

M a y e r : Stand der Magnetron-Arbeiten
beim F.F.O.

Der Zweck der folgenden Ausführungen ist es, zur Fülle der theoretischen Überlegungen auch einen der Beiträge zu liefern, die sich mit der praktischen Verwirklichung beschäftigen. Dies geschieht in Form eines kurz gehaltenen Berichts über diejenigen Z e n t i m e t e r w e l l e n - R ö h r e n, mit denen sich das FFO vorwiegend beschäftigt. Es sind dies folgende Arten:

- 1.) Dauerstrich-Magnetfeld-Röhren.
 - a) Nullschlitz-Röhren
 - b) Zweischlitz-Röhren.
 - 2.) Hochtast-Magnetfeld-Röhren
 - a) Nullschlitz-Röhren
 - b) Vielschlitz-Röhren
 - 3.) Spiegelklystronröhren.
-
- 1.) Dauerstrich-Magnetfeld-Röhren.
 - a) Nullschlitz-Magnetfeld-Röhren.

Das Nullschlitz-Magnetfeldrohr, wie es zur Erzeugung von Zentimeterwellen von Ch.W.Rice (1) angegeben wurde, ist in neuerer Zeit ziemlich in Vergessenheit geraten. Es sei deshalb kurz daran erinnert, daß es sich bei dieser Röhre letzten Endes um den evakuierten Teil eines konzentrischen Rohrsystems handelt, bei dem der Innenleiter zur Kathode, der Außenleiter zur Anode einer Elektronenröhre geworden ist. Bei geeigneter Wahl eines zur Achse der Röhre annähernd parallelen Magnetfeldes und geeignet gewählten Spannungen kann dann die radiale Komponente der Rollkreisbewegung der Elektronen infolge ihrer endlichen Laufzeit zusammen mit dem Aussortierungsmechanismus das konzentrische Rohrsystem bis zur Selbsterregung entdämpfen.

Das FFO beschäftigt sich mit der Entwicklung von Nullschlitz-Magnetfeldröhren schon seit längerer Zeit. Das Ziel der Entwicklung war zunächst, eine Röhre im Gebiet um 6 cm und

1) Ch.W.Rice, Gen.El.Rev.(39), 1936, 363/69

darunter mit möglichst großer Leistung zu schaffen. Erreicht wurden bei 6 cm Wellenlänge etwa 10 W HF-Leistung. Die hierzu aufzuwendende Leistung war bei einem mittleren Wirkungsgrad von 2 bis 3 Prozent so groß (Anodenspannung etwa 10 KV, Anodenstrom etwa 50 mA, Heizleistung etwa 40 Watt), daß beim Betrieb der Röhre im allgemeinen mit Wasserkühlung gearbeitet wurde.

Das Hauptziel der neueren Entwicklung ist die Schaffung einer Nullschlitzröhre, die es gestattet, einen Sender zu bauen, der das gesamte Zentimetergebiet mit einer, höchstens aber mit 2 Röhren überstreicht, wenn auch hierzu ein komplizierter Einstellmechanismus in Kauf genommen werden muß. Auf die maximal mögliche Leistung muß dabei zugunsten eines für Meßsender bzw. Überlagerungssoszillatoren noch tragbaren Aufwands verzichtet werden. Erreicht wurde bis jetzt eine Ziehbarkeit des Nullschlitzmagnetrons im Sender von 2,6 cm bis 12 cm bei einer HF-Leistung, die zwischen 50 mW und 3 Watt liegt. Trotz guter Luftkühlung ist bei dem z.Zt. benutzten Sender allerdings nur über 3,4 cm Dauerbetrieb möglich. Im Wellenbereich darunter muß zunächst etwa alle 10 Minuten für einige Zeit abgeschaltet werden.

Die Abb.1 (a und b) zeigt das Äußere einer solchen durchstimmbaren Nullschlitz-Magnetfeldröhre, die Abb.2 den Längsschnitt. K stellt das zur Wolframkathode, A das zur Kupferanode gewordene Stück des evakuierten Teils des konzentrischen Rohrsystems dar. An die mit Kühlflächen F versehene Anode A anschließend, setzt sich der Außenleiter des konzentrischen Rohrsystems in Form von Pohlshuhen P fort, an welche jeweils die gleichspannungstrennenden Glasrohre G angeschmolzen sind. In diese Glasstützen G eingeschmolzen ist der die Kathode K tragende und sie durch eine Druckfeder D spannende Mittelleiter M. Dicht an den beiderseitigen Verschmelzungsstellen trägt das Rohr geschlitzte Kappen S, über welche unter guter Kontaktgabe und Vermeidung einer Sperrtopfwirkung die Fortsetzungsrohre der Außenleiter geschoben werden können, während die Fortsetzungsstäbe des Innenleiters an die Kathodenthaltestäbe T angeschraubt

werden können. Die mechanische feste Verbindung der Außenleiterteile mit der Röhre geschieht dabei durch Verschrauben mit den an den Polschuhen der Röhre befindlichen Gewinden W. Die Abbildung 1b zeigt eine solche für das Einsetzen in den eigentlichen Sender vorbereitete Röhre.

Zur Inbetriebnahme muß nun die Röhre in einen mit durchgebohrten Polschuhen versehenen Magneten eingebaut und das konzentrische Rohrsystem beiderseitig mit einem Kurzschlußkolben versehen werden, der zum Zwecke der Wellenlängenänderung verschiebbar, zum Zwecke der Gleichspannungszuführung kapazitiv aufgetrennt ist.

Für eine Nullschlitzröhre mit einer Anodenbohrung von 4 mm Durchmesser, einer Kathode aus 3 verdrehten, je 0,1 mm starken Wolframdrähten mit einer Länge von 15 mm und einem Polschuhabstand von 13 mm seien als Beispiel die erreichbaren Werte und einige Betriebsdaten angeführt. Das Rohr läßt sich etwa im Bereich von 2,6 cm bis 12 cm ziehen. Die dabei notwendigen Magnetfeldstärken liegen bei $\frac{1}{2} \times \lambda$ - Werten zwischen 15000 und 16000 Gauß \times cm. Bei dem z.Zt. benutzten Magneten war es nicht möglich, mit Feldstärken über 6000 Gauß zu arbeiten, so daß es als durchaus möglich erscheint, bei höherer Belastbarkeit des Magneten die Wellenlänge von 2,6 cm mit derselben Rohrtype noch unterschreiten zu können. Als Anhaltspunkt für die erzielbare HF-Leistung sei erwähnt, daß die maximale Leistung bei 12 cm etwa 50 mW, bei 4,5 cm etwa 2,5 Watt und bei 2,9 cm etwa 1,0 Watt beträgt. Der Wirkungsgrad liegt zwischen 1 und 3 Prozent. Die bei stärkerer Luftkühlung maximal aufnehmbare Verlustleistung beträgt etwa 150 Watt, die notwendige Heizleistung etwa 8 Watt (2 Volt, 4 Amp.) Als Beispiel für eine mittlere Einstellung seien folgende Betriebswerte für die Erzeugung einer HF-Leistung von 0,8 Watt bei einer Wellenlänge von 3,8 cm angeführt; Magnetfeldstärke etwa 4200 Gauß, Anodenspannung etwa 2200 Volt, Anodenstrom 30 mA.

Da es sich bei dem Schwingungsmechanismus der Nullschlitzmagnetfeldröhren um eine Ausnutzung der radialen Komponente der Rollkreisbewegung der Elektronen handelt, kommen zwangsläufig Elektronen auf ihrer Bahn wieder in die Nähe der Kathode; u.a.

natürlich auch falschphasige, die aus dem HF-Feld Energie aufgenommen haben und denen es dadurch ermöglicht wird, die Kathode, die sie mit nur thermischen Geschwindigkeiten verlassen haben, mit merklichen Geschwindigkeiten wieder zu beaufschlagen. Die dadurch bedingte zusätzliche Aufheizung der Kathode - die sogenannte Rückheizung - kann gerade bei guten Röhren so stark werden, daß sie eine Gefährdung für die Röhre bedeutet, weil die dadurch gesteigerte Temperatur des Heizfadens eine erhöhte Emission zur Folge hat und diese wiederum eine erhöhte Rückheizung, wobei dieses sich gegenseitige Aufschaukeln zur Vernichtung der Röhre führen kann. Um den günstigsten Betriebszustand der Röhre ausnützen zu können, ist deshalb die Verwendung eines Rückheizregelgeräts erforderlich. Dieses regelt die von außen der Kathode zugeführte Heizleistung jeweils soweit zurück, daß die Summe der vom äußeren Heizkreis und von den falschphasigen Elektronen der Kathode zugeführten Leistung den für die optimale Wirkungsweise der Röhre notwendigen Betrag erreicht, ihn aber keinesfalls überschreitet. Bei der Steuerung der Heizrückregelung, die ja letzten Endes durch die Kathodentemperatur erfolgen muß, kann als Maß für diese Kathodentemperatur z.B. der temperaturabhängige Widerstand der Kathode oder auch die Auswirkung der temperaturabhängigen Emission der Kathode auf den Anodenstrom dienen.

Abschließend sei einerseits auf einige Vorteile dieser Nullschlitzröhren, aber andererseits auch auf die wichtigsten Nachteile kurz eingegangen. Schon die Tatsache, daß es möglich ist, mit dieser Dauerstrichröhre so verhältnismäßig kurze Wellen zu erzeugen, darf bei dem Mangel an Möglichkeiten zur Erzeugung von Schwingungen im unteren Zentimeterbereich als Vorteil gelten, insbesondere wenn man berücksichtigt, daß es wahrscheinlich möglich sein wird, auch in den Wellenlängenbereich unter 2,6 cm vorzustoßen, wenn man die Röhre gerade für diesen Wellenbereich günstig dimensioniert und die Belastungsfähigkeit des Magneten erhöht. Als Hauptvorteil aber muß die gute Durchstimmbbarkeit der Röhre gelten, die es - obwohl es sich um eine Laufstrichröhre handelt - ermöglicht, mit höchstens zwei, evtl.

aber auch mit nur einer Röhre den gesamten Zentimeterbereich zu überstreichen.

Als Nachteil dieser Röhren muß der verhältnismäßig große Aufwand für die notwendigen Zusatzgeräte erwähnt werden. Neben einem verhältnismäßig umfangreichen eigentlichen Netzgerät, das bei einem universell verwendbaren Sender für Spannungen bis etwa 4000 Volt und Ströme bis etwa 40 mA zu dimensionieren ist, erfordert die Röhre noch ein Rückheizregelgerät und einen hohen Aufwand für die Erzeugung des notwendigen Magnetfelds, desgleichen für die Gestaltung des äußern Abstimmsystems, das ja gleichspannungsmäßig für Betriebsspannungen bis zu 4000 Volt aufgetrennt werden muß.

Als Hauptnachteil aber ist zu erwähnen, daß zur Durchstimmung eines mit einem solchen Rohr ausgestatteten Senders im allgemeinen vier Größen geändert werden müssen, nämlich die Magnetfeldstärke, die Anodenspannung und die Längen der beiderseits an die Röhre anschließenden Teile des konzentrischen Rohrsystems. Die Länge des Rohrsystems nur auf einer Seite der Nullschlitzröhre zu ändern, genügt bei größeren Wellenlängenänderungen nicht, da die Röhre als der entdämpfende Teil des Systems immer im Spannungsbauch des konzentrischen Rohrsystems verbleiben muß. Selbstverständlich kann man - da das Verbleiben der Nullschlitzröhre in der elektrischen Mitte des Systems nicht sehr kritisch ist - mit einem zusätzlichen mechanischen Aufwand die zwei Längenänderungen des konzentrischen Rohrsystems auf beiden Seiten der Röhre miteinander koppeln. Man könnte natürlich durch weiteren mechanischen Aufwand auch die Einstellung der Spannung und die des Magnetfelds mit den beiden Rohrverschiebungen derart verbinden, daß diese 4 Einstellungen immer zwangsläufig der gerade eingestellten Wellenlänge zugeordnet sind. Dies stößt aber auf ziemlich große mechanische Schwierigkeiten, schon deshalb, weil die Gesamtlänge des konzentrischen Rohrsystems nicht eindeutig die Wellenlänge bestimmt, da infolge der großen Durchstimmbarkeit der Nullschlitzröhre dieselbe auch dann anschwingen kann, wenn das

Rohrsystem in einem ungeradzahligen Vielfachen der Grundschiwingung angeregt wird und deshalb die anzuregende Wellenlänge oberhalb eines bestimmten Bereichs erst zusammen mit dem Magnetfeld bzw. der Spannung eindeutig festgelegt wird.

Ein weiterer Nachteil, der aber mehr oder minder allen Laufzeitröhren des unteren Zentimeterbereichs anhaftet, ist das Erfordernis eines äußerst genauen Aufbaus. Ohne einen solchen genauesten Aufbau, insbesondere bei der Justierung der Kathode, ist nicht nur die Reproduzierbarkeit der Röhrendaten, sondern sogar die Brauchbarkeit der Röhre an sich in Frage gestellt. Als ein Beispiel für die Wege zur Erreichung eines solchen genauen Aufbaus sei an Hand der Abb. 2 erwähnt, daß der die Kathode tragende Mittelleiter auf der rechten Seite der Röhre nicht direkt in das Glas eingeschmolzen wird. Vielmehr wird zunächst ein Röhrchen eingeschmolzen, in das dann erst der Mittelleiter eingeschoben und an der Stelle V hochvakuumdicht mit demselben hart verlötet wird. Dadurch ist eine genaue Zentrierung der Kathode in Bezug auf die Anodenbohrung ermöglicht, denn das Röhrchen kann beim Einschmelzvorgang von einem in die Anodenbohrung eingeschobenen Lehdorn koaxial zu dieser Bohrung gehalten werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß trotz der erwähnten Nachteile sich mit einem Nullschlitzrohr-Sender eine Reihe von Aufgaben gut durchführen lassen, bei denen ein durchstimmbarer Sender im Zentimeterbereich erwünscht ist. So insbesondere labormäßige Messungen, aber auch Aufgaben, bei denen ein Überlagerungszillator für Grund- oder auch Oberwellen-Mischung in diesem Gebiet erforderlich ist.

Sieht man von besonderen Anwendungen, wie Suchempfänger n.dgl.ab, so wirkt es dabei bisweilen garnicht allzu nachteilig, daß im allgemeinen 4 Werte abgestimmt werden müssen, da die zur Feineinstellung und zum Nachlaufenlassen der Frequenz erforderliche Frequenzänderung nach erfolgter Grobeinstellung mit Hilfe nur einer Magnetfeldänderung allein bewirkt werden kann. Im allgemeinen läßt sich nämlich die Frequenz - nimmt man einen HF-Leistungsabfall von 30 Prozent in Kauf - mit dem Magnetfeld allein um etwa 2,5 bis 6 Prozent, in günsti-

gen Fällen, bei längeren Wellen, sogar um mehr als 10 Prozent ändern.

Zweischlitz - Magnetfeldröhren.

Die Zweischlitz-Magnetfeldröhren-Entwicklung hatte zum Ziel, für das Wellenlängengebiet unter 2 cm Röhren mit einer über die die Nachweisgrenze merklich hinausgehenden, für die meisten Meßzwecke bequem ausreichenden HF-Leistung zu schaffen. Dabei war von vornherein zu vermuten, daß bei dem in diesem Wellenbereich zu erwartenden geringen Wirkungsgrad und der notwendigen Kleinheit des Systemaufbaus die Abfuhr der Verlustleistungswärme zu einem der Hauptprobleme werden würde. Es wurde deshalb - nach einigen in der üblichen Glastechnik ausgeführten Vorversuchsmustern einfachster Form - eine weitgehend Metall benutzende Aufbauart gewählt und diese dann für alle Zweischlitzmagnetfeldröhren und auch für einige Mehrschlitz-Magnetfeld-Versuchsröhren beibehalten. Weitere Gründe für eine Ausführung in Metall waren einerseits die Absicht, einen weitgehend stabilen Aufbau zu ermöglichen und andererseits der Wunsch, die Röhre auf möglichst einfache Weise an die für solche kurzen Wellen zweckmäßigste Form der Energieleitung anzukoppeln.

An Hand der Abb.3 und Abb.4 sei der Aufbau einer Zweischlitzröhre dieser Ausführungsform kurz erläutert. Ein Molybdänstab M, im allgemeinen mit einer Querschnittfläche von $4 \times 4 \text{ mm}^2$, ist mit einer Schwingkreisbohrung B und einer Anodenbohrung A versehen. Der eine Schlitz S_1 der Zweischlitzröhre verbindet nun die Anodenbohrung A mit der Schwingkreisbohrung B, der andere gegenüberliegende Schlitz S_2 erweitert sich nach Erreichung derselben Schlitztiefe derart, daß etwa das obere Viertel des Molybdänstabs M zu einem kleinen Stück eines bandförmigen Lechersystems wird. Zur Verlängerung dieser Band-Lecherleitung werden dann, vor dem Zusammenbau, zwei Molybdänbänder D angepunktet, die bis zur Einstrahlstelle in den Hohlleiter reichen. Der so bearbeitete Molybdänstab

wird auf die Mitte einer Nickelscheibe N hart aufgelötet. Auf die andere Seite der Nickelplatte N wird ein zweckentsprechend in Metallhülsen H gefaßter Keramikstab K aufgelötet, der als Trägerstab für die Zuleitungen Z zu dem durch die Mitte der Anodenbohrung führenden Heizfaden H dient. Die Nickelscheibe N ist zur Durchführung dieser Zuleitungen Z durchbohrt. Das Gesamtsystem kann auf diese Weise auf die Nickelscheibe fertig justiert werden, was sich wegen der unbedingten Notwendigkeit eines äußerst genauen Aufbaues, insbesondere in der Heizfadenjustierung, als sehr vorteilhaft erwies.

Über das auf der Nickelscheibe N aufgebaute System wird von oben die mit einer angeschmolzenen Glaskuppe U einerseits und einem Schweißflansch F andererseits versehene rohrförmige Hülse R aus einem mit Glas verschmelzbaren Metall geschoben. Die Nickelträgerplatte N wird dann mit den von unten bzw. oben an sie herangeschobenen Teilen durch Verpunkten zusammengeheftet und dann verschweißt. Durch die direkte metallische Verbindung des stark belasteten Molybdänstabs M mit dem metallischem, mit Kühlrippen P versehenen Außenmantels der Röhre wird eine sehr gute Kühlung des Systems ermöglicht. An den unteren Teil des mit den Kühlrippen versehenen Rohrteils wird ein Rohr O mit angeschmolzener Glaskuppe E, in welche die Heizführungen W eingeschmolzen sind, angeschweißt, nachdem die Verbindung mit den am System befindlichen Heizzuführungen Z durch Anpunkten einer Bandlitze hergestellt worden ist. Dieser Teil der Röhre trägt außerdem einen Ring J, der es erlaubt, durch Umbörtern das Rohr mit einem Sockel Q zu versehen. Dabei wird die endgültige Sockelung so vorgenommen, daß die Röhren untereinander ausgetauscht werden können. Der notwendige Winkel der Systemachse der Röhre gegen das Magnetfeld, der in allgemeinen zwischen 3° und 6° liegt und der verhältnismäßig kritisch ist, wenn man dem Rohr die maximal mögliche HF-Leistung entnehmen will, wird nämlich an dem nur provisorisch gesockelten Rohr festgestellt und bei der endgültigen Sockelung berücksichtigt.

Die Abb.5 zeigt zwei fertiggestellte, gesockelte Röhren, wobei die untere Röhre die häufiger angewandte Ausführung für die F₁-Strahlung in den Hohlrohrleiter darstellt, nämlich diejenige, bei welcher am Ende des Metallrohrs R eine Glas-
kuppe U angeschmolzen ist, in die das Ende der Bandlecher-
leitung D hineinragt. Bei einigen Zweischlitzröhren wurde versuchsweise das Ende des Metallrohrs mit einer Keramikschei-
be abgeschlossen, auf deren Rand Eisen aufgesintert worden war und die dann in das Rohr hart eingelötet wurde. Die auf der Innenseite der Keramikscheibe zu Ende gehende Bandlecher-
leitung wird dort etwas vergrößert. Auch bei dieser mechanisch noch etwas stabileren Form kann dann in einen über das Me-
tallrohr der Zweischlitzröhren geschobenen Hohlrohrleiter direkt eingestrahlt werden. Es wäre auf diese Weise auch mög-
lich, das Magnetron z.B. direkt mit einem keramischen, für diese Wellenlängen ja schon sehr kurzen Stielstrahler abzu-
schließen.

Mit Röhren der beschriebenen Art kann das zunächst ge-
steckte Ziel, nämlich die Erzeugung von Wellen unter 2 cm mit einer HF-Leistung, die mindestens 50 mW beträgt, bei de-
nen also eine Leistungsabschätzung noch mit empfindlichen Glühfäden möglich ist, bis zu einer Wellenlänge von 1,2 cm herab als erreicht angesehen werden. Daß die HF-Leistung bei den im folgenden als gut brauchbar klassifizierten Röhren genügt, um empfindliche Glühfäden noch zum Ansprechen zu brin-
gen, ist aus der Abb.6 ersichtlich. Diese Abbildung zeigt ein aus 10 μ starken Wolframdrähten aufgebautes Lechersystem mit einer stehenden Welle von 1,15 cm Länge. Dieses in den Strom-
bäuchen hellgelb glühende Lechersystem ist in ein evakuiertes Glasröhrchen eingeschmolzen und an das Ende einer Hohlrohr-
leitung angekoppelt, in deren anderes Ende die Lecherleitung einer Zweischlitzröhre einstrahlt.

Als Beispiel für die erreichten Werte seien im folgenden einige Durchschnitts- und einige Maximalwerte angeführt. Um aber auch einen Überblick über die Größe der angewandten Anoden- bzw. Schwingkreisbohrungen zu geben, sei noch vorausge-
schickt, daß z. B. für die 1,8 cm-Röhre Anodenbohrungen mit einem Durchmesser von 1,5 mm und Schwingkreisbohrungen von 1,4 mm gewählt

aber in einigen Fällen auch Anoden- und Schwingkreisbohrungen von je 1,7 mm, während bei den 1,2 cm - Röhren unter anderem mit Anodenbohrungen von 1,0 mm und Schwingkreisbohrungen von 0,8 mm gearbeitet wurde. - Bei Wellenlängen um 2 cm liegt die Durchschnitts-HF-Leistung bei etwa 250 mW; die besten Röhren geben eine Leistung bis zu 1000 mW. Wenn man von den von vornherein als ersichtlich ungenau aufgebauten Röhren absieht, kann bei dieser Wellenlänge mit einer Ausbeute von etwa 75% gut brauchbarer Röhren gerechnet werden. Die notwendigen Betriebsdaten sind bei Röhren mittlerer Leistung etwa folgende: Anodenspannung etwa 3 KV, Anodenstrom etwa 10 mA. Bei etwa 1,8 cm Wellenlänge kann bei sehr guten Röhren und mit einer HF-Leistung von 450 mW und bei einem Durchschnittsrohr mit einer Leistung von 150 - 200 mW und mit einer Ausbeute an guten Röhren von ebenfalls 75% gerechnet werden. Auch die notwendigen Spannungen und Ströme sind noch weitgehend dieselben wie bei den Röhren für 2 cm. Bei Wellenlängen um 1,6 cm lauten die entsprechenden Werte: Leistung der besten Röhren etwa 200 - 300 mW, Durchschnittsleistung etwa 150 mW, Ausbeute etwa 50 %, Anodenspannung etwa 3,7 kV, Anodenstrom etwa 13 mA. Bei Wellenlängen um 1,4 cm ergaben sich folgende Werte: Leistung der besten Röhren etwa 150 - 250 mW, Durchschnittsleistung etwa 100 mW, Ausbeute etwa 50 %, Anodenspannung 3 - 3,8 KV, Anodenstrom um 10 mA. Bei den Röhren für die Wellenlängen um 1,2 cm ist die Anzahl der gut brauchbaren Röhren schon auf ungefähr 40% gesunken. Es lassen sich aber immerhin mit den besten Röhren im Gebiet um 1,2 cm noch HF-Leistungen von 200 mW erzeugen, während die Durchschnittsleistung der 40% brauchbaren Röhren 100 mW beträgt. Die notwendige Anodenspannung liegt bei etwa 1,8 KV, der Anodenstrom bei etwa 12 mA. Dies entspricht z.B. einem Wirkungsgrad von nicht ganz einem halben Prozent. Der Wirkungsgrad der brauchbaren Röhren schwankt in ziemlich weiten Grenzen, er liegt im allgemeinen zwischen 0,2 und 2%. Es ist zwar auch noch gelungen, einige wenige Röhren im Gebiet um 1 cm (1,05 cm und 0,95 cm) fertigzustellen, bei denen die HF-Leistung merklich über der erwünschten unteren Grenze von 50 mW lag, jedoch war die Lebensdauer dieser Röhren immer

kürzer als ihre Herstellungsdauer. In dieser Hinsicht besteht trotz des kleinen Wellenlängenunterschieds zwischen den Röhren für 1,2 cm und denen für 1,0 cm ein beträchtlicher, bis jetzt nicht verständlicher Unterschied. Denn ab und zu finden sich auch bei Röhren mit längerer Welle noch Leistungen, die merklich über die normal besten Röhren hinausgehen, ohne daß diese Röhren in der Kürze ihrer Lebensdauer sich nun unbedingt so stark von den anderen Röhren unterscheiden. Erwähnt seien als Beispiel dafür 2 Röhren, die bei 1,25 cm eine HF-Leistung abgeben, die an 500 mW heranreicht, eine Leistung, der Kuriosität halber sei dies erwähnt, die bei dieser Wellenlänge von 1,25 cm ausreicht, eine Fliege bzw. Wespe in weniger als 1 sec zu töten, wenn man sie an die strahlende Öffnung eines von solch einer Röhre angeregten Hohlleiters bringt.

Kleinere Leistungen lassen sich aber auch - wie an einigen Versuchsmustern gezeigt werden konnte - im Bereich um 1 cm und darunter, bis zu etwa 0,8 cm herab, mit solchen Zweischlitz-Magnetfeldröhren herstellen, wobei die HF-Leistung bei 0,8 cm schätzungsweise günstigstenfalls 5 mW beträgt. Die erforderliche Magnetfeldstärke ist dann schon sehr groß, sie liegt bei etwa 13000 Gauß. Die Magnetfeldstärke ergibt sich auch bei den anderen Wellenlängen in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle aus $\lambda \cdot f$ -Werten, die zwischen 9500 und 11000 Gauß x cm liegen. Nur bei einer geringen Anzahl von Röhren liegt dieser $\lambda \cdot f$ -Wert unter 9500 Gauß . cm und bei ganz wenigen über 11000 Gauß . cm.

Wie aus diesen $\lambda \cdot f$ -Werten ersichtlich, handelt es sich bei den Röhren um eine Schwingungsanregung unter Ausnützung der radialen Komponente der Rollkreisbewegung der Elektronen, und zwar um Schwingungen im ersten Ordnungsbereich. Diese Tatsache macht das Auftreten eines im allgemeinen sehr starken Rückheizungseffektes verständlich, denn bei dieser Bewegung kehren Elektronen, insbesondere auch falschphasige, d.h. solche, die während eines Umlaufs der HF-Feld Energie entnommen haben, wieder in die Höhe der Kathode zurück und können, wenn sie - dort auftreffend - ihre Energie abgeben,

eine beträchtliche, zur äußeren Heizung zusätzliche Aufheizung der Kathode bewirken. In Wirklichkeit hat sich nun auch gezeigt, daß bei diesen Zweischlitzröhren - in noch höherem Maße als bei den Nullschlitzröhren - im Schwingzustand eine sehr starke Rückheizung auftritt, die so ausgeprägt ist, daß die Verwendung eines Rückheizregelgerätes unbedingt notwendig erscheint. Notwendig schon deshalb, weil, wie sich immer wieder zeigt, die der Röhre entnehmbare H.F.-Leistung um so größer ist, je stärker die Rückheizung in Erscheinung tritt. Allein die Feststellung dieser Tatsache wäre ohne Verwendung eines Rückheizregelgerätes nicht möglich, denn gerade bei den guten Röhren würden ohne Regelgerät, beim Versuch, den günstigsten Schwingzustand einzustellen, längst vor Erreichung desselben die Heizfäden durchbrennen, da das gegenseitige Hochschaukeln von zusätzlicher Aufheizung durch falschphasige Elektronen und der dadurch ansteigende Anodenstrom lawinenartig zur Zerstörung des Heizfeldes führt.

Erwähnt sei in diesem Zusammenhang, daß bei einem merklichen Prozentsatz der Röhren - und zwar gerade bei den guten Röhren - die Rückheizung so stark in Erscheinung tritt, daß die äußere Heizung von z.B. 4 Amp. ursprünglichem Heizstrom auf 0,5 Amp. und weniger zurückgeregelt wird, und daß es dann in vielen dieser Fälle möglich ist, die äußere Heizung völlig wegzuschalten. Manchmal reicht sogar die starke Zurückregelung bzw. Abschaltung der äußeren Heizung noch nicht aus. Es wäre dann in diesen Fällen notwendig, die Rückregelung der Heizung dahingehend zu erweitern, daß von diesem erwähnten Zustand ab eine Kühlung der Kathode erfolgt. Da dies natürlich praktisch nicht durchführbar ist, muß man in solchen Fällen auf die Einstellung der an sich günstigsten Betriebsdaten verzichten, muß aber, um andererseits eine sichere Zerstörung der Röhre zu verhindern, eine Anodenstrombegrenzung vorsehen, die in dem Moment einsetzt, in dem die äußere Heizung auf eine Stromstärke nahe Null zurückgeregelt worden ist. Eine solche mit dem Heizrückregelgerät kombinierte, in ihrem Wert einstellbare Begrenzung des Anodenstromes hat sich, gerade bei Untersuchungen an solchen, in ihrem Verhalten oft stark

voneinander abweichenden Röhren auch sonst als zusätzliches Sicherungsorgan bewährt.

Wägt man die Vorteile dieser Zweischlitz-Magnetfeld-Röhren gegen die ihnen anhaftenden Nachteile ab, so muß man als Hauptvorteil zunächst anführen, daß es eben mit diesen Röhren möglich ist, Wellenlängen von 2 cm bis herab zu 1,2 cm mit einer weit über die Nachweisgrenze hinausgehenden, für viele Meß- und Überlagerungssoszillatorzwecke leicht ausreichenden HF-Leistung zu erzeugen und daß es auch darunter bis zu Wellenlängen von 0,8 cm möglich ist, Röhren zu bauen; wenn auch in diesem Bereich mit merklich geringeren HF-Leistungen. Durch die weitgehend in Metall ausgeführte Aufbauart und die in gewissem Maße schon etwas technische Formgebung ergeben sich ferner als angenehme Eigenschaften die gute Abfuhrmöglichkeit der Verlustleistungswärme, der stabile Aufbau der Röhre, die gute Ankopplungsmöglichkeit an die für diesen Wellenbereich günstigen Hohlrohrleitungen und die beim Vorhandensein der nötigen Zusatzgeräte zwar nicht geringen, aber für ein erstes Vortasten in das Gebiet unter 2 cm immerhin noch tragbaren Schwierigkeiten bei der Einstellung der Betriebswerte.

Als Hauptnachteil steht dem gegenüber, daß die Durchstimmbarkeit der Röhren in ihrer jetzigen Form sehr gering ist. Erste orientierende Messungen ergaben nämlich nur eine Ziehbarkeit der Wellenlänge um etwa 2%. Die sich in vielen Fällen zeigende Möglichkeit, mit einer Röhre bei verschiedenen Magnetfeldstärken zwei bzw. drei diskrete Wellenlängen, z.B. 1,75 cm und 1,35 cm zu erzeugen, mag zwar für manche Fälle von Vorteil sein, bietet aber in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle keinen Ersatz für die fehlende Durchstimmbarkeit der Röhren. Ein weiterer stark ins Gewicht fallender Nachteil der Röhren ist eine die effektive Ausbeute an Röhren noch weiter herabsetzende Eigenschaft, deren Ursache bis jetzt nicht als geklärt angesehen werden kann. Ein Teil der Röhren zeigt nämlich die unangenehme Alterungserscheinung, daß sie bei längerem Liegenlassen - also nicht etwa nur bei längerem Betrieb -

immer schlechter werden und u.U. schon nach Ablauf von etwa 1 - 3 Monaten völlig unbrauchbar geworden sind. Diese unangenehme Eigenschaft trat zu Beginn der Entwicklung so stark in Erscheinung, daß mehr als die Hälfte der zunächst gut brauchbaren Röhren im Laufe der Zeit unbrauchbar wurden. Durch Ausglühen der Aufbauteile im Vakuum vor dem Zusammenbau und durch ein über das normale Maß hinausgehendes Ausbeizen und Ausglühen der Röhren an der Pumpe konnte der Prozentsatz der mit der Zeit unbrauchbar werden^{den} Röhren wesentlich herabgemindert werden. Der von Anfang an vorliegende Verdacht, daß diese unangenehme Eigenschaft ihre Ursache in einem Nachgasen der Röhre habe, scheint durch die Tatsache, daß die erwähnte Art der Behandlung eine Verbesserung zur Folge hatte, bestätigt zu werden. Erste Versuche, bei denen abgeschmolzene Röhren mit einem Jonisationsmanometer versehen worden sind, haben aber diese Ansicht nicht bestätigen können, da sich einerseits kein Nachgasen feststellen ließ, andererseits geringe Gasreste ersichtlich keine so wesentliche Verschlechterung der Röhren herbeiführen. Wenn auch diesen ersten Versuchen aus verschiedenen Gründen, u.a. wegen der durch das Jonisationsmanometer bedingten Getterwirkung, keine absolute Beweiskraft zukommt, so wird die Ursache des Schlechterwerdens der Röhre doch vermutlich nicht in einem Nachgasen zu suchen sein, sondern wird andere Gründe haben; z.B. könnte man an Alterungserscheinungen beim Material denken, die Deformationen zur Folge haben, welche bei der hohen zu fordernden Genauigkeit im Systemaufbau, insbesondere bei der Kathodenjustierung, sich schon so schädlich auswirken könnten.

Der große Aufwand an Zusatzgeräten zum Betrieb der Röhren stellt selbstverständlich auch einen nicht zu unterschätzenden Nachteil dar. Abgesehen von dem schon nicht geringen Aufwand zur Erzeugung der hohen Spannungen und zur Erzeugung des besonders bei den Kürzestwellen-Röhren schon beträchtlich hohen Magnetfelds kommt noch der Aufwand für das Regelgerät hinzu, für das sich im Interesse der Lebensdauer der Röhren und im Interesse einer leichten Bedienbarkeit u.E. jeder Aufwand lohnt. So hat es sich als durchaus zweckmäßig erwiesen, das Regelgerät so zu gestalten, daß es neben einer Einstellmöglichkeit für die

Anfangsheizleistung gestattet, den Einsatzpunkt der Heizrückregelung und die Steilheit dieser Regelung unabhängig voneinander zu wählen, obwohl es prinzipiell möglich ist, wie sich leicht zeigen läßt, bei genügend groß gewählter fest eingestellter Steilheit allein durch die Wahl des Einsatzpunktes der Regelung den optimalen Betriebszustand einzustellen. Außerdem ist es, wie schon erwähnt, sehr zweckmäßig, das Regelgerät mit einer frei wählbaren Anodenstrombegrenzung zu versehen, die automatisch dann einsetzt, wenn die Regelung den äußeren Heizstrom bis annähernd zum Wert Null herabgesetzt hat, um auch Röhren zu schützen, deren optimaler Betriebspunkt im Gebiet negativer äußerer Heizleistung liegt.

Die Nachteile, die diesen Zweischlitz-Magnetfeldröhren anhaften, sind also offensichtlich nicht gering. Trotzdem sind u.E. ihre Vorteile gegenüber den in diesem Wellenbereich bisher vorhandenen Röhren so groß, daß es mit ihnen möglich sein müßte, zumindest einen Großteil der bei einem Aufbau einer Technik für diesen Wellenbereich zwischen 1 und 2 cm auftauchenden Fragen schon jetzt im voraus messend zu klären, um dieser Technik dann die notwendigen und zweckmäßigen Bauelemente zu schaffen und ihr beim Vorliegen wirklich einsatzfähiger Röhren von vornherein den richtigen Weg der Anwendung zu weisen.

2.) Hochtast-Magnetfeldröhren

a) Nullschlitz-Magnetfeldröhren

Die Nullschlitz-Magnetfeldröhren, über deren Eigenschaften als Dauerstrich-Röhren zu Beginn dieser Ausführungen berichtet wurde, sollen der Vollständigkeit halber auch hier unter den Hochtaströhren noch einmal kurz erwähnt werden. Die Versuche, Nullschlitzröhren hochzutasten, liegen schon einige Zeit zurück. Sie werden in Kürze wieder aufgenommen werden. Dies geschieht nicht etwa, weil die Nullschlitzröhren ganz allgemein in Wettbewerb zu den neuerdings bekannt gewordenen Vielschlitz-Hochtast-Magnetfeldröhren treten sollen. Bei gleichem Aufwand wird man nämlich mit den Nullschlitzröhren kaum dieselben HF-Impulsspitzenleistungen erreichen können wie bei den Vielschlitzröhren. Es erscheint aber andererseits durchaus sinnvoll, impulsgetastete Messender für das cm-Gebiet mit Nullschlitzröhren aus-

zurüsten; denn diese besitzen den für solche Zwecke großen Vorteil einer weitgehenden Durchstimbarkeit bei einer für Meßzwecke durchaus ausreichenden HF-Impulsspitzenleistung.

Ein Ergebnis der damaligen Messungen sei als Beispiel für die notwendigen Betriebsdaten angeführt; Bei einer Impulsspitzenspannung von 12 kV, einem Impulsspitzenstrom von etwa 5 Amp., einer Magnetfeldstärke von 3600 Gauß wurde bei etwa 3,8 cm eine HF-Impulsspitzenleistung von etwa 600 Watt erreicht. Diese Leistung genügt ersichtlich für impulsgetastete Meßsender und u.U. auch für manche andere Zwecke, bei denen eine Durchstimbarkeit wichtiger ist als eine möglichst hohe Leistung.

Die angenehmen bzw. unangenehmen Eigenschaften der Nullschlitzröhren treten im allgemeinen in derselben Weise wie beim Dauerstrichbetrieb auch bei der Hochtastung der Röhren in Erscheinung; in einigen Punkten unterscheiden sich darin allerdings diese zwei Betriebsarten wesentlich. Eine Rückheizregelung z.B. ist beim Impulsbetrieb der Nullschlitzröhren wegen der im allgemeinen üblichen hohen Tastverhältnisse nicht notwendig. Diesem Vorteil im Falle der Hochtastung stehen zwei Nachteile gegenüber. Erstens war es notwendig, die für einen sinnvollen Impulsbetrieb erforderlichen hohen Ströme im Impulsmoment durch eine Überheizung der direkt geheizten Wolframkathoden zu ermöglichen. Einerseits können nämlich Oxydkathoden von so kleinem Durchmesser auch im Impulsbetrieb die erforderlichen Ströme kaum liefern, andererseits ist die Verwendung von Kathoden mit größerem Durchmesser wahrscheinlich nicht möglich, da sie vermutlich den Anregungsmechanismus für die Schwingungen zu stark stören würden. Doch müssen diese Annahmen bei der Wiederaufnahme der Versuche, die Nullschlitzröhren hochzutasten, erst erhärtet werden. Als zweiter Nachteil tritt bei der Hochtastung der Nullschlitzröhren verstärkt in Erscheinung, daß der hochfrequenzführende Teil, das konzentrische Rohrsystem, gleichspannungsmäßig aufgetrennt werden muß; der Mittelleiter muß Kathodenpotential, der Außenleiter Anodenpotential führen. Dies macht bei den immerhin schon verhältnismäßig hohen Impulsspitzenspannungen bereits einige Schwierigkeiten, da ja diese gleichspannungsmäßige Auftrennung hochfrequenzmäßig nicht als

Auftrennung in Erscheinung treten darf.

b) Vielschlitz-Hochtast-Magnetfeldröhren.

Bald nach Bekanntwerden der in einem englischen Bodenbetrachtungsgerät, dem sogenannten Rotterdam-Gerät, benutzten Hochtast-Magnetfeldröhre für eine Wellenlänge von 9,2 cm wurde auch beim F.F.O. mit einer entsprechenden Röhrenentwicklung begonnen. Ausgehend vom Nachbau dieser Röhre in einem Exemplar, wurde angestrebt, einerseits möglichst schnell auf dem gleichen Prinzip arbeitende Hochtastströhren für eine Wellenlänge zwischen 3,5 und 4 cm mit möglichst großer Leistung und andererseits Hochtastströhren mit möglichst kurzer Wellenlänge zu schaffen. Dabei wurden schon bei der ersten Röhre zwar die Abmessungen des eigentlichen Systems übernommen, gegenüber der nachzubauenden Röhre aber schon eine etwas andere Aufbau-technik gewählt, die sich besser in den Rahmen der beim FFO üblichen Röhrenbautechnik einfügte,

Es erübrigt sich, auf den prinzipiellen Aufbau der Vielschlitz-Hochtast-Magnetfeldröhren mit Schwingkreisbohrungen einzugehen, da gerade diese Röhren in letzter Zeit allgemein bekannt geworden sind. Es sei deshalb nur kurz auf die erzielten Ergebnisse und an Hand einiger Abbildungen auf die speziellen beim FFO gewählten Ausführungsformen hingewiesen. Abb.7 zeigt das Äußere einer ungesockelten und zweier gesockelter Röhren, von denen eine mit Kühlrippen versehen ist. Abb.8 zeigt eine noch offene Röhre und einzelne Systemteile, Abb.9 einen Schnitt durch eine solche Achtschlitz-Hochtast-Magnetfeldröhre. Das in einem zylindrischen Block aus Vakuumpuffer eingearbeitete eigentliche System S mit der Anodenbohrung A, den acht Schlitzten und den daran anschließenden Schwingkreisbohrungen B wird hart eingelötet in einen Zylinder H aus hochvakuumdichtem, verschweißbarem Material, der an den Enden zu ebenen schmalen Ringflächen R umgebördelt ist. In diesen Zylinder H sind 3 Rohrstützen U_1 , U_2 und U_3 aus Eiseneinschmelzmaterial hart eingelötet. An zwei dieser Stützen (U_1 und U_2) werden die Glasstützen G_1 und G_2 mit den Heiz-

zuführungen E_1 und E_2 angeschmolzen. Das dritte Rohr (U_3) dient zur Auskopplung der HF-Energie; und zwar entweder in der Weise, daß es als Außenleiter eines konzentrischen Rohrsystems wirkt, dessen Mittelleiter M einerseits mit einer Schleife F in eine der Schwingkreisbohrungen ragt, andererseits durch ein an den Rohrstützen U_3 angeschmolzenes Glasrohr G_3 nach außen geführt wird (vgl. Abb. 7 und Abb. 9), oder aber es dient dies dritte Rohr U_3 als Abschirmrohr für eine symmetrische bandförmige Auskoppel-Lecherleitung, die dann - strahlt man z.B. direkt in einen anschließenden Hohlleiter ein - garnicht mehr durch den Glasstützen nach außen geführt werden muß. (Vergl. Abb. 8). Die Kopplung der einzelnen Schwingkreise erfolgt in der üblichen Weise auf beiden Seiten des Systems durch die bekannte Verdrahtung, die jeweils den größten Teil des HF-Magnetfeldes einer Schwingkreisbohrung mit dem nächsten Schwingkreis verkoppelt. Nach Justierung der Kathode K werden beiderseits auf die ebenen umgebördelten Ringe R des Zylinders H die mit einer nach innen gehenden kegeltstumpfförmigen Vertiefung gedrückten Abschlußdeckel aufgeschweißt. In diese Vertiefungen werden kegelförmige Polschuhe aus Minimizeisen derart eingelötet, daß deren Basisflächen in die Ebene der Ringflächen R zu liegen kommen. Auf diese Weise können die Schweißstellen genügend weit nach außen verlegt werden, ohne daß der effektive Polabstand vergrößert wird. Dadurch erreicht man, daß die Röhren nach Sockelung und nach Auflöten eines Ringes N auf den Auskoppelstützen U_3 ohne Aenderung an der Apparatur durch einfaches Herausziehen und Einstecken ausgewechselt werden können.

Nach einigen Vorversuchsmustern solcher Achtschlitz-Hochtaströhren für Wellenlängen von 9 und 5,5 cm wurde für eine Wellenlänge von 3,9 cm eine kleine Anzahl von Röhren gebaut, von denen die besten eine HF-Impulsspitzenleistung von etwa 30 kW lieferten, während die Durchschnittsleistung bei einer Impulsspitzenleistung von 15 bis 25 kW lag. Die für diese Leistungen notwendigen Impulsspitzenspannungen liegen im allgemeinen zwischen 16 und 21 KV, die Impulsspitzenströme zwischen 15 und 25 Amp. und die notwendigen Magnetfeldstärken zwischen 2600 und 3000 Gauß. Als Beispiel seien

von diesen 3,9 cm-Impulsröhren die Systemabmessungen angeführt. Es handelt sich um Achtschlitzröhren mit einem im allgemeinen zehn Millimeter langen System, mit einer Anodenbohrung von 9 mm Durchmesser, einer Schlitzbreite von 1 mm, einer Schlitztiefe von 0,8 mm, einer Schwingkreisbohrung von 4,0 mm, einem Schwingkreisteilkreis von 14,6 mm und einem Verhältnis von Schlitzbreite zu Schlitzabstand von 1 : 3,54.

Erwähnt sei noch, daß für das Anschwingen dieser Röhre eine Impulsspitzenspannung von etwa 7 KV, ein Impulsspitzenstrom von etwa 2,5 Amp. und ein Magnetfeld von 1400 Gauß notwendig ist.

Im Zuge der Weiterentwicklung nach kürzeren Wellen wurden u.a. einzelne Röhren für Wellenlängen von 2,4 cm und 2,15 cm gefertigt. Die zur Zeit beim FFO mit Hochtaströhren hergestellte kürzeste Wellenlänge ist 1,75 cm. Die HF-Impulsspitzenleistung der besten 1,75 cm-Röhren beträgt etwa 8 KW. Etwa 20 KV war die notwendige Impulsspitzenspannung und etwa 13 Amp. der notwendige Impulsspitzenstrom für diese Hochtaströhre. Das Magnetfeld lag bei etwa 3200 Gauß. Bei den wenigen anderen fertiggestellten Röhren mit dieser Wellenlänge liegt die HF-Leistung in der Impulsspitze zwischen 1 und 5 KW, obwohl alle diese Röhren mit denselben Systemabmessungen gefertigt wurden. Es erweisen sich also anscheinend bei derart kurzen Wellenlängen auch bei diesen Hochtaströhren kleine, bei der Herstellung z.Zt. schwer vermeidbare Ungenauigkeiten im System als sehr störend, denn es gibt wohl kaum eine andere Erklärung für die große Streuung in der Leistung dieser Hochtaströhren für 1,75 cm Wellenlänge.

Bei der Prüfung der meisten Vielschlitz-Hochtaströhren ergibt sich, daß sie nicht nur bei einer Wellenlänge schwingen, sondern daß neben der Hauptwelle, bei Einstellung anderer Röhrendaten, eine zweite, allerdings meist bedeutend schwächere Nebenwelle angeregt werden kann. In manchen Fällen lassen sich sogar noch weitere Nebenwellen feststellen. Sie stehen aber nicht etwa in einem ganzzahligen Verhältnis zur Hauptwelle. Die sie leistungsmäßig, wie erwähnt, in den meisten Fällen ganz bedeutend unter der Hauptwelle liegen, kommt den Neben-

wellen im allgemeinen keine Bedeutung zu. Dies trifft allerdings u.U. dann nicht zu, wenn die Nebenwelle kürzer als die Hauptwelle ist und wenn gleichzeitig nicht nur die erzielbare HF-Impulsspitzenleistung gering ist, sondern auch die Leistung, die der Impulsgeber zur Erzeugung dieser kürzerwelligen Nebenwelle aufbringen muß. So ließ sich u.E. für eine Wellenlänge von 1,4 cm, wie sie als Nebenwelle bei einigen Hochtaströhren für 1,8 und 2,8 cm aufgetreten ist, auch dann Anwendungsgebiete finden, wenn die Impulsspitzenleistung nur zwischen 25 und 50 Watt liegt, wenn gleichzeitig die aufzubringende Leistung des Impulsgebers nur 20 bis 50 kW beträgt und insbesondere, wenn wegen der notwendigen geringen Magnetfeldstärke von etwa 1400 Gauß bei dieser Wellenlänge noch mit Permanentmagneten gearbeitet werden könnte.

Es sei aber ausdrücklich betont, daß solch geringe HF-Impulsspitzenleistungen nicht das Ziel einer Hochtaströhrenentwicklung sein können. Deshalb wurde auch als die z.Zt. kürzeste mit Hochtaströhren beim FFO erreichte Wellenlänge diejenige von 1,75 cm angegeben und nicht eine Wellenlänge von 0,9 cm, die zwar auch erzeugt werden konnte, aber nur mit einer vermutlichen Leistung von weniger als 1 Watt in der Impulsspitze, eine Leistung, die man aber eben unter keinen Umständen als das Ergebnis einer Hochtaströhrenentwicklung anführen kann.

Erwähnt sei noch, daß auch erste Vorversuche mit Hochtaströhren höherer Schlitzzahl begonnen wurden unter dem Gesichtspunkt, erstens höhere HF-Leistungen zu erzielen und zweitens, die notwendigen Magnetfeldstärken herabzusetzen. Letzteres hat sich sofort bestätigen lassen, dagegen ist es damals noch nicht gelungen, höhere HF-Impulsspitzenleistungen zu erzeugen. Da aber dabei der Impulsspitzenstrom trotz der größer gewordenen Kathodenoberfläche auch nicht angestiegen ist, werden nach Klärung der Ursache für dieses letztere Verhalten die Versuche mit Hochtaströhren höherer Schlitzzahl noch einmal aufgenommen werden.

Abschließend kann gesagt werden, daß das Abweichen von einem genauen Nachbau der Hochtaströhren des Rotterdam-Gerätes die Weiterentwicklung der Hochtaströhren nicht behindert hat. Die Schaffung von Vielschlitzhochtaströhren bis zu einer Wellenlänge von 1,75 cm herab beweist dies. Der Hauptvorteil dieses Abweichens von einem strikten Nachbau, nämlich die Verwendung der beim FFO üblichen Röhrenaufbautechnik auch für die Hochtaströhren, gilt natürlich nur für diese Stelle. Einige der sich aber daraus ergebenden kleineren zusätzlichen Vorteile könnten von allgemeinem Interesse sein. So ermöglicht z.B. die Verwendung von Eiseneinschmelzmaterial für die Rohrstützen der Heizzuführungen und der Auskopplung die Anwendung einer weniger kritischen Verschmelzungstechnik als die der immer etwas schwierigen Kupfer-**ferrandverschmelzungen**. Auch ist es bei dieser Aufbautechnik möglich, die Getterpille am Metallkörper der Röhre - und zwar auf einem der Abschlußdeckel - zu befestigen, was bei den nur aus Kupfer bestehenden Röhren nicht möglich ist wegen des niederen Schmelzpunktes dieses Materials, der unterhalb der Verdampfungstemperatur des Getters liegt. Dadurch fällt der sonst notwendige Glasansatz für das Getter an einer der Heizzuführungen weg, was die Sockelung und damit auch die Auswechselbarkeit der Röhren merklich erleichtert.

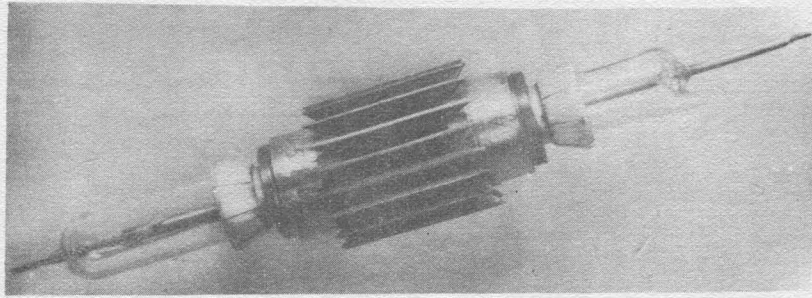


Abb. 1a Aussenansicht einer Nullschlitz-Magnetfeldröhre (Im Druck 3:4 verkleinern !)

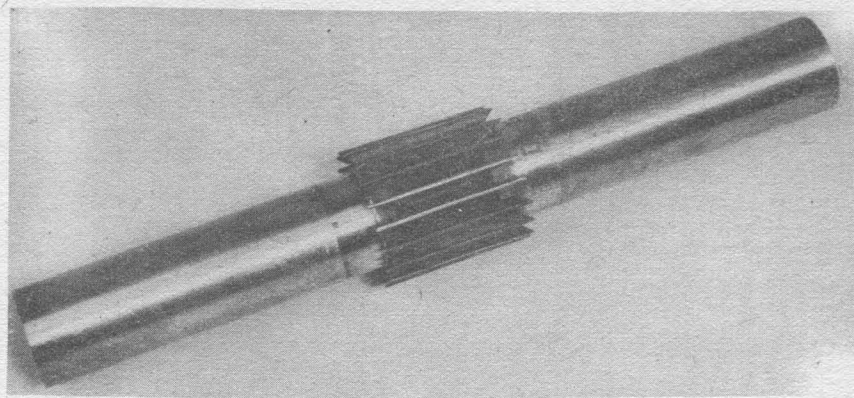


Abb. 1b Nullschlitzröhre, zu m Einbau in den Sender vorbereitet (3:4 verkleinern !)

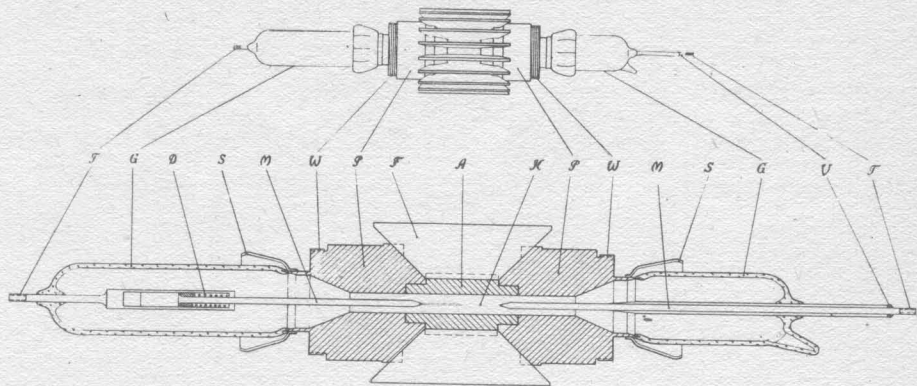


Abb. 2 Schnitt durch eine Nullschlitz-Magnetfeldröhre (4:3 vergrößern !)

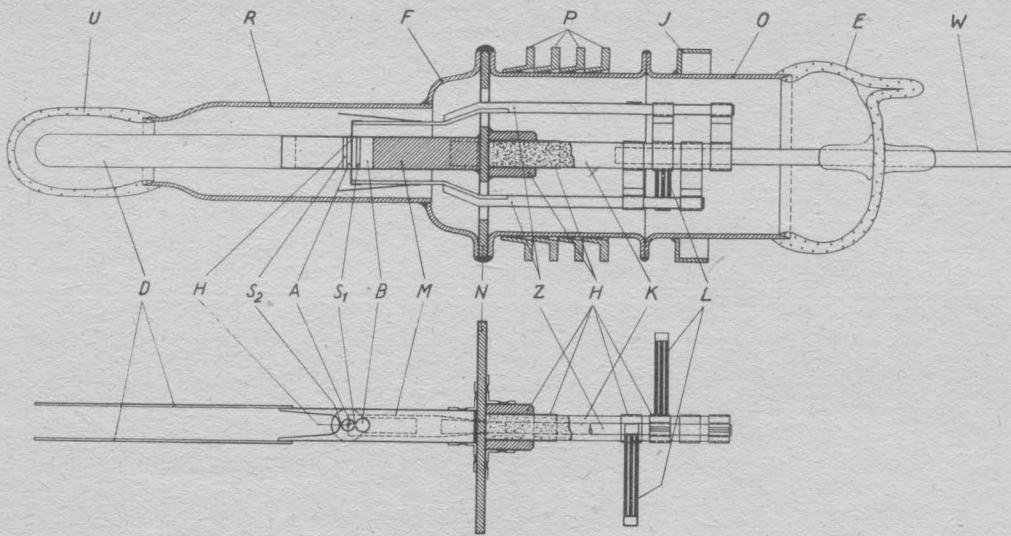


Abb. 3 Zweischlitz-Magnetfeldröhre im Schnitt(4:3 vergr.)

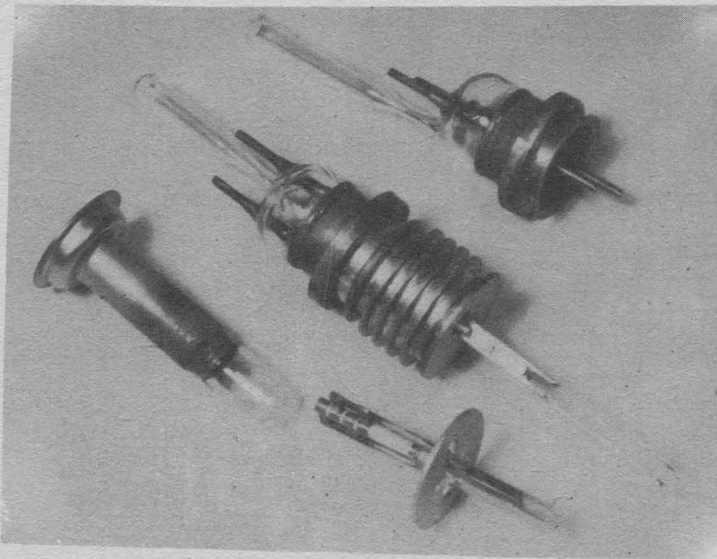


Abb. 4 Aufbauteile einer Zweischlitz-Magnetfeldröhre
(3:4 verkl.)

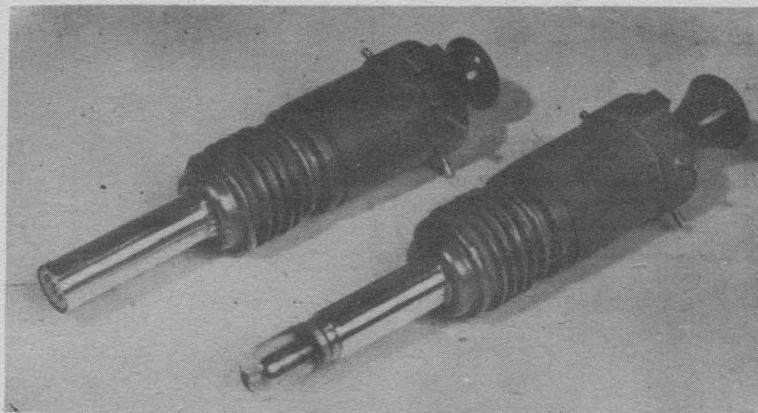


Abb. 5 Zweischlitz-Magnetfeldröhren (3:4 verkl.)

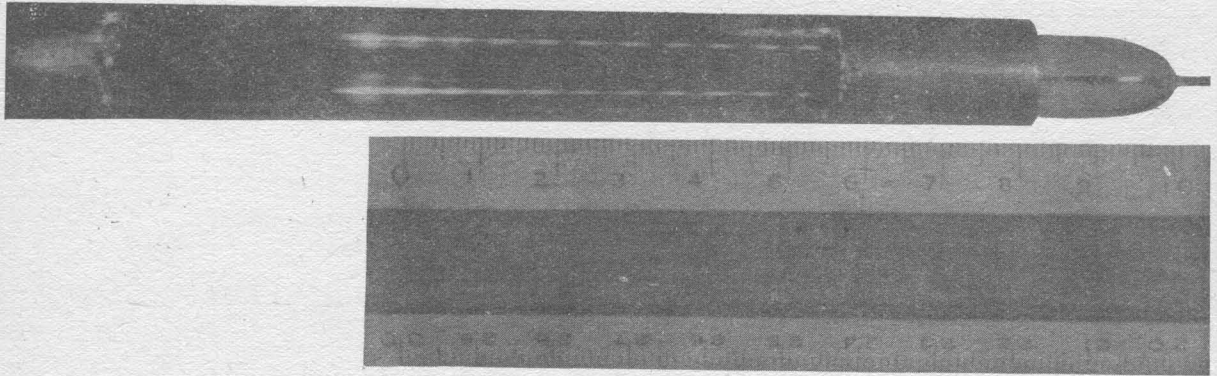


Abb. 6 Lechersystem aus 10 \sim Wolframfäden. Strombäuche der stehenden 1,25 cm Welle glühend

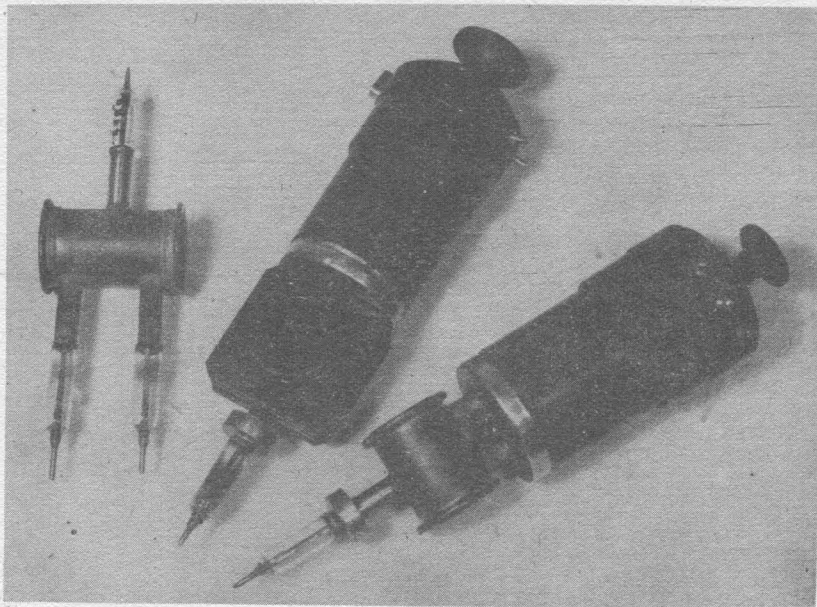


Abb. 7 Hochtast-Vielschlitz-Magnetfeldröhren
(3:4 verkl.)

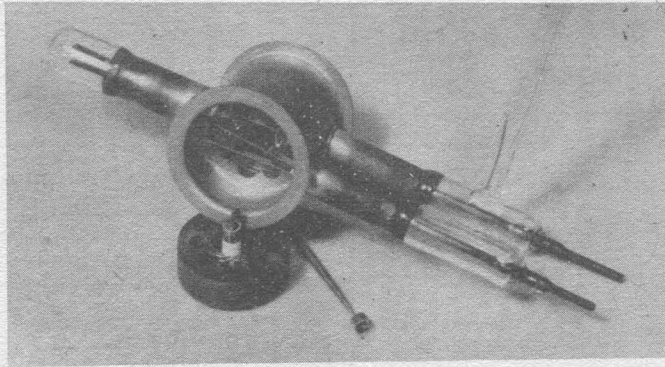


Abb. 8 Aufbauteile einer Achtschlitz-Hochtaströhre
(3 : 4 verkl.)

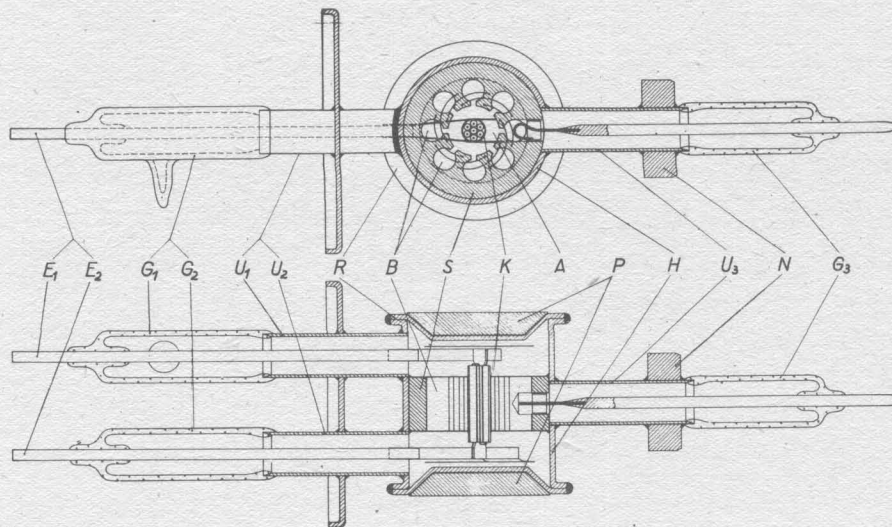


Abb. 9 Hochtastr-Vielschlitzröhre im Schnitt
(4 : 3 vergr.)