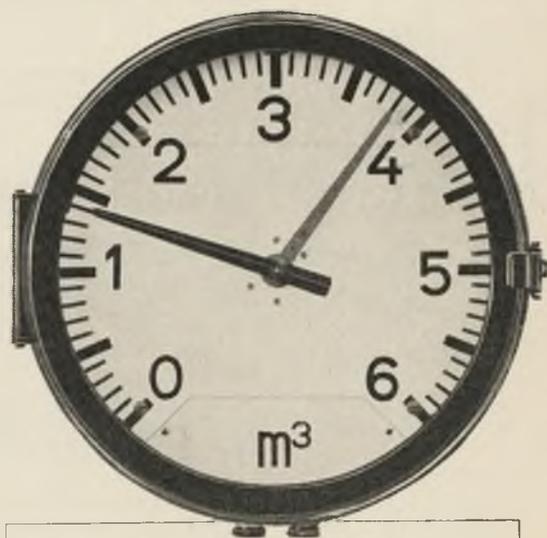
Das Fernzählwerk mit Voreinstellung

Es bewirkt, daß nach Durchfluß der am Überwachungsort eingestellten Flüssigkeitsmenge der Durchfluß durch selbsttätiges Schließen eines Ventils unterbrochen wird.

Darüber hinaus können beliebige Steuervorgänge ausgelöst werden.

Vorzüge:

- Selbsttätiger Betrieb
- Geheimhaltung der Mischvorschriften möglich
- Anordnung der Fernzählwerke an der betrieblich günstigsten Stelle
- Genaueres Einhalten der Abfüllmenge
- Leistungssteigerung durch Arbeitsbeschleunigung



Wm 098

SIEMENS & HALSKE AG · WERNERWERK · BERLIN-SIEMENSSTADT

Diagramm-Papiere
 VON HÖCHSTER
 PRÄZISION



PAUSPAPIERFABRIK TRANSPARENT
 DÜSSELDORF ALTESTE SPEZIALFABRIK

Zur Umdrehungszahlkontrolle
 die bewährten
Günther-Handtachometer
 W. GÜNTHER
 Tachometerbauanstalt
 Magdeburg, Hansdorferstr. 42



ANZEIGEN IM ATM
 sind Brücken zum Verbraucher!

**EINPHASEN-
 SYNCHRONMOTOREN**

kleiner Leistungen 10—50 Watt
 Funkeninduktoren
 ballistische Meßgeräte

HANS BOAS · BERLIN O 17



**STOPPUHREN
 CHRONOGRAPHEN**
 Elektr. Zeitmesser
 $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ -SEC

LÖBNER BERLIN W 9

Ihre Anzeige im ATM...

Bitte beginnen Sie so Ihre
 Anfrage an die Anzeigen-
 kunden des ATM—Archiv
 für technisches Messen!

Verbindlichen Dank.

R. OLDENBOURG
 Anzeigenabteilung
 München 1, Schließfach 31.

7. erweiterte Auflage

**Taschenbuch für
 Fernmeldetechniker**

von **Obering. H. W. Goetsch**

789 Seiten, 1185 Abbildg. Kl.-8°. 1938. Leinen.
 RM. 16.—

Auch diese neue Ausgabe wurde den Fortschritten der
 Technik entsprechend gründlich durchgearbeitet, ver-
 bessert und wesentlich erweitert.

Neu aufgenommen wurden: Selengleichrichter,
 Eisen-Wasserstoff-Widerstände, Kohledruckwider-
 stände, Wechselrichter, Umrichter, Leuchtwechsel-
 zahlen, Schießstandanzeiger, Personensuchanlagen,
 Wunschrufanlagen, Siemens-Hell-Schreiber, Syn-
 chronuhren mit und ohne Gangreserve, Luftkabel,
 der Oszillograph.

Umgearbeitet oder erweitert wurden die Abschnitte:
 Elektrische Wendetafeln, der Abschnitt Sammler
 insb., das Aufstellen der Sammler, Schachtsignalan-
 lagen, Wasserstandsfernmeldeanlage, Verkehrssignal-
 anlagen, die Stromversorgung unmittelbar aus dem
 Wechselstromnetz.

R. OLDENBOURG · MÜNCHEN 1 u. BERLIN

Das Rüstzeug des SA.-Technikers in **6. Auflage**
**Die Fernsprechanlagen
 mit Wählerbetrieb**

(Automatische Telephonie)

Von **Dr.-Ing. Fritz Lubberger**

Oberingenieur der Siemens & Halske A.-G.,
 Professor an der Technischen Hochschule, Berlin

358 Seiten, 231 Abbild. im Anhang. Gr.-8°. 1938.
 Leinen M. 13.50

Die neue Auflage bringt in einem Anhang alle notwendig
 gewordenen Änderungen und Ergänzungen. Das Buch stellt damit
 wieder den neuesten Stand der Technik dar.

**Die Wirtschaftlichkeit
 der Fernsprechanlagen**

Von **Dr.-Ing. Fritz Lubberger**

2. verm. Aufl. 129 Seiten, 22 Abbildungen, 5 Tafeln
 Gr.-8°. 1933. Broschiert RM. 6.80

Die in der 1. Auflage von 1927 genannten Betriebszahlen sind
 zum Teil heute veraltet. Die 2. Auflage gibt nun die heutigen
 Betriebszahlen wieder, erweitert aber die Untersuchungen über
 den Ortsverkehr hinaus auf den Fern-, Netz-, Gruppen- und
 Nebenstellenverkehr; ferner ist ein Abschnitt über Ortstarife dazu-
 gekommen. Im Jahre 1927 lagen auch noch keine wirtschaftlichen
 Zahlen über den Wählerbetrieb vor, die jetzt ausführlich gezeigt
 werden.

R. OLDENBOURG, MÜNCHEN 1 u. BERLIN

Führer durch die deutsche Meßgeräte-Industrie

Anemometer

R. FUESS
Berlin - Steglitz

Beleuchtungsmesser

Dr. B. Lange,
Berlin-Dahlem, Garystr. 45/47

Ing. Edmund Zierold

Berlin-Schöneberg, Belziger Str. 25

Beschleunigungsmesser

Dr.-Ing. Hans Heymann,
Werkstätten für Schwingungs-Meß-
technik, Darmstadt, Neckarstraße 4.

Chronographen- registrierende

H. Wetzer, Telegraphen-
fabrik, Pfronten/Bayern

Dehnungsmesser

Dr.-Ing. Hans Heymann,
Werkstätten für Schwingungs-Meß-
technik, Darmstadt, Neckarstraße 4.

H. Maihak Aktiengesellschaft,
Technische Meßinstrumente,
Hamburg 39

Drehmoment-Meßnabe

Dr.-Ing. Hans Heymann,
Werkstätten für Schwingungs-Meß-
technik, Darmstadt, Neckarstraße 4.

Dreh-Schwingungsmesser

Dr.-Ing. Hans Heymann,
Werkstätten für Schwingungs-Meß-
technik, Darmstadt, Neckarstraße 4.

Durchflußmesser

Pollux G.m.b.H., Wasser-
messer- u. Armaturenfabrik
Ludwigshafen a. Rh., Industriestr. 16

Dynamometer

Hannov. Meßwerkzeug- und
Federnfabrik Paul Gräfe
Hannover-W

Einzelteile

für Meßgeräte aller Art

Robert Gmeiner,
Werkstätten für Feinmechanik
München 25,
Fürstenrieder Straße 270.

Feuchtigkeitsmesser

Wilh. Lambrecht,
Göttingen

Frequenzmesser

Dr. Steeg & Reuter
G. m. b. H., Bad Homburg
Postschloßbach 44

Galvanometer

Fellen & Guilleaume Carlswerk Act.-Ges. Köln-Mülheim

P. J. Kipp & Zonen, Delft/Holland
Vertretung für Deutschland:
E. Leybold's Nachfolg., Köln-Bayental

Dr. B. Lange,
Berlin-Dahlem, Garystr. 45/47
Multiflex-Galvanometer

Ing. Edmund Zierold

Berlin-Schöneberg, Belziger Str. 25

Indikatoren

H. Maihak Aktiengesellschaft,
Technische Meßinstrumente,
Hamburg 39

Kabelmeßgeräte

Fellen & Guilleaume Carlswerk Act.-Ges. Köln-Mülheim

Klima-Meßgeräte

R. FUESS
Berlin - Steglitz

Wilh. Lambrecht,
Göttingen

Kolorimeter

P. J. Kipp & Zonen, Delft/Holland
Vertretung für Deutschland:
E. Leybold's Nachfolg., Köln-Bayental

Dr. B. Lange,
Berlin-Dahlem, Garystr. 45/47

Kompensations- Einrichtungen

Fellen & Guilleaume Carlswerk Act.-Ges. Köln-Mülheim

Kondensatoren

Fellen & Guilleaume Carlswerk Act.-Ges. Köln-Mülheim

Kurzzeitmeßgeräte

H. Wetzer, Telegraphen-
fabrik, Pfronten/Bayern

Lehren

ABAWERK G. m. b. H.
Allg. & Baumgärtel
ASCHAFFENBURG

Mengen-Meßgeräte

Hallwachs & Morckel, Kom-
Ges., Meßapparate-Bau,
Bensheim

Pollux G.m.b.H., Wasser-
messer- u. Armaturenfabrik
Ludwigshafen a. Rh., Industriestr. 16

ROTA AACHEN

Meßstäbe

Albert Saß,
Berlin-Steglitz, Filandastr. 32

Meßuhren

ABAWERK G. m. b. H.
Allg. & Baumgärtel
ASCHAFFENBURG

Meßwerkzeuge

ABAWERK G. m. b. H.
Allg. & Baumgärtel
ASCHAFFENBURG

Mikrometer

Albert Saß,
Berlin-Steglitz, Filandastr. 32

Optische Meßgeräte

R. FUESS
Berlin - Steglitz

Parallel-Endmaße

ABAWERK G. m. b. H.
Allg. & Baumgärtel
ASCHAFFENBURG

pH-Meßgeräte

F. & M. Lautenschläger
G.m.b.H., München 2 SW
Lindwurmstraße 29-31

Photozellen

Dr. B. Lange,
Berlin-Dahlem, Garystr. 45/47

Ing. Edmund Zierold

Berlin-Schöneberg, Belziger Str. 25

Planimeter

Gebrüder Haff G. m. b. H., Pfronten-
Ried, Postfach 107, geg. 1835. Fabrik für Prä-
zisions-Reißzeuge, Planimeter, Transporteure.

Präzisions- Reißzeuge

Gebrüder Haff G. m. b. H., Pfronten-
Ried, Postfach 107, geg. 1835. Fabrik für Prä-
zisions-Reißzeuge, Planimeter, Transporteure.

Prüfklemmen

Georg Witschnowsky,
Berlin NW 87,
Solinger Straße 3

Pyrometer

W. C. Heraeus G. m. b. H.,
Hanau

Pyrometer-Schutzrohre

W. C. Heraeus G. m. b. H.,
Hanau

Quarzgut und Quarzglas

Heraeus-Quarzglas G. m. b. H.,
Hanau a. M.

Rauchgasprüfer

Ados Apparatbau G. m. b. H.,
Aachen — Forst

H. Maihak Aktiengesellschaft,
Technische Meßinstrumente,
Hamburg 39

Hermann Schilling,
Ilmenau/Thür., Postfach 106

Registrierpapiere

Emil Holtzmann
Fabrik für technische Papiere
Speyer a. Rhein

Regler

G-S-T Ges. für selbsttätige
Temperaturregelung
Berlin-Wilmf.

Dr.-Ing. Kieback & Peter
Berlin-Britz

Apparatbau
Josef Heinz Reineke, Bochum
Castroper Straße 26

Vesta GmbH., Inh. Max H. Walter
Fabrik für alle Arten Gasregler
Berlin O 34. Grünberger Str. 54

Relais

Franz Baumgartner
Fabrik elektrischer Apparate
Köln - Klettenberg 4

Rotosil

Heraeus-Quarzglas G. m. b. H.,
Hanau a. M.

Schablonen

Filler & Fiebig, Berlin SW 68
Schrift- und Zahlenschablonen
Schablonen für Konstrukteure

Schütteltische

Dr.-Ing. Hans Heymann,
Werkstätten für Schwingungs-Meß-
technik, Darmstadt, Neckarstraße 4.

Schwingungsfreie Fundamente

Dr.-Ing. Hans Heymann,
Werkstätten für Schwingungs-Meß-
technik, Darmstadt, Neckarstraße 4.

Schwingungsmesser

Dr.-Ing. Hans Heymann,
Werkstätten für Schwingungs-Meß-
technik, Darmstadt, Neckarstraße 4.

Spektrographen

R. FUESS
Berlin - Steglitz

Führer durch die deutsche Meßgeräte-Industrie

P. J. Kipp & Zonen, Delft/Holland
Vertretung für Deutschland:
E. Leybold's Nachfolg., Köln-Bayental

Optische Werke
C. A. Steinheil Söhne G. m. b. H.
München 8, St. Martinstr. 76

Stoppuhren

Adolf Hanhart,
Uhrenfabriken,
Schwenningen a. Neck.

Strömungsmesser

ROTA AACHEN

Temperatur- Meßgeräte

R. FUESS
Berlin - Steglitz

Julius Heinrich, Fabrik wärme-
technischer Meß- und Regelgeräte
Quedlinbg., Fernsp. 392, Schließf. 55

Wilh. Lambrecht,
Göttingen

G. Siebert G. m. b. H.,
Hanau a. M., Leipziger Str. 10

Terpe & Reinholz,
Quedlinburg A, Gröpern 23
Werkstatt f. techn. Meßinstrumente

Wegener & Mach G. m. b. H.,
Quedlinburg. Gegr. 1887. Spezialfabrik
f. Fernthermometer, auch m. Reglstrirung

Thermometer

R. FUESS
Berlin - Steglitz

Paul Wegener, Fabrik techn.
Meßinstrumente, Ballenstedt 6

Torsionswaage

R. JUNG Aktiengesellschaft
Heidelberg

Viskosimeter

R. JUNG Aktiengesellschaft
Heidelberg

Waagen

BIZERBA Balingen/Wttbg.
Größte deutsche Schnellwaagenfabrik
Halb- u. vollautomatische Waagen.

Sartorius-Werke Aktien-
gesellschaft, Göttingen/Leine

Wasserzähler

Pollux G. m. b. H., Wasser-
messer- u. Armaturenfabrik
Ludwigshafen a. Rh., Industriestr. 16

Wassermesser-
Vertriebs-Gesellschaft mbH.,
Berlin W 15, Pariser Str. 44

Alleinvertrieb der Werke:

Bopp & Reuther G. m. b. H.,
Dreyer, Rosenkranz & Droop A.-G.,
Hydrometer Akt.-Ges.,
H. Meinecke A.-G.,
Hermann Pipersberg jr.,
Siemens & Halske A.-G.

Widerstände

Fellen & Guillaume
Carlswerk Act.-Ges.
Köln-Mülheim

Zählwerke

Irlon & Vosseler,
Zählerfabrik
Schwenningen a. N. A/Würt.

Zeiger

A. Maier, Viktoria Clock Co.,
St. Georgen/Schwarzwald A 1
Zeiger für alle techn. Instrumente.

... und hier fehlt Ihre Anschrift

Verlangen Sie Vorschläge von
R. Oldenbourg, Anzeigenabteilung
München 1, Schließfach 31.

PYROMETER jeder Art und für jeden Verwendungszweck

Pyro-Werk G. m. b. H. Hannover

Wärmetechnische Meßgeräte



KEISER & SCHMIDT

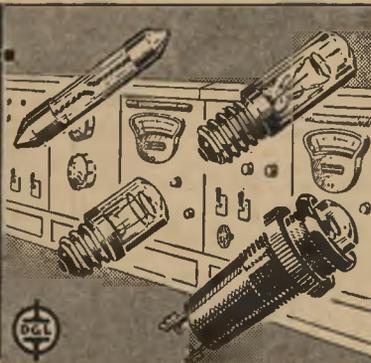
Elektrotechnische Fabrik GmbH.

BERLIN-CHARLOTTENBURG 2

Signal- Glimm- Röhren

in verschiedenfarbigen Aus-
führungen m. Einbaufassungen

für
Schalttafeln
und Geräte.



DEUTSCHE GLIMMLAMPEN-GES. M. B. H.
LEIPZIG C1 / GLOCKENSTRASSE 11



GRAND PRIX - WELTAUSSTELLUNG PARIS

Selen-Photoelemente

Lieferbar in verschiedenen Größen von 12-145 mm Durchmesser
Ausführliche Druckschriften stehen zur Verfügung

Spezialfabrik lichtelektrischer Zellen und Apparate

DR. B. LANGE

BERLIN-DAHLEM, GARYSTRASSE 45-47

Fernruf: 764939, Telegrammadresse: Photozelle Berlin

