

Der Gleichwellen-Rundfunk.

(Mitteilung aus dem Laboratorium der C. Lorenz A.-G.)

Von **W. Hahnemann** und **F. Gerth**.

Kaum ein Jahr nach der Einführung des Rundfunks in Deutschland machten sich schon die Schwierigkeiten in der Wellenverteilung geltend, die im Frühjahr 1925 zur Gründung des Weltrundfunkvereins führten, zu dessen wichtigsten Aufgaben die Herbeiführung einer Vereinbarung über die Verteilung der Wellen zwischen den angeschlossenen Ländern gehört. Durch seine Arbeiten hat der Weltrundfunkverein außerordentlich segensreich gewirkt; ohne ihn wäre heute wahrscheinlich in Europa ein Chaos auf dem Rundfunkgebiet, das die Weiterentwicklung des Rundfunks ernstlich hemmen und auf die Dauer seinen Fortbestand überhaupt in Frage stellen würde. Trotzdem kann das Wellenproblem durch Vereinbarungen allein nicht befriedigend gelöst werden, denn der Bedarf an Sendestellen übersteigt die Zahl der verfügbaren Wellenbänder ganz erheblich. Es hängt dies damit zusammen, daß das Versorgungsgebiet eines Senders einen praktisch ziemlich engbegrenzten Umfang hat. Damit ein Sender bei Tag und Nacht dauernd gut empfangen werden kann, muß die Feldstärke am Empfangsort den durchschnittlichen Störungsspiegel, der durch die luftelektrischen Verhältnisse unabänderlich gegeben ist, wesentlich überschreiten. Da die Feldstärke mit der Entfernung vom Sender mindestens in den Tagesstunden nach einem Exponentialgesetz abnimmt, kann der Versorgungsbereich des Senders durch eine in den Grenzen des praktisch Möglichen liegende Leistungs-

erhöhung nur wenig erweitert werden. Es ist das Verdienst von K. W. Wagner, diese Verhältnisse zuerst klar erkannt und die Folgerung daraus gezogen zu haben, daß dem Problem der gleichmäßigen Versorgung des ganzen Reiches mit Rundfunk nur durch den sogenannten Gleichwellenrundfunk beizukommen ist, das ist der Betrieb einer Reihe von synchron gesteuerten Sendern auf genau gleicher Welle. In seiner früheren Stellung als Präsident des Telegraphentechnischen Reichsamts stellte Prof. Wagner bereits 1924 der Funkindustrie die Aufgabe, die technischen Mittel zur synchronen Steuerung der Sender zu entwickeln. Das Übermaß der auf dem Funkgebiet vorliegenden Aufgaben und vielleicht auch der Umstand, daß der Gleichwellenrundfunk damals noch nicht allgemein als so dringlich empfunden worden ist, hat bewirkt, daß die Entwicklung sich mehrere Jahre hingezogen hat; inzwischen sind auch außerhalb Deutschlands, z. B. in England, Versuche mit dem Gleichwellenrundfunk gemacht worden.

Über die Versuche, die das Telegraphentechnische Reichsamt mit Einrichtungen der Firma Telefunken ausgeführt hat, wurde kürzlich an anderer Stelle berichtet¹⁾. Im folgenden wird das von der C. Lorenz A. G. unter Mitwirkung von E. Geißler, Fr. Gutzmann, H. Rochow und R. Seidelbach ausgearbeitete System zur

¹⁾ W. Hahn, „Funk“ 1928, S. 245.

zwangsläufigen Steuerung von Rundfunksendern beschrieben, das bei der kürzlich in Betrieb genommenen Anlage der Gleichwellensender Berlin O—Stettin—Magdeburg praktisch verwendet wird.

Zunächst soll eine allgemeine Betrachtung vorausgeschickt werden.

Für die Technik des Gleichwellen-Rundfunks kommen in erster Linie zwei Systeme in Frage:

1. Das System der unabhängigen Sender, d. h. der Sender, bei denen die Trägerfrequenz am Ort selbst erzeugt und durch zweckentsprechende Mittel so konstant wie möglich gehalten wird. Die Abweichungen der einzelnen Sender untereinander dürfen dabei nicht mehr als ungefähr 15 Hz betragen, d. h. sie müssen unterhalb einer Frequenz bleiben, die dem menschlichen Ohr noch als Ton wahrnehmbar ist.

2. Das System der von einer Zentralstelle aus zwangsläufig gesteuerten Gleichwellensender, unter denen lediglich noch Phasenunterschiede, dagegen keine Frequenzunterschiede mehr auftreten können.

Bei beiden Verfahren kann die Modulationsfrequenz den betreffenden Steuereinrichtungen der Sender entweder durch Kabel oder auf drahtlosem Wege von einer gemeinsamen Besprechungs- und Verstärkungsapparatur aus zugeführt werden. Um durch Modulations-Phasenverschiebung keine Verbreiterung der Interferenzzone im Zwischengelände zu erhalten, kann es vorteilhaft sein, die Modulation zeitlich gleichphasig zu gestalten.

Bei dem System der unabhängigen Sender besteht der Nachteil, daß man von der Zuverlässigkeit des Personals — da dauernd die Trägerwelle auf eventuelle unzulässige Abweichungen von der Sollfrequenz überwacht werden muß — abhängig ist, und daß die Interferenzzone, d. h. das Gebiet, in dem durch die gleichzeitige Beeinflussung beider Sender der Empfang verschlechtert bzw. vollkommen unmöglich gemacht wird, sehr ausgedehnt ist. (Nach den bisherigen Erfahrungen erstreckt sich dieses Gebiet auf über 90 % der Entfernung zwischen den beiden Sendern.) Das System hat dagegen den Vorteil der relativen Einfachheit der gesamten Senderapparatur, da nur die der Modulationsfrequenz dienende Leitung zu den Gleichwellensendern erforderlich ist bzw. bei Verwendung von „Rebroadcasting“ sogar keinerlei

Leistungsverbindung zwischen den Gleichwellensendern benötigt wird.

Das zweite System, die Gleichwellensender, bei denen von einer Zentralstelle aus zwangsläufig die Trägerfrequenz aufgedrückt wird, hat den Nachteil der komplizierteren Apparatur und der Notwendigkeit einer besonderen Trägerfrequenzleitung, besitzt aber gegenüber dem ersten System den Vorzug, daß die dauernde Kontrolle der Wellengenauigkeit fortfällt, und daß die Interferenzzone nur ungefähr 15 % der Entfernung zwischen den beiden Sendern ausmacht²⁾.

Der nachbeschriebenen Gleichwellenanordnung der C. Lorenz A.-G. liegt das zweite System zugrunde. Bestimmend für die Entwicklung dieser Anordnung waren die zum Teil ungünstigen Erfahrungen, die in anderen Ländern (England) bei der Anwendung des ersten Systems der unabhängigen Sender sich ergeben hatten.

Die C. Lorenz A.-G. ging bei der Entwicklung des Systems weiterhin von der Voraussetzung aus, daß für die zu übertragende Grundfrequenz nur Periodenzahlen in Betracht kommen durften, für die normale Fernsprechkabel noch gut durchlässig sind, also Periodenzahlen bis höchstens 2500 Hz, so daß es erforderlich war, am Ort des Gleichwellensenders eine entsprechend hohe Frequenzvervielfachung vorzunehmen.

Nach stattgefundener Erprobung mittels einer Versuchsapparatur zwischen Berlin und Eberswalde erhielt die C. Lorenz A.-G. den Auftrag zum Bau der ersten deutschen Gleichwellensendergruppe Berlin O, Stettin und Magdeburg. Diese Gleichwellensenderanordnung ist im folgenden in ihren Grundzügen dargestellt und in ihrer technischen Ausführung weiterhin näher beschrieben.

Die zu übertragende Trägerfrequenz wird in einem kleinen Grundfrequenzgenerator erzeugt, bis zu dem Ort des Gleichwellensenders durch Kabel übertragen, dort verstärkt, durch eine Vervielfachungseinrichtung auf die Frequenz der Rundfunkträgerwelle erhöht, wiederum verstärkt und der Antenne des Rundfunksenders zugeführt. Von dem gemeinsamen Besprechungs- und Verstärkerraum aus führt eine zweite Leitung zu den Modulationseinrichtungen des Gleichwellensenders. Es ist durch diese zwangsläufige Steuerung dafür

²⁾ Eppen: Über Empfangsbeobachtungen beim Gleichwellen-Rundfunk. ENT 4, 385, 1927.

gesorgt, daß die Trägerfrequenzen aller zu einer Gruppe vereinigten Gleichwellensender genau die gleichen sind und sich nur in bezug auf die Phase voneinander unterscheiden.

1000 Hz und die Grundfrequenz unterhalb 1200 Hz abgeschnitten werden, oder es wird durch Loch- und Keilketten die Grundfrequenz aus dem Sprachfrequenzband herausgeschnitten.

A. Grundfrequenzgenerator und Leitungs-Anordnung.

Als Grundfrequenzgenerator dient ein kleiner Röhrensender, der eine Endleistung von ungefähr 10 Watt gibt und der zur Einhaltung einer unveränderten Frequenz an konstante Spannungsquellen angeschlossen ist. Um die Möglichkeit zu haben, den gesamten Rundfunkwellenbereich von 200—550 m zu überbrücken, kann die Grundfrequenz von 1500—2500 Hz kontinuierlich geändert werden. Die Feineinstellung erfolgt durch einen Noniuskondensator. Wie durch Kontrolle mit dem Resonanzleuchtquarz festgestellt werden konnte, genügt die Konstanz dieses Senders im Betrieb vollkommen den gestellten Ansprüchen. Er ist örtlich mit dem Gleichwellensender Berlin O zusammengelegt.

Als Verbindungsleitungen zu den Gleichwellensendern sind folgende Kabel erforderlich:

1. Das Kabel zur Übertragung der Grundfrequenz.
2. Das Kabel zur Übertragung der Modulationsfrequenz.
3. Ein Verständigungskabel des Personals zur Regelung des Betriebes.

Um eine von diesen drei Leitungen zu ersparen und mit nur zwei Leitungen auszukommen, wird nun die Grundfrequenz auf dem Verständigungskabel gleichzeitig mit übertragen. Die Trennung des Sprachbandes von der Grundfrequenz geschieht durch Kondensator-, Drossel- und Lochketten, d. h. sogenannte elektrische Weichen, und zwar kann entweder die Sprache oberhalb

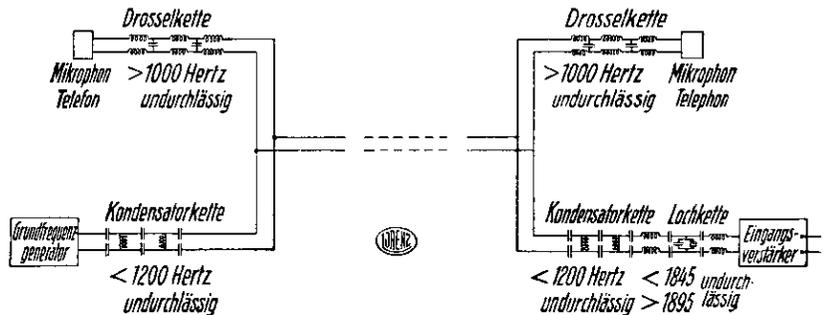
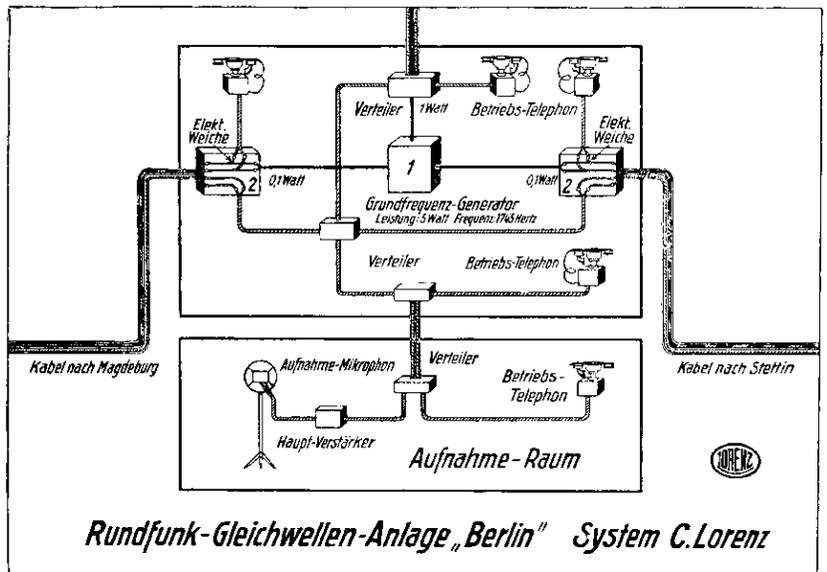
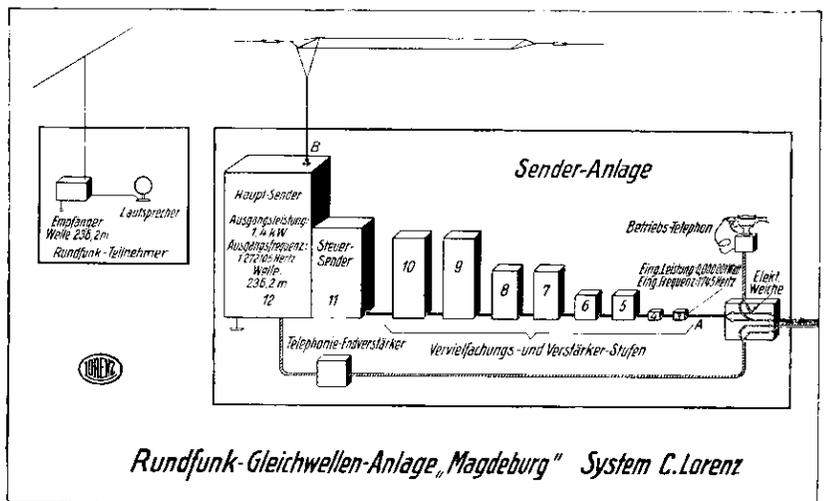


Abb. 1.



Rundfunk-Gleichwellen-Anlage „Berlin“ System C. Lorenz

Abb. 2.



Rundfunk-Gleichwellen-Anlage „Magdeburg“ System C. Lorenz

Abb. 3.

Diese elektrischen Weichen sind in Abb. 1 dargestellt, aus der gleichzeitig die Abstimmungs- bzw. Grenzfrequenzen der einzelnen Glieder hervorgehen. Obgleich in diesem Falle in der Abzweigung für die Verständigung die Frequenzen über 1000 Hz absorbiert werden, blieb die Sprache, wie die seinerzeit vorgenommenen Versuche zwischen Berlin und Eberswalde ergaben, noch überraschend gut verständlich.

Während für die Modulationsleitungen nach Möglichkeit ein musikpupinisiertes, hochwertiges Kabel zur Verfügung stehen muß, genügt für die Übertragung der Grundfrequenz, wie die Versuche ergaben, ein normales, also im Betrieb sich billig stellendes Fernsprechkabel. Die Vervielfachungsstufen wurden so gewählt, daß der gesamte Rundfunkwellenbereich von 200 – 550 m Wellenlänge durch ein Grundfrequenzwellenband zwischen 1500 und 2500 Hz hergestellt werden kann. Die in Abb. 1 eingezeichnete Lochkette war zur Beseitigung der letzten Störungsreste im Fernsprechkabel erforderlich. Die Leitungsanlage für die drei Gleichwellensender wird durch die Abb. 2 und 3 noch besser verdeutlicht.

B. Vervielfachungsanlage.

Für die C. Lorenz A.-G. war das Problem der Vervielfachung nicht neuartig, da bei der Entwicklung ihres Maschinensenders für Rundfunkzwecke sich bereits die Notwendigkeit einer verhältnismäßig hohen Vervielfachung der Frequenz ergeben hatte. Die Ausgangsfrequenz der hierbei verwendeten Hochfrequenzmaschine betrug aus maschinentechnischen Gründen nur 8000–10 000 Hz, so daß eine Erhöhung dieser Grundfrequenz bis auf die Rundfunkfrequenzen eine Vervielfachung um das Hundertfache bedeutete, die in zwei Frequenzwandlerstufen vorgenommen wird.

Bei der Gleichwellenanordnung konnte die Vervielfachung auf ähnlicher Grundlage aufgebaut werden. Da die Ausgangsfrequenz gegenüber derjenigen des Maschinenrundfunksenders noch erheblich tiefer liegt, erfolgt die Frequenzerhöhung beim Gleichwellenrundfunk in drei Stufen. Im Gegensatz zum Maschinensender trat die Frage des Wirkungsgrades in den einzelnen Stufen zurück, da die in jeder Stufe verbrauchte Leistung durch eine Zwischenverstärkung wieder gewonnen werden konnte. Infolgedessen wäre es zunächst denkbar gewesen, zwecks Vereinfachung die Fre-

quenzerhöhung in einer oder in höchstens zwei Stufen vorzunehmen, um dann durch einen entsprechend vergrößerten Endverstärker die gewünschte Ausgangsleistung zu erzielen. Aus den Erfahrungen der Entwicklung des Rundfunkmaschinensenders ging aber hervor, daß bei hoher Vervielfachung in einer Stufe die Beseitigung der entstehenden Nebenwellen mit den bekannten technischen Mitteln nicht mehr möglich war. Zur näheren Erläuterung hierzu soll auf die Vorgänge bei der Frequenzvervielfachung kurz eingegangen werden.

Bei dem Rundfunkmaschinensender wird die Grundfrequenz dadurch erhöht, daß eine Eisendrossel durch Speisung mit dem Grundfrequenzstrom so stark gesättigt wird, daß an den Enden der Drosselwicklung beim jedesmaligen Durchlaufen der Magnetisierungskurve kurzzeitige Spannungsstöße auftreten. Ein an die Enden der Drossel angeschlossener Schwingungskreis (Stoßkreis), der auf eine ungeradzahlige Vielfache der Grundfrequenz abgestimmt ist, wird durch die Spannungsstöße in seiner Eigenschwingung angeregt, wobei dessen Schwingungen entsprechend seiner Dämpfung (Eigendämpfung zuzüglich der eingekoppelten Dämpfung der Verbrauchskreise) nach einer Exponentialfunktion abklingen.

Im Gegensatz zum Funkensender erfolgt dieses Abklingen im allgemeinen nicht bis zum Nullwert, sondern infolge der hohen Stoßzahl (in jeder Halbperiode der Grundfrequenz entsteht ein Spannungsstoß) nur bis zu einem bestimmten Bruchteil der Maximalamplitude. Die Schwingungen dieses Kreises bzw. des an ihn gekoppelten Verbrauchskreises haben deshalb durchaus den Charakter von ungedämpften Schwingungen, sind aber moduliert mit der doppelten Grundfrequenzperiodenzahl. Diese im Rhythmus der Stöße erfolgende Modulation ergibt die entsprechenden Seitenbänder und damit die Nebenwellen. Da die Modulation nicht sinusförmig ist, sind alle Vielfachen der Grundfrequenz als Nebenwellen vorhanden, wobei die benachbarten ungeraden Vielfachen mit besonders starker Amplitude auftreten. Bei Abstimmung des Stoßkreises auf die neunfache der Grundfrequenz treten z. B. die sieben- und die elffache sehr stark hervor, außerdem meist auch die fünf- und dreizehnfache, ja oft sind sogar noch die acht- und zehnfache, also die benachbarten geraden Vielfachen, nachweisbar.

Die weiter abliegenden Nebenwellen sind naturgemäß in ihrer Amplitude um so kleiner, je weiter sie von der Hauptschwingung entfernt sind.

Um sich im übrigen ein Bild von der Stärke der Nebenwellen zu machen, soll hier erwähnt werden, daß eine der benachbarten ungeraden Vielfachen unter Umständen mit der halben Spannungsamplitude der Hauptschwingung gemessen werden kann.

Diese Nebenschwingungen sind um so schwieriger zu beseitigen, je dichter sie an der Hauptschwingung liegen. Bei der Abstimmung des Stoßkreises auf die neunfache treten, wie oben erwähnt, die sieben- und elffache besonders stark hervor.

Diese Nachbarwellen, die ungefähr 20% von der Hauptschwingung entfernt liegen, können durch bestimmte Filterkreise bis auf einen sehr geringen Rest beseitigt werden, der den Empfang nicht mehr stört. Dagegen würden bei der Neunhundertfachen als Hauptschwingung die ungeraden Nachbarwellen nur 0,2% abliegen und auch mit den sorgfältigsten Mitteln nicht mehr zu beseitigen sein. Es hat sich in der Entwicklung während der letzten Jahre herausgestellt, daß bei einer 11—13-fachen Erhöhung die praktisch zulässige Grenze für die Vervielfachung erreicht wird. Nach jeder Vervielfachungsstufe muß die Hauptschwingung von den Nebenschwingungen sorgfältig bereitet werden, damit nicht in der nächsthöheren Stufe infolge Doppelmodulation Nebenwellen in zu großer Nähe der Hauptschwingung auftreten. Hieraus ergab sich für die Gleichwellenanordnung bei einer Gesamtvervielfachung von etwa 1:600 die oben erwähnte Notwendigkeit der Verwendung von drei Stufen.

Für die Anwendung des vom Maschinensender übernommenen Systems der Frequenzerhöhung für den Gleichwellenrundfunk war für jeden Stoßvorgang ein bestimmter Energiebetrag erforderlich, um die Sättigung des Eisens in den Frequenzwandlern zu erzielen, und zwar war dieser von der Größenordnung von etwa 100 Watt. Theoretisch wäre es natürlich denkbar, mit beliebig

geringeren Leistungen auszukommen, jedoch ist durch die Formgestaltung der Frequenzwandler eine Grenze gegeben.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte wurden die jetzigen im Betrieb befindlichen Vervielfachungsanlagen entwickelt. Sie sind im folgenden an Hand der Abb. 4 näher beschrieben.

An den Klemmen des einmündenden Trägerfrequenzkabels beträgt die Spannung der Grundfrequenz ungefähr 0,1 Volt. Diese Eingangsspannung wird in zwei Stufen von je zwei Kaskaden auf ungefähr 100 Watt Leistung verstärkt. An den Anodenkreis der letzten Verstärkerröhre

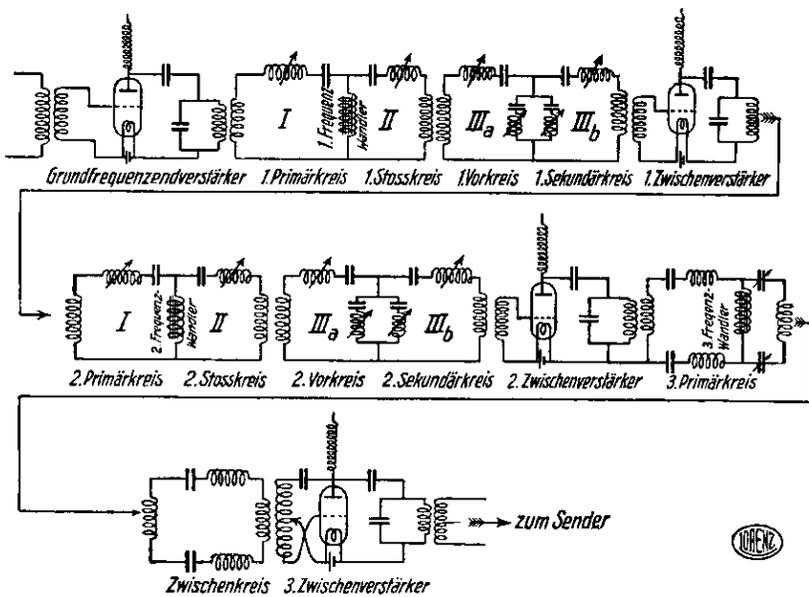


Abb. 4.

ist der auf die Grundfrequenz abgestimmte Primärkreis I, in dem sich der erste Frequenzwandler befindet, angekoppelt. Der an den Klemmen des Frequenzwandlers weiterhin angeschlossene Stoßkreis II ist auf die 9fache Harmonische der Grundfrequenz abgestimmt. Durch einen zweifach abgeteilten Sekundärkreis IIIa und IIIb, in dessen Watt-Spannungspunkten zwei auf die benachbarten ungeraden Harmonischen (7- und 11fache) abgestimmte Kurzschlußkreise liegen, die in Stromresonanz wiederum auf die neunfache abgestimmt sind, infolgedessen für diese einen Sperrkreis bilden, werden alle Nebenwellen im weitestgehenden Maße beseitigt. Die richtige Dimensionierung dieser Absorptionskreise ist dabei von ausschlaggebender Bedeutung. Die so gereinigte Frequenz der ersten Vervielfachungsstufe wird

durch einen Zwischenverstärker auf den alten Leistungsbetrag von ungefähr 100 Watt erhöht. Der Anodenkreis der Zwischenverstärkerröhre wird wiederum mit einem abgestimmten Schwin-

gungskreis (zweiten Primärkreis) gekoppelt, in dem sich der zweite Frequenzwandler befindet, an dessen Enden ein wiederum auf die neunfache der Vervielfachungsfrequenz abgestimmter Schwingungskreis liegt. Die Schaltung wiederholt sich jetzt, die Schwingungen werden gereinigt, verstärkt, wiederum vervielfacht, bis schließlich als Endergebnis die gewünschte Rundfunkwelle mit ungefähr 100 Watt Leistung erzielt wird, wobei allerdings nach der letzten Vervielfachung infolge der Verwendung mehrerer selektiver Hochfrequenzverstärkerstufen die Absorptionskreise fortgelassen werden konnten. In Abb. 5 sind die Frequenzwandler der einzelnen Stufen dargestellt, wobei ersichtlich ist, daß diese, besonders derjenige der letzten Stufe (in der Abb. rechts), außerordentlich kleine Dimensionen erhalten haben, so daß eine im Interesse geringeren Leistungsbedarfs noch weitergehende Verringerung der Dimension praktisch nicht mehr gut durchführbar ist. (Der mit abgebildete Maßstab ist in Zentimeter eingeteilt.)

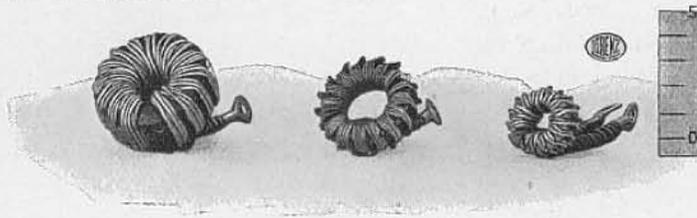


Abb. 5.



Abb. 6.

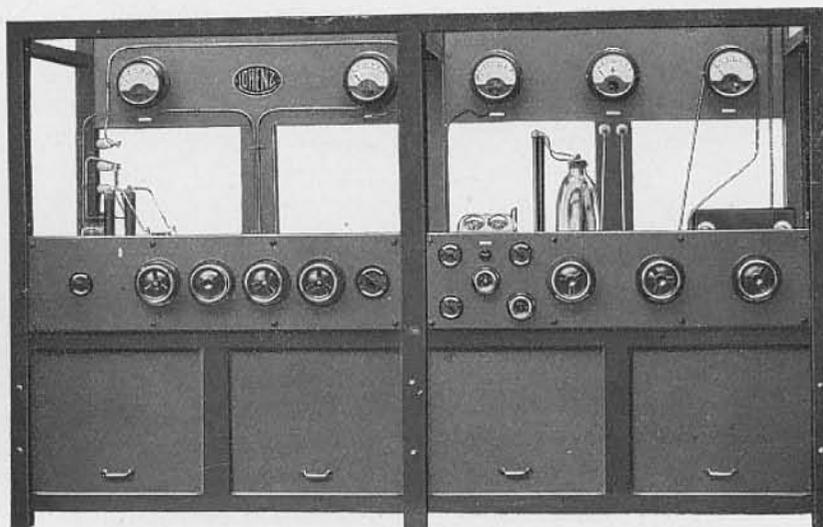


Abb. 7.

Wie aus der Abbildung der ausgeführten Gleichwellenapparatur (Abb. 6) ersichtlich ist, ist fernerhin die sorgfältigste Schirmung der einzelnen Stufen und Schwingungskreise vorgenommen worden.

C. Endverstärker und Modulation.

Als Endverstärker wird der Normal-Rundfunksender in zwei Kaskaden mit zwei 1,5 kW-Endröhren verwendet (Abb. 7), wobei der Steuersender nach sorgfältiger Neutralisation als Verstärker-Kaskade umgeschaltet wurde. Die Modulation, die in normaler Weise an der Endstufe vorgenommen wird, erfährt durch die Gleichwellenanordnung keinerlei Umgestaltung, da das Modula-

tionskabel, wie oben erwähnt, von dem Grundfrequenz- bzw. Verständigungskabel vollkommen getrennt ist.

Es ist noch zu bemerken, daß ein gewisser Überschuß von Steuerleistung in den Eingangsstufen vorhanden sein muß, der durch eine entsprechende Anordnung begrenzt wird, so daß kleinere Absorptionsänderungen auf dem Grundfrequenzkabel keine Leistungsänderung der Hochfrequenz zur Folge haben.

Durch Inbetriebnahme der Gleichwellen-Sendergruppe Berlin O, Stettin und Magdeburg ist nun

zum ersten Male der Gedanke des Gleichwellen-Rundfunks mit genau gleicher Trägerwelle in die Tat umgesetzt worden, und es muß der Zukunft überlassen werden, ob die dabei gewonnenen Erfahrungen zu weiterem umfangreichen Einsatz von Gleichwellen-Sendergruppen Veranlassung geben werden.

Insbesondere ist eine Klärung der noch offenen Frage nötig, ob die Modulation durch Einschaltung künstlicher Kabel für sämtliche Gleichwellensender zeitlich gleichphasig erfolgen muß.

(Eingegangen am 20. März 1929)