

Großer Interferenzwellenmesser 6–6000 m.

Von Albert Habermann.

(Mitteilung aus dem Physikal. techn. Entwicklungslaboratorium München.)

Inhaltsübersicht.

- I. Einleitung.
- II. Grundsätzliches.
- III. Der Grobwellenmesser (GW).
- IV. Der Feinwellenmesser (FW).
- V. Temperaturkompensation.
- VI. Normalgenerator (NG).
- VII. Eichung und Konstanzen.
- VIII. Anwendungen.
- IX. Zusammenfassung.
- Literaturverzeichnis.

I. Einleitung.

Ein möglichst genauer Wellenmesser mit großem Wellenbereich und vielseitiger Anwendungsmöglichkeit ist eines der wichtigsten meßtechnischen Hilfsmittel im modernen Hochfrequenz-Laboratorium. Wenn auch der schon im Jahre 1932 hier [1] beschriebene Interferenzwellenmesser die ihm gestellten Aufgaben weitgehend erfüllt hatte, so traten doch im Laufe der Zeit einige Mängel zutage, die eine weitere Verbesserung der Anordnung wünschenswert erscheinen ließen. Diese ist durch den nachstehend beschriebenen Wellenmesser erfolgt.

II. Grundsätzliches.

Das Grundprinzip der Wellenmessung ist das der doppelten Interferenz geblieben: Rasche Wellenlängenbestimmung mittels Überlagerung in einem Grobwellenmesser großen Bereiches und genaue Bestimmung dieser Welle durch Oberwellenvergleich in nochmaliger Überlagerung mit einem Feinwellenmesser, der nur ein schmales Frequenzband umfaßt. Die grundsätzlichen Änderungen gegenüber der früheren Konstruktion sind folgende:

1. Verlassen der Steckspulen im Grobwellenmesser und Anordnung eines umschaltbaren Spulensatzes.
2. Ersatz der Dreipunktschaltung durch Erregung mit induktiver Rückkopplung.
3. Änderung des Bereichverhältnisses am Feinwellenmesser auf 1 : 1,5 an Stelle von 1 : 2; Erhöhung der Wellenlänge. Bereich 80 bis 120 m.
4. Verwendung einer keramischen Ringspule.
5. Temperaturkompensation des Feinwellenmessers auf einen Temperaturkoeffizienten von $\pm 5 \cdot 10^{-6}$.
6. Einbau eines kristallerregten 100-kHz-Normalgenerators.
7. Zweistufiger, regelbarer Niederfrequenzverstärker.

Vor der Besprechung der für die einzelnen Änderungen maßgebenden Gründe sei kurz auf einige aufbautechnische Verbesserungen eingegangen. Der alte Wellenmesser war sehr erschütterungsempfindlich, weshalb das neue Gerät besonders stabil ausgeführt wurde. Es ist in normaler Montage mit Zwischenboden aufgebaut und befindet sich in einem Gußgehäuse aus Leichtmetall. Außer für den Grobwellenmesser wurde diesmal auch für den Feinwellenmesser eine direkte Ablesung ohne Kurvenblätter geschaffen, die besonders übersichtlich durch die großen Trommelskalen ist (Abb. 1). Neben der direkten Eichung haben beide Skalen eine 180°-Teilung zur Kurvenablesung erhalten. Besonders günstig wirkt sich

hierbei die fast ideal proportionale Skala des Feinwellenmessers aus, die durch Verwendung der neuen „Förg“-Kreisplattenkondensatoren ermöglicht wurde. Aufbautechnisch erwähnenswert ist auch, daß die Abstimmkondensatoren durch Einbau innerhalb der Skalentrommeln, die aus Aluminium bestehen, elektrisch abgeschirmt sind. Zur Vermeidung von Kapazitätsänderungen wurden die großen Trommeln doppelseitig abgestützt.

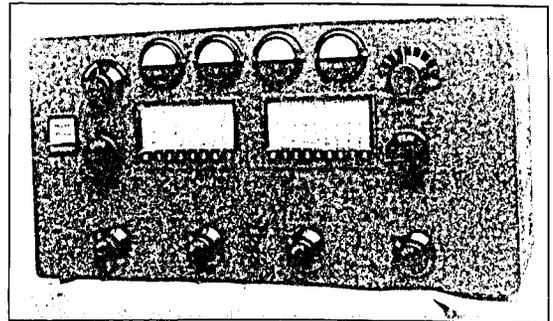


Abb. 1. Frontansicht des Wellenmessers.

III. Der Grobwellenmesser (GW).

Der erste Wellenmesser hatte Steckspulen, die trotz aller Stabilität ihre Eichung naturgemäß auf die Dauer nicht halten konnten, zumal im Laboratorium oftmals mit unsanfter Behandlung gerechnet werden muß. Auch das häufige Umstecken von Spulen ist bei betriebsmäßiger Verwendung eines Gerätes unangenehm. Deshalb wurde die Neukonstruktion mit einem umschaltbaren Spulensatz ausgestattet, der in sieben Bereichen

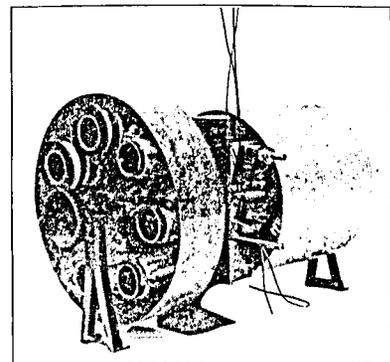


Abb. 2. Aufbau der Spulen-Schalttrommel des GW.

die Wellen von 6 bis 6000 m ($5 \cdot 10^7$ — $5 \cdot 10^4$ Hz) umfaßt. Diese sieben Spulen sitzen alle auf einer Schalttrommel und werden einzeln in den Schwingungskreis geschaltet. Zur Vermeidung unerwünschter Rückwirkungen der abgeschalteten Spulen sind jeweils die beiden Spulen, die der eingeschalteten vorhergehen, kurzgeschlossen. Der Aufbau des Schaltsatzes geht aus Abb. 2 hervor. Um einer nachträglichen Verschiebung der Eichung durch Altern der Spulen von vorneherein vorzubeugen, wurden sie vor dem Einbau durch öfteres Erhitzen und Abkühlen künstlich gealtert. Die Notwendigkeit dieser Maßnahme veranschaulicht Abb. 3, die die

Selbstinduktionsänderungen einiger Spulen während des Alterungsvorganges zeigt. Am stärksten wirkt sich die Alterung bei den langwelligen Spulen aus, wo sie bis 2,5% betragen kann. Sie verringert sich bei den mittleren Wellen auf etwa 0,5 — 1%, um dann bei den Kurzwellenspulen praktisch vernachlässigbar zu werden. Diese Werte gelten für sorgfältig, unter Vermeidung starker Spannungen gewickelte Spulen, die mit einem (verlustfreien) Klebemittel gebunden sind.

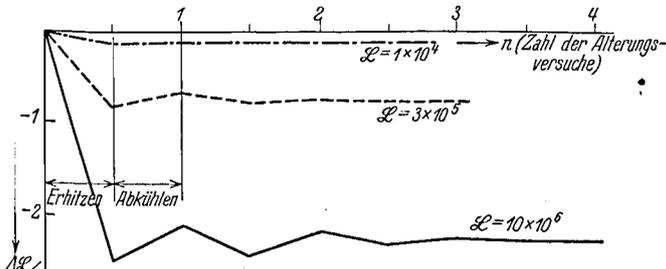


Abb. 3. Alterungskurven der GW-Spulen bei künstlicher Alterung. 1. Periode Erhitzen, 2. Periode Abkühlen je Versuch. Ordinate $\Delta L/L$ in %.

Im Gegensatz zur früheren Ausführung mit Dreipunktschaltung wurde diesmal für den GW Erregung mit induktiver Rückkopplung gewählt. (Schaltbild Abb. 4.) Dies geschah mit Rücksicht auf die bei den meisten Messungen wichtige Notwendigkeit, daß nur ein Pol Hochfrequenzspannung aufweisen, der andere aber Erdpotential haben soll. Durch längere Versuche über das günstigste Kopplungsverhältnis wurde erreicht, daß der GW über alle Bereiche bis zu den höchsten Frequenzen einwandfrei und gleichmäßig schwingt. Dazu besitzt auch

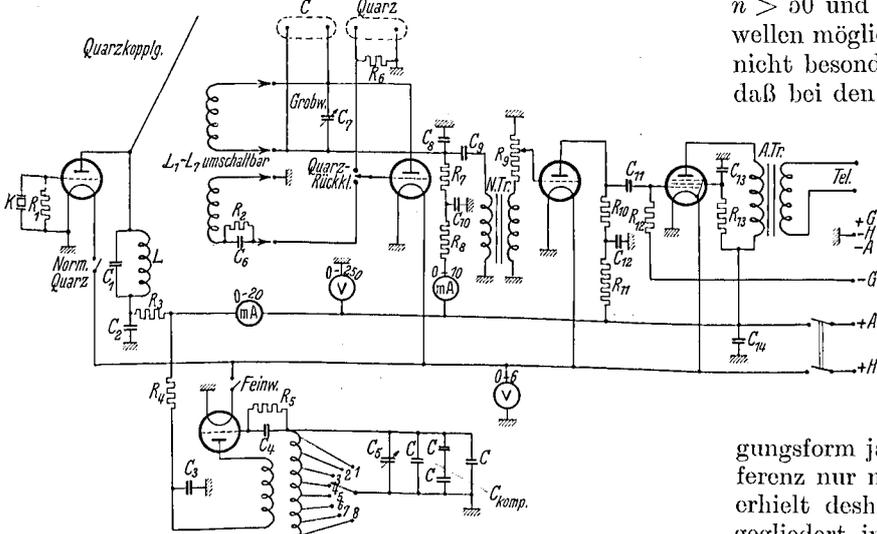


Abb. 4. Schaltbild des Wellenmessers.

jede der sieben Bereichspulen ihren eigenen Gitterkondensator und Ableitwiderstand, um durch richtige Anpassung bestes Arbeiten zu gewährleisten. Durch eine verhältnismäßig große Abstimmkapazität erreicht man ferner, daß die Kapazitätsunsicherheiten innerhalb des Kreises (Röhren, Alterung usw.) unterhalb der Meßgenauigkeit von 0,5% bleiben.

IV. Der Feinwellenmesser (FW).

Viel weitgehender als beim GW wirken sich die Verbesserungen der neuen Ausführung beim Feinwellenmesser aus. Es ergab sich nämlich, daß es genügt, wenn

der Gesamtwellenbereich des FW sich wie 1:1,5 statt 1:2 verhält. Man kann auch dann noch genügend Wellen des GW damit vergleichen, weil besonders die Wellen $3/2\lambda$ usw. sehr deutlich zu hören sind. Es besteht deshalb keine Gefahr fehlender Oberwellen. Dieser Schritt bringt den Vorteil mit, daß sich mit gleicher Unterteilung bei dem kleineren Wellenbereich eine höhere Absolutgenauigkeit erzielen läßt.

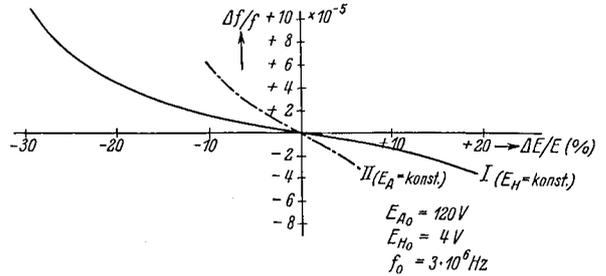


Abb. 5a. Spannungsabhängigkeit des FW. Frequenzänderung abhängig von Schwankungen der Anodenspannung (I). Frequenzänderung abhängig von Schwankungen der Heizspannung (II).

Im Zusammenhang damit sei auch die Frage der günstigsten mittleren Feinwelle besprochen. Die Ordnungszahl der Oberwellen von der zweiten Überlagerung (FW-GW) darf nicht so groß werden, daß der Unterschied zwischen λ_{GW}/n und $\lambda_{GW}/(n \pm 1)$ kleiner als die Meßgenauigkeit wird; d. h. für $\lambda_{FW} < \lambda_{GW}$ muß sein:

$$\text{Prozentualer Fehler des GW} < \frac{\lambda_{FW} \cdot 100}{\lambda_{GW}}; \text{ entsprechend}$$

für $\lambda_{FW} > \lambda_{GW}$. Bei einer mittleren FW-Welle $\lambda_{FW} < 100$ m und der längsten Welle von 6000 m wäre $n > 50$ und damit bereits eine Verwechslung der Oberwellen möglich. Andererseits wird auch ein $\lambda_{FW} > 100$ m nicht besonders günstig, weil damit die Gefahr besteht, daß bei den kürzesten Wellen des GW, dessen Schwin-

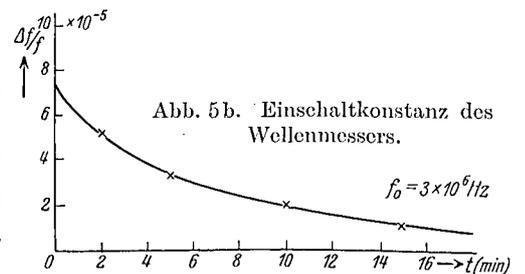


Abb. 5b. Einschaltkonstanz des Wellenmessers.

gungsform ja nicht zu stark verzerrt sein soll, die Interferenz nur mehr schlecht hörbar wird. Das neue Gerät erhielt deshalb einen Gesamtbereich von 80 bis 120 m gegliedert in acht Teilbereiche. Hierfür ist der Generator verhältnismäßig einfach mit der geforderten Konstanz und Genauigkeit zu bauen.

Durch die gewählte Welle ergab sich auch ein günstiges L/C-Verhältnis. Man kann nämlich mit Rücksicht auf die Bereicheinteilung nicht unter eine gewisse Selbstinduktion herabgehen, muß gleichzeitig aber versuchen, durch großes C im Schwingungskreis den Einfluß veränderlicher Kapazitäten in der Röhre herabzusetzen. Bei der Dimensionierung des FW war auch darauf zu achten, durch einen kleineren äußeren Wechselstromwiderstand und einen großen Gleichstromwiderstand eine weitgehende Unabhängigkeit von der Anodenspannung zu erreichen. Aus Kurve I in Abb. 5a geht hervor, daß es genügt, wenn die Anodenspannungsquelle ihre Span-

nung auf 10% konstant hält. Der sich dabei ergebende Fehler ist ebenso groß wie bei einer Heizspannungsänderung von 4% (Kurve II) und beträgt etwa $2 \cdot 10^{-5}$. Er liegt demnach unter der Meßgenauigkeit und ist gerade noch zulässig.

Der Feinwellenmesser erhielt auch an Stelle einer drahtgewickelten Zylinderspule eine keramische Ring-spule mit eingebrannten Windungen [2]. Neben der ausgezeichneten Stabilität dieser Spulen und ihrer geringen Alterung brachte diese Maßnahme noch einen besonderen Vorteil. Das Abgleichen der einzelnen Bereiche des FW verursachte nämlich bisher infolge der Eigeninduktivität der Abgreifdrähte ziemliche Schwierigkeiten. Die Selbstinduktion der Zuleitung geht ja entsprechend dem Windungssinn in die Gesamt-Selbstinduktion ein und kann unter Umständen bereits in die Größenordnung einer ganzen Spulenwindung kommen. Durch Einführung der Ringspule konnte nun der Bereichschalter

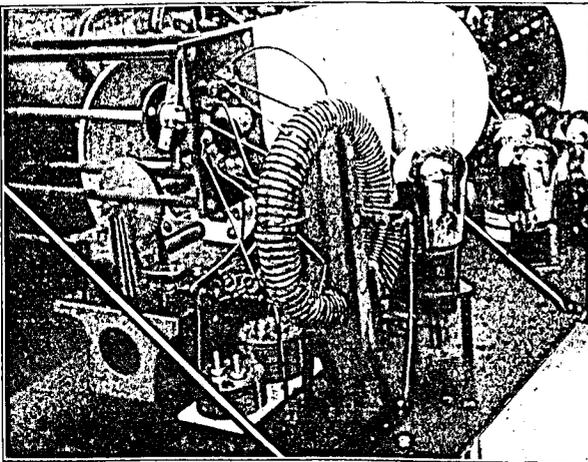


Abb. 6. Aufbau des Feinwellenmessers.

günstiger montiert und so die Abgreifdrähte bedeutend kürzer gehalten werden. Es standen aber auch, da das Toroid bei gleicher Induktivität einen kleineren Wundungsdurchmesser aufweist, erheblich mehr Windungen zum Abgreifen zur Verfügung. Infolge des geringen Streufeldes dieser Spule konnte auch auf eine getrennte Abschirmung vom GW verzichtet werden. Den neuen Aufbau zeigt Abb. 6, bei der die zum Schutze vor Oxydation schellackierte Ringspule besonders deutlich in Erscheinung tritt.

V. Temperaturkompensation.

Diese war der zweite Grund, der die Verwendung der keramischen Spule im FW notwendig machte. Die Temperaturabhängigkeit war nämlich der mit am meisten fühlbare Mangel des ersten Wellenmessers. Zur Zeit der Entstehung dieses Gerätes hatte man allerdings noch recht wenig Erfahrung und vor allem noch keine brauchbare Methode zur Bekämpfung des Temperatureinflusses. Erst die Entwicklung der keramischen Isolierstoffe [3, 4] und die Erkenntnis ihrer Brauchbarkeit zum Temperaturausgleich brachte hier grundlegende Umwälzungen.

Zum leichteren Verständnis der folgenden Erörterungen sei auch an dieser Stelle kurz auf die Grundzüge der Temperaturkompensation eingegangen [5]: Die Frequenzkonstanz eines Schwingungskreises hängt ab vom anstoßenden System, von mechanischen Änderungen und Alterungserscheinungen und von Änderungen infolge des Temperatureinflusses. Die letztgenannten erfassen Spu-

len und Kondensatoren des Schwingungskreises. Bei gewöhnlichen Spulen beträgt der Temperaturkoeffizient (Tkf.) zwischen 3 und $5 \cdot 10^{-5}$ je Grad C und bei Kondensatoren in Abhängigkeit vom Dielektrikum $3 \cdot 10^{-5}$ (Luft) bis $2 \cdot 10^{-4}$ (Glimmer), wobei der Tkf. bei Glimmer nach Größe und Richtung sehr unregelmäßig verläuft. Keramische Spulen mit eingebrannten Windungen besitzen nur den halben Tkf. gewöhnlicher Drahtspulen ($1,8$ bis $2 \cdot 10^{-5}$) bei praktisch vernachlässigbarer Alterung. Der Tkf. keramischer Kondensatoren ist zwar bei Calit und Condensa (Frequenta und Kerafar) absolut größer als der von Luft und Glimmerkondensatoren, hat aber den Vorteil, gleichmäßig über großen Temperaturbereich und gut reproduzierbar zu sein. Außerdem bleibt ihre Alterung stets kleiner als $1 \cdot 10^{-4}$ und beträgt somit nur $1/5$ bis $1/10$ der von Luft oder Glimmerkondensatoren. Der Tkf. für Calit ist $+1,6$ bis $1,8 \cdot 10^{-4}$, für Condensa aber, das ist das Ausschlaggebende, wird er negativ, und zwar in der Größenordnung von -4 bis $-7 \cdot 10^{-4}$. Ein neuerer keramischer Stoff, Tempa, besitzt einen besonders kleinen Temperaturkoeffizienten von nur 6 bis $10 \cdot 10^{-5}$.

Die Festkapazität, die dem Abstimmkondensator zur Verkleinerung des L/C -Verhältnisses und um Unsicherheiten durch Altern der Röhre zu vermeiden, an sich schon parallel liegt, wird zur Temperaturkompensation aus Kondensatoren mit positiven und negativen Tkf. zusammengesetzt. Dann läßt sich durch Zusammenfassung der positiven Tkf. von Spule, Luft- und Calitkondensator einerseits mit dem negativen Tkf. einer Condensakapazität der Gesamt-Tkf. des Schwingungskreises in die Größenordnung $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ bringen. Das bedeutet z. B., daß ein Schwingungskreis der Frequenz $3 \cdot 10^6$ Hz (100 m) sich je Grad C Temperaturdifferenz um $0,6$ Hz ändert, was bei einem normalen Wärmeunterschied in bewohnten Räumen von $\pm 10^\circ$ C einer maximal möglichen Änderung von ± 6 Hz entspricht.

Die wichtigsten Formeln zur Vorausberechnung eines temperaturunabhängigen Kreises seien hier angegeben:

Es gilt für kleine Änderungen der Wellenlänge eines Schwingungskreises genügend genau:

$$\Delta\lambda/\lambda = \pm \Delta C/2C \pm \Delta L/L.$$

Dann lautet die Bedingung, daß der Tkf. = 0:

$$\pm \Delta C/C = \mp \Delta L/L.$$

Dabei ist C aus 2 Kondensatoren zusammengesetzt

$$C = C_1 + C_2,$$

deren Verhältnis gegeben ist durch:

$$C_1/C_2 = \frac{\Delta L/L + \Delta C_1/C_1}{\Delta C_2/C_2 - \Delta L/L}.$$

Daraus wird dann:

$$C_2 = \frac{C}{\left[\frac{\Delta L/L + \Delta C_2/C_2}{\Delta C_1/C_1 - \Delta L/L} \right] - 1}; \text{ und } C_1 = C - C_2.$$

Hierin ist C = Gesamtparallelkapazität,

$$\Delta L/L = \text{Tkf. der Spule,}$$

$$\Delta C_2/C_2 = + \text{Tkf. des Calitkondensators,}$$

$$\Delta C_1/C_1 = - \text{Tkf. des Condensakondensators.}$$

Ist noch ein Luftdrehkondensator vorhanden, so ist dessen Tkf. für eine mittlere Kapazitätsstellung zu berücksichtigen.

Damit sind dann alle zur Vorausberechnung eines temperaturunabhängigen Kreises nötigen Grundlagen gegeben. Abb. 7 zeigt die Temperaturabhängigkeit solcher kompensierter Kreise und läßt erkennen, daß neben zu

geringer Kompensation auch Überkompensation vorkommen kann. Man wird sich deshalb in der Praxis nicht mit der rechnerischen Bestimmung allein begnügen, sondern wird durch Messen und Ausprobieren mittels eines Generators höherer Konstanz die bestmögliche Kompensation zu erreichen suchen. Dies wird nötig, weil hier eine Reihe von Einflüssen hereinspielen, die rechnerisch nur äußerst umständlich zu erfassen sind. Solche Störungen sind die Unsicherheiten durch Röhre und Schaltkapazitäten sowie durch den Bereichschalter und seine Zuleitungen. Die Kompensation des FW ist auch nicht bei allen Stufen gleich, sie wird vielmehr für einen mittleren Bereich berechnet und eingestellt. Der Unterschied nach

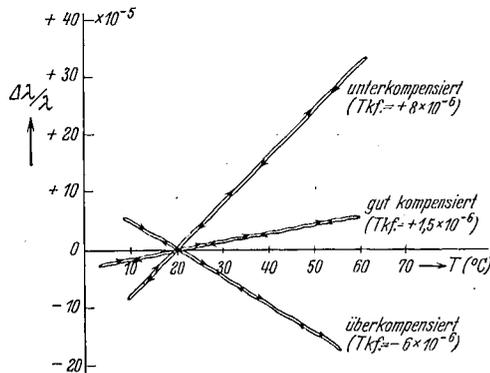


Abb. 7. Temperaturabhängigkeit einiger kompensierter Schwingungskreise mit keramischer Spule, Luft-Drehkondensator, Calit- und Condensafestkondensatoren.

unten und oben liegt dann nur — hier zeigt sich wieder ein Vorteil des geringen Bereichsverhältnisses 1 : 1,5 — in der Größenordnung von $\pm 3 \cdot 10^{-6}$. Bei dem beschriebenen Wellenmesser ist es gelungen, die gesamte Temperaturabhängigkeit innerhalb $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ zu bringen, die auch, wie ein ähnliches, seit einem Jahr in Betrieb befindliches Gerät zeigt, gehalten werden kann.

VI. Normalgenerator (NG).

Zur Prüfung der relativen und absoluten Konstanz des Wellenmessers ließ sich der GW früher durch Umschalten zum Quarzoszillator machen. Diese Umschaltbarkeit auf Kristallerregung wurde zwar beibehalten, doch hat das neue Gerät noch eine eigene Normalquarz-Stufe von 100 kHz erhalten. Dadurch ergab sich eine doppelte Sicherheit durch die Prüfmöglichkeit des FW gegen den NG, dessen Absolutgenauigkeit etwa $5 \cdot 10^{-5}$ beträgt, weil ein Quarz mit geringem Tkf. ($\pm 3 \cdot 10^{-6}$) Verwendung fand. Es lassen sich aber auch für die längeren Bereiche des GW neben der Möglichkeit zur Relativprüfung mittels Oberwellen des NG, eine Reihe von Normalfrequenzen mit der Absolutgenauigkeit des Quarzes erzeugen. Die Oberwellen des NG sind bis $3 \cdot 10^6$ Hz zu hören. Weiterhin kann durch Überlagerung des NG mit dem GW bei 100 oder 50 kHz direkt Tonfrequenz erzeugt werden (Überlagerungssumme), wobei der Interferenzton auf einem sehr weitem Bereich der Skala hörbar wird. Für genügende Lautstärke bei den tiefen Frequenzen ist in diesem Falle durch eine zusätzliche Kopplung zwischen NG und GW Sorge getragen. Der im neuen Gerät zweistufig und mit Fünfpolendröhre ausgestattete Niederfrequenzteil bedingt eine hinreichende Verstärkungsreserve. Er ist in gemischter Widerstandskopplung mit gleichstromfreiem Transformator und widerstandsbelastetem Gitterkreis der ersten Röhre auf-

gebaut und gewährleistet dadurch auch bei der Verwendung des Wellenmessers als Schwebungssumme beste Verstärkung über den ganzen Hörbereich.

VII. Eichung und Konstanz.

Die Eichung des Gerätes erfolgte beim GW mit Oberwellen eines Langwellenoszillators, großenteils des eingebauten Normalquarzes. Beim FW wurde außer dem NG ein Langwellensender mit Leuchtnormalen verwendet, deren Absolutgenauigkeit $5 \cdot 10^{-5}$ beträgt. Ausgehend von den mit Leuchtnormalen und ihren Oberwellen eingestellten Eichpunkten, wurde dann innerhalb der einzelnen Bereiche die Relativeichung durch Messung der Schwebungsfrequenz beim Verstimmen des FW (bis ± 60 kHz) erweitert. Die Eichkonstanz des Wellenmessers ist durch den eingebauten NG stets in sich selbst prüfbar. Auf diese Weise konnte die Genauigkeit des FW und damit des ganzen Gerätes auf $5 \cdot 10^{-5}$, also 0,005% gebracht werden. Diese Grenze ist bereits durch die Ablesegenauigkeit bedingt und entspricht bei $3 \cdot 10^6$ Hz einer Bestimmungsgenauigkeit auf 150 Hz. Da man mit dem Ohr ohne Schwierigkeit auf ± 50 Hz von 0 aus einstellen kann, liegt die Einstellungsunsicherheit wesentlich unter der gewünschten Meßgenauigkeit. Der GW allein konnte hauptsächlich dadurch, daß die Spulen fest eingebaut sind, auf eine Genauigkeit von 0,5% gebracht werden. Die Ergebnisse der durchgeführten Konstanzuntersuchungen gehen aus Abb. 5a und Abb. 5b hervor, deren Kurve die Einschaltkonstanz innerhalb der ersten Viertelstunde zeigt. Die Änderung beträgt hierbei etwa 180 Hz, das sind also $6 \cdot 10^{-5}$ bei einer Frequenz von $3 \cdot 10^6$ Hz. Dies bedeutet also, daß genaue Messungen mit dem FW erst nach dem Einlaufen des Gerätes nach der angegebenen Zeit vorgenommen werden dürfen. Der erste derartige Wellenmesser, der etwa ein halbes Jahr im Betrieb ist, hat sich seitdem bei einer Frequenz von 3000 kHz um 90 Hz, das sind $3 \cdot 10^{-5}$, geändert.

VIII. Anwendungen.

Der Kapazitätsverlauf des Drehkondensators, die Selbstinduktion und die Eigenkapazität der Spulen des GW sind zur Durchführung einer Reihe hochfrequenztechnischer Messungen genau bestimmt. Außer den gebräuchlichen und bekannten Verwendungszwecken derartiger Geräte zur Wellenmessung mit 0,5% (GW) oder 0,005% (GW + FW) Genauigkeit, zur Meß-Sendung (0,3 W), zur Kapazitätsmessung und Selbstinduktionsbestimmung sei auf einige weitere Anwendungsmöglichkeiten der Neukonstruktion besonders hingewiesen.

Die Kapazitätsmessung kann mittels Überlagerung durch den FW auch im Bereich unter 10 pF durchgeführt werden; eine Kapazität von 1 pF ist noch mit 1% Genauigkeit bestimmbar.

Mit dem Normalquarz ist weiterhin durch Überlagerung die direkte Verwendung des Wellenmessers als Schwebungssumme gegeben. (Eichkonstanz über 200 Hz $\pm 2\%$.)

Jede zu messende Frequenz kann durch Gegenüberlagerung mit GW und FW auf 1 Hz ausgeschwebt werden (Doppelschwebung).

Eine der wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten ist die zur Durchführung von Tkf.-Messungen. Beim Erwärmen eines Prüfobjektes z. B. eines Blockkondensators, der parallel zum Schwingungskreis anzuschließen ist, beginnt nämlich der Interferenzton der Überlagerung GW – FW

wegzulaufen, kann aber mit dem FW wieder nachgestellt werden. Aus der Größe dieser Nachstellung während des Temperaturganges läßt sich der Tkf. einfach bestimmen.

Für die präzise mechanische Durchbildung dieses Wellenmessers bin ich Herrn Mechaniker Waldemar Süß zu besonderem Dank verpflichtet.

IX. Zusammenfassung.

Es wird ein neuer Präzisionswellenmesser mit doppelter Überlagerung, der eine Neukonstruktion des 1932 hier gebrachten darstellt, beschrieben. Durch aufbau- und schaltungstechnische Verbesserungen gelingt es, eine Relativgenauigkeit von 0,005% zu erreichen, die man durch einen eingebauten Normalquarzgenerator auch absolut erhält. Die Abhängigkeit des Gerätes von der

Temperatur ist innerhalb 10° bis 30° C auf $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ kompensiert. Durch Verwendung eines umschaltbaren Spulensatzes mit dem Wellenbereich 6 bis 6000 m und direkte Eichung in Frequenzen oder Wellenlängen stellt die beschriebene Ausführung ein besonders handliches Gerät dar, das eine Reihe vielseitiger Anwendungsmöglichkeiten für Laboratorium und Betrieb aufweist.

Literaturverzeichnis.

1. Rohde, L. u. Schwarz, H., Hochfrequenztechn. u. Elektroak. **40** (1932) Heft 4, 117. — 2. Rohde, L., Z. techn. Physik **11** (1933) 480. — Handrek, H., Hochfrequenztechn. u. Elektroak. **43** (1934) 73. — 4. Handrek, H., Z. techn. Physik **11** (1934) 491. — 5. Rohde, L., Z. techn. Physik **12** (1934) 613.

(Eingegangen am 26. Juli 1935.)

betrachtet, von großer Wichtigkeit. Besonders auffallend ist der Unterschied zwischen einer lagigen und richtungslosen Gangstruktur. Diese beiden beeinflussen naturgemäß die Wasserführung in verschiedener Weise. Eine Veränderung der Wasserführung kann aber auch durch Verwerfungen zustande kommen. Es ist leicht möglich, daß das verworfene Gangtrum eine andere Wasserführung und damit auch andere elektrische Eigenschaften aufweist. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, daß mitunter verworfene Gänge sich überhaupt einem Nachweise entziehen. Auch die Lage der Gänge zueinander ist, besonders bei der Kapazitätsmethode, von besonderer Wichtigkeit. In Kotterbach war z. B. die in Abb. 2 dargestellte Situation näher zu untersuchen. Der „grobe Gang“ (G.G.) und der „Drozdiakgang“ (D.G.) scharen sich nicht, wie man vielleicht zuerst annehmen würde. Vielmehr weist der „grobe Gang“ in der Nähe des „Drozdiakganges“ eine größere Anzahl kleinerer Verwerfungen auf, die in der Abbildung bei *V* eingezeichnet sind. Die Situation ist somit montanistisch nicht klar gestellt. Es kann möglich sein, daß der jüngere „Drozdiakgang“ den „groben Gang“ durchsetzt und somit dieser bei *II* seine Fortsetzung findet. Als zweite Möglichkeit kommt eine Verwerfung des „groben Ganges“

besonderer Wichtigkeit. In Kotterbach war z. B. die in Abb. 2 dargestellte Situation näher zu untersuchen. Der „grobe Gang“ (G.G.) und der „Drozdiakgang“ (D.G.) scharen sich nicht, wie man vielleicht zuerst annehmen würde. Vielmehr weist der „grobe Gang“ in der Nähe des „Drozdiakganges“ eine größere Anzahl kleinerer Verwerfungen auf, die in der Abbildung bei *V* eingezeichnet sind. Die Situation ist somit montanistisch nicht klar gestellt. Es kann möglich sein, daß der jüngere „Drozdiakgang“ den „groben Gang“ durchsetzt und somit dieser bei *II* seine Fortsetzung findet. Als zweite Möglichkeit kommt eine Verwerfung des „groben Ganges“

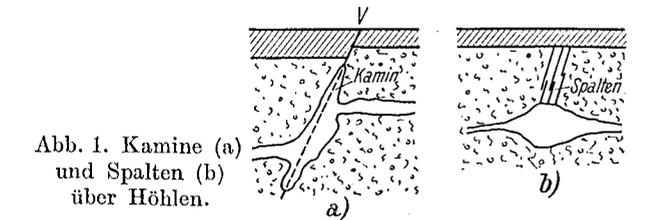


Abb. 1. Kamine (a) und Spalten (b) über Höhlen.

besonderer Wichtigkeit. In Kotterbach war z. B. die in Abb. 2 dargestellte Situation näher zu untersuchen. Der „grobe Gang“ (G.G.) und der „Drozdiakgang“ (D.G.) scharen sich nicht, wie man vielleicht zuerst annehmen würde. Vielmehr weist der „grobe Gang“ in der Nähe des „Drozdiakganges“ eine größere Anzahl kleinerer Verwerfungen auf, die in der Abbildung bei *V* eingezeichnet sind. Die Situation ist somit montanistisch nicht klar gestellt. Es kann möglich sein, daß der jüngere „Drozdiakgang“ den „groben Gang“ durchsetzt und somit dieser bei *II* seine Fortsetzung findet. Als zweite Möglichkeit kommt eine Verwerfung des „groben Ganges“

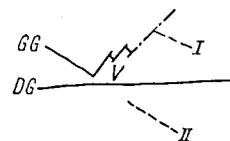


Abb. 2. Lage des groben Ganges (GG) und des Drozdiakganges (DG).

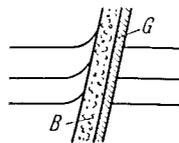


Abb. 3. Querschnitt einer Spalte.

nach *I* in Betracht. Wie man schon aus dieser Abbildung ersieht, werden sowohl Absorptions- als auch Reflexions- und Kapazitätsmessungen in den aufgeschlossenen Strecken ganz verschiedenartige Resultate liefern, je nachdem die Annahme *I* oder *II* zutrifft. Außerdem ist zu beachten, daß das Gebiet *V* infolge der tektonischen Verschiebungen von zahlreichen Rissen durchsetzt sein wird und infolge der dadurch bedingten höheren Wasserführung andere elektrische Eigenschaften haben wird als wie die angrenzenden Volumen.

Weiteres Augenmerk ist den Begrenzungen der Spalten zuzuwenden. Die Art, in der das Nebengestein an den Gang anstößt, ist auch in elektrischer Hinsicht von Wichtigkeit. In Abb. 3 sehen wir ein typisches Beispiel. Die Schichten des Nebengesteins stoßen an das hangende Salband nicht glatt an, sondern etwas hinaufgebogen. Wenn nun an der Hangendkluft Wasser absinken wird, so wird dieses in die Spalten eindringen. Aus diesem Grunde wird das durch bessere elektrische Eigenschaften ausgezeichnete Gangvolumen am Hangenden eine Erweiterung erfahren. Im Liegenden reißen die Schichten dagegen am Salband glatt ab. Hier wird der Gang auch in elektrischer Hinsicht scharf begrenzt sein. Besonders wichtig ist für uns die elektrische Situation

*) Über die el. Eigenschaften geologischer Leiter s. u. a. folgende größere Arbeiten: Hummel, Unterlagen der geoelektrischen Aufschlußmethoden; Fritsch, Beiträge zur geoelektrogeologie. Beide in den „Beiträgen zur ang. Geophysik“ 1935. Akad. Verlagsges. m. b. H., Leipzig.