

## Untersuchungen an einem einfachen Wellenmesser.

Von

Hans Zickendraht.

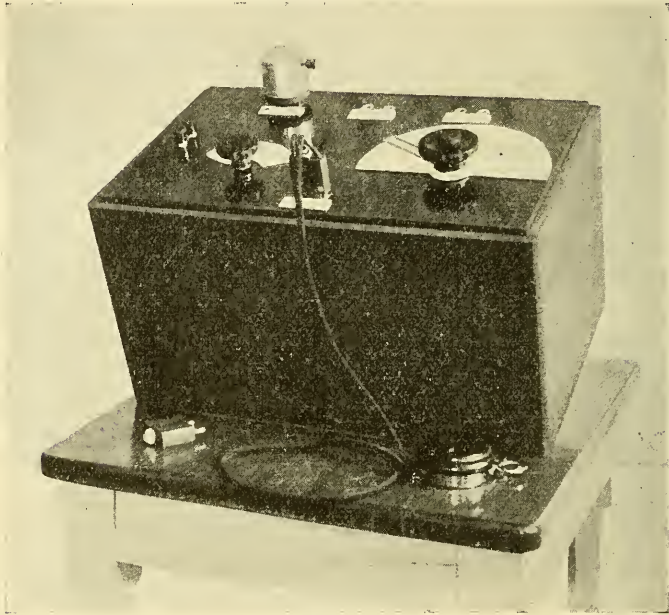
---

### 1. Beschreibung des Apparates.<sup>1)</sup>

Der in vorliegender Studie untersuchte Wellenmesser soll in erster Linie Unterrichtszwecken dienen, eignet sich aber auch zur Verwendung im radiotelegraphischen Stationsbetriebe. Er stellt im wesentlichen einen geschlossenen Schwingungskreis mit stufenweise veränderlicher Selbstinduktion und stetig veränderlicher Kapazität dar. Das zunächst ausgeführte Modell umfasst in zwei Messbereichen die Wellenlängen 300 m bis 800 m, und 800 m bis 2500 m. Der Übergang von den kurzen zu den langen Wellen geschieht mittels eines Umschalters, welcher zwei Selbstinduktionsspulen in näher zu beschreibender Weise verbindet. Jedem der beiden Messbereiche entspricht ein unveränderlicher Wert der Selbstinduktion, für die kurzen Wellen ist eine Spule von rund 200 000 cm gewählt worden, die gleichzeitig als Kopplungsspule dienen soll, den zweiten Messbereich der langen Wellen erhält man durch eine an die Kopplungsspule anzuschliessende Zusatzwicklung, die im vorliegenden Falle rund 1 600 000 cm Selbstinduktion besitzt. Wickelt man aber die beiden Selbstinduktionsstufen auf einen gemeinsamen Kern und zweigt sie einfach direkt ab, so bleibt bei Einschaltung des kleinen Selbstinduktionswertes ein störend mitschwingendes freies Spulenende in galvanischer und induktiver Kopplung übrig, ein Fehler, der bei einem Messinstrumente unbedingt vermieden werden muss. Vollständiges Abschalten der zweiten Stufe beim Gebrauch der ersten würde aber in der eben beschriebenen Anordnung bloss die galvanische, nicht aber die induktive Kopplung lösen. Diese Fehlerquelle ist nun dadurch umgangen worden, dass die kleine Selbstinduktionsstufe, gleichzeitig als Kopplungsspule dienend, mit horizontaler Axe, die Verlänge-

<sup>1)</sup> Séance de la société Suisse de physique à Neuchâtel. Archives de Genève (4) 46. 41. 1918. — Der Apparat wird von der Firma Fr. Klingelfuss & Cie. in Basel hergestellt.

rungsspule aber mit vertikaler Axe in den Apparat eingebaut wurde; der Wellenschalter hebt dann bei Verwendung des ersten Messbereichs (kurze Wellen) jegliche Verbindung mit der Verlängerungsspule auf, schliesst aber beim Übergang zum zweiten Messbereiche (lange Wellen) die zweite Spule an die erste an. Als stetig veränderliche Kapazität befindet sich im Wellenmesser ein Drehkondensator mit Aluminiumplatten in Luft als Dielektrikum. Die Wahl des Dielektrikums bedingt allerdings geringe Kapazität,



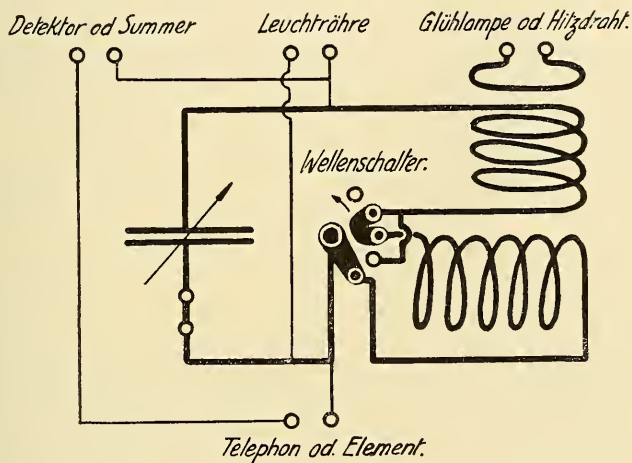
Figur 1.

bringt aber dafür den Vorteil der Unabhängigkeit der Eichwerte von der Frequenz mit. Bei etwa vorkommenden Überspannungen wird der Kondensator ohne weitere Schädigung durchschlagen. Ein solches Vorkommnis ist bei ölgefüllten Instrumenten wegen der Kohleabscheidungen verhängnisvoller.

Die Zusatzapparate zum Wellenmesser, die beim vorliegenden Modell sämtlich durch Steckerverbindungen angefügt werden und dem Instrument eine universelle Verwendbarkeit geben, lassen sich in zwei Gruppen: Generatoren und Indikatoren, trennen:

Als *Generatoren* kommen nur in Betracht: Summererregung (nach *Eichhorn-Lodge*) und Röhrenerregung unter Verwendung eines Elektronenrelais.

Als *Indikator* dient für Stationszwecke bei rohen Messungen am Sender, oder auch zu Demonstrationen vor grossem Auditorium die Glühlampe oder die auf die Maximalspannung ansprechende Leuchtröhre. Dämpfungsmessungen, bei denen Resonanzkurven des Stromeffektes im Wellenmesser aufgenommen werden müssen, führt man mittels eines empfindlichen Hitzdrahtinstrumentes aus. In losester Kopplung mit einem zu gedämpften Schwingungsgruppen erregten Kreise lässt sich aber mit Detektor und Telephon (eventuell Galvanometer unter Beobachtung besonderer Vorsichtsregeln) messen.



Figur 2.

Der oben beschriebene Wellenmesser, dessen Aussenansicht in Fig. 1, dessen Schaltschema in Fig. 2 wiedergegeben ist, lässt die Anfügung aller aufgeführten Generatoren oder Indikatoren zu. Besondere Aufmerksamkeit wird in den im Folgenden mitgeteilten Untersuchungsergebnissen dem Einfluss der verschiedenen an den Schwingungskreis angelegten Nebenapparate auf die Frequenz des Messkreises geschenkt werden.

Jeder angefügte Hilfsapparat verstimmt unter allen Umständen den Messkreis. Er bringt zusätzliche Selbstinduktion und, was meist überwiegend, zusätzliche Kapazität mit und erhöht dadurch die Frequenz im allgemeinen. Doch auch eine Erniedrigung der Eigenwelle des Messkreises kann beobachtet werden, dann nämlich, wenn durch die nahezu kurzgeschlossene Wicklung, welche die Glühlampe als Indikator enthält, eine Verringerung der Selbst-

induktion der Kopplungsspule entsteht.<sup>2)</sup> Die Auswertung solcher Grössen war das Ziel der vorliegenden Studie.

## 2. Der Einfluss der Hilfsapparate auf den Messkreis.

Bei einem mit verschiedenen Generatoren oder Indikatoren versehenen Wellenmesser lässt sich zunächst die rein praktische Frage aufwerfen, ob sich am Zeiger des stetig veränderlichen Abstimmittels — hier des Drehkondensators — eine von der Wahl der angeschlossenen Hilfsapparate unabhängige Wellenskala anbringen lasse oder nicht. Es ist sofort klar, dass eine einzige Eichkurve beziehungsweise Wellenskala nur in dem Falle ausreicht, dass sämtliche Indikator- oder Generatorverbindungen den Schwingungskreis um gleichviel verstimmen. Die auf das letzterwähnte Erfordernis zu prüfenden Kombinationen sind nun:

Generatoren: Summer und Stromquelle.

Elektronenrelais und Rückkopplungsvorrichtung.

Indikatoren: Glühlampe an Hilfskreis.

Hitzdrahtinstrument an Hilfskreis.

Leuchtröhre.

Detektor und Telephon.

Mit Ausnahme des an besonderer Stelle zu behandelnden Elektronenrelais sind alle hier aufgezählten Hilfsapparate einer Prüfung unterworfen und bezüglich ihres verstimmenden Einflusses auf den Messkreis untersucht worden; gleichzeitig ergab sich auch eine Kontrolle derselben Einflüsse auf den mitverwendeten grossen Wellenmesser der „Telefunken“-Gesellschaft Berlin.

Die angelegten Hilfsapparate bringen immer eine Änderung der Konstanten des Messkreises mit sich. Mit Ausnahme der an besonderem Hilfskreis liegenden Glühlampe oder des Hitzdrahtinstrumentes werden alle Generatoren oder Indikatoren direkt an die Pole des Kondensators angelegt, sind somit sowohl letzterem als auch der Selbstinduktionsspule parallel geschaltet. Dies bewirkt beim Kondensator (neben der leitenden Überbrückung) eine Kapazitätserhöhung, bei der Spule jedoch eine Erniedrigung der Selbstinduktion. Bei Summer und Telephon darf aber mit Sicherheit angenommen werden, dass die nahezu eisengeschlossenen Spulen dieser Apparate hochfrequente Ströme nur durch kapazitiven Schluss durchlassen<sup>3)</sup>, sodass die kapazitive Einwirkung bei weitem überwiegend sein muss. Man begeht also jedenfalls einen nur sehr

<sup>2)</sup> K. Bangert. Ann. d. Phys (4) 32. 463. 1910.

<sup>3)</sup> Bei verschiedenen Summern mit und ohne den bekannten Nebenschluss zur Magnetspule konnte kein Einfluss der Ueberbrückung nachgewiesen werden.

kleinen Fehler, wenn man die Verstimmung des Messkreises in der Hauptsache auf eine zur Kapazität des Drehkondensators hinzutretende „wirksame Kapazität“ der Hilfsapparatur zurückführt.

Dann gilt:

Wellenlänge des Messkreises allein:  $\lambda_0 = 2\pi v \sqrt{L \cdot C_0}$

Wellenlänge des Messkreises mit Hilfsapparat  $\lambda_1 = 2\pi v \sqrt{L(C_0 + c)}$

woraus wirksame Kapazität des Hilfsapparates  $c = C_0 \cdot \frac{\lambda_1^2 - \lambda_0^2}{\lambda_0^2}$

Hiebei ist  $C_0$  die am Drehkondensator des Wellenmessers eingestellte Kapazität und es ist von vorneherein klar, dass bei Wellenmessern mit grossen Kapazitätswerten (ölgefüllte Kondensatoren, Ende der Messkala), die durch die Indikatoren verursachten Verstimnungen nur wenig oder gar nicht merklich sein werden. Umsomehr wird aber eine Verstimmung in unserm Falle, wo es sich um einen Luftkondensator von geringer Anfangskapazität handelt, hervortreten.

Der neue Wellenmesser sollte nun zunächst mit dem vorhandenen Apparate verglichen werden. Beide Instrumente waren aber augenscheinlich in ihren Angaben in vorderhand unkontrollierbarer Weise von den angeschlossenen Hilfsapparaten abhängig, sodass ein dritter geschlossener Schwingungskreis zugezogen werden musste, der in extrem loser Kopplung als Zwischenkreis zum Vergleich dienen sollte. Hiebei sind verschiedene Anordnungen und Messweisen möglich. Eine derselben ist im Folgenden wiedergegeben:

Ein Schwingungskreis I mit der Eigenwelle  $\lambda_0$  wird mittels Summer zu mit Tonfrequenz aufeinanderfolgenden Gruppen wenig gedämpfter Schwingungen angestossen. Mit ihm ist ein geschlossener Kreis II extrem lose gekoppelt, sodass mit Sicherheit nur eine Welle — bei Resonanz die Welle  $\lambda_0$  — in ihm erregt wird. Die Resonanzlage wird mittels eines mit Kreis II wiederum äusserst lose gekoppelten hochempfindlichen Detektorkreises III eingestellt. Bei dieser Anordnung ist dafür gesorgt, dass keinerlei direkte Einwirkung des Kreises I auf den aperiodischen Detektorkreis möglich ist. I gab also einen geringen Bruchteil seiner Energie an den Zwischenkreis II und dieser wieder einen kleinen Bruchteil seiner eigenen Schwingungsenergie an den Kreis III ab.

Mit besonderer Sorgfalt, namentlich unter Vermeidung aller variablen kapazitiven Beeinflussung des Zwischenkreises wurde zunächst dessen Abstimmung auf die Erregerwelle  $\lambda_0$  vorgenommen, hierauf konnten durch Anlegen der verschiedenen Indikatoren und

Generatoren charakteristische Verstimmungen herbeigeführt werden, die über den Einfluss der einzelnen Hilfsapparate Aufschluss geben:

Eine erste Messreihe bezweckte den Nachweis solcher Verstimmungen am grossen Wellenmesser der Telefunken-Gesellschaft. Da dessen ölgefüllter Drehkondensator einen Messbereich von ca. 200 bis 4800 cm Kapazität umfasst, so kann ein Einfluss der nur wenige Zentimeter wirksamer Kapazität besitzenden Indikatoren und Generatoren lediglich bei Messwerten zu Beginn der Skala des Drehkondensators nachweisbar sein.

Zur Ausführung der Untersuchung wurde an den der Physikalischen Anstalt Basel gehörenden grossen Wellenmesser der Telefunken-Gesellschaft eine aus zwei Windungen dicken Kupferdrahtes bestehende Kopplungsschleife von rund 3200 cm Selbstinduktion angeschlossen<sup>4)</sup>, welche zur losen Kopplung mit dem aperiodischen Kreise III dienen sollte, die eigentliche Selbstinduktionsspule des Messkreises II vermittelte dann die Kopplung mit dem Erregerkreise I. Durch die zusätzliche Kopplungsschleife erhöhte sich die Selbstinduktion des mit 680 cm Kapazität auf die Welle 400 m abgestimmten Kreises von 59 600 cm auf 62 800 cm. Der Skalenangabe 400 m am Wellenmesser entsprach also beispielsweise einer Welle von 410,5 m.

Zunächst wurde nun der geschlossene Schwingungskreis, bestehend aus dem Wellenmesser mit Kopplungsschleife ohne angeschlossene Hilfsapparate erregt und zwar mit  $\lambda_0 = 406,6 \text{ m}^5$ ). Legte man hierauf den dem Wellenmesser beigegebenen Detektor und das Telephon an, so musste der Drehkondensator von 667 cm auf 633 cm zurückgestellt werden, was auf eine zusätzliche wirksame Kapazität des angeschlossenen Indikators von 34 cm schliessen liess. Statt auf 406,6 m Wellenlänge ohne Indikator wäre der Messkreis mit Indikator nun auf 416,9 m Wellenlänge abgestimmt, was einer Erhöhung um 2,53 % entspricht. Nach demselben Verfahren gelang der Nachweis des Einflusses der zusätzlichen Kapazitäten der andern Hilfsapparate.

Bezeichnet wie oben  $\lambda_0$  die der Kondensatoreinstellung  $C_0$  entsprechende Welle des Wellenmessers ohne angeschlossene Hilfsapparate,  $\lambda_1$  die durch die zusätzliche Kapazität  $c$  der Indikatoren oder Generatoren vergrösserte Welle, so ist die Verstimmung in Prozenten gegeben durch:

4) Dies geschah unter Zuhilfenahme der beiden zur Dämpfungsbestimmung vorgesehenen Klemmen, die den Hauptkreis zu öffnen erlauben.

5) Verwendet wurde am Wellenmesser die Spule Nr. III mit einem Messbereich von 400 m bis 1000 m, also absichtlich ganz zu Anfang der Skala gearbeitet.

$$100 \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\lambda_0} = 100 \left[ \sqrt{1 + \frac{c}{C_0}} - 1 \right] \approx \frac{50c}{C_0}.$$

In Tabelle I sind die „wirksamen“ Kapazitäten einiger Hilfsapparate zum grossen Telefunken-Wellenmesser, sowie die durch sie herbeigeführten prozentualen Verstimmungen zusammengestellt. Dabei war  $\lambda_0 = 406,6$  m bei  $C_0 = 667$  cm.

Tabelle I.

Angeschlossene Hilfsapparate	„Wirksame“ Kapazität	Verstimmung in %
	cm	
Detektor und Telephon	34	+ 2,53
Summer und Element 6)	12	+ 0,90
Leuchtröhre . . . . .	—	nicht nachweisbar

Aus Tabelle I ist der Einfluss der Hilfsapparate ohne weiteres erkennbar, wengleich er beim Telefunken-Wellenmesser natürlich bloss bei kleinen Werten am Drehkondensator hervortritt, die wegen des reichlichen Übergreifens der Messbereiche der einzelnen Spulen vermieden werden können. Dass die Kombination Detektor-Telephon merklich verstimmt, geht aus der Konstruktion des Detektors unmittelbar hervor. Die verwendete Type E. D. 6<sup>7)</sup> enthält zwei durch ein dünnes perforiertes Glimmerblättchen getrennte Kontaktmaterialien, die sich durch die Öffnungen des dünnen Zwischenisolators hindurch berühren und so einen bei verhältnismässig geringem Widerstande (530 Ohm in der einen, 1100 Ohm in der entgegengesetzten Richtung) leitend überbrückten Kondensator darstellen. Das Telephon des Wellenmessers hat 1005 Ohm Widerstand, seine in Leder vernähte 70 cm lange Schnur mit Stecker bringt ebenfalls Kapazität mit.

Viel deutlicher zeigen sich aber die verstimmenden Einflüsse der Hilfsapparate beim eingangs beschriebenen Wellenmesser mit kleinem Drehkondensator. Auf sie sei im folgenden näher eingegangen.

Der mit der Kopplungsschleife ausgerüstete kleine Wellenmesser wurde in losester Kopplung vom summererregten Telefunken-

6) Statt der eingebauten Trockenelemente, für die kein Ersatz zu beschaffen gewesen war, wurde ein gewöhnliches Salmiakelement mittels kurzer Drähte angeschlossen.

7) Vgl. z. B. M. Dieckmann, Leitfaden der drahtlosen Telegraphie für die Luftfahrt p. 156. R. Oldenbourg. 1913.

Wellenmesser ins Schwingen gebracht und mittels äusserst lose gekoppelten aperiodischen Kreises mit empfindlichem Perikondetektor so scharf wie möglich auf Resonanz eingestellt. Das Mittel aus 30 Einstellungen am Drehkondensator lieferte die dem unbeeinflussten Kreise entsprechende Resonanzlage. Sie war bei einer Kapazität von  $C_0 = 240$  cm erreicht ( $\lambda_0 \cong 400$  m). Nun wurden an die am Apparate festangebrachten Stöpselbüchsen hintereinander folgende Indikator- bzw. Generatorkombinationen angeschlossen und auf ihre Verstimmungen hin untersucht:

1. Perikondetektor (Zinkit Kupferkies) in Steckerform. Widerstand in der einen Richtung 1800 Ohm, in der entgegengesetzten Richtung 47 000 Ohm, bei empfindlicher Einstellung.
2. Detektor (Telefunken) Type E. D. 6 (vgl. oben).
3. Dosentelephon mit 77 cm Doppelschnur und Stecker (201,5 Ohm).
4. Dosentelephon (Telefunken) (vgl. oben).
5. Kleiner Summer ohne Nebenschluss mit Platinkontakt (1,85 Ohm).
6. Grosser Summer ohne Nebenschluss mit Platinkontakt (3,21 Ohm).
7. Summer (Telefunken) Type K. S. 23 mit Nebenschluss zur Magnetwicklung (Gesamtwiderstand 3,42 Ohm), zum grossen Wellenmesser gehörig (vgl. Tabelle I).
8. Salmiakelement mit 50 cm Schnur und Anschlussstecker.
9. Stecker mit kleiner Glühlampe von 1,6 Ohm Kaltwiderstand, der bei Rotglut auf über 6 Ohm stieg.
10. Hitzdrahtinstrument mit Platindraht von 8,8 Ohm Kaltwiderstand (dazu zum Anschluss 50 cm Schnur und Stecker).
11. Heliumröhre (Telefunken) zum grossen Wellenmesser gehörig.

Tabelle II stellt die Ergebnisse zusammen.

Tabelle II.

Angeschlossene Hilfsapparate	Kapazität am Drehkondensator	„Wirk-same“ Kapazität	Verstimmung in %
Perikondetektor 1) mit Telephon 3)	226	14	+ 2,9
Telefunkendetektor 2) mit Telephon 4)	200	40	+ 8,3
Kleiner Summer 5) mit Element 8)	221	19	+ 3,9
Grosser Summer 6) mit Element 8)	217	23	+ 4,8
Telefunken Summer 7) mit Element 8)	221	19	+ 3,9
Telefunken Heliumröhre 11) mit Stecker	235	5	+ 1,0
Ohne Hilfsapparate . . . . .	240	—	—



Zunächst fällt beim Vergleich der beiden Tabellen I und II der Unterschied in den Werten der wirksamen Kapazitäten der Hilfsapparate zum Telefunken-Wellenmesser auf. Die Unsicherheit namentlich in den Messergebnissen der Tabelle I lässt sich erstens auf die Schwierigkeit, mit einem Drehkondensator vom Reduktionsfaktor 1 Grad = 28,1 cm Kapazität noch derartig kleine Kapazitäten zu bestimmen<sup>8)</sup> und zweitens auf die eingangs gewählte Annahme zurückführen, es sei die ganze verstimmende Wirkung einer zusätzlichen Kapazität zuzuschreiben, die beim Vergleich verschiedener Hilfsapparate an ein und demselben Messkreise, nicht aber beim Anlegen desselben Indikator- oder Generatorkreises an zwei verschieden gebaute Schwingungskreise zulässig ist. Flachspulen haben z. B. eine andere Kapazitätsempfindlichkeit wie Zylinder- spulen gleicher Selbstinduktion usw.

Jedenfalls ist ein Wellenmesser mit ebensovielen Eichkurven auszustatten, als Indikatoren beziehungsweise Generatoren an ihm verwendet werden sollen. Nicht unerwähnt bleibe schliesslich der kapazitive Einfluss des Beobachters selbst auf den Messkreis. Bei allen oben niedergelegten Messungen wurde der Drehkondensator nicht direkt von Hand, sondern mittels eines 20 cm langen Zelluloidhebels betätigt; ferner konnte die Wirkung der Berührung des ans Ohr gehaltenen Telephons, das heisst der kapazitive Anschluss des Beobachters (als kleine Antenne) an den Schwingungskreis deutlich nachgewiesen werden. Alle diese Faktoren sind bei genauen Messungen zu berücksichtigen.

Glühlampe und Hitzdrahtinstrument liegen, wie eingangs in der Beschreibung des neuen Wellenmessers erwähnt und aus dem Schaltungsschema Fig. 2 ersichtlich, an einem gesonderten, aus einer Windung dicken Kupferdrahtes bestehenden Kreise, der koaxial zur Kopplungsspule angebracht ist. Mit wenig Widerstand überbrückt, stellt dieses System einen angekoppelten Kurzschlussring dar, dessen Wirkung nur eine Erniedrigung der Selbstinduktion im Messkreise sein kann. In der Tat ergaben sich die in Tabelle III zusammengestellten Resultate, wobei die Verstimmung in Prozenten folgendermassen ausgedrückt wird:

Ist  $\lambda_0$  die der Kondensatorstellung  $C_0$  entsprechende Grundwelle,  $L_0$  die zugehörige Selbstinduktion,  $C$  diejenige Kondensatorstellung, die bei angelegtem Indikator und dadurch auf  $L$  herab-

<sup>8)</sup> Die Ergebnisse der Tabelle II verdienen in Anbetracht des Reduktionsfaktors von rund 5,4 cm pro Grad am Drehkondensator bedeutend mehr Vertrauen, da bei einer Ablesegenauigkeit von 0,2 Grad an der Teilung noch 1,1 cm Kapazitätsunterschied zu erkennen ist.

gesetzter Selbstinduktion die verstimmte Welle.  $\lambda$  auf die ursprüngliche Welle wieder einstimmt, so gilt zunächst

$$L_0 C_0 = LC \quad \text{und} \quad \frac{L}{L_0} = \frac{C_0}{C} \quad \text{wo} \quad L < L_0$$

und die prozentuale Verstimmung, da  $\lambda < \lambda_0$ ,

$$100 \cdot \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0} = 100 \left[ 1 - \sqrt{\frac{L}{L_0}} \right] = 100 \left[ 1 - \sqrt{\frac{C_0}{C}} \right]$$

Tabelle III.

Angeschlossene Hilfsapparate	Kapazität am Dreh- kondensator	Verstimmung in %
	cm	
Stecker mit Glühlampe 9) . . . . .	255	- 3,0
Hitzdrahtinstrument mit Schnur und Stecker 10)	241	- 0,3
Ohne Hilfsapparate . . . . .	240	—

Die Glühlampe, welche dem Messkreise ziemlich viel Energie entzieht und ihn dadurch beträchtlich dämpft, verstimmt um 3 % nach kürzeren Wellen hin, sie eignet sich bloss zu rohen Messungen bei Demonstrationen. Der Hitzdrahtkreis verstimmt dagegen nur sehr wenig.

### 3. Die Vorgänge in den Hilfskreisen.

An die oben wiedergegebenen Messungsergebnisse seien noch einige theoretische Betrachtungen angeschlossen, in denen versucht werden soll, den zum Teil etwas verwickelten Vorgängen in den angeschlossenen Hilfskreisen auf der Grundlage der gewöhnlichen Wechselstromgleichungen Rechnung zu tragen. Zu diesem Zwecke gehen wir von folgenden Voraussetzungen aus:

Der geschlossene Messkreis werde in loser Kopplung mit konstanter Amplitude, also „ungedämpft“, erregt, derart, dass eine reine Sinusspannung an den Enden des Kondensators auftritt. Es sei

$$e = e_0 \sin 2\pi nt \quad 1)$$

die am Kondensator des Messkreises und damit auch am Hilfskreise liegende Wechselspannung.

Zunächst werde ein *Detektorkreis* betrachtet. Er enthält irgend ein Schwingungsventil mit asymmetrischer Charakteristik, sowie einen Strommesser, zwei Apparate, die im Folgenden näher zu definieren sind. Das Schwingungsventil wird unter der sinusoidalen Wechsel-

spannung einen je nach seinem Richtvermögen mehr oder weniger asymmetrischen Wechselstrom durchlassen, der sich nach der Fourier'schen Methode zerlegen lässt und eine Gleichstromkomponente besitzt. Seine Gleichung wird immer lauten

$$i = \sum i_{0k} \sin(k \cdot 2\pi nt + \psi_k) + i_g. \quad 2)$$

Der Ausdruck unter dem Summenzeichen stellt hierbei die  $k$ -te Oberwelle mit ihrer Phasenverschiebung  $\psi_k$  gegenüber der Grundwelle,  $i_g$  die Gleichstromkomponente dar.

Da das Schwingungsventil nie ohne eine gewisse Eigenkapazität  $C_1$  gebaut werden kann, so ist es als induktionsfreier von der angelegten Spannung abhängiger Widerstand

$$w_1 = f(i) \quad 3)$$

mit dazu parallelgeschalteter Kapazität in die Betrachtung einzuführen. Wäre  $w_1$  ein Ohmscher Widerstand im gewöhnlichen Sinne, so liesse sich die Anordnung als unvollkommener Kondensator<sup>9)</sup> behandeln, der unter der Wechselfspannung 1) den Strom

$$i = \frac{e_0}{w_1} \sqrt{1 + (2\pi n w C_1)^2} \quad 4)$$

durchlässt.

Infolge der Beziehung 3) ist dieser Weg ausgeschlossen. Der vom Schwingungsventil durchgelassene Strom hat vielmehr die Gleichung

$$i_1 = \sum i_{0k} \cdot \sin(k \cdot 2\pi nt + \psi_k) + i_g + 2\pi n e_0' C_1 \sin\left(2\pi nt - \frac{\pi}{2}\right) \quad 5)$$

wobei der dritte Teil dieser Gleichung den über die Kapazität  $C_1$  des Ventils direkt abfließenden Wechselstrom darstellt, der somit für den Gleichrichtereffekt der Anordnung verloren geht<sup>10)</sup>.

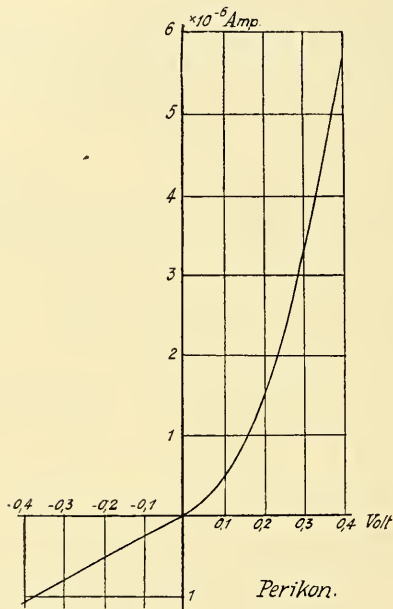
Der Strommesser, der in unserm Falle in Serie zum Ventil liegen soll, besteht im allgemeinen aus einer Impedanz, der eine Kapazität parallel geschaltet ist. Diese Kapazität  $C_2$  wird schon allein durch den „kapazitiven Schluss“ der meist mehrlagigen Wicklung des Messinstrumentes — etwa eines Drehspulgalvanometers — dargestellt und kann durch Blockkondensatoren beliebig vergrößert werden. Für den Ausschlag des Strommessers als

<sup>9)</sup> G. Benischke. Grundgesetze der Wechselstromtechnik, p. 152. Vieweg (1912).

<sup>10)</sup> In Gl. 5) bedeutet  $e_0'$  den Teil der Maximalspannung  $e_0$  des Wechselpotentialen 1), unter welcher der Strom  $i_1$  durch das Ventil fließt.  $e_0'$  hängt vom Spannungsabfall im Strommesser ab.

Gleichstrominstrument kommt einzig und allein die Differenz der beiden in je zwei aufeinanderfolgenden Halbperioden des unsymmetrischen Stromes  $i_1$  bewegten Elektrizitätsmengen in Betracht. Dividiert durch die Dauer  $T$  einer ganzen Stromperiode liefert die Differenz dieser beiden Elektrizitätsmengen den galvanometrischen Mittelwert

$$M(i_1) = \frac{1}{T} \int_0^T i_1 dt, \quad (6)$$



Figur 3.

also den vom Schwingungsventile abgesonderten, vom Galvanometer angezeigten Bruchteil der im Messkreise schwingenden Energie.

Komplizierter werden die Verhältnisse, wenn der Messkreis zu gedämpften mit Tonfrequenz aufeinanderfolgenden Schwingungsgruppen erregt wird. Gleichung 1) wird dann erweitert lauten

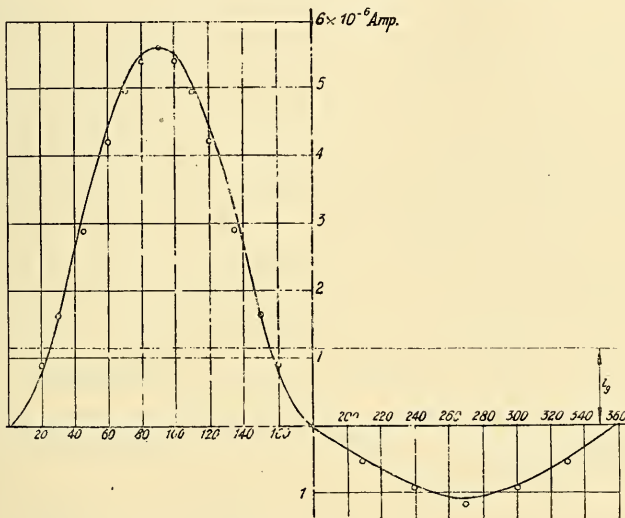
$$e = e_0 \cdot \varepsilon^{-\delta t} \cdot \sin 2\pi nt \quad (7)$$

wo  $\delta$  den Dämpfungsfaktor des Messkreises,  $\varepsilon$  die Basis der natürlichen Logarithmen bedeutet.

Während aber der Abfall der Spannungsamplituden am Kondensator des Messkreises dem einfachen Exponentialgesetze folgt, ergibt sich für das Abklingen der Amplituden des vom Schwingungs-

ventil durchgelassenen Stromes ein aus der Funktion 3) zu entwickelndes Gesetz, welches keine einfachen Verhältnisse mehr bietet.

An einem praktischen Beispiele sollen die oben dargelegten Betrachtungen näher erläutert und zahlenmässig ergänzt werden. Als Schwingungsventil liege ein experimentell untersuchter „Perikon“-detektor nach Pickard<sup>11)</sup>, bestehend aus Rotzinkerz (Zinkit) und Kupferkies, zu Grunde. Seine Charakteristik wurde unter möglichster Einhaltung der Bedingungen, wie sie sich in der radiotelegraphischen Praxis ergeben, aufgenommen (vgl. Fig. 3). Ein Schwingungskreis von der Eigenfrequenz  $n$  werde in loser Kopplung ungedämpft erregt, der Art, dass an den Polen seines Kon-



Figur 4.

densators ein Wechselfpotential von der Maximalspannung  $e_0 = \pm 0,4$  Volt auftrete. Unter der — hier nicht näher auf ihre Zulässigkeit geprüften — Voraussetzung<sup>12)</sup>, dass die in Fig. 3 dargestellte Gleichstromcharakteristik auch noch bei hohen Frequenzen erhalten bleibe, fließt dann durch den über den Kondensator geschalteten Detektor und das angeschlossene Galvanometer ein unsymmetrischer Wechselstrom der nach Grösse und Form in Fig. 4 wiedergegeben

<sup>11)</sup> G. J. Pickard. Jahrbuch d. drahtl. Tel. 3, p. 430 (1910).

<sup>12)</sup> Die hier in Betracht kommenden Arbeiten von Masamichi Kimura und Kajuro Tamaki. Oscilloscopic study of condenser discharges with the application to crystal contact detectors: Mem. Kyoto Univ. 2. 63, 83 (1910) und 3. 189 (1911) waren mir nicht zugänglich.

ist. Er erreicht die Maximalamplituden  $+5,6 \times 10^{-6}$  Ampères und  $-1,1 \times 10^{-6}$  Ampères.

Es gelang, mit guter Annäherung, diese Stromkurve aus bloss drei Teilwellen und einer Gleichstromkomponente aufzubauen. Die einzelnen Komponenten sind:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Grundwelle} = 1. \text{ Oberwelle } 30 \times 10^{-7} \times \sin 2\pi nt \text{ Ampères} \\ \quad \quad \quad 2. \text{ Oberwelle } - 11 \times 10^{-7} \times \sin \left( 4\pi nt + \frac{\pi}{2} \right) \text{ Amp.} \\ \quad \quad \quad 3. \text{ Oberwelle } - 4 \times 10^{-7} \times \sin 6\pi nt \text{ Ampères} \\ \text{Gleichstromkomponente} + 11 \times 10^{-7} \text{ Ampères.} \end{array} \right\} 8)$$

Die so zusammengesetzte Stromkurve ist in Fig. 4 durch kleine Ringe bezeichnet, sie legt sich mit einer für unsern Fall genügenden Genauigkeit der experimentell gefundenen Stromkurve an.

Ein Krystalldetektor ist als kleiner unvollkommener Kondensator von der Kapazität  $C_1$  aufzufassen, dessen Dielektrikum, hier die sehr schlecht leitende Kontaktstelle, äusserst geringe Dicke aufweist. Nach Gleichung 5) wird in unserm Falle der Detektorstrom mit grosser Annäherung wiedergegeben durch:

$$i_1 = 30 \times 10^{-7} \sin 2\pi nt - 11 \times 10^{-7} \sin \left( 4\pi nt + \frac{\pi}{2} \right) - 4 \times 10^{-7} \sin 6\pi nt + 11 \times 10^{-7} + 2\pi n e' C_1 \sin \left( 2\pi nt - \frac{\pi}{2} \right) \text{ Ampères.} \quad 9)$$

Der galvanometrische Mittelwert für die beiden Halbperioden berechnet sich hieraus zu:

$$M_1(i_1) = 16,87 \times 10^{-7} + 11 \times 10^{-7} \text{ Ampères.} \quad 1. \text{ Halbperiode}$$

$$M_2(i_1) = 16,87 \times 10^{-7} - 11 \times 10^{-7} \text{ Ampères.} \quad 2. \text{ Halbperiode}$$

somit

$$M(i_1) = 22 \times 10^{-7} \text{ Ampères.} \quad 10)$$

Dieser Strom durchfliesst das Galvanometer, wenn der Messkreis zu dauernden Schwingungen mit 0,4 Volt Maximalamplitude am Kondensator erregt und ein Detektor von der in Fig. 3 dargestellten Charakteristik als Schwingungsventil verwendet wird. Seine Grössenordnung entspricht schwachem Empfang in der radiotelegraphischen Praxis.<sup>13)</sup>

<sup>13)</sup> Im vorliegenden Beispiel ist der für das Galvanometer verloren gehende Teil des Detektorstromes — der dritte Teil der Gleichung 5) — vernachlässigt, also ein Detektor von verschwindend kleiner Eigenkapazität vorausgesetzt.

Die im ersten Teile vorliegender Abhandlung an praktischen Verhältnissen ermittelten wirksamen Kapazitäten verschiedener Detektorkreise ergeben sich unmittelbar aus der Serienschaltung der beiden „unvollkommenen“ Kondensatoren Detektor und Stromanzeiger.

In ähnlicher Weise lässt sich eine Ersatzschaltung für den *Summerkreis* angeben. Das Element mit Zuleitungen als leitend überbrückter Kondensator ist mit dem Summer in Serie geschaltet. Letzterer stellt im Momente der Stromöffnung eine kleine unüberbrückte Kapazität, im Momente des Stromschlusses die Parallelschaltung einer Impedanz und eines Kondensators, eventuell noch eines Ohm'schen Widerstandes dar. Für die im ersten Teile gemessenen wirksamen Kapazitäten sind die Grössen  $c'$  und  $c''$  massgebend. Der Nebenschluss  $w'$  zur Impedanz hat also auf die wirksame Kapazität keinen Einfluss.<sup>14)</sup>

Schliesslich soll noch auf die durch die Glühlampe oder das Hitzdrahtinstrument verursachte Verstimmung des Messkreises eingegangen werden. Diese beiden praktisch induktionsfreien Indikatoren liegen an den Enden einer einzelnen koaxial zur Koppungsspule angeordneten Windung dicken Kupferdrahtes von verschwindend kleinem Eigenwiderstand und geringer Selbstinduktion. Die durch die Indikatoren verursachte prozentuale Verstimmung wie auch die Dämpfung, die sie dem Messkreise erteilen, lässt sich nun berechnen, indem man das System, bestehend aus Koppungsspule (Selbstinduktion  $L_1$ , Widerstand  $w_1$ ) und koaxialer Indikatorenspule (Selbstinduktion  $L_2$ , Widerstand des angeschlossenen Indikators  $w_2$ ) als Lufttransformator vom Koppungskoeffizienten  $k$  auffasst. Für einen solchen Transformator lässt sich zeigen, dass die Rückwirkung des geschlossenen Sekundärkreises auf den Primärkreis in einer Verringerung der primären Selbstinduktion von  $L_1$  auf  $L_1' < L_1$ , sowie in einer Erhöhung des Ohm'schen Widerstandes der Primärwicklung von  $w'$  auf  $w_1' > w_1$  besteht. Während die erste der beiden Änderungen in unserm Falle eine Verkleinerung der Eigenwelle des Messkreises zur Folge hat, bewirkt die zweite Änderung eine Vergrösserung der Dämpfung, damit eine gewisse geringe Vergrösserung der Eigenwelle und hauptsächlich eine Verringerung der Abstimmsschärfe.

Die diesbezüglichen Gleichungen aus der Theorie des Transformators lauten für unsern Fall<sup>15)</sup>:

<sup>14)</sup> vgl. Bemerkung 3.

<sup>15)</sup> A. Fraenkel. Theorie der Wechselströme p. 138. Springer, Berlin, 1914. G. Benischke. Die Transformatoren, p. 35. Vieweg, Braunschweig, 1909.

$$L_1' = L_1 \left[ 1 - \frac{4\pi^2 n^2 k^2 L_2^2}{w_3^2 + 4\pi^2 n^2 L_2^2} \right]. \quad (11)$$

Wird die Indikatorwicklung kurzgeschlossen, so reduziert sich 11) auf

$$L_1' = L_1 (1 - k^2) \quad (12)$$

während bei offener Indikatorwicklung  $L_1' = L_1$  wird.

Ein ähnlicher Ausdruck wie 11) gibt die scheinbare Widerstandserhöhung im Messkreise

$$w_1' = w_1 + \frac{4\pi^2 n^2 k^2 L_1 L_2}{w_2^2 + 4\pi^2 n^2 L_2^2} w_2 \quad (13)$$

unter Einfluss der sekundär induzierten Ströme und damit die Vergrößerung der Dämpfung im Messkreise an.

Die Anwendbarkeit dieser Gleichungen soll nun an Hand einer Berechnung der Ergebnisse von Tabelle III geprüft werden. Die Kopplungsspule mit koaxialem Ring bildet einen Lufttransformator, dessen Konstanten sich folgendermassen ergeben:

Selbstinduktionskoeffizient der Kopplungsspule mit Hochfrequenz bei  $\lambda = 400$  m bestimmt:  $L_1 = 0,000\ 189$  Henry.

Selbstinduktionskoeffizient des koaxialen Ringes nach Kirchhoffs Gleichung<sup>16)</sup> berechnet:  $L_2 = 0,000\ 000\ 30$  Henry.

Koeffizient der gegenseitigen Induktion dieser Anordnung nach Lorenz' Gleichung<sup>17)</sup> berechnet:  $L_{1,2} = 0,000\ 002\ 67$  Henry.

$$\text{Kopplungsfaktor } k = \frac{L_{1,2}}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad k = 0,354$$

Periodenzahl zu  $\lambda = 400$  m.  $n = 750\ 000$  Perioden pro Sekunde.

In kaltem Zustande hat die Glühlampe 1,6 Ohm Widerstand, der bei heller Glut des Fadens über 7 Ohm steigt. Das Hitzdrahtinstrument hat kalt 8,8 Ohm Widerstand. Tabelle IV zeigt die Resultate der Berechnungen aus Gleichung 11) in Verbindung mit der auf pag. 264 gegebenen Gleichung für die prozentuale Verstimmung:

<sup>16)</sup> E. B. Rosa and F. W. Grover. Bulletin of the Bureau of Standards (Washington), Vol. 8, 1, p. 110 (1912). Eine vorzügliche Zusammenstellung der meisten Gleichungen zur Berechnung von Induktionskoeffizienten.

<sup>17)</sup> ebendasselbst, p. 98. Original: Wied. Ann. 25, p 23 (1885).



Tabelle IV.

Angeschlossener Indikator	Selbstinduktion $L_1'$	Verstimmung in %	
		berechnet	beobachtet
	cm		
Glühlampe kalt (1,6 Ohm) . . .	178 590	2,8	3
„ glühend (7 Ohm) . . .	188 069	0,3	—
Hitzdrahtinstrument kalt (8,8 Ohm)	188 403	0,16	0,3
Ohne Indikator . . . . .	189 000	—	—

Die Übereinstimmung ist in Anbetracht der Unsicherheiten bei Berechnungen und Messungen zufriedenstellend und zeigt jedenfalls, dass sich durch Gleichung 11) die Einflüsse der beiden Kreise aufeinander mit einer für viele Zwecke der Praxis ausreichenden Genauigkeit vorausberechnen lassen<sup>18)</sup>. Zu berücksichtigen ist die aus Gleichung 13) erhältliche scheinbare Widerstandserhöhung des Messkreises, die aus folgenden Zahlen deutlich hervorgeht:

Tabelle V.

Angeschlossener Indikator	Scheinbarer Widerstand der Kopplungsspule
	Ohm
Glühlampe kalt (1,6 Ohm) . . .	55,90
„ glühend (7 Ohm) . . .	22,08
Hitzdrahtinstrument kalt (8,8 Ohm)	17,91
(Ohne Indikator) . . . . .	0,37

Die dämpfende Rückwirkung des Indikatorkreises auf den Messkreis erweist sich als eine recht beträchtliche. Interessant liegen die Verhältnisse durch Zufall bei der Glühlampe. Es lässt sich nämlich leicht zeigen, dass der Wert des Widerstandes  $w_1'$  in Gleichung 13) für bestimmtes  $w_2$  ein Maximum besitzt. Dies tritt ein für:

$$w_2 = 2\pi n L_2 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \text{wobei } w_1' = w_1 + \pi n k^2 L_1 \end{array} \right\} 14)$$

<sup>18)</sup> Ein hier in Betracht zu ziehender Fall ist das Kurzschließen überstehender Spulendenen beim Empfangsapparat. Der kurzgeschlossene Teil verringert die Selbstinduktion des übrigen Spulenteiles, erhöht ferner dessen Widerstand und damit die Dämpfung.

Zufällig wird nun dieser Maximalwert von  $w_1'$  bei einem Indikatorwiderstande von 1,413 Ohm mit  $w_1' = 56,31$  Ohm erreicht. Die Glühlampe trifft im kalten Zustande mit 1,6 Ohm somit die ungünstigsten Verhältnisse bezüglich Verstimmung und Dämpfung, was aus den Tabellen III und V deutlich hervorgeht. Beim praktischen Gebrauche glüht sie in der Resonanzlage hell auf, verstimmt und dämpft dabei aber beträchtlich weniger. Natürlich lägen bei Verwendung einer Kohlefadenlampe die Dinge gerade umgekehrt und somit ungünstiger.

### Zusammenstellung der Resultate:

Es wird ein neuer einfacher Wellenmesser mit zwei Messbereichen beschrieben, an welchen sich alle Hilfsapparate durch Steckerverbindungen einzeln anschliessen lassen.

Der Einfluss der verschiedenen Hilfsapparate auf den Messkreis wird untersucht und durch experimentell gewonnenes Zahlenmaterial dargestellt.

Es gelingt auch beim grossen Wellenmesser der „Telefunken“-Gesellschaft, den Einfluss der Hilfsapparate auf die Messwerte nachzuweisen.

Detektor und Telephon, Summer und Element, sowie die Leuchtröhre erhöhen die Eigenwelle des Messkreises durch zusätzliche Kapazitäten.

Glühlampe und Hitzdrahtinstrument erniedrigen die Eigenwelle des Messkreises durch Verringern der Selbstinduktion.

Von der experimentell gewonnenen Charakteristik eines Perikondetektors ausgehend wird die Kurvenform des beim Anlegen einer reinen Sinusspannung von diesem Detektor durchgelassenen asymmetrischen Wechselstromes ermittelt und ihre Gleichung aufgestellt. Der galvanometrische Mittelwert gibt dann den von einem Gleichstrominstrumente angezeigten Detektorstrom an.

Für Detektor- und Summerkreis werden Ersatzschaltungen gegeben.

Die durch Glühlampe und Hitzdrahtinstrument verursachten Verstimmungen und Dämpfungen des Messkreises werden mittels einfacher der Theorie des Luftransformators entnommener Gleichungen berechnet.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1919

Band/Volume: [30\\_1919](#)

Autor(en)/Author(s): Zickendraht Hans

Artikel/Article: [Untersuchungen an einem einfachen Wellenmesser 255-272](#)