

FUNK BASTLER

FACHBLATT DES DEUTSCHEN FUNKTECHNISCHEN VERBANDES E.V.

Bau eines elektrodynamischen Lautsprechers

Von
Oswald Scharfenberg.

Seit dem Bekanntwerden des Rice-Kellog-Lautsprechers in Deutschland ist die Zahl der Firmen, die dieses Wiederabegerät bauen, von Jahr zu Jahr gestiegen, und wenn man aus dem Angebot auf die Nachfrage schließen darf, so ist dieses System heute auch in Deutschland schon recht verbreitet.

Der vielfach bestehende Glaube eines großen Leistungsbedarfs des dynamischen Lautsprechers mag wohl darin seinen Ursprung haben, daß dieser Lautsprecher, im Gegensatz zu den meisten anderen Systemen, auch größere Leistungen noch verzerrungsfrei wiedergeben kann und deshalb meist als Saallautsprecher gezeigt worden ist. Ein richtig gebauter und angepaßter dynamischer Lautsprecher gibt sogar mit einer „RE 134“ schon eine brauchbare Zimmerlautstärke. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß ein guter Lautsprecher zum einwandfreien Arbeiten auch einen guten Verstärker verlangt und man mit der Aussteuerung der Endstufe besonders bei kleiner Leistung vorsichtig sein muß, da der Lautsprecher jeden Fehler der Verstärkung unbarmherzig wiedergibt.

Für den Selbstbau, auf den es hier ankommt, ist das elektrodynamische System im Aufbau viel einfacher als das elektromagnetische.

Den Aufbau eines solchen Lautsprechers gibt Abb. 1 schematisch wieder: eine starre Konusmembran, die am Rande nachgiebig gelagert, frei schwingen kann, erhält ihren Antrieb durch eine mit ihr starr verbundene leichte Spule, die von den Sprechwechselströmen des Verstärkers durchflossen wird und im Feld eines starken Elektromagneten schwingt. Die soeben beschriebene Membran hat allerdings ohne besondere Maßnahmen nur eine recht geringe Wirkung. Der Schalldruck gleicht sich nämlich, besonders bei tieferen Frequenzen, auf dem kürzesten Weg um die Ränder der Membran aus. Es entsteht also ein akustischer Kurzschluß, der den Wirkungsgrad der Membran stark herabsetzt, den man jedoch verhindern kann, wenn man die Membran als Kolben in der Öffnung einer starren Wand arbeiten läßt.

Wichtige Konstruktionsdaten sind die Drahtlänge der Antriebsspule und die Stärke des Magnetfeldes. Man muß, um eine günstige Wirkung zu erzielen, einen langen Draht von großem Querschnitt in einem möglichst starken Magnetfeld unterbringen. Hier muß nun ein Vergleich geschlossen werden, denn bei der Sprechspule kommt es auf die Länge des aufgewickelten Drahtes, bei der Erregerspule des Magneten dagegen auf das Produkt aus Windungszahl und Strom (Amperewindungszahl) an. Vergrößert man also den Durchmesser der Sprechspule, so muß auch der Kerndurchmesser des Magneten vergrößert werden. Es wächst also auch die für eine Windung der Erregerspule benötigte Drahtlänge. Sollen Strom, Windungszahl und Drahtquerschnitt der Erregerspule nun konstant bleiben, dann steigt ihr Widerstand und mit diesem auch die in der Spule in Wärme umgesetzte Leistung. Hält man dagegen die Drahtlänge der Feldwicklung konstant, dann muß der Strom, der geringeren Windungszahl wegen, erhöht werden, was ebenfalls eine Erhöhung der Leistung zur Folge hat. Für die Sprechspule wäre also im Interesse des Wirkungsgrades ein großer, für die Erregerspule zur Erzielung des kleinsten Leistungsverbrauches ein kleiner Durchmesser anzustreben. Als besten Mittelweg habe ich bei meinen Be-

rechnungen und Versuchen einen Kerndurchmesser zwischen 30 und 50 mm gefunden.

Für den Leistungsverbrauch des Feldmagneten ist außerdem sein mechanischer Aufbau sowie das Material, aus dem er besteht, von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Über die mechanische Konstruktion wäre zu sagen, daß man alle unnötigen Stoßfugen und Verschraubungen vermeiden soll, da jede Stoßfuge, wenn sie nicht sorgfältig eingeschliffen ist, für den magnetischen Fluß einen Widerstand bedeutet und ihn schwächt. Ich habe bei meinem Lautsprecher daher Mantel, Boden und Kern des Magneten in einem Stück gießen lassen. Hierdurch bietet sich der weitere Vorteil, daß der Magnetkern, nach dem Abdrehen des Topfes auf der

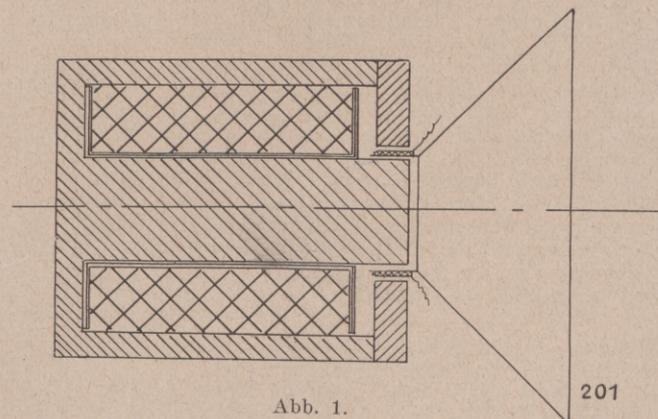


Abb. 1.

Drehbank, sicher und unverrückbar zentriert ist; läßt man dann noch in die Unterseite des Deckels, die sowieso bearbeitet werden muß, eine Nut eindrehen, mit der dieser an der inneren Wand des Topfes sich führt, so ist ein vollkommen zentrischer Zusammenbau des Feldmagneten kein Kunststück mehr.

In den magnetischen Eigenschaften des Gußmaterials bestehen große Unterschiede, und wir können durch Wahl einer geeigneten Eisensorte viel an elektrischer Leistung für das Feld und ein gut Teil Magnetgewicht sparen. Wir brauchen ein Eisen von hoher magnetischer Durchlässigkeit, das also schon durch eine geringe Amperewindungszahl möglichst hoch magnetisiert wird.

Sehen wir uns daraufhin die Magnetisierungskurven oder -tabellen, die in großer Zahl in elektrotechnischen Lehr- oder Taschenbüchern veröffentlicht sind, an, so können wir folgendes feststellen: Am ungeeignetsten ist der hierfür auch schon empfohlene Grauguß. Besser ist Stahlguß und hiervon am günstigsten der sogenannte Dynamoguß. Wie groß der Einfluß des Materials auf den Leistungsverbrauch des Feldmagneten ist, möge ein kleines Rechenbeispiel beweisen. Im Luftspalt solle eine Feldstärke von 7000 Gauß erreicht werden. Die Länge des Luftweges betrage 0,2 cm, die mittlere Länge des Kraftlinienweges im Eisen 33 cm, die einzige Stoßfuge, zwischen oberem Topfrand und Deckel, sei für diese Rechnung außer acht gelassen; sie ist klein gegen

die Spalllänge (L₁). Um im Luftspalt die angegebene Feldstärke zu erreichen, sind: $0,8 B_1 \cdot L_1 = 0,8 \cdot 7000 \cdot 0,2 = 1100$ AW nötig. Aus noch näher zu erörternden Gründen brauchen wir im Eisen eine Feldstärke von 14000 Gauß. Um im Magneten den entsprechenden Fluß zu erzeugen, müssen wir bei Gußeisen etwa 300 AW/cm, für die gesamte Magnetlänge also $300 \cdot 33 = 9900$ AW aufwenden; zusammen hätten wir beim Gußeisenmagneten also: $1100 + 9900 = 11000$ AW für Luft- und Eisenweg nötig. Die Gegen-



Abb. 2.

rechnung für dasselbe Magnetgehäuse aus Stahlguß ergibt für den Luftspalt, wie oben, 1100 AW, für das Eisen jedoch nur 25 AW/cm, oder $25 \cdot 33 = 825$ AW für die gesamte Eisenlänge. Die Gesamterregung für Luft und Eisen beträgt also $1100 + 825 = 1925$ AW. Nehmen wir nun an, unsere Feldspule habe 4000 Windungen mit einem Widerstand von 50 Ohm, so müßten wir im ersten Fall einen Strom von $11000 : 4000 = 2,75$ Amp und eine Leistung von $2,75^2 \cdot 50 = 376$ Watt aufwenden; die hierzu erforderliche Spannung wäre $2,75 \cdot 50 = 137$ Volt. Im zweiten Fall (Stahlguß) brauchte unser Magnet $1925 : 4000 = 0,48$ Amp bei 24,1 Volt, also eine Leistung von 11,2 Watt, eine Stromersparnis, um derenwillen sich eine sorgfältige Auswahl des Magneteisens wohl lohnt! In der soeben durchgeführten Rechnung war die Feldstärke im Eisen etwa doppelt so hoch angesetzt als im Luftspalt. Dies hat seinen Grund darin, daß nicht alle Kraftlinien, die aus dem Eisen austreten, geradlinig den Luftspalt durchsetzen, sondern sich aus dem Spalt herauszudrängen suchen, „streuen“, und damit für den eigentlichen Zweck verlorengehen. Diese Streuung, die sich durch geeignete Formgebung und Material der Polstücke auf etwa 45 bis 50 v. H. des Gesamtflusses herabdrücken läßt, muß natürlich für den Fluß im Eisen berücksichtigt werden.

Die nun folgende Tabelle 1 möge, als Ergebnis einer Meßreihe an einem ausgeführten Stahlgußmagneten, Aufschluß geben über den für verschiedene magnetische Feldstärken im Luftspalt erforderlichen Leistungsaufwand.

Der Magnet besaß einen Kern von 40 mm Durchmesser, einen Luftspalt von 2 mm Breite und eine Kupferwicklung von 55 Ohm. Er lag zur Messung über einen veränderlichen Vorschaltwiderstand am Lichtnetz. Zur Bestimmung des Leistungsaufwandes wurde die Spannung an den Enden der Wicklung gemessen und daraus Strom und Leistungsverbrauch berechnet. Die Meßmethode zur Bestimmung des Magnetfeldes zu beschreiben, würde an dieser Stelle zu weit vom eigentlichen Thema fortführen. Es war:

Tabelle 1.

E	J	L	B
Volt	Amp	Watt	Gauß
10,5	0,21	2,2	4080
16	0,31	5	5500
26,5	0,51	13,6	7200
108	2,1	230	7750

Die geringste hier gemessene Feldstärke von 4000 Gauß, die mit ungefähr 2 Watt erreichbar ist, dürfte für den Be-

trieb als Zimmerlautsprecher schon genügen, es ist die, die von der AEG fabrizierte Geakord-Lautsprecher nach den Angaben der Firma auch besitzt. Eine Leistung von 2 Watt kann man aber getrost dem Heizakku noch entnehmen, ohne ihn allzurasch zu entladen, den 4 Volt und 0,5 Amp gibt noch jede normale Heizbatterie ohne Schaden und zu rasche Entladung her. Auch die Angaben der zweiten Spalte sind für einen Betrieb aus der Heizbatterie noch diskutabel, während man die zur Erreichung der höchsten Feldstärke von ungefähr 7000 Gauß nötige Leistung wohl besser dem Lichtnetz entnimmt. Die letzte Spalte endlich läßt erkennen, daß eine Steigerung des Stromes über 0,5 Amp bei dem vorliegenden Magneten nur Stromverschwendung wäre: die Erhöhung der Leistung bringt hier kaum noch eine merkliche Erhöhung der Feldstärke.

Für alle Messungen wurde, wie schon oben gesagt, immer dieselbe Magnetwicklung benutzt, und daher ergaben sich dann auch die recht unhandlichen Betriebsspannungen. Beim Bau des Magneten wird meist die Spannung gegeben sein, und man hat dann die Wahl des Stromes und der Drahtwicklung frei. Die Tabelle 2 möge hierfür als Anhalt dienen. Drahtstärken und Betriebsstrom sind hier so berechnet, daß der Apparat auch bei mehrstündigem Betrieb kaum handwarm werden dürfte.

Tabelle 2.

E	I	L	Draht-	Draht-	Windungs-	Ampere-
Volt	Amp	Watt	durchmesser	belastung	zahl	windungen
			mm	Amp/mm ²		
4	0,5	2	0,98	0,67	1580	790
4	1	4	1,2	0,9	1200	1200
25	0,5	12,5	0,6	1,8	4000	2000
40	0,3	12	0,4	2,4	5000	1500
100	0,13	13	0,3	1,85	15400	2000
200	0,068	13,6	0,2	2,16	29400	2000

Die Wicklungen für 4 und 25 Volt werden mit Lackdraht, diejenige für 40 Volt mit doppelbaumwolleumsponnenem und die für 100 und 200 Volt mit einmal seideumsponnenem Lackdraht ausgeführt. Die beiden 4 Volt-Wicklungen können ohne Bedenken auch an 8 Volt gelegt werden. Die Ampere-windungszahl wird damit auf das Doppelte, der Leistungsverbrauch auf das Vierfache erhöht. Die Kurve Abb. 2 bringt noch einmal die erreichte Feldstärke im Luftspalt in Abhängigkeit von der magnetischen Erregung (Ampere-windungszahl). Vergrößert man, um das Zentrieren der Antriebspule zu erleichtern, den Luftspalt auf 3 mm, so sinkt die in ihm herrschende Kraftliniendichte bei Innehaltung der in Tabelle 2 gegebenen Daten auf etwa 5500 Gauß.

Bevor ich die allgemeine Beschreibung schließe, will ich über die Anschaltung, oder besser gesagt Anpassung des Lautsprechers an den Endverstärker noch einige Worte sagen.

Im Anodenkreis unseres Leistungsverstärkers fließt beim Betrieb ein pulsierender Gleichstrom, den wir in einen reinen Gleichstrom und einen darüber gelagerten Wechselstrom zerlegen können. Würden wir die Antriebspule unseres Lautsprechers nun direkt in den Anodenkreis legen, so würde die Gleichstromkomponente, wie bekannt, eine unsymmetrische Vorbelastung des Lautsprechers hervorrufen, die Verzerrungen der Wiedergabe zur Folge hätte. Wir müssen das Lautsprechersystem daher entweder durch eine Drosselkopplung (elektrische Weiche) oder durch einen Transformator mit der Röhre koppeln. Welche Art der Ankopplung man wählt, ist theoretisch ziemlich gleichgültig. Die Drosselkopplung hat nur den Vorteil, daß die Verluste, die beim Transformator durch den Ohmschen Widerstand der Sekundärwicklung entstehen, in Fortfall kommen, sie verlangt dafür aber auf dem Konus ziemlich hohe Windungszahlen von sehr dünnem Draht, und derartige Wicklungen sind nicht immer leicht und fehlerfrei herzustellen. Im Betrieb sind beide Arten der Ankopplung annähernd gleichwertig, richtige Anpassung vorausgesetzt. Diese Anpassung darf nicht auf die größte erreichbare Lautstärke geschehen, man muß vielmehr auch hier Kompromisse schließen und zugunsten des Frequenzbereiches auf maximale Lautstärke verzichten. Die folgende Tabelle gibt für verschiedene Röhrenimpedanzen (Spalte 1) in der zweiten Spalte die Induktivitäten der Ausgangsdrossel und in Spalte 3 und 4 die Windungszahlen und Drahtstärken für die Hochohmwicklung

des Lautsprecherkonus. Für die Primärwicklung des Ausgangstransformators gelten ebenfalls die Angaben der Spalte 2; Spalte 5 gibt das Übersetzungsverhältnis des Transformators bei Verwendung eines Konus von etwa 3 Ohm Widerstand. Über die Windungszahlen von Transformator und Drossel kann ich hier keine Angaben machen, sie hängen von den Abmessungen des Eisenkernes ab. Hier sei nur gesagt, daß der Kern auch bei den höchsten auftretenden Anodenströmen nicht gesättigt sein darf.

Tabelle 3.

Ri	LHy	n	Draht- durchmesser mm	ü
7000	22	2500	0,05	20
6000	19	2000	0,05	19
5000	16	1700	0,05	17,5
4000	13	1400	0,06	15,5
3000	9,5	1200	0,06	13,5
2000	6,5	960	0,07	11
1000	3,2	700	0,08	8
500	1,6	460	0,10	5,5

Im ersten Teil des Aufsatzes haben wir Betrachtungen angestellt über die günstigste Dimensionierung der Einzelteile für ein elektrodynamisches Lautsprechersystem. In den nun folgenden Zeilen sei über die Herstellung des Lautsprechers sowie über einige geeignete Empfangsgeräte noch berichtet.

Die Fertigmaße des Gußstückes zeigt die Maßskizze Abb. 3. Nach dieser Skizze läßt man sich, am besten von einem Modellschler, die erforderlichen Holzmodelle herstellen. Es sei jedoch gleich verraten, daß diese Modelle ein ziem-

lich kompliziertes Gebilde darstellen, wenn die Stahlgießerei danach einen sauberen Guß liefern soll. Sie sind daher auch entsprechend teuer, so daß sich ihre Herstellung nur beim Bau einer größeren Anzahl von Lautsprechern lohnt. Da mir nun nichts daran liegt, hier eine Baubeschreibung zu geben, deren Befolgung für einen einzelnen der hohen Kosten wegen unrentabel ist, und da sich andererseits nicht immer gleich eine größere Anzahl Gleichgesinnter zum Bau zusammenfinden dürfte, möchte ich an dieser Stelle den Vorschlag machen, daß alle die Bastler oder Gruppen, die nur einen oder wenige Lautsprecher bauen wollen, zur Verbilligung der Herstellung ihre Anschriften bei der Schriftleitung des „Funk“ aufgeben; sollte hierbei eine genügende Anzahl Bestellungen zusammenkommen, so dürfte sich wohl ein Weg finden lassen, auf dem auch der einzelne billig zum Ziel kommt.

Zum Wickeln der Feldspule benutzen wir einen Holzkern von 40 mm Durchmesser, auf den wir als Spulenkörper ein Pertinaxrohr von 45 mm Außendurchmesser schieben. Holzkern und Rohr sollen genau die Spulenlänge besitzen. Auf das Rohr werden rechts und links je eine dünne Endscheibe aus Preßspan geschoben, dann erhält der Kern an beiden Seiten Endscheiben, gegen die beim Wickeln die Preßspan-scheiben der Spule gedrückt werden. Vor dem Befestigen der Endscheiben am Kern werden zwischen Kern und Pertinaxrohr vier Stückchen Leinenband hindurchgezogen; diese sollen später die fertig gewickelte Spule zusammenhalten, müssen also dementsprechend lang genommen werden und vor Beginn der Wickelarbeit richtig auf den Umfang verteilt sein. Die Wicklung soll möglichst gleichmäßig werden, und man tut gut daran, die Spule auf einer einfachen Wickelvorrichtung herzustellen. Dazu erhält der Holzkern auf der einen Seite eine Achse mit Kurbel, auf der anderen

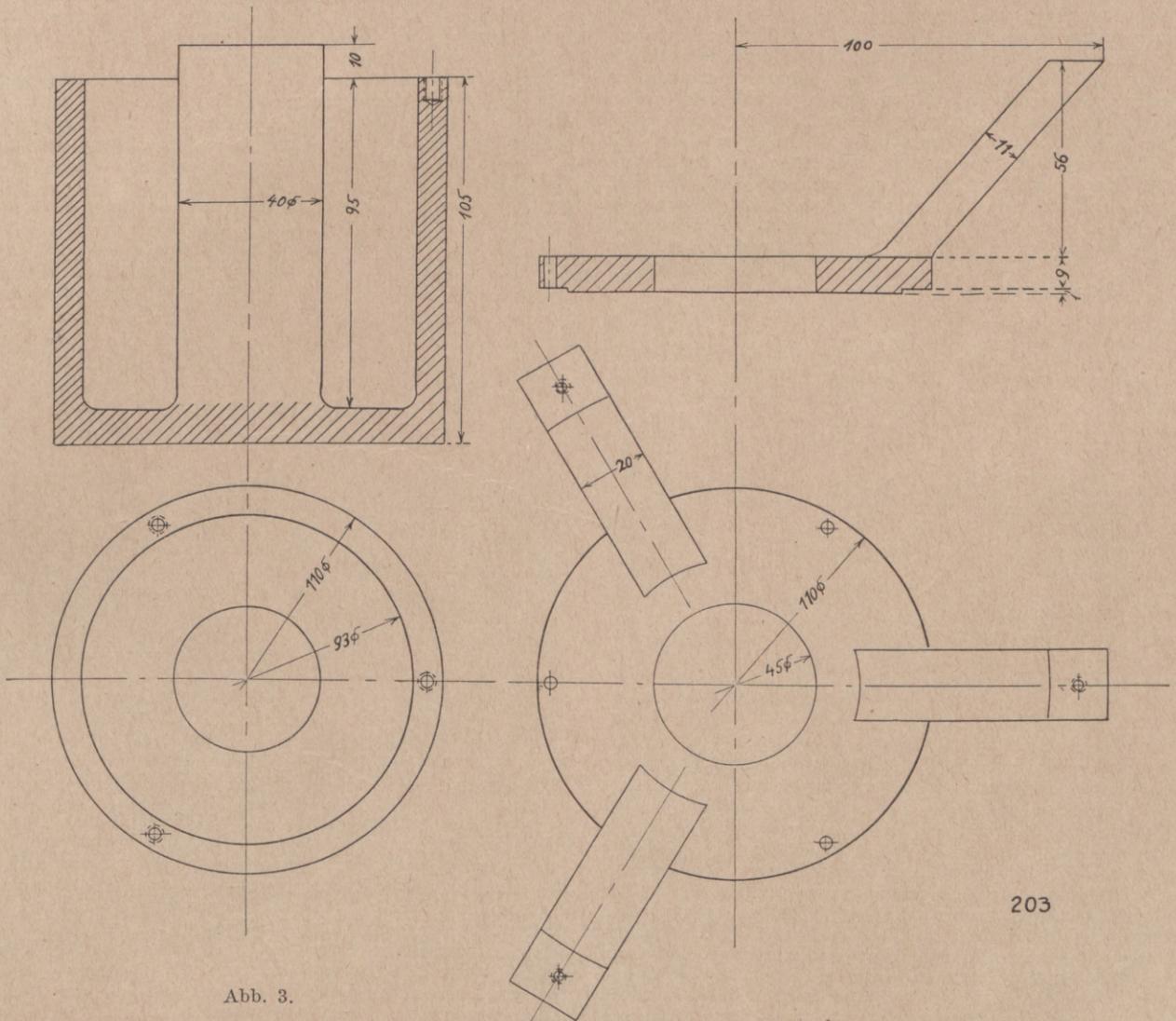


Abb. 3.

einen kurzen Achsstummel und wird damit, etwa in zwei Eisenwinkeln, gelagert, wie dies Abb. 4 zeigt. Ist die Spule voll gewickelt, so werden die beiden Enden eines jeden Leinwandstreifens außen herum recht straff gespannt und zusammengenäht. Man kann hierauf die fertige Spule als festen Körper vom Kern abziehen und auf den Kern des

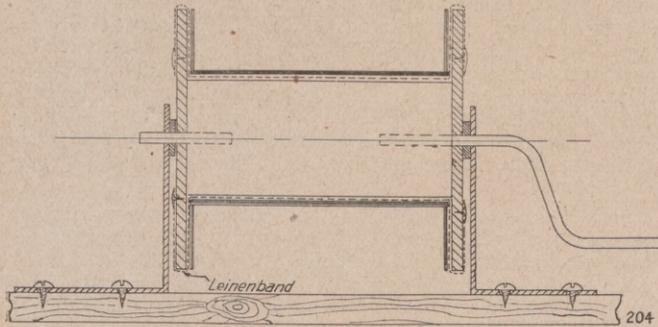


Abb. 4.

Feldmagneten aufschieben. Die Enden der Wicklung werden mit Rüscht-Schlauch isoliert und durch einen Schlitz im oberen Rand des Topfes herausgeführt. Damit wäre der Magnet fertig, und wir können uns nun der Herstellung der Membran und ihrer Antriebsspule zuwenden.

Die Membran wird aus nicht zu starkem Zeichenpapier nach dem Muster der Abb. 5 ausgeschnitten. Die punktiert angedeuteten Überlappungen werden, damit an der Klebestelle keine Materialanhäufungen entstehen, vorsichtig mit feinem Sandpapier dünn geschliffen. Die Lederaufhängung des Konus wird aus vier Segmenten (Abb. 6) hergestellt, die mit ihrer einen Kante längs der strich-punktierten Linie auf dem Innenrand des Konus, etwa mit Syntetikon, festgeklebt werden. Zur Aufhängung kann man dünnes Fensterleder verwenden; ich habe mit gutem Erfolg auch schon alte, dienstunfähige Glacéhandschuhe benutzt. Nach dem Trocknen des Klebstoffes wird der Konus am äußeren Rand der Ledereinfassung mit Stecknadeln auf einer ebenen Unterlage (Reißbrett) nicht zu straff aufgespannt (Abb. 7). Ein Ring aus Preßspan oder Pappe von etwa 1 mm Stärke und den in Abb. 8 gegebenen Abmessungen wird auf der einen Seite mit Syntetikon bestrichen und mit dieser so auf den Lederring gelegt, daß er vom Rande des Konus überall gleichen Abstand hat.

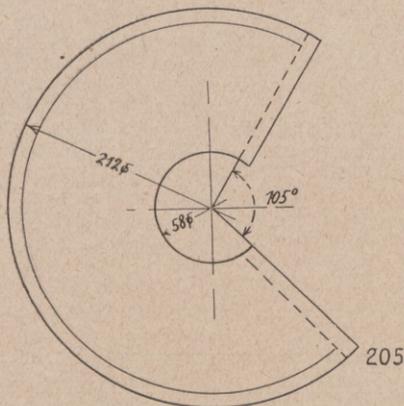


Abb. 5.

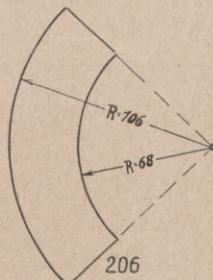


Abb. 6.

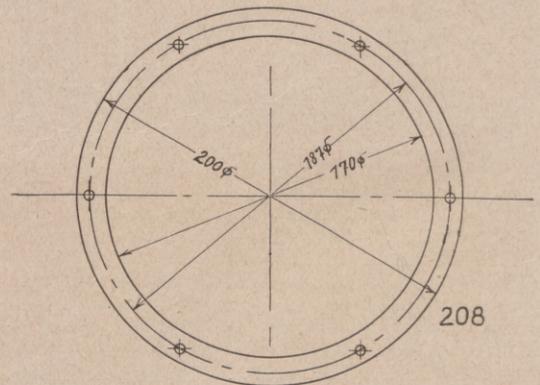


Abb. 8.

Der Träger der Antriebsspule wird aus demselben Papier hergestellt wie der Konus. Wie er auszuschneiden ist, zeigt Abb. 9. Er wird, damit er den richtigen Durchmesser erhält, über dem Holzkern, auf dem wir vorher die Feldspule gewickelt haben, zusammengeklebt. Vor dem Umlegen des Papierstreifens wird an den Holzkern eine Lage Kupferdraht von 0,5 mm Durchmesser aufgebracht. Die Papierform wird an den Enden noch durch 3 mm breite Papierstreifen verstärkt, die bis zu einer Stärke von etwa 1 mm aufgewickelt werden. Die Form wird nun schellackiert und dann mit der Bewicklung begonnen. Die niederohmige Wicklung für den Anschluß an einen Ausgangstransformator wird in zwei Lagen aufgebracht und auf der Seite der Form be-

gonnen, mit der diese später an den Konus geklebt wird. Verwandt wird Kupferdraht einmal seidenumspinnen von 0,25 mm Durchmesser. Die Windungszahl beträgt etwa 80. Schließlich wird die ganze Spule noch einmal mit Schellack bestrichen und darauf möglichst scharf getrocknet. Das Trocknen geschieht am einfachsten dadurch, daß man einen nicht zu starken Strom durch die Wicklung der Spule schickt; die niederohmig gewickelte Antriebsspule kann man hierzu an einen 4 Volt-Akku legen, muß dabei aber achtgeben, daß die Seidenumspinnung des Drahtes nicht verbrennt. Für die hochohmigen Wicklungen mit ihren dünnen Drähten ist dieses Trockenverfahren zu gefährlich, der Draht schmilzt zu leicht durch, und man hat das zweifelhafte Vergnügen, die ganze Wicklung von vorn zu beginnen. Die dünnadrätigen Wicklungen heizt man zum Trocknen daher am besten von außen, wozu ich mit Vorliebe immer den „Fön“ nehme. Den Spiritus im Backofen aus der schellackierten Wicklung herauszudestillieren, dürfte nicht ganz ungefährlich sein, es sei denn, daß der Ofen elektrisch geheizt ist. Das Trocknen im Freien (am Akku oder mit dem „Fön“) wird fortgesetzt, bis der Schellack aufhört zu „kochen“. Danach wird die Beheizung fortgenommen und die Spule zum vollständigen Erhärten noch 24 Stunden liegen gelassen. Beim Lackieren achte man darauf, daß die Klebezacken, mit denen die Spule später an dem Konus befestigt wird, nicht mitlackiert werden, sie lassen sich sonst nicht gut kleben. Ist die Antriebsspule vollständig erhärtet, so wird die Bewicklung des Holzkerns vorsichtig unter der Spule herausgezogen; diese fällt dadurch ohne Anwendung von Gewalt vom Kern. Die Klebezacken werden nun durch die engere Öffnung in den Konus eingeführt, von innen angeklebt und, etwa mit einer Glühlampe von geeignetem Durchmesser, festgedrückt. Die Zuleitungsdrähte der Spule werden außen am Konus straff entlanggeführt und am Außenrande festgenäht. Die Drähte und der unter ihnen befindliche Streifen des Konus werden nun mit einem Benzol getränkten Wattebausch gereinigt und mit einer dicken Schicht Paragummilösung bedeckt. Beim Auftrocknen zieht sich die Gummischicht zusammen und hält so die Zuleitungsdrähte auf dem Papier fest. An drei um je 120° versetzten Stellen werden in den oberen Verstärkungsring der Spule mit einer Nähnadel Löcher gestochen und darin je ein Seidenfaden festgeknotet. Zum Schluß wird endlich der ganze Konus mit dünner Schellacklösung innen und außen bestrichen. Den fertigen Konus zeigt Abb. 7. Die Befestigung der Membran am Lautsprecher kann auf viele Arten erfolgen; zwei davon will ich hier angeben. Die erste und billigere besteht darin, daß man den Ring des Konus

zwischen zwei passend ausgeschnittenen Holzplatten festklemmt und diese dann auf die drei am Deckel des Magneten angegossenen Streben aufschraubt (Abb. 10). Für die zweite, etwas elegantere Befestigungsart läßt man sich vom Mechaniker zwei Ringe nach den in Abb. 8 gegebenen Maßen aus 2 mm starkem Eisen- oder Aluminiumblech ausstechen und befestigt mit diesen den Konus auf den Streben des Magnetdeckels. Beim Zusammenbau achte man von vornherein darauf, daß die Antriebsspule frei im Luftspalt hängt. Jetzt sind die drei Zentrierfäden nur noch durch die Ösen der drei Spannschrauben (Abb. 11) zu ziehen und darin festzuknoten. Zum Schluß werden endlich die Zentrierfäden vorsichtig so weit angespannt, daß die Antriebsspule

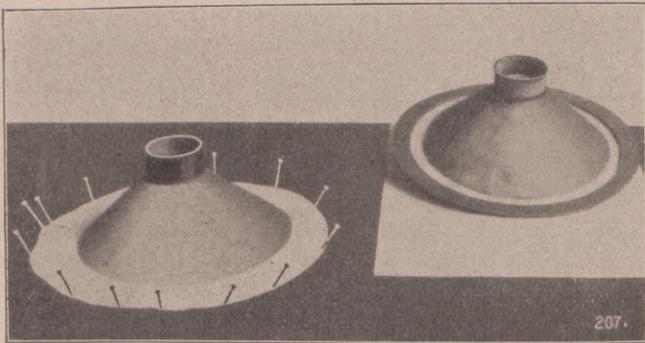


Abb. 7.

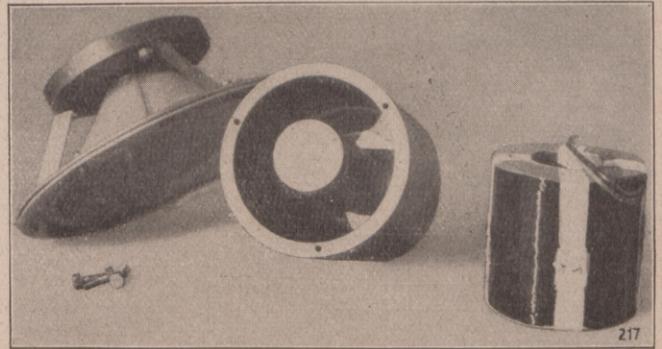


Abb. 17.

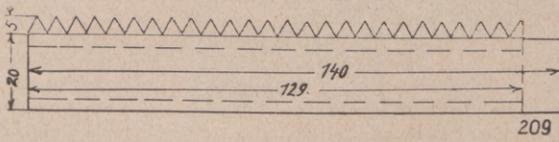


Abb. 9.

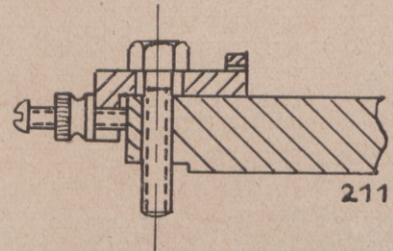


Abb. 11.

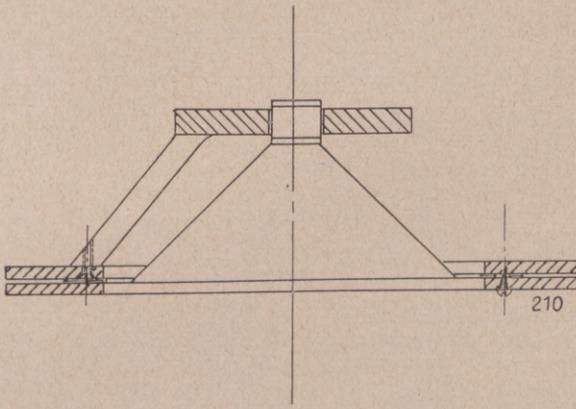


Abb. 10.

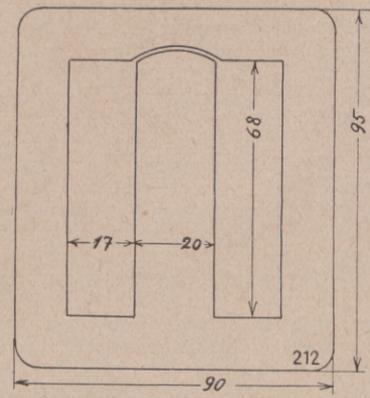


Abb. 12.

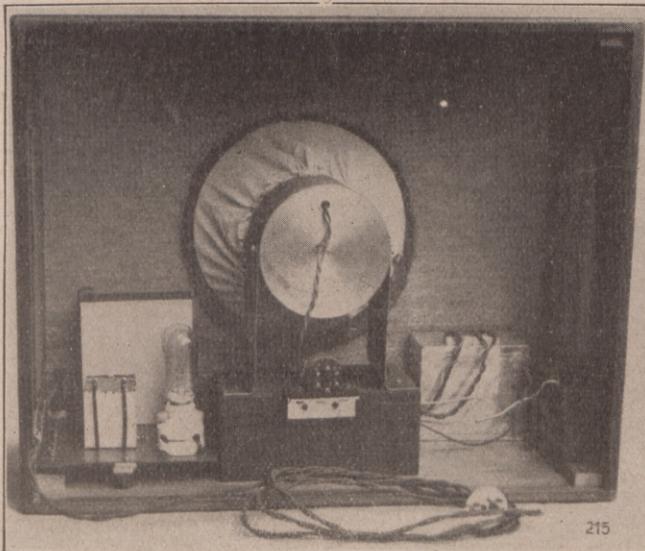


Abb. 15.

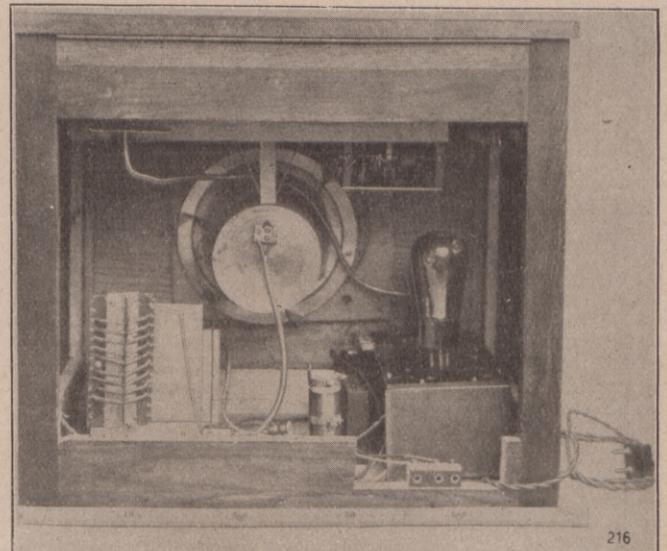


Abb. 16.

im Luftspalt frei und ungehindert schwingen kann und die Wicklung der Antriebsspule in der Achsrichtung gleich weit auf beiden Seiten des Luftspaltes hervorsteht.

Für den Ausgangstransformator des Verstärkers benutzte ich einen Eisenkern von 100 Blechen mit den in Abb. 12 angegebenen Abmessungen. Die für eine bestimmte Induktivität benötigte Windungszahl gibt die untenstehende Kurventafel (Abb. 13). Die Sekundärwicklung des Trans-

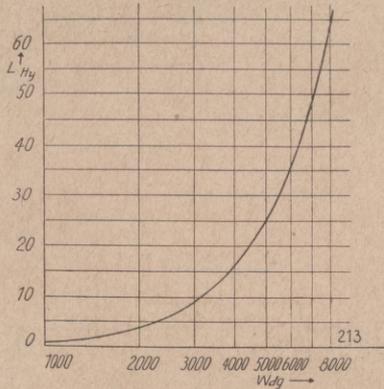


Abb. 13.

formators zum Anschluß der niederohmigen Konuswicklung bestand bei dem angegebenen Kern in allen Fällen aus 230 Windungen eines Lackdrahtes von 0,5 mm Durchmesser.

Damit wäre die Beschreibung des Lautsprechers am Ende. Über seinen Einbau irgendwelche Vorschriften zu machen, halte ich nicht für ratsam; es muß jedem einzelnen überlassen bleiben, ob er den Lautsprecher in einen Schallschirm einbaut und diesen etwa als Ofenschirm frisiert, oder ob er den Lautsprecher, wie ich es tat, mit dem Netzanschlußgerät zusammen in ein Gehäuse baut und die Feldwicklung des Lautsprechers gleichzeitig als Netzdrossel für Heizung und Anodenspannung benutzt. Das Schaltschema dieser Anlage zeigt Abb. 14. Die Abb. 15 zeigt die ausgeführte Anlage. Die Feldwicklung des Lautsprechers dient hier zur Filterung des gesamten Betriebsstromes, als Vorschaltwiderstand für die Heizung sind zwei kleine Kohlefadenlampen benutzt, wie sie sonst in sogenannten Parfum-Verdunstern Verwendung finden. Der Empfänger, für Empfang des Ortssenders gebaut, ist ein Primäraudion mit Rückkopplung, der Verstärker ist auf großen Frequenzbereich berechnet, wie ich es in einem früheren Aufsatz bereits beschrieb, die Endstufe enthält zwei parallel geschaltete RE 134.

Die letzte Abb. 16 zeigt ein Schallplattengerät mit Anschluß für einen Rundfunkempfänger. Der Verstärker, mit

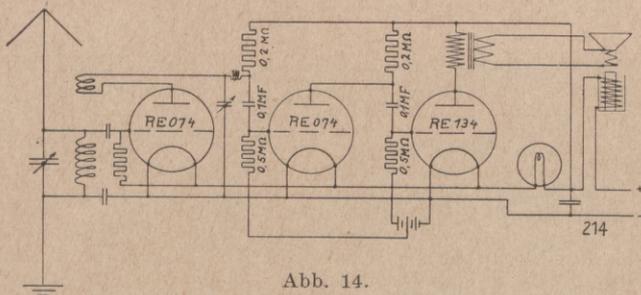


Abb. 14.

einer RE 084 als Vor- und einer RE 604 als Endstufe, ist nach der kürzlich¹⁾ von mir an dieser Stelle vorgeschlagenen Schaltung gebaut. Auch bei diesem Gerät werden Heiz- und Anodenspannung des gesamten Verstärkers dem Gleichstromnetz entnommen. Gegen den Zusammenbau des Lautsprechers mit dem Verstärker bestehen bei Verwendung der modernen Azidfadendrüben wohl kaum Bedenken, ich habe jedenfalls, auch bei kleinem Abstand der Röhren vom Lautsprecher, bei den genannten Röhren keine akustische Rückkopplung erhalten. Wenn ich hier als Ausführungsbeispiele zwei Verstärker mit verhältnismäßig großen Endstufen zeigte, soll damit nicht gesagt sein, daß der Lautsprecher mit kleine-

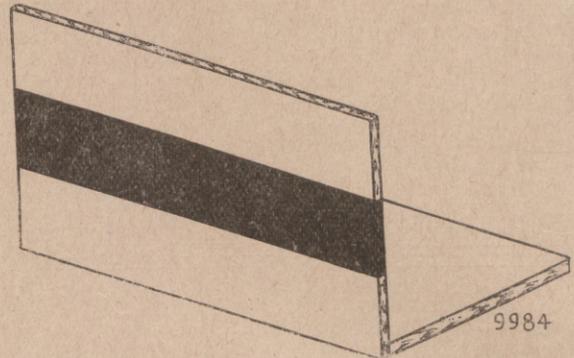
¹⁾ Vgl. den Aufsatz im „Funk-Bastler“, Heft 39, Jahr 1929, Seite 623.

ren Leistungen nicht betriebsfähig sei. Man kann auch mit normalen Rundfunkempfängern ganz zufriedenstellende Ergebnisse erzielen.

Hoffentlich haben die vorstehenden Zeilen gezeigt, daß auch ein guter elektrodynamischer Lautsprecher in Bau und Betrieb nicht so schwierig zu handhaben ist, wie es scheinen mag. Allen, die sich an den Bau wagen, sei viel Freude an der Arbeit und am Erfolg gewünscht.

Sparmöglichkeit bei Hartgummi-Frontplatten.

Einer der teuersten Teile bei der Herstellung des Empfangsgerätes ist oft die Hartgummi-Frontplatte. Deshalb liegt es nahe, danach zu trachten, die Kosten herabzudrücken. In sehr vielen Fällen ist es jedoch nicht nötig,



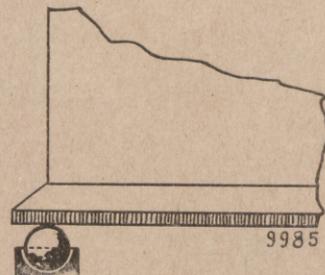
für die Montage aller Teile unbedingt Hartgummi zu verwenden. So könnte man z. B., wie in der Abbildung angegeben, nur etwa in der Mitte einen Streifen Hartgummi einsetzen und für die anderen beiden Drittel Holz verwenden. Auf dem Isolierstreifen werden dann die empfindlichsten Teile montiert. Als Buchsen benutzt man dann solche mit Isoliermuffen. Die Holzplatten können noch tiefschwarz und poliert gemacht werden.

Kurzschluß-Verhütung.

Mitunter ist es notwendig, während des Betriebes eine kleinere Prüfung oder Reparatur im Innern eines Empfängers vorzunehmen. Viele Amateure hantieren in dem Drahtgewirr unbedenklich mit dem blanken Schraubenzieher oder dem Schraubenschlüssel. Damit ist jedoch eine große Gefahr verbunden, denn durch eine unglückliche Berührung zweier Drähte oder Buchsen können mit einem Schlage alle Röhren durchbrennen. Es ist deshalb von großem Vorteil, wenn man überhaupt in einem eingeschalteten Gerät arbeitet, Schraubenzieher und -schlüssel mit Isolierband zu umwickeln.

Federnde Aufstellung des Empfangsgerätes.

Ein empfindliches Gerät reagiert sehr zum Nachteil des Empfanges auf die geringsten Erschütterungen und verursacht eine Klirren der Röhren, was wiederum der Lautsprecher bemerkbar macht. Oftmals helfen Röhrenschützer allein nicht, die Störungen zu beseitigen. In solchen Fällen muß der ganze Apparat federnd aufgestellt werden. Zu diesem Zweck beschafft man sich vier kleine Voll-



gummibälle, die man, je einen in einem kleinen Näpfchen (z. B. solche für Farben), unter die Ecken des Empfängers stellt. Dadurch werden auch starke Erschütterungen völlig aufgehoben.

Eine Röhrenvergleichstabelle

Die Röhrenfabriken sind durch wirtschaftliche Gründe zu einer weitgehenden Normung der Röhren gezwungen worden, zu einer so durchgreifenden sogar, wie sie technische Gesichtspunkte allein vorläufig noch nicht hätten zustande kommen lassen. Da die deutschen Apparatefabriken für ihre Empfänger durchweg Telefunken-Röhren vorschreiben, müssen die Geräte so gebaut sein, daß sie mit den vorgeschlagenen Röhren Höchstleistungen erzielen lassen. Will man Röhren anderen Fabrikaten einsetzen, so müssen diese nicht nur die gleichen Heizdaten aufweisen, sondern sie müssen auch in allen anderen Eigenschaften mit den Telefunken-Röhren übereinstimmen, soll sich nicht

letzten Funkausstellung hat auch die Tekade die Umstellung vollzogen; es wurde eine große Zahl neuer Röhren herausgebracht, die in ihren Daten den Telefunken-Röhren durchaus entsprechen. Ultra bietet ebenfalls einige Röhren, die den Austausch gegen die hauptsächlichlichen Telefunken-Röhren zulassen.

Die Röhrenhändler raten trotz allen internen, von den einzelnen Röhrenfabriken herausgegebenen Vergleichstabellen nicht immer dazu, die genau passenden Austauschröhren zu kaufen, wenn jemand den Wunsch hat, an Stelle von Telefunken-Röhren ein anderes Fabrikat, oder an Stelle der bisher gebrauchten Valvo-Röhren nun einmal solche

Art und Verwendung der Röhre ¹⁾		Wichtigste Daten						Typenbezeichnung der Röhre			
Batterieröhren	Wechselstromröhren	Heizspannung	Heizstrom	Anodenspannung	Stellheit	Durchgriff	Verstärkungsfaktor	Tekade	Telefunken	Ultra	Valvo
		Volt	Amp	Volt	mA/V	v. H.					
Anfangsstufenröhre HANO		4,0	0,06	40—150	1,1	10	10	4 H 07	RE 074	[UL 411 A]	H 406
Audionröhre ANO		4,0	0,08	40—150	1,8	6	16	4 A 08	RE 084	[UL 409 A]	A 408
Widerstandsverstärker- röhre HW		4,0	0,06	40—200	1,2	4	25	4 W 03	RE 034	UL 405 W	W 406
Lautsprecherröhre L		4,0	0,15	40—150	1,4	20	5	4 L 11	RE 114	UL 412 E	L 410
Lautsprecherröhre L		4,0	0,15	40—150	2,0	20	5	4 L 12	RE 124	Orchestron 4	L 414
Lautsprecherröhre L		4,0	0,15	40—200	2,0	10	10	4 L 13	RE 134	—	L 413
Große Lautsprecher- röhre LK		4,0	0,3	70—200	2,0	20	5	[4 K 30]	RE 304	—	LK 430
Kraftverstärker- röhre LK		4,0	0,6	70—200	3,5	27	3,5	[4 K 50]	RE 604	UL 440 L	LK 460
Kraftverstärker- röhre K		7,5	1,1	200—400	2,0	14	7	—	RV 218	—	LK 8100
Doppelgitterröhre HAN		4,0	0,07	2—20	0,8 ÷ 1,0	22	4,5	—	RE 074d	—	U 409 D
Schirmgitterröhre H		4,0	0,06	100—200	0,4	0,2	500	—	RES 044	—	[H 406 D]
Schirmgitter-End- röhre L		4,0	0,15	100—200	2,0	1,0	100	—	RES 164d	—	[L 415 D]
Indirekt beheizte Wechselstromröhren	Audionröhre AW	4,0	1,1	40—200	2,3	6,0	16	4 H 80	REN 804	—	A 4100
	Anfangsstufen- röhre HAN	4,0	1,1	70—200	1,5	10	10	4 A 120	REN 1104	Sinus A	—
	Widerstandsver- stärker- röhre AW	4,0	1,1	100—200	—	3	33	W 4100	REN 1004	Sinus W	W 4100
	Lautsprecherröhre L	4,0	2,2	100—200	3,0	10	10	4 U 130	REN 2204	—	L 4100
	Schirmgitterröhre H	4,0	1,1	100—200	1,0	0,4	250	—	RENS 1204	—	[H 4100 D]
	Anfangsstufen- röhre HAN	1,0	0,5	60—120	0,5	10	10	1 W 51	REN 511	—	[H 125]
Wechselstrom- Kurzfadennröhren	Widerstandsver- stärker- röhre WA	1,0	0,5	100—200	—	3	33	1 W 50	REN 501	—	[W 125]
	Lautsprecherröhre L	1,0	0,6	40—150	1,2	15	6,5	1 W 61	REN 601	—	[L 160]

eine Leistungsverminderung ergeben. Ein solcher Leistungsabfall kann auch durch an sich bessere Röhren begründet sein, nämlich dann, wenn die Röhre früher zum Schwingen kommt und man bei dem Empfänger, der auf weniger früh schwingende Röhren eingestellt ist, aus der Rückkopplung gar nicht herauskommt.

Damit die Röhrenfabriken ihre Röhren also für alle Empfänger verkaufen können, die für Telefunken-Röhren dimensioniert sind, mußten sie ihren Röhren im wesentlichen die gleichen Daten geben, die die Telefunken-Röhren aufweisen. Bei den Valvo-Röhren, die ihrerseits mit den Daten der Philips-Röhren übereinstimmen, ist das schon seit langem der Fall; die vorhandenen Abweichungen sind geringfügiger Natur und stellen das einwandfreie Arbeiten des Gerätes bei Verwendung dieser Röhren an Stelle der entsprechenden Telefunken-Typen nicht in Frage. Zur

von Telefunken zu gebrauchen. Sie richten sich mehr oder weniger nach dem vorhandenen Lager, empfehlen vor allem das Fabrikat, das ihnen durch großzügigere Rabattgewährung eine größere Verdienstspanne beläßt. Um unsere Leser in den Stand zu setzen, selbständig, ohne Befragen des Händlers, und ohne Briefe an das „Funk-Bastler“-Laboratorium richten zu müssen, die Wahl der passenden Röhren eines anderen Fabrikates vornehmen zu können, veröffentlichen wir heute eine Röhren-Vergleichstabelle, in die die genau übereinstimmenden Typen der vier deutschen Röhrenfabriken eingetragen sind. Manche Typen weisen kleine Abweichungen gegen die als Norm angenommenen Telefunken-Röhren auf; soweit diese Abweichungen eine gleichartige Funktion der Röhren nicht in Frage stellen, wurden sie nicht weiter berücksichtigt. Gehen die Unterschiede über ein gewisses Maß hinaus, so wurde die Typenbezeichnung in Klammern gesetzt. Die Abweichungen von den Normaldaten werden nachstehend zusammengestellt:

UL 411 A: Heizstrom 0,15 statt 0,06 Amp.

¹⁾ A = Audion-, H = Hochfrequenz-, N = Niederfrequenz-, W = Widerstandsverstärker-
röhre, O = Oszillatorröhre, L = Lautsprecher-, K = Kraftverstärker-
röhre.

- UL 409 A: Durchgriff 10 statt 6 v. H.
- 4 K 30: Steilheit 3,6 statt 2,0 mA/V, Durchgriff 15 statt 20 v. H., Anodenspannung nur bis 150 Volt.
- 4 K 50: Steilheit 5,0 statt 3,5 mA/V, Heizstrom 0,5 statt 0,6 Amp.
- H 406 D: Steilheit 0,8 statt 0,4 mA/V, Durchgriff 0,6 statt 0,2 v. H.
- L 415 D: Während bei der RES 164 D die Schirmgitterspannung der halben Anodenspannung entsprechen und höchstens 80 Volt betragen soll, muß bei der L 415 D die Schirmgitterspannung der Anodenspannung

- gleichgemacht werden. Bei der L 415 D darf die Anodenspannung außerdem nur 150 Volt betragen, und die Steilheit beträgt 1,5 mA/V statt 2 mA/V.
- H 4100 D: Steilheit 1,2 statt 1,0 mA/V, Durchgriff 0,1 statt 0,4 v. H.
- H 125: Heizstrom 0,25 statt 0,5 Amp, Steilheit 1,2 statt 0,5 mA/V.
- W 125: Heizstrom 0,25 statt 0,5 Amp, Durchgriff 4 statt 3 v. H.
- L 160: Steilheit 2,4 statt 1,2 mA/V, Durchgriff 20 statt 15 v. H.

Verzerrungsfreie Hochfrequenzverstärker

Von

Dr.-Ing. A. Kofes.

Zahlreiche dem Verfasser des Aufsatzes „Verzerrungsfreie Hochfrequenzverstärker“ in Heft 31 des „Funk-Bastler“, Jahr 1929, zugegangene Zuschriften, die sich besonders auf die Art des Zusammenbaues und die Berechnung der verwendeten Siebketten erstrecken, geben Veranlassung zu der nachstehenden Ergänzung.

Zunächst einige Worte zur Berechnung der Siebketten. Die zu berechnende Siebkette habe eine Gestalt, wie sie

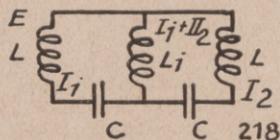


Abb. 1.

Abb. 1 zeigt. Sie besteht also aus zwei Kondensatoren, die in der Leitung liegen, und drei Spulen, die zwischen den Leitungen eingeschaltet sind. Um festzustellen, wie sich eine derartige Kette verhält, wenn eine elektromagnetische Schwingung veränderlicher Frequenz durch sie hindurchgeht, müssen wir annehmen, daß bei E eine elektromotorische Kraft veränderlicher Frequenz induziert wird. — Wir können die Kette allerdings auch auffassen als zwei Schwingungskreise von der Größe $L + L_1$ und C , die über die Gegeninduktivität L_1 gekoppelt sind, wollen aber bei der ersten Art der Betrachtung bleiben, da die Berechnung einfacher ist. Wir erhalten dann:

$$E = \left(j \omega L_1 + \frac{1}{j \omega C} \right) I_1 + j \omega L (I_1 + I_2),$$

$$0 = \left(j \omega L_1 + \frac{1}{j \omega C} \right) I_2 + j \omega L (I_1 + I_2),$$

$$\left(j \omega L_1 + \frac{1}{j \omega C} + j \omega L \right) I_2 = -j \omega L I_1,$$

$$E = \left[\left(j \omega L_1 + \frac{1}{j \omega C} + j \omega L \right) \left(\frac{j \omega L_1 + \frac{1}{j \omega C} + j \omega L}{j \omega L_1} \right) + j \omega L \right] I_2,$$

$$j \omega L_1 + \frac{1}{j \omega C} = A,$$

$$A^2 + 2 j \omega L A = \omega^2 L^2,$$

$$E = \left(-\frac{A^2}{j \omega L} - 2 A - j \omega L + j \omega L \right) I$$

$$= -\left(\frac{4 j L_1^2 \delta \omega^2}{\omega L} - 2 j L_1 \delta \omega \right) I.$$

Wir lösen die letzte Gleichung am besten graphisch. Sie wird dargestellt durch eine horizontale Gerade, die von einer Parabel geschnitten wird. Die beiden Schnittpunkte sind die beiden Lösungen der Gleichung. Mit anderen Worten heißt das: Die Siebkette hat zwei Resonanzstellen, dargestellt durch die beiden Lösungen der Gleichung. Die Entfernung der Punkte A und B und damit die Breite der Resonanzkurve hängt von L_1 ab. Die Breite ist um so größer, je größer L_1 ist. Wir haben es also in der Hand, durch geeignete Wahl von L_1 die gewünschte Bandbreite

einzustellen. Vor allem interessiert also die Größe von ω_1 und ω_2 . Die Berechnung ist sehr einfach. Wir erhalten:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

und

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{(L + 2L_1) \cdot C}}$$

ω_1 ist demnach die Frequenz des Kreises, ohne Berücksichtigung der Spule L_1 , da wir ja auch

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{2L \frac{C}{2}}}$$

schreiben können. D. h. L ist zweimal vorhanden, in Serie geschaltet, also doppelt einzusetzen. Dafür ist aber auch C doppelt vorhanden und in Serie geschaltet, also nur halb einzusetzen. Eine Erklärung dafür, daß L_1 hier ohne Wirkung ist, gibt die Tatsache, daß bei ω_1 die Spannungsverteilung so ist, daß an den Enden von L_1 keine Spannungsdifferenz liegt und

$$I_1 + I_2 = 0$$

ist. Das wäre also eine Resonanzstelle. Nun die zweite für ω_2 . Wie wir sehen, kommt hier zu der Selbstinduktion L

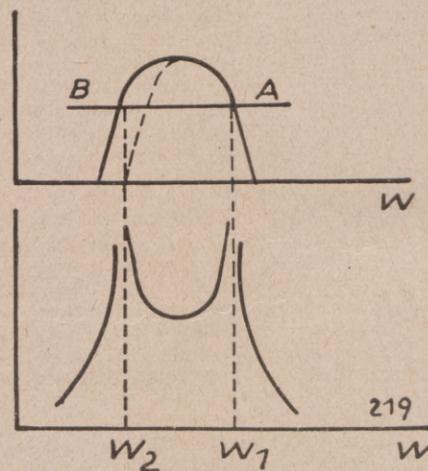


Abb. 2.

noch die doppelte Kopplungsinduktion L_1 hinzu. Wir können somit sehr einfach die beiden Resonanzstellen und die Selbstinduktionen der Spulen berechnen. Hierzu sei kurz ein Beispiel gegeben:

Wir wollen eine Siebkette bauen, die bei 600 m eine Breite von $2 \times 10\,000$ Hertz hat. C soll 500 cm betragen. $\lambda = 600$ m entspricht 500 kHz. Also erhalten wir:

$$f_1 = 500 \text{ kHz und } f_2 = 520 \text{ kHz,}$$

$$\omega_1 = 2 \pi f_1 = 3140 \text{ kHz und } \omega_2 = 2 \pi f_2 = 3266 \text{ kHz.}$$

Wir setzen die Werte ein und erhalten:

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_{Hy} \cdot C_F}}$$

$$L = \frac{1}{\omega_1^2 \cdot C} = \frac{10}{3140^2 \cdot 10^6 \cdot 5,5 \cdot 10^{-12}}$$

$$= 1,65 \cdot 10^2 \mu \text{ Hy}$$

$$= 1,65 \cdot 10^5 \text{ cm.}$$

wobei zu beachten ist, daß L in Henry und C in Farad einzusetzen sind.

$$900\,000 \text{ cm} = 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F,}$$

$$10^6 \text{ cm} = 10^3 \mu \text{ Hy} = 10^{-3} \text{ Hy.}$$

Weiter erhalten wir:

$$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{(L + 2L_1) \cdot C}}$$

$$L + 2L_1 = \frac{1}{\omega_2^2 \cdot C}$$

$$= \frac{1}{3266^2 \cdot 10^6 \cdot 5,5 \cdot 10^{-12}}$$

$$= 1,85 \cdot 10^2 \mu \text{ Hy}$$

$$= 1,85 \cdot 10^5 \text{ cm.}$$

Daher:

$$L_1 = \frac{1,85 \cdot 10^5 - L}{2}$$

$$= \frac{1,85 \cdot 10^5 - 1,65 \cdot 10^5}{2}$$

$$= 10\,000 \text{ cm.}$$

Um unser Ziel zu erreichen, müssen wir also zwei Spulen von $L = 1,65 \cdot 10^5 \text{ cm}$ und eine von $10\,000 \text{ cm}$ herstellen.

Diese Spulen können wir nach den Formeln berechnen, die in jedem Lehrbuch zu finden sind. Aber wir müssen sie auch messen! Ohne Messungen kommen wir auf keinen Fall aus!

Der Zusammenbau.

Die drei Spulen, die eine Siebkette bilden, dürfen nicht aufeinander koppeln. Es ist also am besten, wenn sie einzeln abgeschirmt werden. Sie müssen dann nur in ihrem Schutzgehäuse gemessen werden. Am einfachsten führt man die Spulen als Zylinderspulen aus, die in oben und unten offenen Kupferzylindern sitzen; wie z. B. die Spulen der Telefunkenempfänger. Man kann dann am bequemsten damit arbeiten. Die Kupfertöpfe können einfach nebeneinander montiert werden und werden alle geerdet.

Ich möchte zum Schluß noch auf einen sehr wesentlichen Punkt aufmerksam machen. Wie die Berechnung und die Messungen zeigen („Funk-Bastler“, Heft 31, Abb. 9 und 11), wird die Kurve bei festem L_1 immer breiter, wenn wir auf kürzere Wellen gehen. Eigentlich müssen wir daher L_1 bei kürzeren Wellen verändern, wenn wir konstante Bandbreite verlangen. Für Ortsempfänger ist das natürlich belanglos, aber wenn wir einen Fernempfänger bauen wollen, so wird die Selektivität bei kurzen Wellen nicht mehr ausreichen, wenn wir auf langen Wellen eine gute Bandbreite haben wollen. Als einziger praktischer Ausweg bleibt eben nur der Superheterodyne-Empfänger. Auch hier ist die Berechnung der Siebkette genau wie geschildert. Es ergeben sich z. B. für 41,7 bis 34,7 kHz Bandbreite die Werte:

$$L = 5 \times 10^6 \text{ cm,}$$

$$L_1 = 1150 \times 10^3 \text{ cm,}$$

$$C = 2500 \text{ cm}$$

für die Siebkette mit zwei Kondensatoren. Wenn die Kette aus schaltungstechnischen Gründen von vier Kondensatoren enthält, wählt man alle vier zu je 5000 cm. Die Spulen bleiben genau wie oben angegeben.

Eine empfehlenswerte Umschaltspule für die Wellenbereiche 220 bis 600 und 700 bis 2000 m.

Mitteilung aus dem „Funk“-Bastellaboratorium.

Der Bastler ist bestrebt, in den Konstruktionen seiner eigenen selbstgebastelten Empfangsgeräte die Fortschritte der industriellen Geräte mitzumachen, möglichst aber ihnen vorauszuweichen. Einer der unangenehmsten Nachteile vieler selbstgebasteten Apparate liegt darin, daß die Spulen ausgetauscht werden müssen, will man vom Empfang des Ortssenders zu dem des Deutschlandsenders übergehen.

Neuerdings sind zwar vielfach zwei komplette Spulensätze eingebaut worden; das bedingt einen vier- bis sechspoligen Umschalter und ein Dutzend Schalteleitungen. Diese Methode ist ebenfalls nicht angenehm, besonders dann, wenn es sich um einfachere Audionempfänger handelt, deren übriger Aufbau möglichst übersichtlich gehalten ist. Die Einzelteilfabriken haben eine ganze Reihe umschaltbarer Hochfrequenztransformatoren herausgebracht, zum Teil sogar metallgepanzert, die ausgezeichnet brauchbar sind. Sie sind aber, besonders wenn es sich um einen einfachen und daher billigen Audionempfänger handelt, reichlich teuer. Zahlreiche Bastler legen übrigens auch heute noch Wert darauf, sich die Spulen selbst

wickelt; man kann mit ihr die Wellenbereiche 220 bis 560 und 700 bis 2000 m empfangen. Der Aufbau eines Empfängers gestaltet sich bei der Benutzung dieser Spulen-

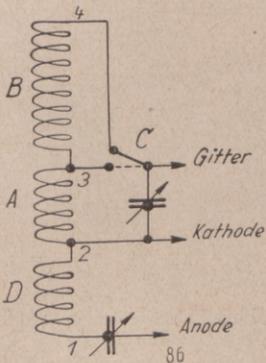


Abb. 1. Die Schaltung der Umschaltspule.

wickeln, und Anfragen nach den Wicklungsdaten bestimmter Spulen gehören zu den häufigsten, die das „Funk-Bastler“-Laboratorium zu beantworten hat.

An einer Umschaltspule für Audionempfänger, die sich dadurch auszeichnet, daß zum Übergang vom Rundfunk zum Langwellenbereich nur ein einpoliger Schalter zu betätigen ist, dürfte deshalb besonderes Interesse bestehen. Wir haben eine solche Umschaltspule ent-

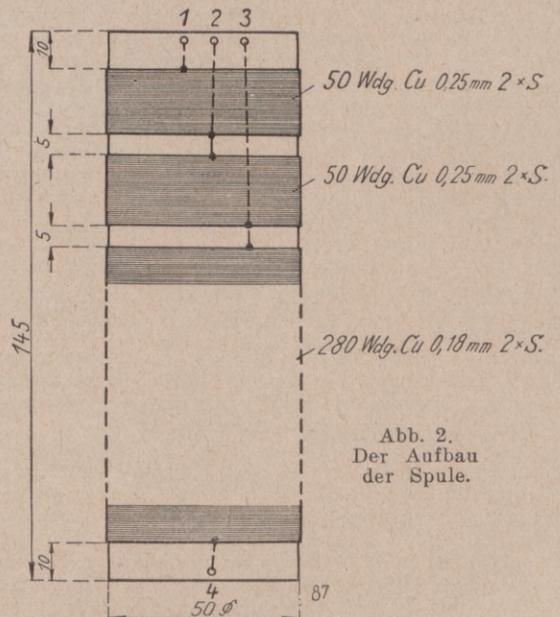


Abb. 2. Der Aufbau der Spule.

kombination außerordentlich einfach. Als Spulenform wurde die einlagige Zylinderspule gewählt, weil sie günstige elektrische Eigenschaften mit leichter Herstellbarkeit vereinigt. Schließlich ist die Spule billig; die

Materialkosten betragen etwa 1,35 M. Die billigste Umschaltspule fabrikmäßiger Herstellung kostet mindestens 10 M.

Der Umschaltspule liegt folgende sonderbarerweise in industriellen Empfängern nur selten zur Anwendung kommende Idee zugrunde: Die Gitterspule wird für den Rundfunkwellenbereich richtig bemessen. Außerdem wird eine zweite Spule vorgesehen, die an die Gitterspule bereits einpolig angeschlossen ist. Diese zweite Spule wird, wenn man den Wellenumschalter betätigt, mit der Gitterspule hintereinander geschaltet; die so entstehende Selbstinduktion bildet die Langwellenwicklung. Die Rückkopplungsspule muß so bemessen werden, daß sowohl auf dem Rundfunkals auf dem Langwellenbereich eine ausreichend kräftige Rückkopplung erhalten wird, um den Empfänger jederzeit

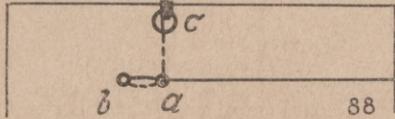


Abb. 3.

Die Befestigung der Wicklungsenden.

zum Schwingen zu bringen. Die Schaltung der Spulenkombination ist aus Abb. 1 ersichtlich. A ist die Gitterspule für die Rundfunkwellen, B die Verlängerungsspule für die langen Wellen, C der Umschalter, D die Rückkopplungsspule.

Es war vorauszusehen, daß ein gewisser Einfluß der mit der Gitterspule auf gleicher Achse angeordneten Verlängerungsspule auf den Wellenbereich stattfinden würde, in der Weise, daß der Variationsbereich bei gleichem Drehkondensator etwas verkleinert wird. Während man mit der Spule A allein in Verbindung mit einem 500 cm-Drehkondensator normaler Ausführung einen Wellenbereich von 200 bis 600 m bestreichen kann, verengt sich der Variationsbereich durch die neben der Gitterspule angeordnete Verlängerungsspule B auf den Wellenbereich 220 bis 560 m. Dieser Wellenbereich ist aber völlig ausreichend, denn unter 220 m liegen, außer Flensburg auf 218 m, das man aber noch erreichen kann, doch nur bisher unbesetzte und Gemeinschaftswellen, an deren Empfang kaum ein Interesse besteht, und bis auf 600 m kommt man bequem, wenn die weiter unten mitgeteilte Schaltung benutzt wird.

Sehr viel ungünstiger aber wird das Verhältnis, wenn man, etwa innerhalb der Gitterspule, eine besondere Antennenspule vorsieht. Aus diesem Grunde wurde von einer Antennenspule ganz Abstand genommen, und es wird die Ankopplung der Antenne auf kapazitivem Wege vorge schlagen.

Aus Abb. 2 sind die Wicklungsdaten der Umschaltspule ersichtlich. Als Wicklungskörper dient ein Hartpapierrohr von 50 mm Außendurchmesser und 145 mm Länge. Die Gitterspule A und die Rückkopplungsspule D wurden aus 0,25 mm starkem, doppelt mit Seide besponnenem Kupferdraht gewickelt, die Verlängerungsspule B aus 0,18 mm starkem, doppelt mit Seide umspunnenem Kupferdraht (0,2 mm war beabsichtigt; da aber 0,18 mm-Draht vorhanden war, wurde dieser benutzt). Sämtliche drei Wicklungen verlaufen in gleicher Richtung. Rückkopplungsspule und Gitterspule bestehen aus je 50 Windungen, die Verlängerungsspule hat 280 Windungen.

Die Art der Befestigung der Spulenenden und der Anschlüsse hat sich bewährt; sie sei deshalb etwas ausführlicher beschrieben: Die Anschlüsse 1 bis 3 liegen an dem einen, Anschluß 4 am anderen Ende des Hartpapierzylinders (vgl. Abb. 2). Für jeden Anschluß wird ein Loch von 2,5 mm Durchmesser in den Zylinder gebohrt, Entfernung des Mittelpunktes vom Zylinderende = 3 mm. Gegenseitige Entfernung der drei Bohrungen etwa 10 mm. Die Löcher werden sauber entgratet. Die Rückkopplungsspule beginnt 10 mm vom Ende des Zylinders. In dieser Entfernung werden zwei Löcher von etwa 1 mm Durchmesser in den Zylinder gebohrt, in einer gegenseitigen Entfernung von etwa 5 mm. Auch diese Löcher werden innen und außen sauber entgratet; um den scharfen Hartpapiergrat innen gut abnehmen zu können, verwende man abwechselnd scharfes Taschenmesser und kleine Rundfeile. Während des Entgratens dreht man die Spitze der Rundfeile langsam in die Löcher hinein, um den Grat nach innen durchzudrücken, so daß er hier leicht mit dem scharfen Messer entfernt werden kann. Beginnt man zu wickeln, so steckt man das Ende des Drahtes durch Loch a (vgl. Abb. 3) von außen nach innen durch, zieht ihn durch Loch b nach außen zurück, steckt ihn wieder durch Loch a nach

innen, zieht fest an, führt den Draht durch das größere Loch c (Loch 1 Abb. 2) von innen nach außen, befreit das aus dem Loch c herausstehende Ende, das 20 bis 25 mm lang sein mag, von der Umspinnung und wickelt den blanken Draht um den Steg des Hartpapierzylinders, der zwischen der Endfläche und dem Loch stehengeblieben ist. Die bei c nebeneinanderliegenden Windungen werden miteinander verlötet. Ist die Spule später montiert, so führt man die Verbindungsleitung, die an die Spule angeschlossen werden soll, in die Bohrung c ein und verlötet sie mit dem Spulenende. Sämtliche Lötungen müssen selbstverständlich mit einem säurefreien Lötmedium ausgeführt werden.

Die kleinen Bohrungen von je 1 mm Durchmesser, die am Anfang und Ende jeder Wicklung notwendig sind, müssen in der Längsrichtung der Spulenachse um etwa 10 mm gegeneinander versetzt werden, damit die Wicklungsenden, die im Innern des Zylinders nach den Bohrungen an seinem Ende führen, nicht übereinanderliegen und sich nicht kreuzen.

Die Umschaltspule wird in einer Empfängerschaltung gemäß Abb. 4 gebraucht. Hieraus ist zu ersehen, wie die Antenne mit Hilfe eines kleinen Drehkondensators an das Gitterende angekoppelt wird. Dieser Drehkondensator habe eine Größe von 500 cm. Es kann ein Hartpapierkondensator Verwendung finden. Da die Anfangskapazität derartiger Kondensatoren etwa 50 cm beträgt, ist die Antenne, wenn man den Kondensator auf 0 stellt, durch einen Kondensator von 50 cm angekoppelt. Dieser kleine Wert ist beim Empfang der Wellen unter 300 m ratsam. Je kleiner die eingestellte Kopplungskapazität ist, um so schwächer ist die Ankopplung der Antenne, um so weniger wird der Empfangskreis durch die Antenne gedämpft, um so selektiver ist der Empfänger, um so leiser unter gewissen Umständen der Empfang. Stellt man größere Werte des Kopplungskondensators ein, so wächst die Lautstärke vor allem der Langwellensender, und die Wellenbereiche verschieben sich dabei um einen gewissen Betrag nach oben, so daß man bis etwa 600 m und bis etwa 2400 m hinaufkommt. Der Kopplungskondensator soll nicht bei jedem Sender bedient werden, sondern man ermittelt einmal den günstigsten Wert beispielsweise beim Empfang der Wellen unter 300 m, dann bei 300 bis 600 m, und schließlich auf dem Langwellenbereich, merkt sich die drei Stellen und stellt den Kondensator auf den betreffenden

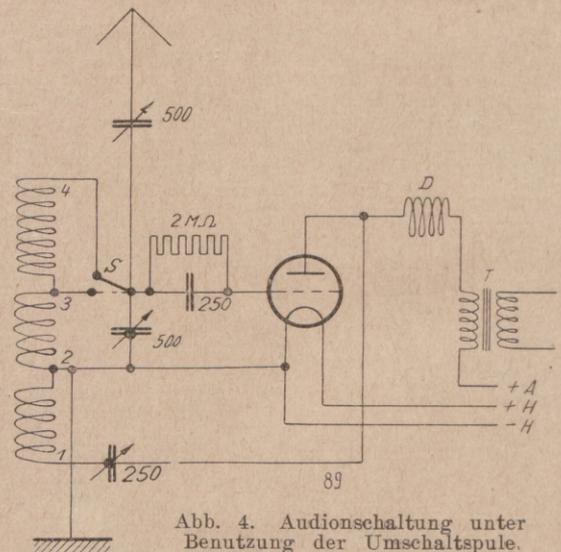


Abb. 4. Audionschaltung unter Benutzung der Umschaltspule.

Wert, ehe man auf die gewünschte Station abstimmt. Das macht nicht mehr Arbeit, als wenn man bei einem anderen Empfänger, der den gleichen Effekt durch Blockkondensatoren verschiedener Größe zu erzielen trachtet, die Antenne umstöpseln muß.

Die beschriebene Umschaltspule eignet sich für sämtliche Audionempfänger, und sie ist vor allem dann am Platze, wenn ein alter Empfänger, der Steckspulen hat oder der die Aufnahme nur eines Wellenbereiches zuläßt, für Rundfunk- und lange Wellen umgeändert werden soll. Entwickelt wurde sie für einen Dreiröhren-Netzempfänger für Gleichstromanschluß, der demnächst an dieser Stelle veröffentlicht werden soll.

Eine einfache Prüfung von Elektroschalldosen

Von Paul Just

In Heft 39 des „Funk-Bastler“ waren Meßergebnisse über eine ganze Reihe von Elektroschalldosen mitgeteilt, die lebhaftes Interesse gefunden haben. Wir lassen daher heute eine Anleitung zur Prüfung von Schalldosen folgen.

Viele Funkbastler bedienen sich statt eines akustischen Grammophonapparates der elektrischen Wiedergabe. Sie benutzen für die elektrische Umwandlung der Schallplattenmusik den vorhandenen Niederfrequenzverstärker und den Lautsprecher. Übrigbleibt nur noch der elektrische Tonabnehmer, den der Funkbastler sich oft auch noch selbst baut.

Die Güte der Wiedergabe der Schallplattenmusik durch den Lautsprecher hängt nun ab von einer guten Wiedergabe der einzelnen Frequenzen durch die Elektroschalldose und den Lautsprecher, wenn man den Niederfrequenzverstärker als nahezu verzerrungsfrei ansieht, was bei dem heutigen Stand der Technik wohl angenommen werden kann. Bei der Umwandlung der mechanischen Schwingungen der Nadel in Wechselspannungen durch den elektrischen Tonabnehmer und nach der Verstärkung der Wechselspannungen bei ihrer Umwandlung in akustische Schwingungen durch den Lautsprecher treten entsprechend der mehr oder weniger starken Frequenzabhängigkeit des Tonabnehmers und des Lautsprechers Verzerrungen auf, deren Ursachen verschiedener Art sind, und auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann¹⁾. Man wünscht, daß alle Frequenzen entsprechend ihrer auf der Grammophonplatte aufgezeichneten Stärke auch wiedergegeben werden.

Außer der eben besprochenen Frequenzabhängigkeit spielt auch noch die nichtlineare Verzerrung, d. h. die Zahl und Größe der neuentstehenden Ober- bzw. Kombinations-töne, eine Rolle, die besonders für die tiefen Frequenzen recht groß sein kann. Die Bestimmung der nichtlinearen Ver-

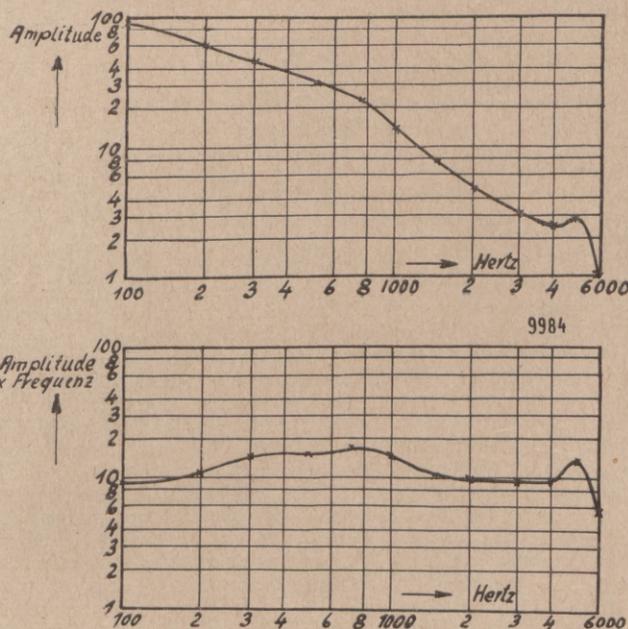


Abb. 1.

zerrung ist jedoch mit einfachen Mitteln nicht möglich und soll deshalb hier nicht weiter verfolgt werden²⁾.

Vielmehr soll hier gezeigt werden, wie man die Frequenzkurve eines elektrischen Tonabnehmers mit einfachen Mitteln feststellen kann, was wohl besonders den Bastler interessiert, der sich seinen Tonabnehmer selbst angefertigt hat.

1) Einige Ursachen sind genannt in dem Aufsatz von Dr. Hagemann „Der heutige Stand der Schallplattentechnik“ im „Funk-Bastler“, Heft 18, 1929.

2) Vgl. Erwin Meyer „Über die nichtlineare Verzerrung von Lautsprechern und Fernhörern“ ENT, Bd. 4, S. 509, 1927.

Für die Aufnahme der Frequenzkurve des Tonabnehmers braucht man eine Grammophonplatte, die alle Frequenzen des zu untersuchenden Bereiches enthält, und deren Amplituden man kennt, da man dann erst weiß, in welcher Stärke der zu untersuchende Tonabnehmer erregt wird. Die

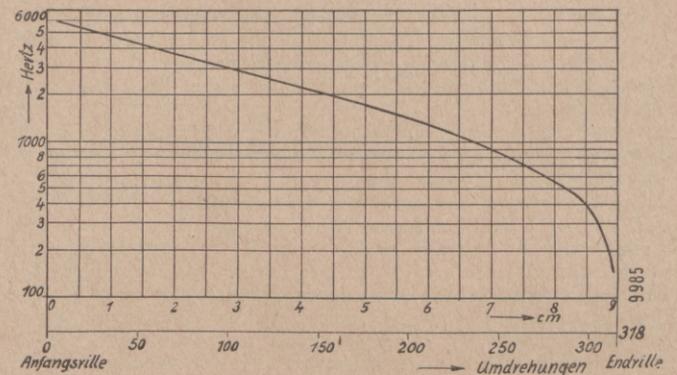


Abb. 2.

Abb. 1 zeigt den Amplitudenverlauf³⁾ einer derartigen Grammophonplatte, die einen reinen Ton liefert, dessen Tonhöhe sich stetig von 6000 Hertz bis 100 Hertz herunter ändert und somit den Frequenzbereich umfaßt, der wichtig ist. Die Amplitude nimmt mit steigender Frequenz stark ab. Das Produkt Amplitude mal Frequenz — die Geschwindigkeit, die für die Wiedergabe das Wesentliche ist — gibt die untere Kurve in Abb. 1 wieder; sie verläuft für praktisch-akustische Zwecke hinreichend konstant.

Läßt man die Meßschallplatte nun ablaufen und schließt die elektrische Schalldose an ein zweistufiges Röhrenvoltmeter, so gibt dessen Ausschlag ein Maß für die von dem Tonabnehmer gelieferte Wechselspannung. Falls kein Röhrenvoltmeter vorhanden ist, kann man einen vorhandenen Verstärker sehr leicht dazu umbauen⁴⁾. Die jeweilige Tonhöhe wird der Kurve in Abb. 2 entnommen. Auf der Abszisse sind die Entfernungen auf der Platte von der Anfangsrille in Zentimeter und darunter die Anzahl der nach dem Einsetzen der Nadel in die Anfangsrille erfolgten Plattenumdrehungen aufgetragen. Auf der Ordinate sind die Frequenzen von 100 bis 6000 Hertz im logarithmischen Maßstab angegeben. Bei der Aufnahme einer Frequenzkurve bedient man sich also eines Millimetermaßstabes, den man am besten auf der Schalldose befestigt, und notiert alle 5 mm den Ausschlag des Röhrenvoltmeters, oder man zählt die Plattenumdrehungen und vermerkt den Ausschlag des Instrumentes bei jeder zehnten Umdrehung. Die zu den gemessenen Punkten gehörenden Frequenzen werden dann der obigen Kurve entnommen. Etwaige Maxima oder Minima, die zwischen zwei Ablesungen auftreten, müssen natürlich mitnotiert werden. Im übrigen wird man nach Ausführung einiger Messungen und Aufträgen auf Logarithmenpapier sehr bald merken, daß bei den tiefen Frequenzen mehr Ablesungen zur leichten Auftragung der Kurve erforderlich sind als bei den höheren. Die Messung geht sehr schnell vor sich und ist leicht auszuführen, wenn eine Person die Plattenumdrehungen laut zählt und eine andere Person das Instrument beobachtet. Zu beachten ist jedoch noch, daß die richtige Frequenz nur dann wiedergegeben wird, wenn die Platte mit derselben Umdrehungszahl pro Minute abläuft, mit der sie aufgenommen ist; in diesem Fall hier beträgt sie 80 Umdrehungen in der Minute.

Trägt man die am Röhrenvoltmeter abgelesenen Ausschläge über der Frequenz auf, so erhält man eine Kurve, in der jedoch außer der Frequenzkurve der Elektroschalldose noch die Plattenkurve (Abb. 1 unten) enthalten ist,

3) Über die Bestimmung der Amplitudengröße s. in der Arbeit von Erwin Meyer u. Paul Just „Frequenzkurven von elektrischen Tonabnehmern u. mechanischen Grammophonen“, ENT, Heft 7, 1929.

4) Über Röhrenvoltmeter vgl. „Funk-Bastler“ 1928, S. 121 u. S. 720.

denn das Produkt Amplitude mal Frequenz ist über den ganzen Frequenzbereich nicht vollkommen konstant. Dividiert man die gemessene Kurve durch die Kurve in Abb. 1, so erhält man die Frequenzkurve des elektrischen Tonabnehmers, nämlich die von ihm erzeugte und auf konstante Geschwindigkeitsamplitude umgerechnete Spannung in Abhängigkeit von der Frequenz. Für viele Zwecke wird die erwähnte Umrechnung nicht erforderlich sein, und man wird sich mit der gemessenen Kurve ohne weiteres begnügen, denn die Plattenkurve wird im Vergleich zu den Tonabnehmerkurven meist als konstant angesehen werden können.

In der Abb. 3 sind zwei nach dem beschriebenen Verfahren aufgenommene Kurven von z. Zt. auf dem Markt befindlichen Tonabnehmern wiedergegeben⁵⁾. Die Kurven sind mit mittelstarken Nadeln aufgenommen und die Tonabnehmer mit 100 000 Ω belastet worden. Die Nadelstärke hat insofern einen Einfluß auf die Frequenzkurve, als die Schwachtonnadeln die tiefen Frequenzen im allgemeinen schlechter wiedergeben.

Die Kurve I ist als recht gut zu bezeichnen; doch infolge der guten Wiedergabe der hohen Frequenzen kommt das Nadelgeräusch bei diesem Tonabnehmer verhältnismäßig stark durch. Anders z. B. bei dem Tonabnehmer der Kurve II; hier fehlen die hohen Frequenzen und infolgedessen auch das Nadelgeräusch. Welche Elektroschalldose nun vorzuziehen ist, hängt ganz ab von dem persönlichen musikalischen Geschmack. Eine gute Wiedergabe der hohen Töne und eine gleichzeitige Unterdrückung der Nadelgeräusche sind nicht miteinander zu vereinbaren⁶⁾, wenigstens nicht bei der noch nicht genügend feinen Körnung

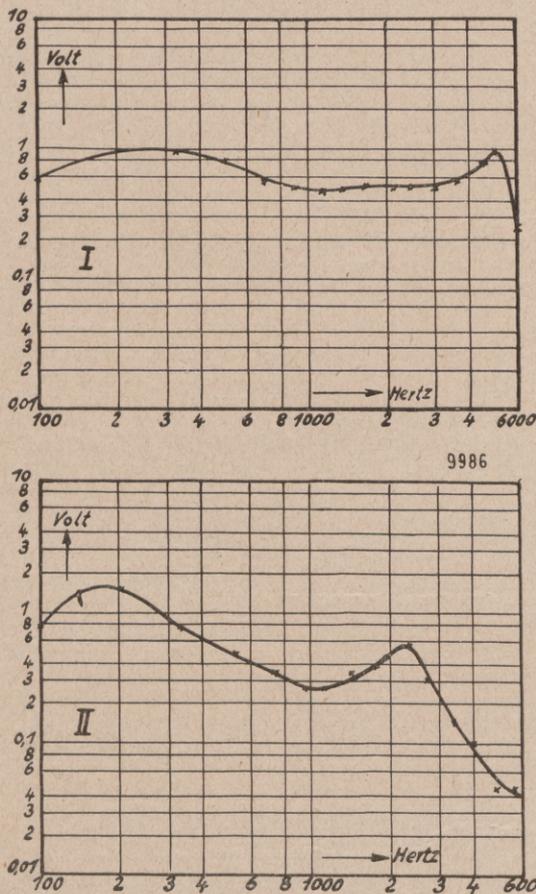


Abb. 3. Frequenzkurven von elektrischen Tonabnehmern.

des heutigen Plattenmaterials. Eine geringe Betonung der tiefen Frequenzen — s. Kurve I und II in Abb. 3 — schadet nichts, zumal die meisten Lautsprecher die tiefen Frequen-

⁵⁾ Über Frequenzkurven von Tonabnehmern s. auch die während der Drucklegung erschienene Arbeit „Elektroschall-dosen“ von Dr.-Ing. A. Kofes im „Funk-Bastler“, Heft 39.

⁶⁾ Worauf auch Dr. Hagemann in dem in Note 1 genannten Aufsatz hinwies.

zen schlecht wiedergeben und die Musik nur bei guter Wiedergabe der tiefen Frequenzen voll klingt.

Um nun die oben beschriebenen und andere ähnliche Messungen ausführen zu können, hat das Reichspostzentralamt gemeinsam mit der C. Lindström A. G. Meßschallplatten hergestellt, die für viele elektrische und akustische Messungen eine leicht bedienbare Strom- bzw. Schallquelle

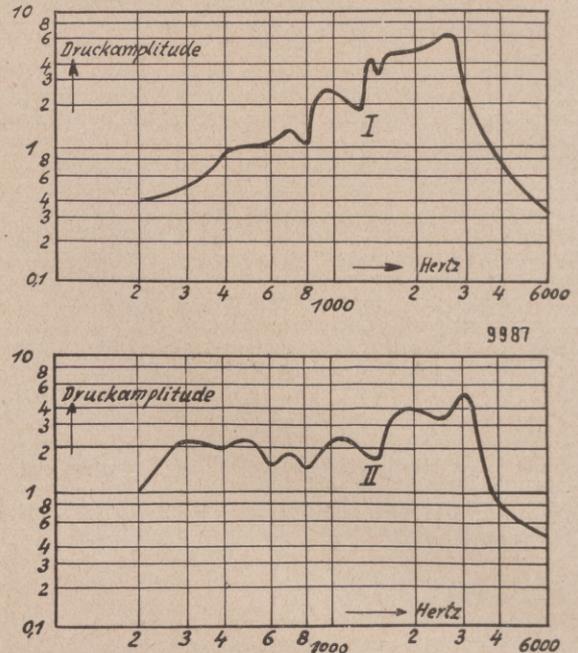


Abb. 4. Frequenzkurven von mechanischen Grammophonen.

darstellen. Diese Platten sind bei der genannten Firma unter Parlophonplatten Nr. 9794 bis 9796 erhältlich. Die erste dieser Meßplatten — Nr. 9794 — enthält auf der einen Seite einen reinen Ton, der von 6000 Hertz bis 100 Hertz heruntergleitet und für die hier beschriebene Messung von Tonabnehmern zu verwenden ist.

Auf der zweiten Seite der Platte ist kein reiner Ton, sondern ein sogenannter gleitender Heulton aufgezeichnet, über dessen Verwendungsmöglichkeiten noch einiges gesagt werden soll. Der Heulton ändert etwa zehnmals in der Sekunde seine Frequenz um ± 50 Hertz, während die Mittelfrequenz stetig von 6000 auf 100 Hertz heruntergleitet. Die Platte dient vorzugsweise akustischen Meßzwecken, z. B. wird sie zur Prüfung von mechanischen Grammophonen und Lautsprechern benutzt. Vor dem Grammophontrichter oder dem Lautsprecher wird ein möglichst frequenzunabhängiges und geeichtes Mikrophon (Kondensatormikrophon) aufgestellt und die abgegebene Schalldruckamplitude gemessen, indem die vom Mikrophon erzeugten Wechselspannungen nach ihrer Verstärkung photographisch registriert werden. Man verwendet hier einen Heulton, um die Ausbildung stehender Wellen im Aufnahme-raum zu vermeiden. Abb. 4 zeigt die so aufgenommenen Frequenzkurven von zwei verschiedenen mechanischen Grammophonen. Die Kurve I zeigt das vollkommene Fehlen der tiefen Frequenzen, was auf einen zu kleinen Trichter zurückzuführen ist, während das Grammophon II — ein Schrankapparat mit erheblich größerem Trichter — auch die tiefen Töne gut wiedergibt.

Oft genügt für eine einfache Prüfung eines Grammophonapparates oder Lautsprechers auch schon subjektives Abhören, denn Resonanzstellen oder starkes Abfallen der Lautstärke des Heultones kann man mit dem bloßen Ohr feststellen.

Die Internationale Funkausstellung in Paris. Die erste Pariser internationale Funkausstellung findet vom 27. September bis zum 13. Oktober statt. Es sind im ganzen etwa 125 Anmeldungen eingelaufen, die naturgemäß zum allergrößten Teil von französischen Firmen stammen. Jedoch liegen außer den 98 Anmeldungen aus Frankreich 7 Anmeldungen aus Deutschland, 4 aus Österreich, 4 aus England, 4 aus Amerika, 2 aus Holland und eine aus der Schweiz vor.

Welche Leistung kann ein Endverstärker abgeben?

Von
Manfred v. Ardenne.

Nachdem im „Funk-Bastler“ die Aufsätze von H. Reppisch: „Der Ausgangstransformator“ (Heft 32) und von Albrecht Forstmann: „Leistungsabgabe von Eingitter-Endröhren“ (Heft 35) veröffentlicht worden sind, bringen wir als dritten Aufsatz zu dem gleichen Thema die folgenden Ausführungen.

Die Aufgabe eines Endverstärkers ist die eines Leistungsrelais. Zu seiner Steuerung stehen vom Vorverstärker her Spannungsamplituden jeder erforderlichen Größe zur Verfügung. Im Sinne einer wattlosen Steuerung arbeitet man mit derart hohen negativen Gittervorspannungen, daß niemals Gitterströme auftreten. Außerdem ist zu verlangen, daß der Arbeitspunkt in der Mitte des aussteuerbaren, d. h. geradlinigen Teiles der Charakteristik liegt. Bei gegebener Charakteristik sind damit die Batteriespannungen eindeutig bestimmt. Diese Zusammenhänge wurden schon im Jahre 1927 vom Verfasser¹⁾ untersucht und Formeln zur Berechnung der erforderlichen Betriebsspannung angegeben. Der Betrieb des Endverstärkers ergibt als weitergehendes Problem die Gewinnung der größtmöglichen nutzbaren Leistung. Es zeigt sich, daß die Wirkleistung am Lautsprecherwiderstand und damit gleichzeitig die abgestrahlte Schalleistung am

Benachteiligung der hohen Frequenzen unvermeidlich, wie sie auch praktisch häufig zu beobachten ist.

Von diesen Schwierigkeiten macht sich die vorliegende Untersuchung dadurch frei, daß sie sich auf die Ermittlung der Leistung beschränkt, die dem Verstärker entnommen werden kann, wenn er durch die höchste vorkommende Frequenz allein gesteuert wird. Es ist nach dem Gesagten sicher, daß diese Leistung ein sicher nicht zu ungünstiges Bild der insgesamt zu erwartenden Verstärkerleistung geben wird, ganz abgesehen davon, daß erheblich größere Schalleistungen zu erwarten sind, wenn nicht eine, sondern mehrere Frequenzen gleichzeitig den Verstärker passieren.

Was die Anschaltung des Lautsprechers an den Verstärker betrifft, so lassen sich grundsätzlich die bekannten zwei Schaltungsarten angeben: Ankopplung mit Gleichspannungsverlust oder Ankopplung ohne Gleichspannungsverlust.

Beiden Möglichkeiten entsprechen die Abb. 1 und 2a bzw. 2b. In Abb. 1 kommt nicht die volle Batteriespannung an die Anode, da ein Spannungsabfall im Wirkwiderstand des Lautsprecheroperators R_a eintritt. In Abb. 2a und 2b ist dies in dem Maße vermieden, wie es gelingt, die Drossel

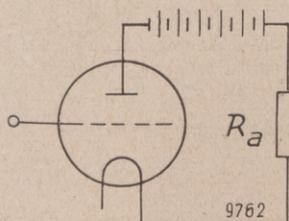


Abb. 1.

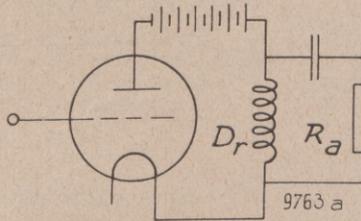


Abb. 2 a.

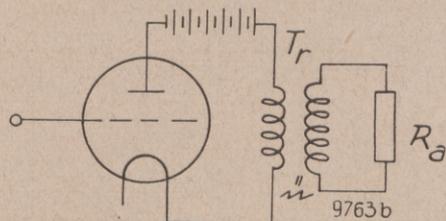


Abb. 2 b.

größten wird, wenn wohlbestimmte Beziehungen zwischen dem Wechselstromwiderstand des Lautsprechers mit dem inneren Röhrenwiderstand bestehen. Diese Anpassungsfragen sind in einer umfassenden Arbeit von Tellegen²⁾ untersucht worden, in der auch die weiteren charakteristischen Endverstärkerprobleme, wie die Verringerung der linearen Verzerrung und die erreichbare Verstärkung, behandelt werden.

Das Folgende soll auf dieser Arbeit aufbauen und die Frage nach der Auffindung und der Größe der optimalen Verstärkerleistung klären. Es soll dabei gezeigt werden, welchen Einfluß auf die Endleistung die Beschränkungen der Gitterwechselamplituden und des aussteuerbaren Anodenstromes haben, die durch die Krümmungsbereiche der Kennlinie hervorgerufen werden. Dabei soll mit allgemeiner komplexer Belastung gerechnet werden, und die verschiedenen Schaltmöglichkeiten für den Anschluß des Lautsprechers an den Verstärker sollen vergleichend zur Sprache kommen.

Ersatzschema und Anschaltung des Lautsprechers.

Das elektrische Ersatzbild eines Lautsprechers ist bereits in der zitierten älteren Arbeit des Verfassers eingehend diskutiert worden. Er ist der Serienschaltung einer Induktivität L und eines Wirkwiderstandes R_a äquivalent. Von der im letzteren umgesetzten Wirkleistung ist nur ein verschwindender Bruchteil — wenige Prozent selbst bei den besten Lautsprecherkonstruktionen — als Strahlungsleistung nutzbar, während der Rest zur Deckung der Eisen- und Kupferverluste verbraucht wird. Außerdem ist eine Frequenzabhängigkeit zu beobachten, derart, daß der Nutzteile des Wirkwiderstandes von tiefen Frequenzen an mit ω^2 ansteigt und bei hohen konstant bleibt. Wenn also nicht durch eine geeignete Bemessung des Vorverstärkers auf diese Verhältnisse Rücksicht genommen wird, so ist eine

D_r bzw. die Primärseite des Transformators T_r verlustfrei zu gestalten, so daß statisch in diesen Fällen mit der Kurzschlußcharakteristik der Röhre zu rechnen ist. Dynamisch kommt in 2a, falls der Übertragungskondensator, wie erforderlich, für alle vorkommenden Frequenzen als Kurzschluß aufzufassen ist, als Wirkwiderstand der reelle Anteil des Lautsprecheroperators, bei 2b im wesentlichen das $\frac{1}{\mu^2}$ fache desselben zur Wirkung. Über den Fall des Ausgangstransformators wird noch am Schluß der Arbeit gesprochen. Die beiden Kopplungsarten 1 und 2 sollen im folgenden nebeneinander behandelt und verglichen werden.

Die Ermittlung der Batteriespannungen.

Durch die Beschränkung auf die höchste Frequenz des Bereiches vereinfacht sich die Ermittlung der Strom- und Spannungsgrenzen außerordentlich, wie die folgende Abb. 3 zeigt. Betriebsmäßig sind darin folgende Forderungen zu stellen: Die Grenzgitterspannung darf niemals positiv werden, und der Ruhepunkt P muß auf der Mitte des geradlinigen Teiles liegen.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß nur ein ganz bestimmter Bruchteil der Ruhestromstärke I_a , nämlich etwa 50 v. H. bei kleineren Röhren, bis zu 70 v. H. bei größeren Röhren, zur unverzerrten Aussteuerung verwendbar ist. Dieser Bruchteil, der allgemein mit a bezeichnet werden möge, hat, wie sich zeigen wird, wesentlichen Einfluß auf die Größe der erzielbaren Nutzleistung.

Die angeführten Bedingungen lassen sich wie folgt formulieren:

Bedingung 1 lautet:

$$|J_a| = E_{g0} \cdot |\mathcal{G}| = \frac{E_{g0}}{D |R_i + R_a|} \quad (1)$$

Bedingung 2 dagegen:

$$I_a = \frac{-E_{g0} + D(E_a - K)}{D(R_i + R_a)} \quad (2a)$$

beim Schaltungsfall von Abb. 1;

¹⁾ M. v. Ardenne, Jahrb. d. drahtl. Telegr. und Telephon., Band 29, Heft 6, 1927: „Zur Theorie der Endverstärkung“.

²⁾ Tellegen, Endverstärkerprobleme, Jahrbuch d. drahtl. Telegr. und Telephon., 1928, Band 31, Heft 6, S. 183.

$$I_a = \frac{-E_{g0} + D(E_a - K)}{D \cdot R_i} \quad (2b)$$

beim Schaltungsfall von Abb. 2a. Dazu kommt die Aussteuerungsgrenze für den Strom

$$|J_a| : I_a = a. \quad (3)$$

Vereinigt man nun alles, indem (1) durch (2) dividiert und für den Quotienten (3) eingesetzt wird, so folgt die gesuchte Beziehung zwischen den Batteriespannungen

$$E_{g0} = \frac{D(E_a - K)}{1 + \frac{R_a + R_i}{a|\Re_a + R_i|}} \quad (4a)$$

für den Fall mit Gleichspannungsverlust, und

$$E_{g0} = \frac{D(E_a - K)}{1 + \frac{R_i}{a|\Re_a + R_i|}} \quad (4b)$$

für den Fall ohne Gleichspannungsverlust. Bei gegebenem Röhren- und Lautsprecherwiderstände und vorgegebener Gitterspannungslinie läßt sich daraus die erforderliche Anodenbatteriespannung ermitteln.³⁾

Beachtungswert ist also, daß zur Berechnung der erforderlichen Betriebsspannungen nur noch das Verhältnis a des

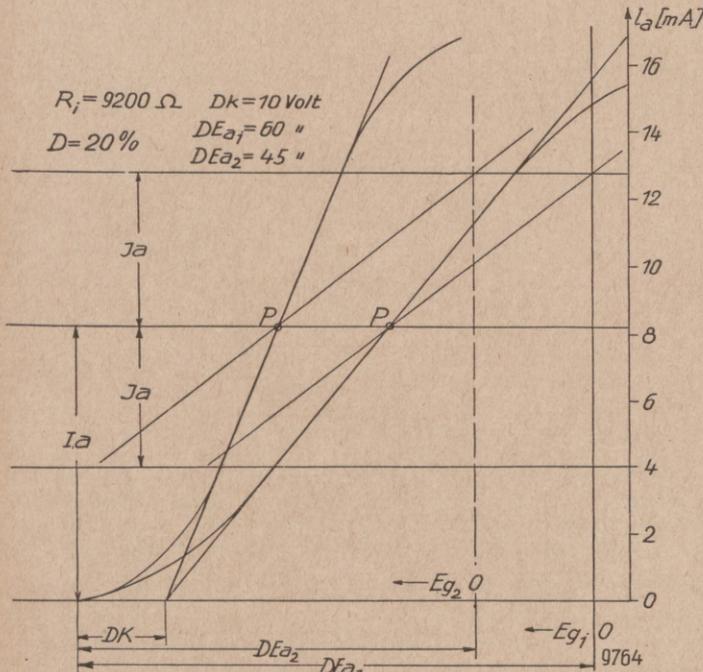


Abb. 3.

steuerbaren Anodenstromes zum Ruhestrom, nicht aber diese Stromwerte selbst bekannt zu sein brauchen. Von der Röhre braucht man vielmehr nur den inneren Widerstand, den Durchgriff und die Krümmungskorrektur der Anoden-spannung K zu kennen.

Die Leistung des Endverstärkers.

Die Behandlung des eigentlichen Themas und die Ermittlung und Verwirklichung der optimalen Leistung kann nun einsetzen. Es interessieren dabei hauptsächlich folgende Fragen:

1. Wie groß ist die erzielbare Höchstleistung?
2. In welchem Verhältnis steht sie zur aufzuwendenden Ruheleistung?
3. Welche Anpassungsgesetze gelten für sie, und wie lassen sich dieselben praktisch verwirklichen?

1. Die Maximalleistung.

Da die Schalleistung der Wirkleistung proportional ist und demnach mit jener zusammen ein Maximum annimmt, so kommt es auf die Ermittlung der Wattleistung an. Zunächst ist klar, daß die Höchstleistung nur zustande kommt,

³⁾ Siehe M. v. Ardenne und L. Müller: Transformatorenverstärker, S. 110, Gl. 125, 1927.

wenn die Röhre mit Grenzgittervorspannungen betrieben wird, d. h. bei der vorliegenden Frequenz mit einer Gitterspannungsamplitude von E_{g0} Volt. Dann ist die Wirkleistung direkt:

$$W = \frac{1}{2} |J_a|^2 \cdot R_a, \quad (5)$$

worin R_a der reelle Teil von \Re_a gemäß $\Re_a = R_a + j\omega L$ ist. Um zu erkennen, daß es sich hier trotz des scheinbar einfachen Baues von (5) um ein komplizierteres Anpassungsproblem handelt, kann man sich folgendes vor Augen halten: Wird zunächst einmal die Grenzgitterspannung E_{g0} als gegeben betrachtet, so läßt sich nach Gleichung (1) das ebenfalls durch die Röhrenkennlinie gegebene Stromquadrat J_a^2 stets einhalten, solange nur $|\Re_a + R_i|$ konstant bleibt. Hierfür ergeben sich allein schon unendlich viele Möglichkeiten der Zusammenstellung von \Re_a und R_i , denen aber durchaus verschiedene Wattleistungen entsprechen. \Re_a kann z. B. ein reiner Blindwiderstand sein, so daß die erzielbare Wattleistung verschwindet, während sich für einen reinen Wirkwiderstand in diesem Falle offenbar bei $R_a = R_i$ eine durchaus endliche Maximalleistung ergibt. (Allgemeines Anpassungsgesetz.) Das tatsächlich vorliegende Problem ist aber noch komplizierter als das gekennzeichnete, da nicht die Grenzgitterspannung E_{g0} , sondern die Anodenspannung E_a , eventuell auf Grund von Berechnungen aus der statischen Kennlinie, als gegeben zu betrachten ist, mit der die Grenzgitterspannung wiederum durch die Beziehungen (4) verknüpft ist. Das Problem wird dadurch unübersichtlicher, behält aber den Charakter einer Maximumaufgabe, deren Lösungen bei eigentümlichen Anpassungsbedingungen liegen.

Auf dem skizzierten Wege erhält man, nachdem für $|J_a|$ Gleich. (1) und für E_{g0}^2 Gleichung (4) eingesetzt wird, eine Beziehung für die Wattleistung W , in der nur noch die Anodenspannung und die Widerstandsgrößen vorkommen, und zwar

$$W = \frac{a^2 (E_a - K)^2}{2} \cdot \frac{R_a}{[R_i + R_a + a|\Re_i + \Re_a|]^2} \quad (6a)$$

für Schaltungsfall Abb. 1, und

$$W = \frac{a^2 (E_a - K)^2}{2} \cdot \frac{R_a}{[R_i + a|\Re_a + R_i|]^2} \quad (6b)$$

für Schaltungsfall Abb. 2.

Meist wird nun der Fall vorliegen, daß der Operator des Lautsprechers \Re_a nach Größe $|\Re_a|$ und Phase φ als gegeben zu betrachten ist und der günstigste Widerstand R_i des Generators gesucht wird. Wird zweckmäßig das Verhältnis $y = |\Re_a| : R_i$ eingeführt, so erscheint nach einigen Umformungen folgendes:

$$W = \frac{a^2 (E_a - K)^2}{2 R_i} \cdot f(y), \quad (7)$$

worin für den Schaltungsfall 1 der Faktor

$$f_1(y) = \frac{y \cdot \cos \varphi}{(1 + y \cos \varphi + a\sqrt{1 + y^2 + 2y \cos \varphi})^2} \quad (7a)$$

wird, während für den Schaltungsfall 2 die Form

$$f_2(y) = \frac{y \cdot \cos \varphi}{(1 + a\sqrt{1 + y^2 + 2y \cos \varphi})^2} \quad (7b)$$

entsteht.

2. Die Anpassung.

Die Leistungen werden also da maximal, wo diese Faktoren $f(y)$ ihre Höchstwerte annehmen. Dies ersieht man am besten aus der graphischen Darstellung der Funktionen f , wie dies in Abb. 4 für $f_1(y)$, in Abb. 5 für $f_2(y)$ geschehen ist. Man erhält folgende Ergebnisse:

Ist a der aussteuerbare Bruchteil des Anodenruhestromes, praktisch zwischen 50 und 70 v. H., so ist die größte Leistung, die man dem Verstärker entziehen kann, für den Fall rein Ohmscher Belastung, d. h. für $\cos \varphi = 1$,

$$W_{1opt} = \frac{(E_a - K)^2}{8 \cdot R_i} \cdot \frac{a^2}{(1 + a)^2} \quad (8a)$$

für direkte Anschaltung des Lautsprechers, und zwar erhält man sie, wenn das Anpassungsgesetz

$$|\Re_a| = R_i \quad (9a)$$

unabhängig von a erfüllt ist.

Wird der Lautsprecher nach Abb. 2a angeschlossen, so ist die Maximalleistung

$$W_{2opt} = \frac{(E_a - K)^2}{8 R_i} \cdot \frac{a}{1 + a} \quad (8b)$$

und das Anpassungsgesetz lautet

$$|R_a| = \frac{1+a}{a} \cdot R_i \quad (9b)$$

Für nichtverschwindende Phasenwinkel φ fallen beide Leistungen gemäß Abb. 6 ab. Die Anpassungsgesetze bleiben aber fast ganz unbeeinflusst⁴⁾.

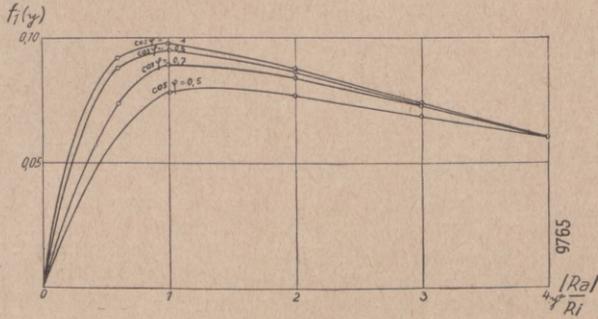


Abb. 4.

Diese Gleichungen sagen in sehr übersichtlicher Weise folgendes aus:

Ganz allgemein steigt die Wirkleistung des Endverstärkers mit dem Quadrat der korrigierten Anodenbatteriespannung und umgekehrt proportional mit dem inneren Widerstand der Röhre. Schaltet man den Lautsprecher ohne Gleichspannungsverlust, d. h. unter Verwendung einer idealen Drossel, nach Abb. 2 a, so muß, wenn a zwischen 0,5 und 0,7 liegt:

$$|R_a| \text{ 2,5- bis 3mal so groß als } R_i$$

werden.

Nach dem Kurvenverlauf von Abb. 5 sind Abweichungen von dieser Anpassung nur kritisch, wenn $|R_a|$ zu klein gemacht wird, nicht dagegen, wenn es wesentlich größer wird als R_i . Daraus und im Verein mit der Tatsache, daß die Verkleinerung von R_i die Leistung direkt steigert, ersieht

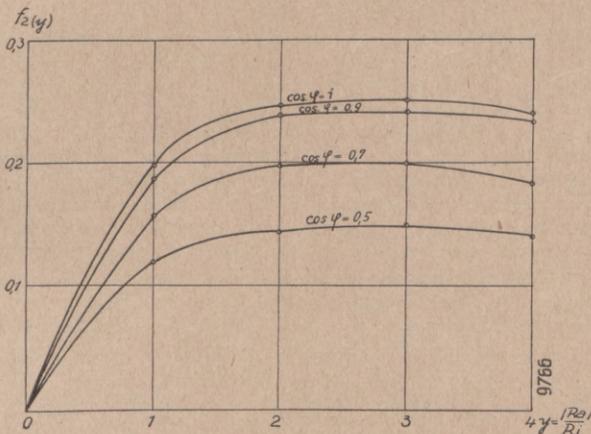


Abb. 5.

man den Wert einer Parallelschaltung von Röhren im Endverstärker.

Die bei der Drosselankopplung erzielbaren Leistungen sind $\frac{1+a}{a}$, d. h. praktisch, d. h. unter Beschränkung auf nicht zu große Phasenwinkel, 2,5- bis 3mal so groß als bei direkter Anschaltung. Schaltet man direkt ein, so müssen $|R_a|$ und R_i ungefähr gleich sein, wobei ebenfalls nach Abb. 4 $|R_a|$ besser zu groß als zu klein gegenüber R_i zu wählen ist.

3. Der Wirkungsgrad der Ruheleistung.

Zur Beantwortung von Frage 3 muß noch die Ruheleistung ausgedrückt werden. Diese ist direkt gegeben durch:

$$W_0 = I_a \cdot E_a \quad (10)$$

⁴⁾ Diese Bemerkung machte schon B. D. H. Tellegen in der zitierten Jahrbuch-Arbeit.

Wird aus Gleichung (2a), (2b), die die Beziehung zwischen I_a und E_{g0} bzw. E_a darstellt, die Gitterspannung mittels (4) eliminiert, so ergibt sich für die statische Batterieleistung

$$W_{01} = \frac{(E_a - K) \cdot E_a}{R_a + R_i + a |R_a + R_i|} \quad (11a)$$

$$W_{02} = \frac{(E_a - K) \cdot E_a}{R_i + a |R_a + R_i|} \quad (11b)$$

Setzt man nun hierin, zunächst unter Beschränkung auf den Fall Ohmscher Belastung, die gefundenen Anpassungsgesetze ein, so ergibt sich überraschenderweise in beiden Fällen genau die gleiche Ruheleistung. Es wird

$$W_{01} = W_{02} = \frac{(E_a - K) E_a}{2 R_i (1 + a)} \quad (12)$$

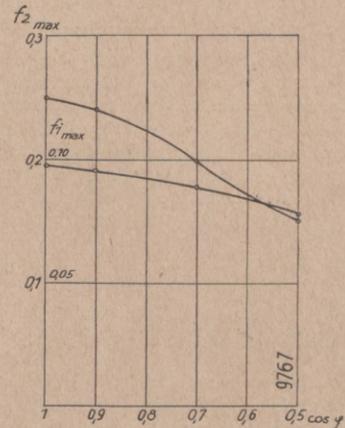


Abb. 6.

Der nutzbare Bruchteil oder „Nutzungsgrad“ η dieser statischen Leistung ist also für den Fall einer Ankopplung ohne Gleichspannungsverlust:

$$\eta = \frac{1}{4} \cdot a \left(1 - \frac{K}{E_a} \right) \quad (13)$$

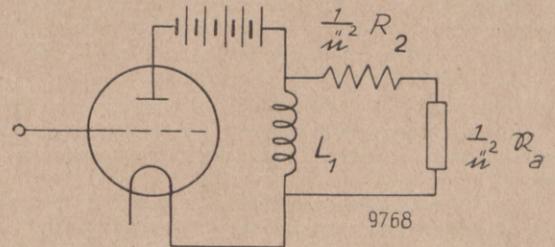


Abb. 7.

Bei direkter Ankopplung mit Gleichspannungsverlust ist der Nutzungsgrad noch um den Faktor $\frac{a}{1+a}$ kleiner⁵⁾. Für nicht rein Ohmsche Last wird η noch kleiner, und zwar in demselben Maße, wie es die Abb. 6 für die nutzbare Wirkleistung selbst angibt.

In praktischen Fällen ist meistens $\frac{K}{E_a} \sim \frac{1}{5}$. Je nach der Größe von a zwischen 0,5 und 0,7 liegt also:

- η zwischen 10 und 14 v. H. bei Drosselkopplung,
- η zwischen 4 und 6 v. H. bei direktem Anschluß.

Die hohen Werte von 25 bzw. 12,5 v. H., wie sie für den Wirkungsgrad herauskommen, wenn man die Krümmungs-

⁵⁾ Für genauere Berechnungen ist dabei allerdings zu berücksichtigen, daß das Verhältnis $\frac{K}{E_a}$ bei direktem Anschluß etwas kleiner ausfällt als bei Schaltung 2 a, da im ersteren Falle eine größere Anodenspannung aufzuwenden ist (in Abb. 3 z. B.: $\frac{K}{E_a} = \frac{1}{4}$ für Fall 1, $\frac{K}{E_a} = \frac{1}{3}$ für Fall 2). Die Folge davon ist, daß der Nutzungsgrad bei direkter Schaltung nicht um so viel schlechter ausfällt, als der Faktor $a : 1 + a$ angibt.

korrekturen K und a in (13) außer acht läßt, und wie sie in der Literatur angegeben werden, lassen sich praktisch nicht erzielen. Als Faustregel kann vielmehr gelten:

Die größte Wattleistung eines Endverstärkers beträgt bei reiner Wechselbelastung etwa ein Siebentel, bei gleichzeitiger Gleichbelastung etwa ein Zwölftel der Batterieistung im Ruhezustande.

Bedenkt man, daß beim Lautsprecherbetrieb infolge der nichtohmschen Belastung die Wirkleistung noch kleiner wird und daß außerdem der nutzbare, d. h. als Strahlung auftretende Anteil wiederum nur wenige Prozent dieser Wattleistung beträgt, so ist damit der außerordentlich geringe elektro-akustische Wirkungsgrad einer Kraftverstärkeranlage gekennzeichnet.

Transformatorankopplung.

Abschließend möge noch kurz auf die Bedeutung des Transformators im Rahmen der allgemeinen Anpassungsgesetze hingewiesen werden. Der Einbau eines Übertragers ist nur dann erforderlich, wenn R_i und R_a sehr verschieden sind und keine Möglichkeit besteht, den Verstärker der Lautsprecheranlage entsprechend anzupassen. Seine Wirkung ist dann, unter Vernachlässigung der Streuung, so aufzufassen, als ob der in Abb. 7 gezeichnete Belastungsfall

besteht. Dabei ist extrem feste Kopplung vorausgesetzt. Dieser Fall läßt sich mit dem Schaltungsfall 2a formal identifizieren, sobald angenommen werden kann, daß die Primärwicklung eine sehr wirksame Drossel von verschwindend kleinem Gleichspannungsverlust ist. Der reduzierte

Sekundärwiderstand $\frac{1}{\ddot{u}^2} \cdot R_2$ tritt dann an die Stelle des Übertragungskondensators C in der Drosselschaltung (bei letzterer wurden Resonanzfälle ausgeschlossen). In Näherung ist daher die Wirkung des Transformators so aufzufassen, als ob an Stelle von R_a die Belastung $\frac{1}{\ddot{u}^2} \cdot R_a$ in

Schaltung 2a vorliegt. Daraus ergibt sich für den Praktiker die Möglichkeit einer schnellen Abschätzung des erforderlichen Übersetzungsverhältnisses. Das Anpassungsgesetz 9b kann übernommen werden und lautet hier:

$$\frac{1}{\ddot{u}^2} \frac{R_a}{R_i} = 3; \text{ also } \ddot{u} = \sqrt{\frac{R_a}{3 R_i}} \quad (14)$$

Praktisch wird sich beim Einbau von Transformatoren die theoretische Bestleistung trotz der Möglichkeit, die Anpassungsbedingungen genau zu erfüllen, nur selten erreichen lassen, da andererseits zusätzliche Eisen- und Kupferverluste auftreten, die die erwartete Verbesserung illusorisch machen können.

Erfolge der Funktechnischen Vereinigung auf der Funkausstellung

Die Große Deutsche Funkausstellung, um noch einmal darauf zurückzukommen, gab der Funktechnischen Vereinigung die Gelegenheit zu einer Reihe äußerst gelungener Veranstaltungen, die neben der Verteilung unserer Sondernummer des „Funk“ auf dem gemeinsamen Ausstellungsstand mit dem D. F. T. V. von großer Werbekraft für unsere Ideen gewesen ist.

Da fand am Donnerstag, dem 5. September, ein Experimentalvortrag von Dr. F. Conrad über das aktuelle Thema: „Wie entstehen Rundfunkstörungen, und durch welche Mittel werden sie beseitigt?“ statt, der in Anbetracht der an diesem Tage herrschenden Hitze, die die ermüdeten Ausstellungsbesucher für einen technischen Vortrag wenig aufnahmefähig machte, recht gut besucht war. Der sachliche Inhalt dieses Vortrages ist bereits im „Funk-Bastler“, Heft 38, Seite 605, abgedruckt worden.

Lebhafter Beifall dankte dem Vortragenden für seine hochinteressanten Ausführungen und Demonstrationen. Im Anschluß an den Vortrag fand eine Vorführung des Werbefilms der Reichs-Rundfunk-Gesellschaft statt, der so glänzend durchdacht und ausgeführt ist, daß nicht nur dem Laien, sondern auch manchem, der glaubte, die Vorgänge beim Senden und Empfang der Funktelephonie zu beherrschen, manches erst jetzt völlig klar wurde. Der vorzügliche Film sei besonders unseren auswärtigen Gruppen bestens für Vortragsabende empfohlen.

Zu Sonnabend, dem 7., und Sonntag, dem 8. September, hatte der Vorstand der Funktechnischen Vereinigung die Führer der auswärtigen und der Berliner Gruppen zu einer Tagung eingeladen, die einen vollen Erfolg hatte. Nach einer Begrüßung durch den ersten Vorsitzenden, Dr. Pohle, fand in den Nachmittagsstunden des 7. September zunächst in einzelnen Gruppen eine Führung durch die Ausstellung statt. Am Abend hielt Obering. Kemna vor überfülltem Saale einen ausgezeichneten Experimentalvortrag über „Die technischen Grundlagen des Tonfilms“. Der Vortragende zeigte an Hand eines großen Lichtbildermaterials und durch viele Vorführungen die Entstehung und Wiedergabe des Tonfilms. Er ging sehr ausführlich auf die einzelnen Systeme ein, die zur Aufzeichnung der Töne verwendet werden, und erklärte den Mechanismus, der die synchrone Wiedergabe von Bild und Ton bewirkt. An Hand von Lautsprechervorführungen wies er auf die Notwendigkeit hin, einen großen Frequenzbereich zur Ver-

fügung zu haben, damit alle Töne naturgetreu wiedergegeben werden. Durch eine sehr gelungene Demonstration, in der bei einem dynamischen Lautsprecher zuerst die hohen, dann die tiefen und zuletzt beide Tonskalen abgeschnitten wurden, so daß nur die Mitteltöne übrig blieben, bewies der Vortragende, wie nötig der große Bereich ist, und zeigte uns, was wirkliche Musikwiedergabe bedeutet im Gegensatz zu dem, was wir in den vergangenen fünf Rundfunkjahren dafür gehalten hatten. Im Anschluß daran lief wieder der Werbefilm der Reichs-Rundfunk-Gesellschaft.

Am Sonntag, dem 8. September, traf sich alles um 10 Uhr früh zu einer Besichtigung des neuen Fernamtes in der Winterfeldtstraße. Nach einem einleitenden, höchst interessanten Vortrage unseres Vorstandsmitgliedes Telegrapheninspektor K. Hoffmann über die baulichen und technischen Anlagen des mächtigen, erst in diesem Frühjahr bezogenen neuen Amtes, das man mit Recht als das Herz Mitteleuropas bezeichnet hat, wurden die Teilnehmer durch das ganze Haus geführt. Jeder, der dabei war, hat wohl den Eindruck erhalten, daß dieses Zentralamt aufs modernste und beste eingerichtet ist, und daß er etwas gesehen hat, was man nicht alle Tage zu sehen bekommt.

Um 12 Uhr begann dann in einem Saale des Zahnärzthauses die geschäftliche Tagung, die einen Besuch von mehr als 60 Teilnehmern aufwies. Von den 26 auswärtigen Gruppen hatten 19 Vertreter geschickt. Dem Zweck der Tagung entsprechend, die hauptsächlich einmal den auswärtigen Gruppen Gelegenheit zu einer persönlichen Aussprache mit dem Vorstand und dem Vorbringen ihrer Wünsche und Anregungen geben sollte — die die Berliner Gruppen ja jederzeit haben —, kamen nach einem einleitenden Berichte des ersten Vorsitzenden der Funktechnischen Vereinigung nur die Vertreter der auswärtigen Gruppen zum Wort. Die Ausführungen der einzelnen Redner brachten viel interessantes Material für die Arbeit im Reich und viele neue Anregungen, so daß der erstrebte Zweck der Tagung voll und ganz erreicht wurde.

Im Anschluß an alle Veranstaltungen waren die Teilnehmer noch lange gemütlich zusammen und haben fruchtbare persönliche Aussprachen geführt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die ganze zweitägige Veranstaltung, die äußerst harmonisch verlief, wohl allen Teilnehmern eine Fülle von Anregungen gebracht haben dürfte.

K. Dan.