

Neuere Versuche zur Erzeugung extrem kurzer Wellenlängen mit Magnetfeldröhren (6 mm bis 5 cm)

Von HANS AWENDER

Wellenlängen von 4 bis 5 cm

In den Versuchslabororien der General Electric Company in Schenectady (N. Y.) sind im Laufe der letzten Jahre umfangreiche Versuche mit Magnetfeldröhren für extrem kurze Wellenlängen gemacht worden, deren erste Ergebnisse in Form einer Veröffentlichung von Ch. W. Rice¹⁾ vorliegen. Es wurde eine drahtlose Verbindung auf den Wellen 4,2 und 4,8 cm mit einer Antennenleistung von ungefähr 3 Watt über eine Entfernung von 12 km betrieben.

Der Sender bestand aus einer nichtgeschlitten Magnetfeldröhre, welche in Elektronentanzschaltung betrieben wurde. Die Abmessungen der Magnetfeldröhre sind aus Abb. 1 zu ersehen. Die Anode besteht aus einem nichtgeschlittenen Kupferzylinder, an welchen auf jeder Seite ein Hartglaskörper angesetzt ist, um die Heizfadenzuleitungen vakuumdicht und isoliert durchzuführen. Die ganze Röhre ist in die Polschuhe eines

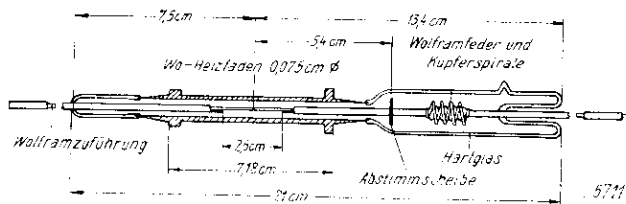


Abb. 1. Die Magnetfeldröhre mit ihren Abmessungen

Hufeisenmagneten fest eingebaut (Abb. 2), wobei ein kleiner Zwischenraum zwischen Anode und Innenwand der Polschuhbohrung freigelassen ist, um den Durchfluß des Kühlwassers zu ermöglichen. Im Betriebszustand ist der Magnet mit der Senderröhre abgeschirmt. Das Gehäuse mit dem Magneten und Oszillator ist unterhalb des mit der Sendeantenne ausgerüsteten Hohlspiegels aufgebaut. Ein Fernrohr erlaubt eine optische Justierung derart, daß die Sendeenergie auf den Spiegel des 12 km entfernten Empfängers auftrifft.

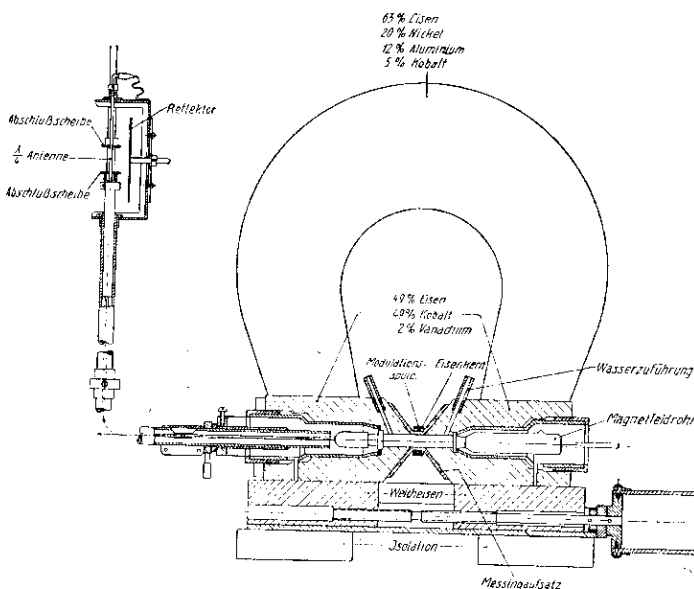


Abb. 2. Aufbau der Magnetfeldröhre im Magnetfeld

Die Betriebsdaten der Magnetfeldröhre für 4,8 cm Wellenlänge sind: Heizstrom $I_h = 32,5$ Amp., Anodenstrom $I_a = 0,115$ Amp., Anodenspannung $V_a = 3050$ Volt, Kühlwassermenge ~ 6 Liter pro Minute.

Der Magnet bestand aus einem hufeisenförmigen Teil (Abb. 2) mit angesetzten Polschuhen, innerhalb welcher, wie wir schon gesehen haben, die Magnetfeldröhre untergebracht ist. 2 mm weit gegeneinander verschiebbare Weicheisenstücke lassen eine Änderung des Kraftflusses in der Magnetfeldröhre zu. Die Polschuhe tragen einen Aufsatz aus Messing; in der Mitte dieses Aufsatzes ist ein Eisenring angebracht, welcher zwei Wicklungen trägt. Die eine dient der Modulation der Hochfrequenz durch eine zusätzliche Änderung des Magnetfeldes; durch die andere fließt ein Gleichstrom zur Korrektur des Magnetfeldes in der Rohrmittle, wodurch eine Verzehnfachung der Ausbeute an Hochfrequenz zu erzielen war.

Die Daten des Magneten sind: Feldstärke ~ 3300 Gauß (ballistisch mit Probepule gemessen); bei einer Wellenlänge von 4,8 cm ergibt sich für die Začeksche Konstante: $\lambda \cdot H = \text{constant} = 15850$.

Die Modulation des Magnetfeldgenerators geschah durch Anodenspannungsänderung und durch Magnetfeldänderung. Durch die über den Polschuhaußsatz geschobene Modulationsspule von 20 Windungen wurde ein Modulationsstrom von 6 Amp. und 60 Hz geschickt, wobei eine hundertprozentige (!) Modulation erzielt wurde.

Die erzeugte Hochfrequenz wird an der Kathode abgenommen und zur Antenne weitergeleitet. Zu diesem Zweck trägt die Kathode auf der einen Seite eine Reflektorplatte; auf der anderen Seite mündet die Kathodenleitung in ein konzentrisches Kabel, wobei die Glasdurchführung sich in einem Spannungsknoten befindet, um die bei diesen Frequenzen beträchtlichen Verluste zu vermeiden. Das Kabelstück endet mit einem auf $\lambda/4$ abgestimmten Antennenstück. In einem Abstand von $\lambda/4$ hinter der Antenne befindet sich eine ebene Reflektorscheibe, über deren Aufhängung auch der Heizstrom fließt. Die Sendeenergiekontrolle geschieht mittels eines seitlich des Hohlspiegelbrennpunktes angebrachten Bleiglanzdetektors oder eines ähnlich montierten abgeschirmten Barkhausen-Kurz-Empfängers.

Die Antennendaten sind:

Antennenlänge	1,1 cm
Antennenspitze bis Heizfadenmitte	76,8 cm
Reflektordurchmesser	7,5 cm
Reflektorabstand von der Antenne	1,1 cm
Hohlspiegeldurchmesser	60 cm
Antennendurchmesser	0,25 cm
Antennenleistung	3 Watt
Antennenleistung maximal	10 Watt

Als Empfänger diente eine Dreipolröhre in Bremsfeldschaltung; ihre Abmessungen sind aus Abb. 3 ersichtlich. Das Gitter, bestehend aus einem Wolframdrahtstück, ist positiv, die Anode negativ gegen das negative Heizfadenende. Der Richtstrom wird im Gitterkreis abgenommen. Die Abstimmung geschieht mittels verschiebbarer Scheiben, welche auf den einzelnen Elektrodenzuführungen angebracht sind. Die ganze Röhre ist in einem Rahmen aus Isoliermaterial aufgehängt, welcher seinerseits wieder im parabolischen Hohlspiegel so befestigt ist, daß die Röhrenmitte in den Brennpunkt zu liegen kommt. Für den Empfang müssen

¹⁾ Transmission and reception of centimeter radio waves. Ch. W. Rice. General El. Rev. 39, 363, 1936.

die einzelnen Zuführungen abgestimmt und die Gitter- und Anodenspannungen auf die günstigsten Werte einreguliert werden. Günstig für die Übertragungen ist folgende Anordnung: Sendeantenne senkrecht; Gitter der Empfangsröhre senkrecht.

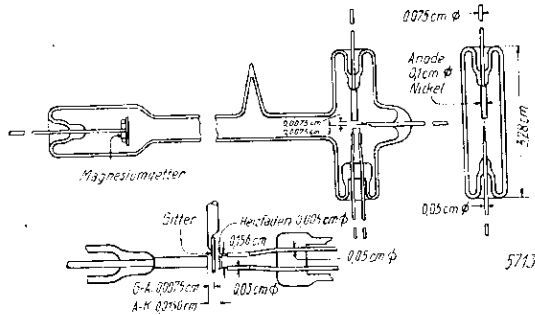


Abb. 3. Bremsfeldröhre für den Empfänger

Eine weitere Verbesserung des Empfanges hinsichtlich der Störungen bringt eine vor dem Empfängerspiegel angebrachte Polarisationsvorrichtung. Die gebauten Dreipolröhren wurden selbst zum Schwingen gebracht und die Wellenlänge aus stehenden Wellen gemessen. Dabei gehörte die Wellenlänge der einfachen Barkhausen-Kurz-Beziehung:

$$\lambda_{cm} = \frac{10^3 \cdot 2 \cdot d}{V_{g\text{ Volt}}} \dots \dots \dots (1)$$

d = Abstand Kathode-Anode (cm).

Empfangsversuche sind auch mit der Magnetfeldröhre mit abgestimmtem Heizfaden gemacht worden. Die größte Abweichung der Hauptrichtung des gebündelten Strahls, also die „Divergenz“ des Scheinwerferstrahls, betrug $\sim 5^\circ$.

Die Betriebsdaten der Empfangsröhre sind: Gitterspannung $V_g = +104$ Volt, Gitterstrom $I_g = 1,19$ Amp., Anodenspannung $V_a = -32,4$ Volt, Heizstrom $I_h = 1,02$ Amp., Gitterabstimmscheibe 3,35 cm von der Gittermitte, Heizfadenabstimmscheibe 3,35 cm vom Heizfadene, Anodenabstimmscheibe 4,8 cm vom Heizfadene.

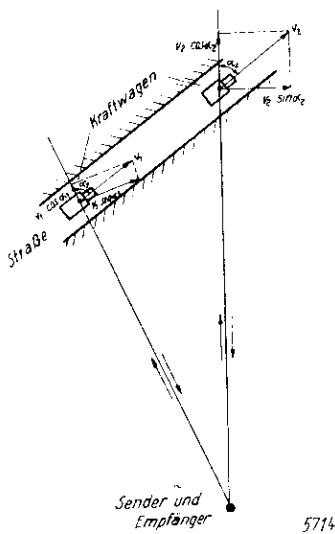


Abb. 4. Anordnung zum Dopplereffekt

Über die Ergebnisse der Anordnungen ist zu sagen, daß sich bei einer Verbindung über 12 km mit 4,2 und 4,8 cm kein Einfluß der Tages- oder Nachtzeit, noch ein Einfluß der Temperatur, des Windes, des Hagels oder Nebels zeigte. Mit der fertigen Anlage

wurden interessante Versuche zur Geschwindigkeitsbestimmung von bewegten Objekten durch den Dopplereffekt ausgeführt. Sender und Empfänger wurden mit paralleler Strahlrichtung nebeneinander auf einem Dach in einer Höhe von 40 m aufgebaut (Abb. 4). Es konnte die Bewegung eines auf einer 2,2 km entfernten Straße vorbeifahrenden Kraftwagens mittels des Dopplereffektes verfolgt werden. Der Dopplereffekt bewirkt eine Frequenzänderung der am bewegten Objekt reflektierten oder abgelenkten Welle. Durch die Überlagerung der Senderwelle mit der reflektierten entsteht eine Schwebung von der Frequenz:

$$f_{Hz} = \frac{2 \cdot v_{cm/sek} \cdot \cos \alpha}{\lambda_{cm}} \dots \dots \dots (2)$$

Beispiel: Ein Kraftwagen bewegt sich auf den Sender zu ($\alpha = 0, \cos \alpha = 1$) mit einer Geschwindigkeit von 36 km/h, die Wellenlänge des Senders beträgt 5 cm. Wie groß ist die Schwebungsfrequenz?

$$f_{Hz} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 1}{5} = 400 \text{ Hz.}$$

Weitere Versuche sind mit Flugzeugen durchgeführt worden. Für alle diese Versuche ist der Sender unmoduliert.

Für das Feststellen ruhender Gegenstände oder in den Strahlenkegel des Senders eintretende Objekte wird der Sender moduliert. Das Verfahren ist folgendes: Sender und Empfänger werden mit paralleler Strahlrichtung nebeneinander aufgebaut. Die Empfangsintensität wird kompensiert. Tritt nun ein Objekt in den Strahlengang, so tritt ein Ausschlag im Ausgangsinstrument des Empfängers auf bzw. wird die Modulation hörbar.

Wellenlängen von 6 mm bis 3 cm

Überraschend kurze Wellenlängen konnten Cleeton und Williams von der Michigan-Universität mit Magnetfeldröhren erhalten²⁾. Die Versuche können als Fortsetzung der Arbeiten von Kilgore³⁾ gelten.

Die Röhren hatten eine geschlitze Anode und schlangen im A-Bereich (Elektronentanzschwingung), d. h. die erzeugte Wellenlänge hängt nur vom Magnetfeld ab:

$$\lambda_{cm} = \frac{\text{const.}}{H} = \frac{12300}{H_{\text{Gauss}}} \dots \dots \dots (3)$$

H = Magnetfeldstärke (Gauss).

Zur Erzielung eines maximalen Nuteffektes aber ist die Erfüllung einer Resonanzbedingung zwischen Magnetfeld, Anodenspannung und Anodendurchmesser zu erfüllen:

$$H^2 = \frac{V_a}{180 \cdot d_a^2} \dots \dots \dots (4)$$

H = Magnetfeldstärke (Gauss).

d_a = Anodendurchmesser (cm) und

V_a = Anodenspannung in Volt.

Als Schwingkreis war ein kleines Lechersystem zwischen den beiden Anodensegmenten befestigt; die Länge desselben vom Kathodenmittelpunkt bis zum Bügelmittelpunkt in Zentimetern ist in der nachstehenden Tafel mit L angegeben. Das Lechersystem war mit der Anode gemeinsam in einem Glaskolben untergebracht. Für einige Versuche wurden die Anoden aus Graphit gebaut.

²⁾ A magneto static oscillator for the generation of 1-3 centimeter waves. C. E. Cleeton, N. H. Williams Phys. Rev. 44, 421, 1933. -- Electrom. waves of 1.1 cm wavelength. Cleeton, Williams. Phys. Rev. 45, 235, 1934. -- The shortest continuous waves. Cleeton, Williams. Phys. Rev. 50, 1091, 1936.

³⁾ Magnetostatic oscill. for the gener. of ultra-short-waves. Kilgore. Proc. of the Inst. of Rad. Eng. 20, 1741, 1932.

Wir stellen nachstehend die in den drei Arbeiten**) angegebenen Daten der verwendeten Röhren zusammen:

Röhre	Anodenradius	Lecher-systemlänge	Anoden-spannung	Magnetfeld	Wellenlänge
Nr.	r_{cm}	l_{cm}	V_a Volt	H Gauss	λ_{cm}
1	0,07	—	910	9 700	1,23
2	0,027**)	0,4	870	11 000	1,06
3*)	0,045	0,99	830	6 600	1,87
4**)	0,035	0,75	1350	9 900	1,22
5*)	0,019	0,38	1200	24 000	0,64 (!)

*) Röhrenkolbendurchmesser 0,45 cm.

***) Anode aus Graphit.

Bei derart kurzen Wellen muß zu anderen Wellenlängenmeßverfahren gegriffen werden, als bei

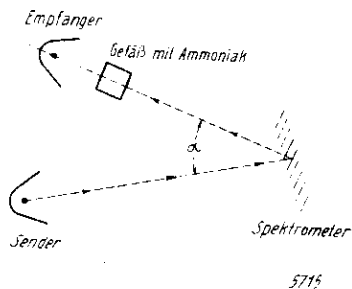


Abb. 5. Zur Wellenlängenmessung von Zentimeterwellen und Absorptionsuntersuchungen an Ammoniak

längeren, etwa Dezimeterwellen, bei denen das Verfahren der Ausmessung stehender Wellen üblich ist. Hier wurde ein Gitterspektrometer verwendet, welches aus 18 Aluminiumstreifen von 70 cm Höhe und 7,49 cm Mittelabstand aufgebaut war. Der Oszillator und der bis auf eine kleine Öffnung abgeschirmte Kristalldetektor (Eisen-Pyrit-Phosphorbronze) befanden sich je im Brennpunkt eines Parabolspiegels von etwa 90 cm Durchmesser (Abb. 5). Für die Messung wurden die parallel gestellten Gitterelemente des Spektrometers so gedreht, daß das Lot auf die Gitterelemente gleichzeitig Winkelhalbierende des für den ganzen Versuch festen Winkels α zwischen Sender-Gitter-Empfänger war. Beim Drehen des Spektrometertisches um seine Achse, wobei für jeden Meßpunkt Sorge getragen werden mußte, daß die oben angegebene Winkelbeziehung erfüllt war, konnte eine Aufeinanderfolge von Maxima und Minima der Intensität im Empfänger festgestellt werden. Die Größenordnung der Detektorströme des im Spiegelbrennpunkt befindlichen Empfängers bei einer Entfernung von 15 m von dem Oszillator mit der Röhre Nr. 5 betrug $4 \cdot 10^{-9}$ Amp.

Von Röhre Nr. 1 wird berichtet, daß bei 7500 Gauss die oben erwähnten Maxima in zwei Spitzen aufspalten. In der Röhre scheinen gleichzeitig zwei Frequenzen anzuspringen, die wenig voneinander verschieden sind. Bei geeigneter Wahl des Magnetfeldes fallen beide Maxima zusammen und die erzeugte Intensität ist wesentlich größer.

Im Bereich zwischen 1,05 und 1,03 cm wurde die Frequenzabhängigkeit der Absorption des Ammoniaks studiert, um einen Beitrag zur Klärung einiger Strukturfragen des Ammoniakmoleküls zu liefern.

Zeichnungen nach Rice, Cleton und Williams