

Ueber die Prüfung von Wellenmesser

Autor(en): **König, E. / Buchmüller, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **2 (1924)**

Heft 6

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873964>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ueber die Prüfung von Wellenmessern.

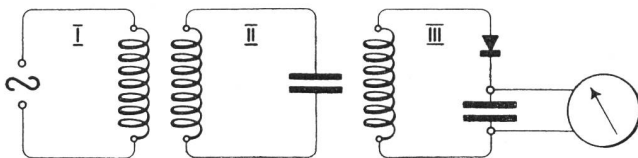
Von E. König und F. Buchmüller.

(Mitteilung des eidg. Amtes für Mass und Gewicht in Bern).

In Hochfrequenzlaboratorien ist der Wellenmesser eines der unentbehrlichsten Messinstrumente geworden. Andererseits hört man so häufig klagen, dass die Wellenmesser verschiedener Provenienz nicht genügend untereinander übereinstimmen, dass eine kurzgefasste Darlegung über die absolute Prüfung eines Normalwellenmessers willkommen sein dürfte.

I. Messprinzip des Resonanzwellenmessers.

Die Hochfrequenztechnik hat es vorwiegend mit Schwingungen zu tun, deren Grössenordnung in der Mitte zwischen den Hertz'schen Wellen und den langsamen Schwingungen der gewöhnlichen Wechselstromtechnik liegt. Sie ist beherrscht von dem Resonanzprinzip, das im Gebiet der langen Wellen nur in vereinzelt Fällen messtechnische Bedeutung hat. Auch bei den Hertz'schen Wellen hat das Resonanzprinzip nicht eine dominierende Stellung. Hier ist die Wellenlänge von der Grössenordnung der Dimensionen der Apparate, mit denen man experimentiert; daher lassen sich Kapazität und Selbstinduktion nicht mehr scharf scheiden. Bei den Hertz'schen Wellen herrscht der offene Sender mit nicht quasi-stationärem Strom, starker Strahlung und zahlreichen Eigenschwingungen, im Hochfrequenzlaboratorium der geschlossene Schwingungskreis des durch eine Selbstinduktion geschlossenen Kondensators. Ein solcher Kreis hat eine bestimmte Eigenperiode, führt quasi-stationären Strom und strahlt nicht oder wenig. Schliesst man einen durch eine Selbstinduktionsspule L und Kapazität C gebildeten Kreis II in sich kurz und erregt ihn durch eine magnetisch gekoppelte von Wechselstrom durchflossene Spule I, so tritt in diesem Kreis Resonanz ein, wenn die Bedingung erfüllt ist $\omega^2 LC = 1$, wo ω die Kreisfrequenz bedeutet.



(Fig. 1.)

Dabei wird die Abstimmung zwischen den Kreisen um so schärfer, je geringer die Dämpfung des Wellenmesserkreises und je loser die Koppelung ist. Die Resonanz, d. h. das Strommaximum, beobachtet man mittelst des Kreises III, welcher mit II schwach gekoppelt ist, während er von I nicht direkt beeinflusst werden darf. Es müssen daher die Koppelspulen I/II und II/III so weit voneinander entfernt

sein, dass eine nennenswerte Rückwirkung des induzierten Stromes auf den induzierenden nicht stattfindet. Als Resonanzanzeiger im Kreis II dienen bei den technischen Wellenmessern entweder kleine Glühlämpchen oder Hitzdrahtinstrumente oder Thermoelemente einerseits, oder Kristalldetektoren in Verbindung mit Telephon oder Galvanometer andererseits. Für genaue Messung der Wellenlänge verdient derjenige Detektor den Vorzug, welcher bei gleicher Messempfindlichkeit den kleinsten Energieaufwand beansprucht. Dabei ist folgendes von prinzipieller Bedeutung: Bei den technischen Wellenmessern ist der Resonanzindikator in der Regel direkt im Messkreis II eingeschaltet z. B. durch Parallelschaltung an einigen Windungen der Wellenspule. Es werden daher die wellenbestimmenden Elemente der Dämpfung, der Kapazität und der Selbstinduktion je nach der Schaltungsart durch die Kapazität, die Selbstinduktion oder den Widerstand des Resonanzindikators beeinflusst, und die Angaben eines Wellenmessers sind mithin abhängig von der Art der Schaltung des verwendeten Resonanzanzeigers. Es müssen daher in den Prüfungsergebnissen die diesbezüglichen Angaben enthalten sein. Ebenso ist klar, dass die Eichkurven verschieden sein müssen beim Gebrauch des Wellenmessers als Resonator einerseits oder mit Summererregung als Generator andererseits. Die beiden Kurven können je nach den Verhältnissen, je nach der Kondensatorstellung um viele Prozente von einander abweichen (34).

II. Der Normalwellenmesser des Amtes für Mass und Gewicht.

Aus der Formel $\omega^2 LC = 1$ folgt die Beziehung:

$$\text{Wellenlänge } \lambda \quad = \quad 2\pi \sqrt{\frac{L}{(\text{cm})} \cdot \frac{C}{(\text{cm})}}$$

Kann man die Grössen L und C durch absolute Messungen einwandfrei bestimmen, so ist die Wellenlänge aus der Formel ohne weiteres zu berechnen. Die einfache Formel erfordert, wie Diesselhorst (25) gezeigt hat, eine Erweiterung durch die Berücksichtigung der Spulenkapazität und der Selbstinduktion des Kreiskondensators und nimmt die Form an:

$\lambda = 2\pi \sqrt{(L + l) \cdot (C + c)}$ wobei bedeuten: L = die Spulenselbstinduktion, l die zusätzliche Selbstinduktion der Verbindungsleitungen, Koppelschleifen und des Kreiskondensators, C = die Kapazität des Kreiskondensators, c = Spulenkapazität + Kapazität der Verbindungsleitungen. Die verteilte Kapazität c der Spulenselbstinduktion addiert sich zu der Kreiskapazität, der sie als parallel geschaltet

Anmerkung. Die in Klammern dem Text beigegefügt Zahlen korrespondieren mit dem am Schluss beigegebenen Literaturverzeichnis.

betrachtet werden kann, ebenso wie die Kapazität der Verbindungsleitungen. Um die innere Selbstinduktion, welche in Serie zu der Selbstinduktion der Spule liegt, bei verschiedenen Stellungen des Kreiskondensators zu bestimmen, ermittelt man die Eigenwellenlänge, für welche der kurzgeschlossene Kondensator mit der im Innern befindlichen Selbstinduktion in Resonanz kommt und addiert den diesbezüglichen Betrag, ebenso wie die Selbstinduktion der Verbindungsleitungen und allfälliger Koppelschleifen zu der Selbstinduktion der Wellenspule. Ein allfälliger kleiner Fehler in der Bestimmung dieser Eigenwellen (wobei zu bemerken ist, dass namentlich die Bestimmung der Selbstinduktion der Kondensatoren etwas mehr Schwierigkeiten bietet) (20) beeinflusst als Korrekursionsgrösse zweiter Ordnung die Präzision der rechnerischen Auswertung der Wellenlänge um so weniger, je grösser die verwendete Kreiskapazität und Spulenselbstinduktion sind. Angesichts der ausserordentlichen Schwierigkeiten bei der Messung von kleinen Wellenlängen, alle Einzelelemente absolut zu bestimmen, und die Wellenlänge rechnerisch mit ausreichender Genauigkeit zu ermitteln, wird man für kurze Wellen von vornherein auf diesen Weg verzichten; man eicht vielmehr den Normalwellenmesser für kurze Wellen empirisch durch Vergleich mit einem absolut bestimmten Wellenmesser für lange Wellen, wie an späterer Stelle gezeigt wird.

Der Kreiskondensator.

Derselbe besteht aus einem Satz Normalluftkondensatoren mit definierter Schaltungskapazität. Die Kondensatoren wurden nach dem Modell der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (1), (2), (13) von Herrn Mechaniker Meyerling in Charlottenburg, hergestellt. Der Satz besteht aus 3 festen Kondensatoren, deren Sollwerte 2000, 4000 und 4000×10^{-12} Farad betragen, einem Drehkondensator und einem Untersatz mit Anschlussklemmen. Jeder Kondensator besteht aus 2 Systemen ebener Metallplatten aus einer Aluminiumlegierung, welche von einem zylindrischen Metallgehäuse völlig umschlossen und abgeschützt sind. Die beiden Systeme sind gegen einander und gegen das Gehäuse durch kleine Quarzzyylinder abgestützt und isoliert. Bei dem Drehkondensator verschiebt sich eine halbkreisförmige, mit der Achse des Drehkondensators fest verbundene, in 180 Grad geteilte Skala unter einem in einem Fenster des Gehäuses angebrachten Index. Zum Parallelschalten der einzelnen Kondensatoren werden dieselben aufeinander aufgesetzt, wobei federnde Kontaktstifte die Verbindung der isolierten Plattensysteme vermitteln. Der Anschluss der Kondensatoren erfolgt stets durch Aufsetzen auf einen Untersatz, welcher mit seinen isolierten Kontaktstiften in derselben Weise ausgebildet ist wie der obere Teil eines Kondensators. Beim Parallelschalten durch Aufeinandersetzen der verschiedenen Einheiten hat man somit nicht mit unbestimmten zusätzlichen Verbindungskapazitäten zu rechnen, sondern einfach die einzelnen Kapazitäten und diejenigen des separat bestimmten Untersatzes zu ad-

dieren. Da bei dem Aufbau dieser Normalen feste Dielektrika, die wohl die einzige Ursache etwaiger dielektrischer Verluste bilden können, nur in unumgänglich notwendigem Masse verwendet werden, sind die Kondensatoren als völlig verlustfrei angenommen worden. Obschon bei dem heutigen Stande der Messtechnik die Messung des Verlustwinkels bei Kondensatoren der in Frage stehenden Grösse mit einer absoluten Genauigkeit von 1 bis 2 Winkelsekunden ausgeführt werden kann, sind nach Beobachtungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt an gleichgebauten Kondensatoren bei Vergleichung mit einem Normal, bei welchem die Teilkapazität k_{12} eine reine Luftkapazität war, dielektrische Verluste nicht nachweisbar gewesen. Das äussere feste Plattensystem sei mit k_1 , das innere, bewegliche System mit k_2 , das Gehäuse mit O bezeichnet; dann bedeutet k_{12} die Teilkapazität beider Systeme gegeneinander, k_{10} und k_{20} die Teilkapazitäten des innern, bezw. des äussern Systems gegen das Gehäuse. Sowohl für die Untersätze, wie für die verschiedenen Einheitskondensatoren und Drehkondensatoren wurden sämtliche Teilkapazitäten getrennt ermittelt und daraus die jeweilige Betriebskapazität berechnet. Schaltet man (5) bei den Messungen in der Brücke (Fig. 4) die Kondensatoren derart an, dass die Hülle und die Belegung 1 (oder 2) am Eckpunkt C, die Belegung 2 (oder 1) an A liegt, so misst man die Betriebskapazität $k_{12} + k_{20}$ (oder $k_{12} + k_{10}$). Werden beide Belegungen kurzgeschlossen und mit dem Eckpunkt A verbunden, während die metallene Hülle an C liegt, so misst man die Kapazitäten $k_{10} + k_{20}$. Aus den drei Messungen werden die drei Konstanten des Kondensators k_{12} , k_{10} , k_{20} einzeln berechnet. k_{12} kann auch direkt gemessen werden, wenn man die Hülle mit dem geerdeten Eckpunkt D der Brücke, Belegung 1 mit C, Belegung 2 mit A verbindet; dann liegt die Teilkapazität k_{10} parallel zur ganzen Brücke, ist also auf die Abgleichung ohne Einfluss, während k_{20} dem Widerstand w_1 parallel geschaltet ist. Hätte der Kondensator keine Schutzhülle, so sind k_{10} und k_{20} die Teilkapazitäten der Belege 1 und 2 gegen Erde nicht mehr eindeutig definierte Konstanten des Kondensators. Aus den gemessenen Teilkapazitäten k_{12} , k_{10} und k_{20} berechnet sich die im Wellenmesser wirksame Betriebskapazität zu

$$k_{12} + \frac{k_{10} \cdot k_{20}}{k_{10} + k_{20}}$$

Dabei sind die Teilkapazitäten k_{10} resp. k_{20} des Untersatzes, sowie die einzelnen Glieder des Kondensatorsatzes alle parallel geschaltet und die Summe aller k_{10} mit der Summe aller k_{20} zusammen in Serie, sodass die Gesamtbetriebskapazität =

$$\sum k_{12} + \frac{\sum k_{10} \cdot \sum k_{20}}{\sum k_{10} + \sum k_{20}} \text{ ist.}$$

Die gesonderte Bestimmung aller Teilkapazitäten hat den grossen Vorteil, dass man für jede beliebige erforderliche Schaltung eines Einzelkondensators oder der Kombination von mehreren den wirksamen Betriebskapazitätswert sofort berechnen kann. Folgendes sind die Werte der einzelnen Elemente des Kondensatorsatzes:

*Feste Kondensatoren.*Kapazität in 10^{-12} Farad:

| Nr. | k_{12} | k_{10} | k_{20} |
|--------------|----------|----------|----------|
| 35 | 2001 | 85 | 41 |
| 36 | 4001 | 93.5 | 50 |
| 37 | 4000 | 95 | 49.5 |
| Untersatz 38 | 0 | 8.5 | 8.5 |

*Drehkondensator Nr. 38.*Kapazität in 10^{-12} Farad:

| Grade | k_{12} | k_{10} | k_{20} |
|-------|----------|----------|----------|
| 0 | 105 | 25 | 213.5 |
| 2 | 115 | — | — |
| 4 | 133.5 | — | — |
| 6 | 154 | — | — |
| 10 | 198.5 | 25.5 | 213 |
| 20 | 311.5 | — | — |
| 30 | 427.5 | — | — |
| 40 | 545 | 26 | 210.5 |
| 50 | 663 | — | — |
| 60 | 781 | — | — |
| 70 | 898 | 26 | 211 |
| 80 | 1017 | — | — |
| 90 | 1136 | — | — |
| 100 | 1254 | — | — |
| 110 | 1373 | 26 | 215.5 |
| 120 | 1491 | — | — |
| 130 | 1610 | — | — |
| 140 | 1728 | 26 | 216.5 |
| 150 | 1846 | — | — |
| 160 | 1964 | — | — |
| 170 | 2081 | 26 | 214.5 |
| 174 | 2126 | — | — |
| 178 | 2171 | — | — |
| 180 | 2184 | 27 | 212.5 |

Es ergeben sich somit als

$$\frac{\sum k_{10} \cdot \sum k_{20}}{\sum k_{10} + \sum k_{20}}$$

für die Kombination von:

| | | |
|-----------------------|----|---------------------------|
| 38 mit Untersatz | 38 | 30 · 10 ⁻¹² F. |
| 35 mit 38 und .. | 38 | 82 |
| 36 mit 38 | 38 | 87 |
| 35+36 mit 38 | 38 | 127 |
| 36+37 mit 38 | 38 | 132 |
| 35+36+37 mit 38 | 38 | 167 |

Die Wellenspulen.

Sämtliche Wellenspulen Nr. 81 bis 85 sind auf uniforme Hartpapier-Zylinder von 20 cm Durchmesser aufgewickelt (aus Festigkeitsgründen wurde die Dicke der Zylinder zu 5 mm gewählt). Die Spulen 81 bis 84 bestehen aus Litzendraht von $260 \times 0,07$ mm einzel isolierten Drähten; die Spule 85 aus Litze von $32 \times 0,2$ mm. Die mehrlagigen Spulen sind zur Verminderung der Spulenkapazität in Stufenwicklung ausgeführt (37). Die Verbindungsleitung zwischen den Wellenspulen und dem Kreiskondensator besteht aus 2 im Abstand von 1 cm in Leder eingewickelten Hochfrequenzlitzendrähten von 55 cm Länge. Die Kapazität dieser Verbindungsleitung ist in den angegebenen Spulenkapazitäten inbegriffen. Die Selbstinduktion der Zuleitung ist in den nachfolgenden Werten der Wellenspulen bereits

eingerechnet. Die Bestimmung der Selbstinduktionskoeffizienten der Wellenspulen erfolgte in der Wechselstrombrücke bei der Periodenzahl 796 durch Vergleichung mit den nachfolgend erwähnten Induktionsnormalen des Amtes.

| Normal | Fabrikant | L_0 50 Per. int. Henry | L_n 796 Per. int. Henry | Spulenkap. c 10^{-12} F. |
|--------|----------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | Siemens-Halske | 0.9984 | 0.9999 | 60 |
| 2 | .. | 0.10009 | 0.10011 | 85 |
| 3 | .. | 0.010029 | 0.010029 | 46 |
| 4 | .. | 0.0009924 | 0.0009924 | 55 |

Aus den Werten der wahren Selbstinduktion L_0 bei der Periodenzahl 0 oder 50 und der Spulenkapazität c berechnet sich die wirksame Selbstinduktion L_n bei der Periodenzahl n nach der Formel:

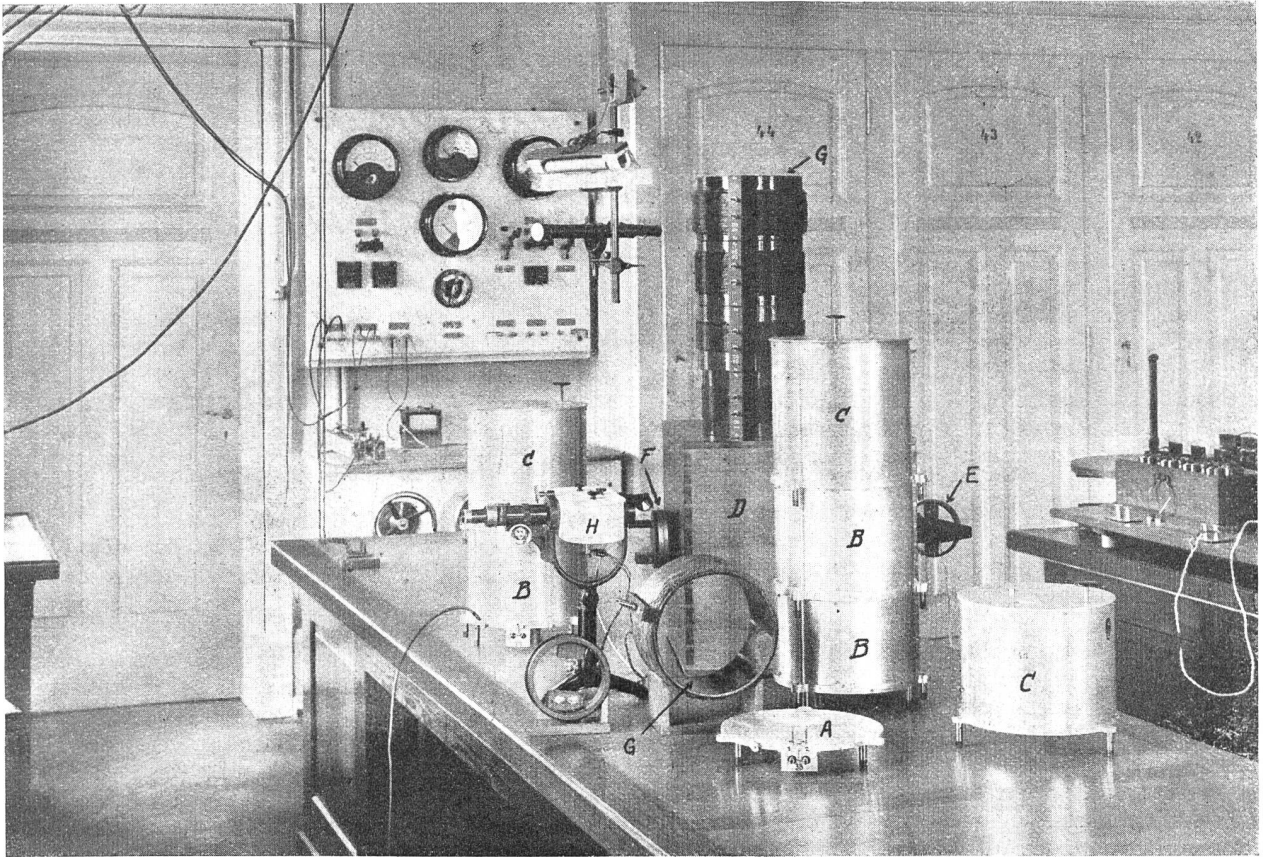
$$L_n = L_0 (1 + 4 \pi^2 n^2 L_0 c) \quad (22)$$

Für die Normalspulen des Wellenmessers ergaben sich die folgenden Werte:

| | | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| Spule Nr. | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 |
| Lagenzahl | 1 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| Windungszahl | 38 | 71 | 117 | 320 | 350 |
| Spulenkapazität in cm | 25 | 25 | 27 | 24 | 24 |
| Eigenwelle in m | 173 | 291 | 515 | 1176 | 1576 |
| Selbstinduktion (int. Henry) | 0.0003796 | 0.0010359 | 0.003256 | 0.012035 | 0.024442 |

Die Verwendung von Hartpapierzylindern als Träger der Wellenspulen erfolgte auf Grund günstiger Erfahrungen in unserm Laboratorium mit Normalwiderständen nach Orlich für Hochspannungsmessungen. Die Konstanz der Selbstinduktionswerte liess bei wiederholten Nachprüfungen nichts zu wünschen übrig.

Da die Spulenkapazität (und damit die wirksame Selbstinduktion und die Wellenlänge) von der Lage zur Umgebung (Erde und andere Leiter) etwas abhängig ist, wurde die eindeutige Definition erzielt durch Einbau der Wellenspulen in einen Holzkasten, dessen sechs Innenflächen mit fein unterteilter Staniolfolie (3) ausgekleidet sind. Die Staniolfächen sind leitend mit einander verbunden, jedoch so, dass keine geschlossenen Strombahnen entstehen. Auf die sorgfältige Unterteilung ist Wert zu legen, damit nicht Wirbelstrombildungen in den leitenden Hüllen eine neue Fehlerquelle schaffen. Die Schutzhüllen der Kondensatoren und die Staniolauskleidung der 6 Kastenflächen sind untereinander verbunden und liegen an Erde. Eine Beeinflussung des Wellenmessers durch die Annäherung des Beobachters findet nun nicht statt. Die Erregung des Kreises erfolgt durch rein magnetische Koppelung mit dem Sender (28). Die fünf Wellenspulen sind im Kasten auswechselbar ohne Lagenänderung in bezug auf die Kastenwände. Von den Spulen führt durch eine Oeffnung im Kasten die erwählte Bandleitung derart nach aussen zum Kreiskondensator, dass die Unveränderlichkeit der Kreiskonstanten beim Wechsel der Wellenspulen gewährleistet ist. Bei den Messungen wird stets diejenige Spule eingesetzt, bei welcher die Kondensatorkapazität grösser wird als 1000 cm (1×10^{-12} Farad = 0,9 cm). Die absolute Genauigkeit dieses Wellenmessers beträgt bei den benutzten Wellenlängen wenige Zehntel Promille.



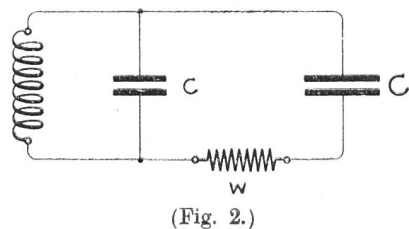
Normalwellenmesser des Amtes.

Auf der photographischen Abbildung des Normalwellenmessers sind folgende Einzelteile ersichtlich: (A) Kondensatorenuntersatz; (B) Feste Normalluftkondensatoren; (C) Drehkondensatoren; (D) Kasten zur Aufnahme der Wellenspulen; (E) Auf der rechten Seitenwand sind die Koppelwindungen sichtbar; (F) Auf der linken Seitenwand ist die aperiodische Detektorspule sichtbar; (G) Wellenspulen 81 bis 85; (H) Detektor-Schleifenanvanometer nach Zeiss.

Spulenkapazität.

Die Thomson-Kirchhoff'sche Formel $\lambda = 2\pi \sqrt{L C}$ gilt streng genommen nicht für die kontinuierlich verteilte Spulenkapazität, sondern hat zur Voraussetzung, dass die Kapazität lokalisiert an den Spulenden gegeben sei. Bei Spulen mit hoher Windungszahl und grosser Selbstinduktion ist das Verfahren, die Spulenkapazität aus der Eigenschwingung zu ermitteln, mit gewissen Vorsichtsmassregeln anzuwenden; aber auch in diesem Falle genügt die Zuschaltung einer an den Enden der Spule konzentrierten Parallelkapazität, die nur halb so gross zu sein braucht, wie die kontinuierlich verteilte Spulenkapazität, dass der Faktor 2π der Gleichung bestehen bleibt und erst bei weiterer Verkleinerung der konzentrierten Zusatzkapazität abnimmt (8). Bei den in Frage kommenden Wellenspulen ist für die Berechnung der Spulenkapazität die Annahme einer an den Enden der Spule lokalisierten reinen Kapazität c in weiten Grenzen zulässig. Für die Dämpfungsmessungen allerdings ist zu berücksichtigen, dass der wirksame Widerstand der Verzweigung $c C w$ sich berechnet zu $w' = \frac{w}{(1 + \frac{c}{C})^2}$

Diese Berechnungsart ist erwiesenermassen auch für schnelle Schwingungen zulässig. Zur Bestimmung der Spulenkapazität verbindet man die Enden der zu prüfenden Spule mit der einen Schneide und dem Faden eines Einfaden-Elektrometers nach Wulf (12) (Fabrikant: Günther & Tegetmeyer in Braunschweig) und erregt das System mit einem lose gekoppelten Röhrensender. Sobald beim Variieren der Sendewelle der Faden des Elektrometers maximal ausschlägt, wird die diesbezügliche Sendewelle gemessen, die Spulenkapazität nach der Thomson'schen Formel berechnet und von dem erhaltenen Wert die Kapazität der kurzen Zuleitung und diejenige des Fadenelektrometers abgezogen. Das Einfadenelektrometer nach Wulf ist infolge seiner kleinen Kapazität (1 bis 2 cm) für derartige Messungen ganz besonders geeignet und andern Spannungsindikatoren weit überlegen (18).



Detektorkreis.

Namentlich bei kurzen Wellenlängen macht sich bei unsymmetrisch aufgebautem Detektorkreis die Erscheinung geltend, dass das Galvanometer im Detektorkreis III (Fig. 1) einen Nullausschlag zeigt, auch wenn Kreis II geöffnet oder ganz entfernt wird. Beim Kommutieren der Koppelspule im Detektorkreis ändert sich im allgemeinen sowohl der Nullausschlag, als auch der Resonanzausschlag, beide jedoch in verschiedenem Masse. Es kann daher nicht magnetische Induktion zwischen I und III als Ursache des Nullausschlages angesehen werden, da das Kommutieren der Koppelspule nur die Richtung, nicht aber die Grösse des Induktionsstromes ändern könnte. Da schon für kleine Nullausschläge die Resonanzkurven ganz unsymmetrisch ausfallen, wird eine Dämpfungsmessung nach der Methode von Bjerknes unmöglich; auch die Wellenmessung wird fehlerhaft, da infolge des Nullausschlages die Resonanzmaxima verschoben werden. Als Ursache dieser Erscheinung wurden von Giebe und Alberti (24) störende kapazitive Koppelungen zwischen den Kreisen I und III nachgewiesen und vollkommen beseitigt durch symmetrische Anordnung des Pyritdetektors genau in der Mitte der Koppelwindungen der Detektorspule. Macht man ausserdem die Zuleitungen zum Galvanometer möglichst kurz und bifilar, so verschwinden alle Störungen vollkommen. Als Galvanometer genügt der übliche Typ der raschschwingenden Zeigerinstrumente bei einer Empfindlichkeit von 1 Grad = 1×10^{-6} Ampère. Im allgemeinen bringt die Verwendung von Spiegelgalvanometern nicht solche Vorteile, dass die Nachteile mit Bezug auf die Zuleitungen kompensiert werden.

III. Verfahren zur Messung der Wellenlänge.

Während die Berechnung der Wellenlänge bei langen Wellen (über 1000 m) durch absolute Messung der Kapazität und Selbstinduktion der aus Normalluftkondensatoren und vollkommen definierten Induktivitäten zusammengesetzten Schwingungskreise mit einer Genauigkeit von einigen Zehntel Promille erfolgen kann, ist es nicht mehr möglich, bei kurzen Wellen auf rechnerischem Wege diese Genauigkeit zu erreichen. Je kürzer die Wellenlängen werden, desto weniger scharf lassen sich Kapazität und Selbstinduktion scheiden und in allen Einzelheiten mit ausreichender Genauigkeit bestimmen. Ein Normalwellenmesser für kurze Wellen wird vielmehr zweckmässig aus passenden Selbstinduktionen und einem verlustfreien Luftkondensator zusammengesetzt und empirisch geeicht mit Hilfe des absolut bestimmten Wellenmessers für lange Wellen, unter Verwendung zweier Röhrensender wie folgt (siehe Fig. 3).

Kreis I und II sind zwei Fünfwatt-Röhrensender (Telefunkenröhren RS 5). Kreis I erzeugt die langen Wellen, deren Wellenlänge mit dem Normalwellenmesser IV gemessen wird. Kreis II ist der Generator für kurze Wellen, VI der zu eichende Wellenmesser für kurze Wellen, V und VII die zu den beiden Wellenmessern IV und VI zugehörigen aperiodischen Detektorkreise. Die beiden Spulen a und b des aperiodischen Detektorkreises III werden mit den beiden Generatorkreisen I und II lose und veränderlich ge-

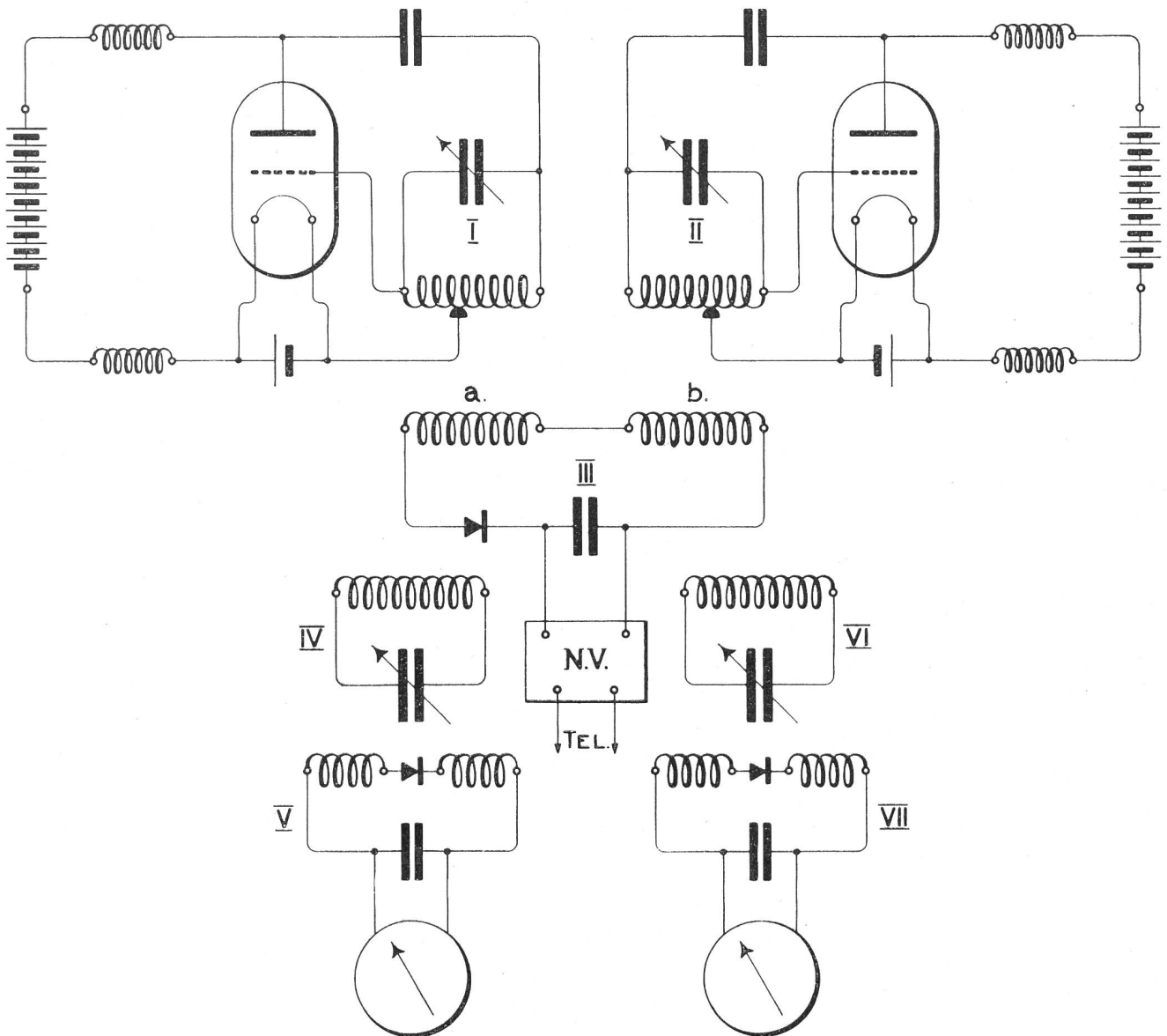
koppelt und die Interferenztöne unter Zwischenschaltung eines Niederfrequenzverstärkers NV zur Abstimmung benutzt. Es ist bekannt, dass beim Schwebungsempfang neben dem eigentlichen Tonspektrum der Grundwelle noch eine Reihe anderer Spektren auftreten, und zwar um so mehr, je stärker die beiden zur Interferenz kommenden Schwingungen sind, oder auch je mehr man die Schwebungstöne verstärkt. Neben den Tonspektren der Oberwellen $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{\lambda}{3}$ etc. der Sendewelle findet man

auch Tonspektren, die ganzen Vielfachen der Sendewellen 2λ , 3λ etc. entsprechen würden. Die Annahme von „Unterwellen“ ($n\lambda$) des einen Senders zur Erklärung der Nebentonspektren wäre physikalisch nicht verständlich. Die Annahme von Oberwellen ($\frac{\lambda}{n}$) des einen Senders zur Erklärung des

Phänomens wäre a priori möglich. Im vorliegenden Fall hält sie aber angesichts der Art der Erregung der Wellen einer nähern Betrachtung nicht stand. Wie Max Wien gezeigt hat, kann für das Entstehen der Nebentonspektren eine andere Ursache herangezogen werden, und zwar die Bildung der Kombinationsschwingungen entsprechend der Helmholtz'schen Theorie der Kombinationstöne. Lässt man auf einen einen Gleichrichter enthaltenden Kreis zwei sinusförmige elektromotorische Kräfte einwirken, so entstehen Ströme, die ausser den Grundschwingungen p und q noch Differenz- und Summationsschwingungen enthalten. Es kommen nun im vorliegenden Fall nur die Differenzschwingungen in Betracht. Nach der Helmholtz'schen Theorie entstehen Differenzschwingungen $p-q$, $2p-q$, $3p-q$ etc., die in ihrer Wirkung den Oberwellen entsprechen, aber auch $p-q$, $p-2q$, $p-3q$, die den „Unterwellen“ entsprechen würden. Im Gegensatz zu den Oberwellen, welche nach Art der Wellenerzeugung mehr oder weniger hervortreten können, sind bei den Kombinationswellen nicht etwa einzelne Schwingungen bevorzugt oder benachteiligt; sie müssen gleichmässig auftreten, abgesehen natürlich von der Abnahme der Intensität mit der Summe der Ordnungszahlen. Wir verweisen im übrigen auf die Ausführungen von Max Wien (26) und Grüneisen & Merkel (27). Das vorstehend erwähnte Phänomen der Kombinationswellen ist wohl jedem Radioamateur beim Ueberlagerungsempfang bekannt geworden, wird aber vielfach falsch gedeutet, indem es sich gar nicht um wirkliche Oberwellen handelt, sondern um die vorerwähnten Kombinationsschwingungen.

Von grossem messtechnischem Wert (23) ist nun das Auftreten dieser Kombinationsschwingungen für die exakte Vergleichung zweier Wellen λ und $n\lambda$, wo n eine beliebige ganze Zahl, 1, 2, 3 bis 20 oder mehr, sein kann. Zur Vergleichung der kurzen und langen Welle verfährt man wie folgt:

Man stellt den zu prüfenden Wellenmesser auf einen beliebigen Prüfpunkt ein, z. B. $\lambda_1 = 100$ m und erregt den Sender II bis im Detektorkreis VI VII Resonanz herrscht. Sodann erzeugt man mit Hilfe des Senders I eine Welle λ_2 von der n-fachen Länge (n z. B. 20) derart, dass die Welle λ_2 gross genug ist, um mit dem Normal-Wellenmesser IV V exakt gemessen werden zu können. Man stellt nun



(Fig. 3.)

durch Variation der Welle des Senders I auf das Verschwinden des Kombinationstones ein und misst sodann die Welle λ_2 . λ_2 durch die Ordnungszahl n dividiert, gibt die gesuchte Wellenlänge λ_1 , wobei die absolute Genauigkeit der Bestimmung der Wellenlänge λ_1 von der gleichen Größenordnung bleibt, wie diejenige der langen Vergleichswelle. Die ausserordentliche Genauigkeit der Methode macht es vollkommen überflüssig, nach dem Verfahren von Pungs & Preuner (10) dem Kombinationston der beiden Sender noch eine Tonfrequenz überzulagern. Die Kontrolle der Messungen ist sofort möglich durch Variation der Ordnungszahl n , wobei ausdrücklich bemerkt sei, dass alle Einstellungen mit der gleichen Leichtigkeit und Schärfe erfolgen durch Verschiebung der Koppelpulen a und b in bezug auf die beiden Sender zwecks passender Einstellung der Intensität der beiden interferierenden Wellenzüge. Wir lassen als Beispiel eine willkürlich und unretouchiert herausgegriffene Messreihe der

Prüfung eines Wellenmessers von Dr. Seibt in Berlin, Type LW 10, Nr. 112, mit Hilfe des Normalwellenmessers des Amtes (NWM) folgen (Tabelle I). Es bedeuten dabei:

- Kolonne 1: Einstellung des Kondensators des Wellenmessers Seibt.
- „ 2: Nummer der Wellenspule des Wellenmessers Seibt.
- „ 3: Wellenlänge (in m) laut Wellenlängentafel von Dr. Seibt.
- „ 4: Normalspule des N. W. M. des Amtes.
- „ 5: Nummer des festen Kondensators des N. W. M. des Amtes.
- „ 6: Einstellung des Drehkondensators Nr. 38 des N. W. M. des Amtes.
- „ 7: Totale Kreiskapazität (in cm) des N. W. M. des Amtes.
- „ 8: Berechnete Wellenlänge λ_2 in Metern.
- „ 9: Ordnungszahl n .
- „ 10: Gemessene Welle.

Tabelle I.

| 1 | 2 | 3 m | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|---|--------|----|----|-------|------|--------|----|----------------------|
| 53.5 | I | 201 | 82 | — | 80.7 | 975 | 1998 m | 10 | 199.8 ₆ m |
| " | " | " | " | — | 99.9 | 1180 | 2197 m | 11 | 199.7 ₃ m |
| " | " | " | " | — | 120.9 | 1404 | 2397 m | 12 | 199.7 ₆ m |
| " | " | " | " | — | 143.9 | 1649 | 2597 m | 13 | 199.7 ₇ m |
| " | " | " | " | — | 168.9 | 1913 | 2797 m | 14 | 199.7 ₈ m |
| " | " | " | " | 35 | 21.2 | 2193 | 2995 m | 15 | 199.6 ₇ m |
| " | " | " | " | " | 50.0 | 2497 | 3196 m | 16 | 199.7 ₅ m |
| " | " | " | " | " | 80.5 | 2820 | 3396 m | 17 | 199.7 ₆ m |
| " | " | " | " | " | 112.3 | 3160 | 3595 m | 18 | 199.7 ₂ m |
| " | " | " | " | " | 146.4 | 3523 | 3796 m | 19 | 199.7 ₉ m |
| " | " | " | " | 36 | 11.8 | 3901 | 3994 m | 20 | 199.7 ₀ m |
| Mittel: | | | | | | | | | 199.7 ₅ m |

Die Uebereinstimmung der vorstehenden Einzelwerte gibt gleichzeitig ein Urteil über die Zuverlässigkeit der Kapazitätsbestimmungen der Kondensatoren des Normalkreises. Die Korrektur des Wellenmessers Seibt beträgt somit: $-1,3 \text{ m} = -0,6 \%$ bei Welle 200 m. Bei geeigneter Schaltung der Generatorkreise, Unveränderlichkeit der Anodenspannung und des Heizstromes, passender Wahl der Grösse des Heizstromes, ist die Konstanz der erzeugten Schwingungen so gross, dass man ganze Serien von Kontrollmessungen durchführen kann, ohne ein einziges Mal die Ausgangswelle nachstellen zu müssen. Wie Grüneisen & Merkel gezeigt haben, lässt sich sogar eine Senderschwingung bei dem „Normalzustand“ des Senders mit einer Genauigkeit von wenigen Zehntausendstel aus den Kondensatoreinstellungen berechnen. Der Temperaturkoeffizient der Schwingungszahl ist dabei von der Grössenordnung von $\frac{1}{10\,000}$ pro Grad, sodass ein solcher Tonsender als kontinuierlich veränderliche Frequenznormale für akustische und langsame elektrische Schwingungen dienen kann (27). Gestützt auf das gleiche Prinzip der Kombinationstöne lässt sich nun die aus Kapazität und Selbstinduktion berechnete über der Hörbarkeitsgrenze liegende Schwingung unmittelbar zur Kontrolle vergleichen mit der hörbaren Frequenz einer Mittelfrequenzmaschine, deren Periodenzahl durch Messung der Zeit und Tourenzahl unmittelbar bestimmt werden kann. So wurde z. B. mit Hilfe des Normalwellenmessers (Spule 85, feste Kondensatoren 35 + 36 + 37, Kondensator 38 auf 7,1 Grad, Gesamtkapazität 9326 cm entsprechend = 30 000 m) der Sender auf die Wellenlänge 30 000 m = 10 000 Perioden eingestellt und die erzeugte Welle zur Interferenz gebracht mit einer von einer 48poligen Mittelfrequenzmaschine von 2 kVA Leistung erzeugten Schwingung von 1000 Perioden. Während der 4 Minuten dauernden Zeitmessung wurde die Tourenzahl der Maschine auf Schwebungsfreiheit eingestellt. Es ergaben sich 10 000 Umdrehungen auf 240,0 Sekunden, entsprechend 1000,0 Perioden in vollkommener Uebereinstimmung mit der berechneten Angabe des Normalwellenmessers. Selbstverständlich ist mit

analogem Verfahren die gegenseitige Kontrolle der verschiedenen Wellenspulen in mannigfaltiger Weise möglich. Bei der Kontrolle eines zu prüfenden Wellenmessers für Wellenlängen über 1000 m reduziert sich das Prüfverfahren auf die Verwendung nur eines Senders, nachdem einmal die innere Uebereinstimmung der Werte der verschiedenen Wellenspulen innerhalb der Grenzen von einigen zehntel Promille nachkontrolliert worden ist. Wir geben in Nachfolgendem die Messungsergebnisse des Amtes an dem vorerwähnten Wellenmesser Dr. Seibt.

IV. Prüfungsergebnisse eines Wellenmessers.

Dieser Wellenmesser Nr. 112, Type LW 10, der Firma Dr. G. Seibt in Berlin, wurde auch von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg geprüft. Die diesbezüglichen Werte sind in Kolonne 3 (PTR) der Tabelle II angeführt. Der Wellenmesser besitzt 7 Wellenspulen, I bis VII (Kolonne 2). Kolonne 10 enthält die Messwerte des Amtes (AMG), so wie sie die Rechnung ergibt, ohne die der Genauigkeit des Wellenmessers Seibt entsprechende Abrundung der erhaltenen Wellenlängewerte. Kolonne 11 enthält die Differenzen AMG — PTR in Prozenten. Die Bedeutung der übrigen Kolonnen entspricht der Tabelle I.

Die Prüfung des Wellenmessers durch die PTR erfolgte in Resonatorschaltung. Zur Angabe der Resonanz diente ein Drehspulgalvanometer mit Zeigerablesung (1 Grad = 1×10^{-6} A.), welches in einem lose gekoppelten aperiodischen Detektorkreis eingeschaltet war. Die Reichsanstalt gibt in ihrem Certifikat an, „dass die Werte auf 1% als richtig anzusehen seien. Bei den kürzesten Wellen, sowie bei kleinen Kondensatoreinstellungen sei die Genauigkeit geringer. Die Zuverlässigkeit der angegebenen Wellenlänge ist bedingt durch die mit dem Wellenmesser erreichbare Genauigkeit.“ Die grosse Abweichung der beiden Prüfungsergebnisse bei Grad 10, Spule IV, dürfte auf ein Versehen im Certifikat der PTR zurückzuführen sein.

Tabelle II.

| 1 | 2 | PTR 3 m | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | AMG 10 m | 11 |
|-------|-----|-------------------|----|-------|-------|------|------|----|----------------|-------|
| 29.9 | I | 149 | 82 | 35 | 19.0 | 2170 | 2980 | 20 | 149.0 | 0.0 |
| 60.0 | .. | 215 | .. | — | 94.8 | 1125 | 2145 | 10 | 214.5 | — 0.2 |
| 89.8 | .. | 277 | .. | — | 164.8 | 1870 | 2765 | 10 | 276.5 | — 0.2 |
| 120.0 | .. | 334 | .. | 35 | 71.6 | 2725 | 3338 | 10 | 333.8 | — 0.1 |
| 150.0 | .. | 379 | .. | 35 | 145.1 | 3515 | 3792 | 10 | 379.2 | — 0.1 |
| 175.0 | .. | 409 | 83 | — | 110.9 | 1298 | 4082 | 10 | 408.4 | — 0.1 |
| 9.9 | II | 199 | 82 | 36 | 15.3 | 3937 | 4012 | 20 | 200.6 | + 0.8 |
| 30.0 | .. | 321 | .. | 35 | 54.1 | 2540 | 3223 | 10 | 322.3 | + 0.4 |
| 59.8 | .. | 461 | 83 | — | 145.7 | 1667 | 4629 | 10 | 462.9 | + 0.4 |
| 120.0 | .. | 717 | .. | — | 83.7 | 1007 | 3597 | 5 | 719.4 | + 0.3 |
| 150.1 | .. | 814 | .. | — | 110.4 | 1292 | 4074 | 5 | 814.8 | + 0.1 |
| 174.4 | .. | 874 | .. | — | 129.5 | 1495 | 4383 | 5 | 876.6 | + 0.3 |
| 10.1 | III | 404 | 83 | — | 112.2 | 1311 | 4105 | 10 | 410.5 | + 1.5 |
| 30.0 | .. | 658 | .. | — | 138.8 | 1594 | 4526 | 7 | 647.0 | — 1.7 |
| 59.8 | .. | 927 | .. | — | 143.2 | 1641 | 4593 | 5 | 919 | — 0.9 |
| 90.0 | .. | 119 ₂ | .. | — | 152.5 | 1740 | 4729 | 4 | 1182 | — 0.8 |
| 119.9 | .. | 143 ₁ | .. | — | 122.3 | 1418 | 4270 | 3 | 1423 | — 0.6 |
| 150.0 | .. | 162 ₁ | .. | — | 160.8 | 1825 | 4847 | 3 | 1616 | — 0.3 |
| 174.8 | .. | 174 ₂ | 84 | — | 77.7 | 943 | 3482 | 2 | 1741 | 0.0 |
| 10.0 | IV | 918 | 83 | — | 128.3 | 1482 | 4365 | 5 | 873 | — 5.2 |
| 30.0 | .. | 133 ₈ | .. | — | 106.3 | 1248 | 4004 | 3 | 1335 | — 0.3 |
| 60.0 | .. | 189 ₇ | .. | — | 93.4 | 1110 | 3777 | 2 | 1889 | — 0.4 |
| 89.9 | .. | 242 ₂ | .. | — | 160.8 | 1828 | 4846 | 2 | 2423 | 0.0 |
| 120.0 | .. | 291 ₄ | .. | 35 | 63.8 | 2643 | 5828 | 2 | 2914 | 0.0 |
| 150.0 | .. | 330 ₀ | .. | 35 | 134.2 | 3393 | 6604 | 2 | 3302 | + 0.1 |
| 175.0 | .. | 355 ₀ | .. | 36 | 14.6 | 3929 | 7106 | 2 | 3553 | + 0.1 |
| 10.0 | V | 174 ₄ | 83 | 35 | 168.6 | 3758 | 6949 | 4 | 1737 | — 0.4 |
| 30.0 | .. | 268 ₉ | .. | 35 | 27.3 | 2250 | 5384 | 2 | 2692 | + 0.1 |
| 60.0 | .. | 383 ₀ | .. | — | 96.7 | 1146 | 3837 | 1 | 3837 | + 0.2 |
| 89.9 | .. | 490 ₀ | .. | — | 166.4 | 1887 | 4924 | 1 | 4924 | + 0.5 |
| 120.0 | .. | 590 ₀ | .. | 35 | 72.0 | 2728 | 5921 | 1 | 5921 | + 0.3 |
| 150.0 | .. | 669 ₀ | .. | 35 | 143.8 | 3496 | 6702 | 1 | 6702 | + 0.2 |
| 174.9 | .. | 719 ₀ | .. | 36 | 27.8 | 4066 | 7228 | 1 | 7228 | + 0.5 |
| 10.0 | VI | 345 ₀ | 82 | 35 | 90.4 | 2925 | — | 1 | 3458 | + 0.2 |
| 29.9 | .. | 528 ₀ | 83 | 35 | 22.2 | 2203 | — | 1 | 5321 | + 0.8 |
| 60.0 | .. | 756 ₀ | 83 | 36 | 66.8 | 4479 | — | 1 | 7588 | + 0.3 |
| 89.8 | .. | 972 ₀ | 84 | — | 175.9 | 1988 | — | 1 | 9719 | 0.0 |
| 120.0 | .. | 116 ₉₀ | 84 | 35 | 85.9 | 2882 | — | 1 | 11700 | + 0.1 |
| 149.9 | .. | 132 ₂₀ | .. | 35 | 161.2 | 3683 | — | 1 | 13227 | + 0.1 |
| 175.1 | .. | 142 ₇₀ | .. | 36 | 48.3 | 4285 | — | 1 | 14270 | 0.0 |
| 10.5 | VII | 739 ₀ | 84 | — | 96.9 | 1151 | — | 1 | 7390 | 0.0 |
| 30.0 | .. | 110 ₃₀ | 85 | — | 107.6 | 1261 | — | 1 | 11030 | 0.0 |
| 60.0 | .. | 155 ₉₀ | .. | 35 | 51.8 | 2515 | — | 1 | 15580 | — 0.1 |
| 89.9 | .. | 199 ₃₀ | .. | 36 | 32.2 | 4111 | — | 1 | 19920 | — 0.1 |
| 120.0 | .. | 239 ₄₀ | .. | 35+36 | 31.2 | 5937 | — | 1 | 23930 | 0.0 |
| 150.0 | .. | 270 ₇₀ | .. | 36+37 | 17.8 | 7602 | — | 1 | 27080 | + 0.1 |
| 175.1 | .. | 291 ₆₀ | .. | 36+37 | 132.9 | 8824 | — | 1 | 29180 | + 0.1 |

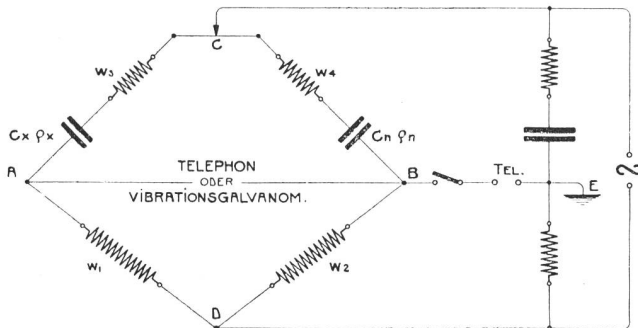
V. Bemerkungen über Kapazitäts- und Induktionsmessungen.

Zur „absoluten“ Bestimmung (in Farad) der Kapazität von Hauptnormalluftkondensatoren ist die genaueste Methode diejenige nach Maxwell, unter Benützung eines rotierenden Unterbrechers zur periodischen Aufladung des Kondensators (4 u. 20). Diese Methode führt die Kapazität unmittelbar auf das internationale Ohm und die Zeiteinheit (Sekunde) zurück und kann, wie Grüneisen & Giebe

gezeigt haben, mit einer Genauigkeit von $\pm 1/1000$ Prozent ausgeführt werden (2).

Streng genommen ist diese Methode nur für die Untersuchung von Kapazitäten geeignet, deren Dielektrikum Luft oder ein anderes Gas ist. Bei allen andern Kapazitäten mit festen oder flüssigen Dielektriken treten Energieverluste im Dielektrikum auf. Je nach der Grösse dieses Verlustes (5, 30, 31) ist die Kapazität in hohem Masse abhängig von der Stromart und der Frequenz. Es gilt daher als Regel,

Kapazitäten mit derjenigen Stromart zu messen, mit welcher sie benutzt werden sollen. In den meisten Fällen wird die Untersuchung in der Wien'schen Wechselstrombrücke in Frage kommen, wobei die zu prüfenden Kapazitäten C mit Normalkondensatoren C_n verglichen werden.



(Fig. 4.)

Die dielektrischen Verluste bewirken, dass der Strom im Kondensator der Spannung statt um 90 Grad, um den Winkel $90 - \delta$ voreilt. Der Winkel δ wird als Verlustwinkel bezeichnet. Man kann jeden Kondensator mit dielektrischen Verlusten ersetzt denken durch einen idealen, verlustfreien Kondensator C , dem ein Widerstand ρ vorgeschaltet ist, wobei der Verlustwinkel δ und der Vorwiderstand durch die Beziehung verbunden sind $\operatorname{tg.} \delta = \delta = \omega C \rho$. Sind ρ_x und ρ_n die Vorwiderstände, welche die Energieverluste der Kondensatoren repräsentieren, so ergeben sich bekanntlich die Gleichgewichtsbedingungen:

$$\begin{aligned} C_x : C_n &= w_2 : w_1 \text{ und} \\ (w_3 + \rho_x) : (w_4 + \rho_n) &= w_1 : w_2 \\ \delta_x - \delta_n &= \omega \cdot w_4 \cdot C_n - \omega w_3 \cdot C_x \end{aligned}$$

Ist C_n ein Luftkondensator ohne Verluste, so wird

$$\delta_n = 0 \text{ und somit: } \delta_x = \omega w_4 \cdot C_n - \omega w_3 \cdot C_x$$

Macht man schliesslich

$$w_3 = 0, \text{ so folgt } \delta_x = \omega w_4 \cdot C_n.$$

Diese einfachen Beziehungen gelten nur unter der in Wirklichkeit nie zutreffenden Voraussetzung, dass die Zeitkonstanten der Widerstände $w_1 w_2 w_3 w_4$ Null sind. Als Nullinstrument dient das Telefon oder das Vibrationsgalvanometer, je nach den verwendeten Frequenzen. Die relative Messempfindlichkeit der Brückenordnung ist eine sehr hohe, sodass $1/10\,000$ oder weniger der zu messenden Grösse bei nicht zu kleinen Kapazitäten leicht erreichbar ist. Die absolute Genauigkeit der Messungen in der Brücke aber kann, richtig bestimmte Normalen vorausgesetzt, nur dann von der gleichen Grössenordnung werden, wenn eine ganze Reihe von Gesichtspunkten (2) streng berücksichtigt werden, die im wesentlichen im folgenden bestehen:

1. Die rechnerische Berücksichtigung der Phasenwinkel der Brückenwiderstände ist im allgemeinen ausgeschlossen. Man verwendet daher Widerstände von möglichst kleiner Zeitkonstante. In der für laufende Messungen verwendeten Wechselstrombrücke des Amtes für Mass und Gewicht verwenden wir für die Widerstände $w_1 w_2 w_3$ und w_4 vier Kurbeldekadenwiderstände von 9×100 , 9×10 , 9×1 und

$10 \times 0,1$ Ohm. Diese vier Widerstandssätze zu je 4 Dekaden sind von der Firma Otto Wolff in Berlin gebaut worden nach den Gesichtspunkten, welche K. W. Wagner für Widerstände für hochfrequenten Wechselstrom entwickelt hat (15 und 16). Die Widerstände sind von der genannten weltbekannten Firma mit hervorragender Genauigkeit abgeglichen worden. Die grössten Abweichungen der einzelnen Widerstände vom Sollwert übersteigen $2/10\,000$ des Sollwertes nicht. Die Verbindung von w_3 und w_4 erfolgt durch einen Manganindraht von zirka 0,1 Ohm Widerstand, so dass die Brückeneinstellung auf mindestens $1/100$ Ohm genau erfolgen kann. Die Verwendung von tausender Dekaden ist im Hinblick auf die nicht unbeträchtliche Kapazität derselben im allgemeinen zu vermeiden, indem gerade da, wo diese Widerstände zur Erhöhung der Empfindlichkeit am brauchbarsten wären, der Kapazitätseinfluss die grössten Fehler hervorruft. Das Anbringen von Korrekturen für die noch restierenden Phasenwinkel ist nicht möglich im Hinblick auf den unberechenbaren Kapazitätseinfluss der Kontaktklötze (7).

2. Von grösster Bedeutung ist vollkommene Symmetrie im Aufbau der Widerstände und in ihrer Anordnung, sowie in der Leitungsführung. Bei Verwendung einer gleicharmigen Brücke ist unter günstigen Verhältnissen bei Kapazitäten nicht unter 0,001 Mikrofarad eine absolute Genauigkeit von einigen Zehntausendsteln bei genau bekannten Normalen erreichbar. Bei höheren Ansprüchen, sowie namentlich zur exakten Bestimmung von Phasenwinkeln, muss die Bifilarbrücke nach Giebe (2) mit entsprechender Abschirmung aller in Betracht kommenden Teile der Brücke zwecks eindeutiger Definition in Anwendung kommen, oder die von Giebe & Ziekner vorgeschlagene Modifikation der Brückenordnung (5).

3. Ob die von K. W. Wagner vorgeschlagene Hilfsbrücke (14 u. 11) zur Vermeidung von kapazitiven Störungen in Anwendung kommen muss, hängt von den Umständen ab; in den meisten Fällen ist sie von Vorteil.

4. Auch bei gleicharmiger Brücke ist die Substitution des unbekanntes Kondensators mit dem Normalkondensator stets zu empfehlen.

5. Es ist nur theoretisch gleichgültig, ob unter Vertauschung von Telefon- und Wechselstromquelle der Anschluss des Stromes bei A und B resp. C und D erfolgt. Im Hinblick auf die Grössenordnung der störenden Erdkapazitäten hat der Stromanschluss stets bei C und D und nicht bei A und B zu erfolgen.

6. Sofern nicht die Wagner'sche Hilfsschaltung in Anwendung kommt, ist der Brückenpunkt D normalerweise zu erden.

7. Besonders störend wirkt die Induktion der Stromzuleitungen zu der Brücke; sie müssen daher bifilar geführt und abgeschützt werden.

8. Zur Vermeidung der Induktion auf die Telefonleitung werden die Telephonzuleitungen bifilar senkrecht nach oben geführt.

9. Der Wechselstrom der Maschine wird durch eine passende Resonanzschaltung von Oberschwingungen möglichst befreit; in vielen Fällen empfiehlt

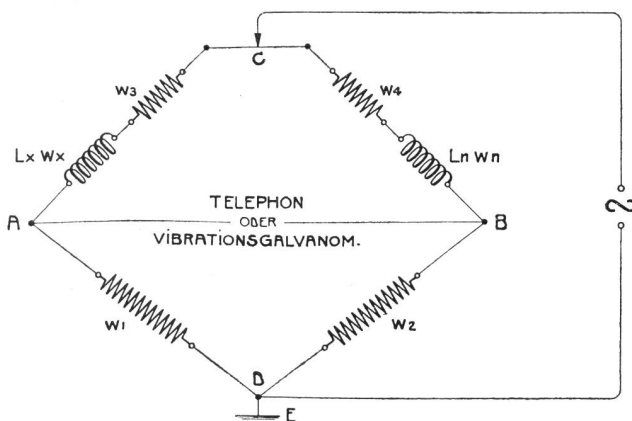
sich ausserdem die Anwendung eines Symmetrieresatzes (36); namentlich bei Verwendung von Röhrengeneratoren als Stromquelle im Hinblick auf unsymmetrische Potentialverteilung.

10. Allgemein gültige Regeln können nicht aufgestellt werden. Je nachdem die Kapazität oder der Verlustwinkel besonders genau gemessen werden sollen, je nach der Grössenordnung der zu messenden Kapazität, je nach dem Grade der verlangten Präzision, werden die zahlreichen Faktoren, welche die Messgenauigkeit beeinflussen, berücksichtigt werden müssen, und es wird nicht möglich sein, mit einer Messanordnung für alle Fälle auszukommen (11), (17).

Der absolute Wert des *Selbstinduktionskoeffizienten* einer einlagigen Induktionsnormalspule von kreisförmigem Querschnitt lässt sich unter Benutzung der Lorenz'schen Formel mit einer von E. Rosa (32 und 33) angegebenen Korrektur berechnen. An der Gültigkeit dieser Formel bis auf 1 Millionstel ist nicht zu zweifeln. Welche ausserordentlichen Hilfsmittel dieser Weg erfordert, kann in der zitierten Arbeit von Grüneisen und Giebe (4 und 20) nachgelesen werden. Die fundamentale Messung der Selbstinduktion in internationalen elektrischen Einheiten erfolgt in der modifizierten Maxwell'schen Brücke, indem die zu messende Selbstinduktion in Beziehung gesetzt wird zu einer Kapazität und zum Produkt zweier Widerstände. Es wird somit über den Weg der Kapazität, die Einheit der Selbstinduktion auf die Einheit des Widerstandes zurückgeführt. Ueber den Kunstgriff, mit welchem Grüneisen und Giebe die in den Brückenzweigen störenden Kapazitäten und Selbstinduktionen eliminierten, verweisen wir auf die fundamentale Originalarbeit selbst (4). Die erreichbare Genauigkeit im Absolutwert ist von der Grössenordnung der Genauigkeit der Kapazitätsnormale. Es ergibt sich

1 internat. Ohm = 1.00051 ± 0.00003 absolutes Ohm,
1 internat. Henry = 1.00051 absolutes Henry.

Ist man einmal im Besitz von Normalen der Selbstinduktion von genau bekanntem Wert, so erfolgt die Bestimmung weiterer Selbstinduktionskoeffizienten L_x am einfachsten in der Wechselstrombrücke durch Vergleichung mit den Normalen L_n , unter Berücksichtigung der von Giebe (3) angegebenen Gesichtspunkte. Die Brückenordnung entspricht der Figur 5.



(Fig. 5.)

Nach Abgleichung der Brücke gelten die Beziehungen

$$(w_x + w_3) : (w_n + w_4) = w_1 : w_2$$

$$L_x : L_n = w_1 : w_2$$

wobei in w_3 und w_4 die zugehörigen Abschnitte des Mangananschleifdrahtes mit inbegriffen sind. Auch hier sind die einfachen Formeln nur gültig, wenn die Zeitkonstanten der Brückenwiderstände vernachlässigt werden können. Schon sehr kleine Werte der Selbstinduktion in den Zweigen w_1 und w_2 können, namentlich bei ungleicharmiger Brücke, wenn sie nicht berücksichtigt werden, bei Bestimmung der Wechselstromverlustwiderstände völlig falsche Werte ergeben (19). Es gelten daher, mutatis mutandis, die für die Kapazitätsmessungen erwähnten Vorsichtsmassnahmen. Im übrigen sei verwiesen auf die klassischen Arbeiten von Giebe und Grüneisen (3 und 4, resp. 20).

Literatur.

1. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 1912; p. 253. H. Schering & R. Schmidt: Ein Satz Normal-Luftkondensatoren mit definierter Schaltungskapazität.
2. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 1909; p. 269/301. E. Giebe: Normal-Luftkondensatoren und ihre absolute Messung.
3. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* 1911; p. 7/33. E. Giebe: Präzisionsmessungen an Selbstinduktionsnormalen.
4. *Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichs-Anstalt in Charlottenburg* 1923; Bd. V. H. 1. E. Grüneisen & E. Giebe: Eine neue Bestimmung der absoluten elektrischen Widerstandseinheit.
5. *Archiv für Elektrotechnik* 1922; Bd. XI, p. 109. E. Giebe & J. Zickner: Verlustmessungen an Kondensatoren.
6. *Archiv für Elektrotechnik* 1921; Bd. X, p. 232. J. Wallot: Induktivität und Kapazität einlagiger Drahtspulen (vide hier Lit. über Spulenkapazitäten).
7. *Archiv für Elektrotechnik* 1915; Bd. III, p. 315. K. W. Wagner: Die Theorie des Kettenleiters nebst Anwendungen.
8. *Physikalische Zeitschrift* 1923; p. 67. E. Marx & A. Karolus: Messung der Kapazität dünnrahtiger Spulen von hoher Windungszahl und die Abhängigkeit des Faktors der Thomson'schen Gleichung von der Grösse der Zusatzkapazität.
9. *Physikalische Zeitschrift* 1922; p. 544. W. Glitsch: Messung kleiner Kapazitäten nach dem Resonanzschwebungsverfahren.
10. *Physikalische Zeitschrift* 1919; p. 543. L. Pungs & G. Preuner: Verfahren zur Messung kleiner Kapazitäten.
11. *Physikalische Zeitschrift* 1912; p. 368. K. W. Wagner & A. Wertheimer: Ueber genaue Messungen des dielektrischen Verlustwinkels und der Kapazität mit der Wechselstrombrücke, sowie über Bestimmung der Phasenfehler von Widerständen.
12. *Physikalische Zeitschrift* 1914; p. 250. Th. Wulf: Ein Einfadenelektrometer.
13. *Elektrotechn. Zeitschrift* 1912; p. 1343. H. Schering & R. Schmidt: Technische Mitteilung über eine Neukonstruktion von Luftkondensatoren.
14. *Elektrotechn. Zeitschrift* 1911; p. 1001. K. W. Wagner: Zur Messung dielektrischer Verluste in der Wechselstrombrücke.
15. *Elektrotechn. Zeitschrift* 1913; p. 613/649. K. W. Wagner & A. Wertheimer: Ueber Präzisionswiderstände für hochfrequenten Wechselstrom.
16. *Elektrotechn. Zeitschrift* 1915; p. 606/621. K. W. Wagner: Ueber Präzisionswiderstände für hochfrequenten Wechselstrom.
17. *Elektrotechn. Zeitschrift* 1917; p. 421/436. H. Schering: Die Doppelbrücke zur Messung des Phasenwinkels sehr kleiner Widerstände bei techn. Frequenz.
18. *Elektrotechn. Zeitschrift* 1923; p. 1027. E. Alberti & L. Leithäuser: Eine neue Indikatormethode zur Wellenlängenmessung am Empfänger und ihre Anwendung zur Bestimmung der Betriebswellenlänge einiger Radiostationen.
19. *Annalen der Physik* 1907; Bd. 24, p. 941. E. Giebe: Messung induktiver Widerstände mit hochfrequentem Wechselstrom.
20. *Annalen der Physik* 1920; Bd. 63, p. 179. E. Grüneisen und E. Giebe: Eine neue Bestimmung der absoluten elektrischen Widerstandseinheit.

21. **Annalen der Physik 1921**; Bd. 64, p. 377. W. Geiss: Grundschwingungen und Oberschwingungen einlagiger Spulen.
22. **Annalen der Physik 1903**; Bd. 12, p. 1142. F. Dolezalak: Ueber Präzisionsnormalen der Selbstinduktion.
23. **Annalen der Physik 1924**; Bd. 74, p. 36. W. Hofmeier: Ueber Messungen der Eigenschwingung einlagiger Spulen.
24. **Zeitschrift für drahtlose Telegraphie und Telephonie 1920**; Bd. 16, p. 242. E. Giebe & E. Alberti: Störende Kapazitätswirkungen bei Hochfrequenzmessanordnungen.
25. **Zeitschrift für drahtlose Telegraphie und Telephonie 1908**; Bd. I, p. 262. H. Diesselhorst: Absolute Messung der Wellenlänge elektrischer Schwingungen.
26. **Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie 1919**; Bd. 14, p. 608. M. Wien: Ueber die Entstehung der Nebentonspektren beim Schwebungsempfang.
27. **Zeitschrift für Physik 1920**; Bd. II, p. 277. E. Grüneisen & E. Merkel: Ein Röhrensensender als Normaltonskala.
28. **Telefunken-Zeitung 1924**; Nr. 36, p. 27. A. Herzog: Ueber kapazitive Koppelungen in induktiv gekoppelten Hochfrequenzkreisen.
29. **Bulletin of the Bureau of Standards 1905**; Vol. I, p. 291. E. Rosa & F. Grover: Measurement of Inductance by Anderson's Method using alternating currents and a vibration-galvanometer.
30. **Bulletin of the Bureau of Standards 1911**; Vol. 7, p. 495. F. Grover: The capacity and phase difference of paraffined paper condensers as functions of temperature and frequency (vide auch Referat in E. T. Z. 1913, p. 42).
31. **Bulletin of the Bureau of Standards 1910**; Vol. 6 p. 431. L. Curtis: Mica condensers as standards of Capacity.
32. **Bulletin of the Bureau of Standards 1908**; Vol. 5, p. 1. E. Rosa & L. Cohen: Formulas and tables for the calculation of mutual and self-inductance.
33. **Bulletin of the Bureau of Standards 1913**; Vol. 8, p. 1. E. Rosa & F. Grover: Formulas and tables for the calculation of mutual and self-inductance.
34. **L'Onde électrique 1923**; Bd. II, p. 110. La Construction d'un ondemètre portatif pour petites longueurs d'ondes.
35. **L'Onde électrique 1923**; Bd. II, p. 74. F. Badeau: Etalonnage des capacités en valeur absolue au moyen des circuits à ondes entretenues.
36. **Telegraphen- und Fernsprechtechnik 1923**; 12. Jahrgang, p. 49. Neue Geräte für Wechselstrommessungen an Fernspregleitungen.
37. **Radiotelegraphisches Praktikum** von Rein-Wirtz, Verlag von Springer, Berlin 1922.

Bern, den 8. August 1924.

Der Telestereograph Belin. *)

Von L. Bellmont, Rapperswil.

Anfangs dieses Jahres hat die französische Post- und Telegraphenverwaltung nach längerer Probezeit den regelmässigen telautographischen Dienst zwischen Paris und Lyon und zwischen Paris und Strassburg eröffnet. Beide Verbindungen werden mit dem Telestereographen von Edouard Belin betrieben. Dieser Apparat dient zur originalgetreuen Uebertragung sowohl von Schriftzeichen und Zeichnungen (Telautographie), als auch von Photographien (Telephotographie), welche vom Empfangsapparat mit den feinsten Tonübergängen wiedergegeben werden. Das Problem der telegraphischen Bildübertragung ist hier in praktisch brauchbarer Weise gelöst. Ohne auf die Entwicklungsstufen und auf die unzähligen Vorläufer des neuen Systems einzugehen, geben wir nachfolgend eine Beschreibung desselben.

Der Sender.

Das Prinzip des Senders ist demjenigen des Phonographen ähnlich. Von dem zu übermittelnden Original — Schriftstück oder Photographie — ist zunächst ein Relief herzustellen. Bei der Uebermittlung von Schriftstücken geschieht dies in einfacher Weise dadurch, dass der Aufgeber seine Mitteilung mit einer besondern Tinte niederschreibt, die von den Aufgabeämtern zur Verfügung des Publikums gehalten wird. Hierauf bestreut der Schalterbeamte das Formular mit Schellackpulver, das auf den feuchten Schriftzügen kleben bleibt, und erwärmt dann das Blatt über einem kleinen Heizkörper. Bei der Erwärmung verbinden sich Tinte und Schellack zu einer glasigen Masse, sodass die Schriftzüge auf dem Papier erhaben erscheinen.

Zur Uebermittlung wird das Formular auf einen Sendezylinder gewickelt, auf dem es durch Federn festgehalten wird. Hierauf wird der Zylinder auf eine Achse der Sendevorrichtung geschoben, welche ihn in Umdrehung versetzt und ihn bei jeder Umdrehung um $\frac{1}{5}$ mm in der Längsrichtung vorwärtsbewegt. Bei diesem engen Schraubengang bestreicht der in Fig. 1 angedeutete, federnd angebrachte Stift — praktisch gesprochen — sämtliche Punkte des Schrift-

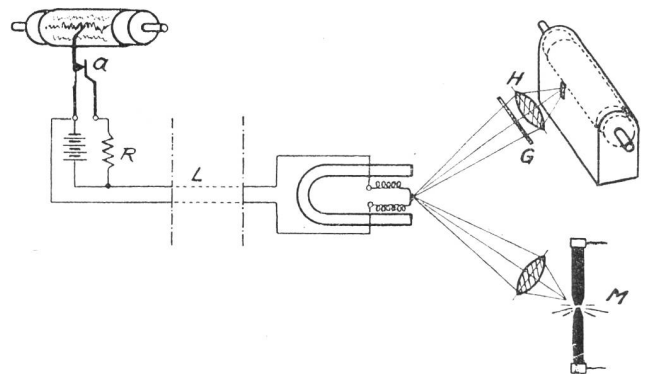


Fig. 1.

stückes. Trifft er auf eine erhabene, also auf eine beschriebene Stelle, so wird er etwas gehoben. Dadurch wird der Kontakt a unterbrochen und der zur Leitung L parallel geschaltete Widerstand R ausgeschaltet, sodass die Leitung den Gesamtstrom aus der Batterie erhält. Die Uebermittlung eines Telegramms erfordert 5—12 Minuten. Je nach dem

*) **Anmerkung der Redaktion.** Mit dem hier beschriebenen Apparat sind vor einiger Zeit Versuche zwischen Bern und Strassburg und zwischen Bern und Paris (über Strassburg) vorgenommen worden. Mit Strassburg war eine Verständigung leicht möglich, mit Paris nur bei Einschaltung einer Uebertragung in Strassburg. Die Versuche beschränkten sich auf die Uebermittlung von schriftlichen Mitteilungen und Zeichnungen. Zu den Schlussversuchen war ein weiteres Publikum eingeladen, das für die technische Seite der Angelegenheit Interesse zeigte, das aber nicht der Meinung zu sein schien, dass für eine telautographische Verbindung schweizerischerseits der nötige Verkehr aufgebracht werden könnte.