

Trägt man dementsprechend die Schwingintensität als Funktion dieser Spannung  $E_{ag_2}$  auf, so erhält man für verschiedene äußere Abstimmungen und Beschleunigungsspannungen  $E_{g_1}$  Kurven von der in Abb. 190 wiedergegebenen Form [35]. Die periodischen Maxima und

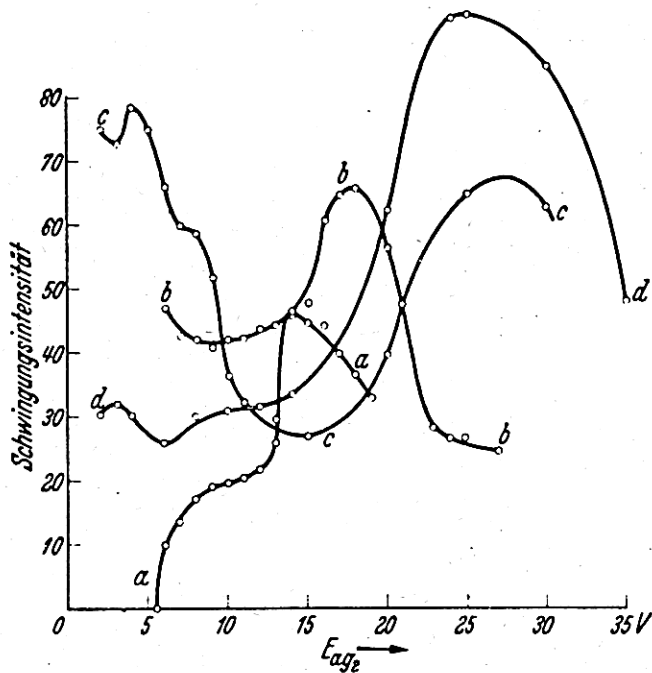


Abb. 190. Spannungsabstimmung einer Doppelgitterröhre nach Sahaneck.

Minima der Intensität rechtfertigen zwar die obigen Überlegungen, lassen jedoch gleichzeitig an ihrem unsymmetrischen Verlauf die Komplikationen erkennen, die z. B. durch Verkettung des Aufteilungsvorganges vor  $G_2$  mit den induzierten Wechselspannungen und durch die gleichzeitige Abhängigkeit der Elektronenperiode von  $E_{ag_2}$  verursacht werden. Die Schwingbereiche ziehen sich gegenüber der dreipoligen Bremsröhre zusammen unter gleichzeitiger Zunahme ihrer Intensität.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn alle Gitter einer Vier- oder Fünfpölröhre positive Spannungen führen und in geeigneter Weise mit mehreren Außensystemen verbunden sind, wie es die Abb. 191 z. B. für eine Dreigitterröhre angibt [36].

Am einfachsten ist die Anfachung eines solchen Mehrfachgenerators zu übersehen, wenn man von der pendelnden Raumladungswolke als Primärsystem und von den verschiedenen Lecher-Leitungen als Sekundärsystemen ausgeht, die alle über die Elektronenwolke mit einer durch die räumliche Anordnung der einzelnen Gitter gegebenen Phasenlage miteinander gekoppelt sind. Auf diese Weise erklären sich die experimentellen Versuchsergebnisse, nämlich erstens, daß man bei Einzelabstimmung der verschiedenen Lecher-Leitungen dieselben Wellenbereiche erhält, und zweitens, daß bei gleichzeitiger Abstimmung aller vier Kreise der Schwingstrom im Thermoelement  $Th$  infolge der festen Kopplung mit der Raumladungswolke praktisch auf fast den vierfachen Betrag ansteigt. Schließlich ist auf die günstigere Ankopplung auch die leichte Schwingneigung eines solchen Mehrfachgenerators zurückzuführen.

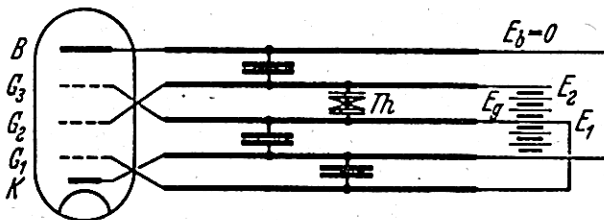


Abb. 191. Mehrgittergenerator nach Hamburger.

Am einfachsten ist die Anfachung eines solchen Mehrfachgenerators zu übersehen, wenn man von der pendelnden Raumladungswolke als Primärsystem und von den verschiedenen Lecher-Leitungen als Sekundärsystemen ausgeht, die alle über die Elektronenwolke mit einer durch die räumliche Anordnung der einzelnen Gitter gegebenen Phasenlage miteinander gekoppelt sind. Auf diese Weise erklären sich die experimentellen Versuchsergebnisse, nämlich erstens, daß man bei Einzelabstimmung der verschiedenen Lecher-Leitungen dieselben Wellenbereiche erhält, und zweitens, daß bei gleichzeitiger Abstimmung aller vier Kreise der Schwingstrom im Thermoelement  $Th$  infolge der festen Kopplung mit der Raumladungswolke praktisch auf fast den vierfachen Betrag ansteigt. Schließlich ist auf die günstigere Ankopplung auch die leichte Schwingneigung eines solchen Mehrfachgenerators zurückzuführen.

#### b) Raumladungsschwingungen in Fadenröhren.

Während die bisherigen Schwinganordnungen ausnahmslos mit ausgedehnten Elektroden in Ebenen senkrecht zu den Elektronenbahnen arbeiten, lassen sich auch in Röhren mit drahtförmigen Anoden Schwingungen erzeugen [37]. Eine solche Anordnung zeigt die Abb. 192, wobei

die Röhre in den Gang einer beiderseits kurzgeschlossenen Lecher-Leitung direkt eingeschaltet ist. Die Verschiebung der Abstimmbrücken muß natürlich jeweils so erfolgen, daß sich die Röhre immer in einem Spannungsbauch befindet. Zwar handelt es sich in diesem Fall nicht mehr um reine Bremsfeldschwingungen, doch zeigen die Fadenröhren alle charakteristischen Eigenschaften der Bremsröhren,

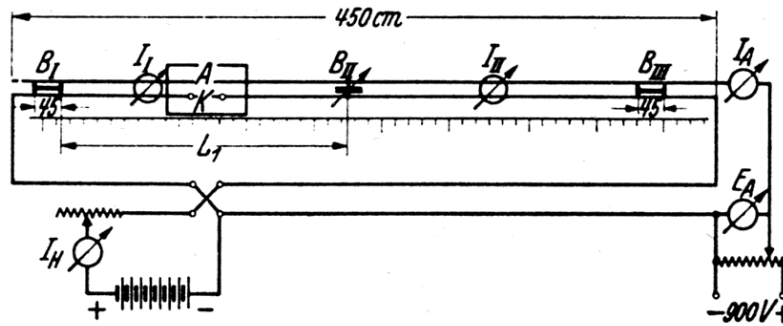


Abb. 192. Elektronengenerator mit Fadenröhre nach Gerber.

so daß analoge Raumladungsschwingungen vorliegen müssen, deren Diskussion eine Erweiterung der allgemeinen Barkhausenschen Theorie bildet.

Nach Abb. 193 wird die Relation  $\lambda^2 E_a = \text{const}$  auch hier über einen Spannungsbereich bis zu 700 V bestätigt, von welchem Punkt die Welle allerdings auf einen abweichenden Betrag springt, und in manchen Fällen konnte sogar noch eine dritte Welle erregt werden. Im Gegensatz zur normalen Bremsröhre, die nur bei Annäherung an die Sättigung Elektronenschwingungen erzeugt, erstrecken sich die Schwingbereiche aller Fadenröhren fast über den ganzen Raumladungsteil der Strom-Spannungscharakteristik. Die längere Welle  $\lambda_1$  liegt ausschließlich im Sättigungsgebiet und verkürzt sich mit zunehmender Heizung, während die kürzere Welle  $\lambda_2$  im Raumladungsteil der  $I_a/E_a$ -Kennlinie auftritt und von der Heizung unabhängig ist.

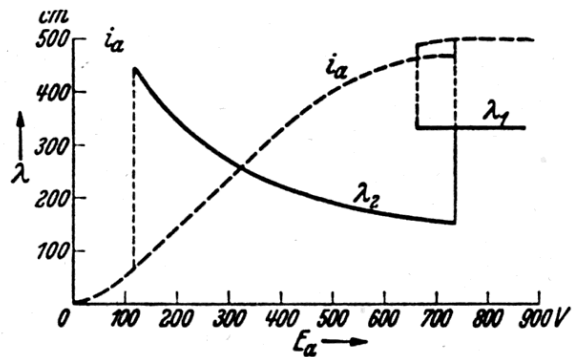


Abb. 193. Wellenbereiche einer Fadenröhre.

Als typische Abstimmkurven des Fadengenerators zeigt die Abb. 194 die Welle, den Anodenstrom und die Schwingungsamplitude  $E$  als Funktion des Abstands  $L_1$  zwischen den beiden Reflexionsbrücken. Offensichtlich treten auch hier die vom normalen Elektronenoszillator bekannten Frequenzsprünge, begleitet von Schwankungen des Anodenstroms und der Intensität sowie von Zieherscheinungen auf, doch ist ihre Lage spiegelbildlich vertauscht, indem sich die beim Barkhausen-Generator bei Verlängerung der Lecher-Leitung ergebenden Erscheinungen hier bei Verkürzung zeigen. Daraus ist zu schließen, daß die Raumladungen der Fadenröhren nur bei induktiver Phase der Lecher-Leitung schwingen, und daß der Rückwirkungsmechanismus zwischen schwingender Raumladung und Lecher-System kapazitiv sein muß. Die stärksten Schwingungen liefern „Spiralfadenröhren“ mit

parallelen, im einzelnen ganz eng gewundenen Wolframwendeln (wie bei Halbwattlampen).

Die Ursache der Raumladungsschwingungen in Fadenröhren sind periodische Umläufe von Elektronen auf den in Abb. 195a und b

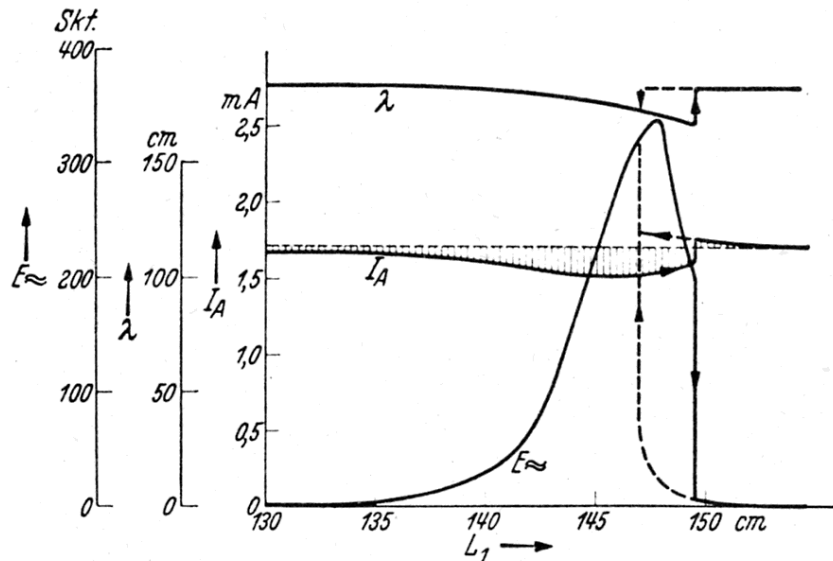


Abb. 194. Abstimmkurven eines Fadengenerators.

dargestellten Bahnen in Ebenen senkrecht zu den Elektrodenachsen, wobei infolge der vollkommenen Symmetrie beide Umlaufrichtungen nebeneinander möglich sind. Nach allem, was über die Bewegung von

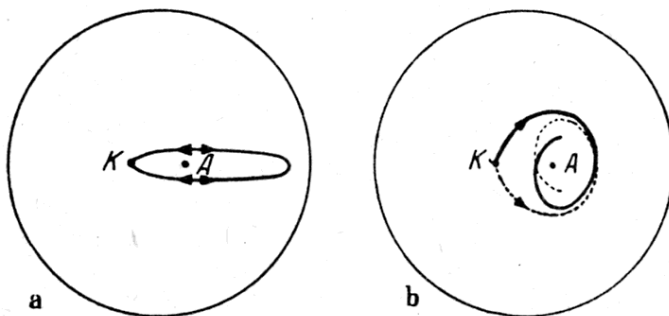


Abb. 195. Geschlossene (a) und nichtgeschlossene Elektronenbahnen (b) in einer Fadenröhre.

Ladungsträgern bekannt ist, bildet die Drahtanode einen schlechten Elektronenkollektor, weshalb die direkt von der Kathode zur Anode übergehenden Raumladungen vernachlässigbar gering sind. Auf den periodischen Bahnen mit zweierlei Umlaufsinn bilden sich dann stehende Raumladungswellen, die sich in

verschiedenen nichtharmonischen Oberschwingungen  $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots$  erregen<sup>1</sup> können, wie es die folgende Abb. 196 veranschaulichen mag. Alle auf nichtgeschlossene Bahnschleifen nach Art der Abb. 195 b geratenden Elektronen können nicht synchron mitschwingen und scheiden aus dem Anregungsprozeß aus. Experimentell bestätigen lassen sich die zwei Umlaufrichtungen, wenn die Röhre in ein schwaches Magnetfeld gebracht wird, welches die Laufzeiten der Elektronen je nach ihrem Umlaufsinn verlängert oder verkürzt, so daß sich die Welle in die Einzelfrequenzen der rechts und links umlaufenden Elektronen aufspaltet. Auf diese Weise ergab ein Magnetfeld von 2,5 G eine Aufspaltung einer Welle von 172 cm um  $\pm 4,5$  cm. Die Erscheinung weist eine gewisse Analogie mit dem optischen Zeemann-Effekt auf.

Zum Schluß mag des Interesses halber noch darauf hingewiesen werden, daß auch nicht gasgefüllte Glühlampen<sup>1</sup> Raumladungsschwingungen,

<sup>1</sup> „Osram“ 50 K 115 V 5. 904 oder „Philips“ 110—115/50 X<sub>1</sub>.

d. h. ultrakurze Wellen von einigen Metern Länge erzeugen können, wobei das negative Ende des Glühdrahtes gegenüber dem positiven Ende als Kathode wirkt. Hierzu werden die Lampen entsockelt, und

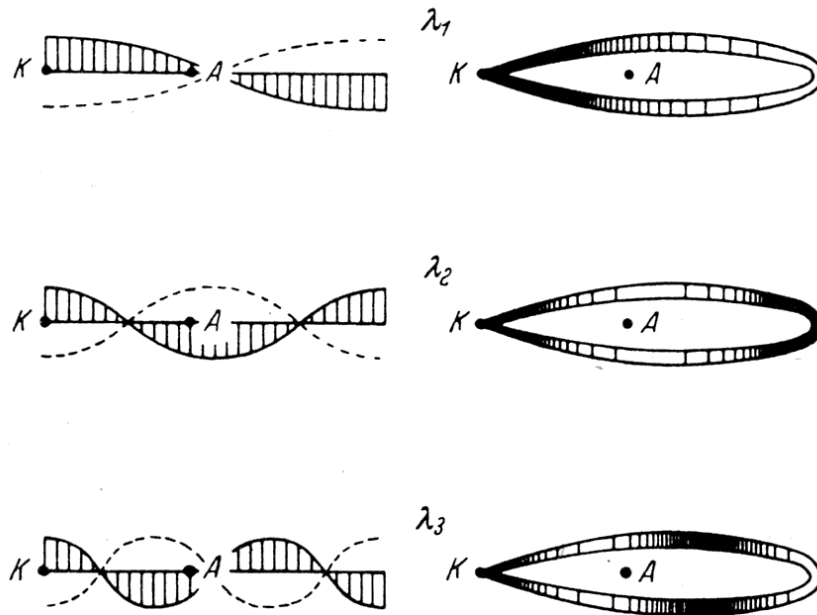


Abb. 196. Oberschwingungen der Raumladung in einer Fadenröhre.

die beiden Stromzuführungen werden mit einem abstimmbaren Parallel drahtsystem verbunden. Die im normalen Brennzustand der Lampen mit Gleichspannung auftretenden Schwingungen sind leicht erregbar, aber außerordentlich schwach.

## 2. Die Theorie des Elektronengenerators.

### A. Raumladungsschwingungen.

Nach der Barkhausenschen Vorstellung kommen für die Schwingungserzeugung nur diejenigen Elektronen in Frage, die durch das Gitter in das Bremsfeld der Anode geraten, wieder durchs Gitter zurückkehren und periodische Pendelbahnen beschreiben. Man müßte dann annehmen, daß einzelne Elektronen sehr viele Pendelungen ausführen, andere weniger, oder schon nach einer einzigen Periode vom Gitter abgefangen werden. Für die Gesamtzahl aller Elektronen resultiert daraus jedenfalls eine zunehmende Verminderung, der auf der anderen Seite eine stetige Nachlieferung von der Kathode her gegenübersteht, so daß sich eine mittlere Dämpfung einstellen wird. Da vom Glühdraht aus in jedem Zeitmoment gleichviel Elektronen ihre Pendelbewegung antreten, wird immer eine vor der Anode umkehrende und eine vom Heizfaden zurückkehrende Elektronengruppe vorhanden sein, die sich in ihrer Wirkung gegenseitig aufheben. Wenn die schwingenden Elektronen daher Hochfrequenzleistung in Form von Strahlung oder durch Influenzwirkung an die Elektroden abgeben sollen, muß die Raumladung als Ganzes schwingen und zwar so, daß sie sich während einer Halbperiode vorzugsweise im Raum Kathode-Gitter, während der anderen im Raum Gitter-Anode aufhält.