

# Die Grundschiwingung der Raumladeschwiungen im elektrischen Bremsfeld

---

Von der

Eidgenössischen Technischen Hochschule  
in Zürich

zur Erlangung der

Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften

genehmigte

## Promotionsarbeit

vorgelegt von

*S. 5*  
**Dipl.-Ing. E. T. H. Max Dick**



Ser.

Kat.

---

Referent: Herr Prof. Dr. F. Tank  
Korreferent: Herr Prof. Dr. J. Forrer

1936

---

Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin

Die Transformationsgleichungen in die Leistungsgleichung eingesetzt, ergeben die allgemein gültige Leistung

$$N_g = \frac{U_{c_s} \cdot U_{c_s}}{2} \omega_{c_0} C_0 \sin \varphi_c \frac{I_s \omega_k}{I_{s_0} \omega_{c_0}}$$

$$N_g = N_{g_s} \cdot \frac{I_s \omega_k}{I_{s_0} \omega_{c_0}}$$

Die maximale Leistung ändert sich also mit dem Faktor

$$\frac{I_s \omega_k}{I_{s_0} \omega_{c_0}}$$

Auch das zur Bestimmung von  $r_0$  und  $l'_a$  dienende Verhältnis

$$\frac{U_c}{U_0} = \frac{I_{s_0} (\omega_k)^3}{I_s (\omega_{c_0})^3} \frac{U_{c_s}}{U_{c_0}}$$

ändert sich mit dem Faktor  $\frac{I_{s_0} (\omega_k)^3}{I_s (\omega_{c_0})^3}$  gegenüber dem für  $I_s = I_{s_0}$  und  $\omega_k = \omega_{c_0}$  bestimmten Verhältnis. Die neue Spannung  $U_g$  ist aus der transformierten Schwingcharakteristik in üblicher Weise zu bestimmen<sup>17)</sup>.

## Zusammenfassung.

### 1. Experimenteller Teil.

Es wird zuerst die gesamte Generatorapparatur beschrieben. Das zu den Messungen der reinen Schwingungen verwendete Generatorrohr ist ein Zweifadenrohr, dessen zwei parallelen, einzeln heizbaren Fäden das Mittelstück eines beiderseitig weitergeführten und abgeschlossenen kontinuierlichen Paralleldrahtsystems bilden. Der Heizstrom wird durch den einen Paralleldraht geleitet, dessen Heizfaden zur Kathode werden soll. An den anderen Paralleldraht wird die Gitterspannung angelegt. Die Anode wird gewissermaßen durch die Glaswand gebildet. Dieses Generatorsystem hat den großen Vorteil, daß sein äußerer Schwingungskreis sehr einfach und damit auch genau definiert ist. Die Einrichtung zur Messung der Hochfrequenzspannungen im Paralleldrahtsystem besteht aus einem Meßrohr in Audionschaltung, das über die kleinen Kapazitäten von zwei kurzen Drahtstücken mit dem Paralleldrahtsystem gekoppelt ist. Die Anodenstromabsenkung gelangt mit Hilfe einer Kompensationsschaltung in einem Galvanometer zur Anzeige. Die Einrichtung gestattet, Hochfrequenzwechselspannungen von  $1/10$  V noch gut erkennbar zu messen. Zur Messung der Wellenlänge dient ein zweites, lose angekoppeltes,

durch Brückenverschiebung abstimmbares Paralleldrahtsystem, in dem die Resonanzlage mit einem zweiten gleichartigen Meßaudion festgestellt wird.

Die Nebeneinflüsse, welche die Entstehung der reinen Schwingungen stören, sind hauptsächlich durch die Gasreste in der Röhre und durch die Form der Kathode bedingt. Namentlich die Gasreste sind von großem Einfluß, indem sie selbst eine ganze Reihe neuer Erscheinungen verursachen. Einige Diagramme, die bei verschiedenen Gütegraden des Vakuums aufgenommen wurden, zeigen, daß die primären Vorgänge bis zur Unkenntlichkeit verändert werden können. Die Form der Kathode hat nur einen Einfluß auf die Abhängigkeit der Schwingungen von der Heizung. Bei ungünstiger Form kann die Abhängigkeit so stark werden, daß die Erzeugung konstanter Schwingungen fast unmöglich wird. Die Meßergebnisse der reinen Schwingungen sind entsprechend ihrer Aufnahme in Abhängigkeit von der Gitterspannung  $U_g$  und als Funktion der Abstimmung  $a$  des äußeren Systems in Diagrammen wiedergegeben. Die Diagramme der ersten Art enthalten Kurvenscharen der Wellenlänge, der Schwingintensität und des Gitterstromes als Funktion von  $U_g$ , wobei die äußere Abstimmung  $a$  und der Heizstrom als Parameter auftreten. Der Wellenlängenverlauf zeigt typische Eigenschaften, namentlich die bekannten Zieherscheinungen eines Koppelwellenverlaufes. In Abhängigkeit von der äußeren Abstimmung verschieben sich die Resonanzstellen des Außensystems, denen die große Schwingintensität zukommt. Bei jeder Abstimmung ist eine Reihe solcher Resonanzstellen möglich. Sie beziehen sich auf die verschiedenen geradzahigen Oberwellen des Außensystems. Die Schwingintensität ist um so höher, je höher die Gitterspannung ist, bei der die Resonanzstelle auftritt. Der Gitterstrom geht bei starken Schwingungen schwach zurück. Bei steigender Heizung verkürzen sich die Wellenlängen im allgemeinen in geringem Maße. Die Schwingintensität wird dabei nur unwesentlich beeinflusst.

In den Diagrammen der zweiten Art sind nur die wichtigsten Verläufe der Wellenlänge und der Schwingintensität in Abhängigkeit von der äußeren Abstimmung eingetragen. Die Gitterspannung tritt zum Teil als Parameter auf. Die Koppelwellennatur des Wellenlängenverlaufes zeigt sich in dieser Diagrammart noch deutlicher. Auch hier treten nacheinander die Resonanzstellen der geradzahigen Oberwellen des Außensystems mit

<sup>17)</sup> In bezug auf den Wirkungsgrad vgl. S. 56.

großer Intensität auf. Oberwellen der schwingenden Raumladung konnten im Laufe der Untersuchungen nie festgestellt werden.

Ein Versuch, bei dem die Generatorröhre von ihrem zugehörigen Paralleldrahtsystem abgetrennt wurde (die Stromversorgung erfolgte über zuverlässige Abriegelungsdrosseln), zeitigte das aufschlußreiche Ergebnis, daß die Röhre auch ohne eigentliches äußeres Resonanzsystem Schwingungen erzeugen kann. Die Wellenlänge ist in diesem Fall nur noch von der Gitterspannung abhängig. Der Theorie vorgreifend, konnte dieser Betriebsfall als Spezialfall des üblichen Betriebes mit äußerem Resonanzsystem gedeutet werden.

## 2. Theoretischer Teil.

Zunächst werden rein qualitativ die Potential- und Feldstärkeverläufe innerhalb der Röhre einer analysierenden Betrachtung unterzogen. Der pendelnde Potentialverlauf wird für die nachfolgende Ableitung der Vorgänge in einen konstanten und einen variablen Teil aufgeteilt. Der variable Teil kann nochmals in zwei Teile verschiedenen Ursprungs aufgeteilt werden. Entsprechendes gilt für den Feldstärkeverlauf. Aus den Betrachtungen folgen zwei wichtige Grundgesetze:

1. In der Röhre befindet sich ständig eine unveränderliche Schwingladung  $q$ , die sich aus der schwach in der Größe pulsierenden Raumladung  $q_0$  und den drei Abfangladungen  $q_a$ ,  $q_g$  und  $q_k$ , die auf den Elektroden sitzen, zusammensetzt.
2. Die Wechselspannung  $U$ , an der Röhre setzt sich zusammen aus der durch den äußeren Strom bedingten Kondensatorspannung  $U_c$  und der Raumladespannung  $U_0$ , die durch die schwingende Raumladung und die veränderlichen Abfangladungen erzeugt wird.

Die Ableitung der Vorgänge in der Röhre beginnt mit der Aufstellung der Bewegungsgleichung für das allgemeine Elektron. Die Gleichung wird erst nach Einführung von zwei vereinfachenden Annahmen mathematisch lösbar. Die Lösung kann graphisch durch eine Vektorbahnkurve des Bewegungsvektors, der seine Größe und Phasenlage infolge der steuernden Spannung  $U$ , beständig ändert, dargestellt werden. An diese erste, einen Kreis darstellende Vektorbahnkurve müssen zur Einholung der beiden vereinfachenden Annahmen zwei verschiedene Korrekturen an-

gebracht werden. Mit den Vektorbahnkurven läßt sich nicht nur die Bewegung als solche, sondern auch die durch Start und Abfangen begrenzte Dauer der Bewegung eines einzelnen Elektrons in einfacher Weise darstellen. Der Aufbau der schwingenden Raumladung kommt dann in einem Diagramm mit einer Schar von solchen Vektorbahnkurven zur Darstellung. Aus einem solchen Vektorbahnkurvendiagramm läßt sich die Raumladedichteverteilung für einen beliebigen Phasenzeitpunkt in übersichtlicher Weise entnehmen. Eine doppelte Integration führt von da zum Potentialverlaufsanteil, der durch die Raumladung bedingt ist. Die zeitliche Veränderung dieses Verlaufes ergibt schließlich den Spannungsverlauf der schwingenden Raumladung. Zur Erregung der Grundwelle, die in der vorliegenden Arbeit ausschließlich betrachtet wird, ist von diesem Spannungsverlauf nur die Grundwelle  $U_0$  von Bedeutung.

Die Verlegung des Anschlusses des äußeren Systems von Anode und Kathode auf Anode und Gitter oder Kathode und Gitter hat nur quantitative, aber keine qualitativen Änderungen zur Folge.

Die Ordnung der Elektronen zum gemeinsamen Tanze kommt im Vektorbahnkurvendiagramm dadurch anschaulich zum Ausdruck, daß die Vektorbahnkurven an gewissen Stellen enger zusammengedrängt liegen und die Besetzungsdichte mit „Elektronen“ durch den gesetzmäßigen Aussortierungsprozeß auf gewisse Gebiete konzentriert wird.

Die Schwingenergie des Generators verdankt ihre Entstehung dem Umstand, daß die Elektronen, die ihre Schwingamplitude verkleinern, Energie nach außen abgeben können, während die Elektronen, die ihre Schwingamplitude vergrößern, wegen ihrer sofortigen Aussortierung keinen nennenswerten Betrag an Energie verzehren können.

Der von der Kathode emittierte Strom wird durch die schwingende Raumladung pulsierend auf alle drei Elektroden verteilt. Weggeführt werden die Ladungen dieser Ströme durch konstante Gleichströme mit überlagerten Wechselströmen. Die Differenz im Abfang- und Wegführungsstromverlauf bewirkt, daß auf den Elektroden gewisse pulsierende Reserveladungen entstehen müssen. Diese Abfangladungen liefern ihrerseits zusätzlich einen gewissen Betrag zur Spannung  $U_0$ .

Bei der Betrachtung der gesamten inneren Vorgänge zeigt sich, daß die Beteiligung der Anode am Abfangprozeß für das Auftreten der Schwingungen nicht entscheidend ist. Wenn das Außensystem zwischen Gitter und Anode angeschlossen wird, weist die Röhre bei relativ großem Gitter-Anodenraum bessere Schwingeneigenschaften auf. Eine Verschiebung des Betriebes aus dem Sättigungsgebiet des Emissionsstromes in das Raumladegebiet (Langmuirsche Kathode) bewirkt auf alle Fälle eine Verschlechterung in der Energieumsetzung, so daß die Schwingungen bei tieferem Eindringen in dieses Gebiet schließlich erlöschen müssen. Die gesamte Theorie der inneren Vorgänge gestattet zu jeder durch den äußeren Strom  $\mathfrak{J}_a$  bedingten Kondensatorspannung  $U_c$  unter beliebigen Betriebsbedingungen (planparallele Elektrodenanordnung vorausgesetzt) jeweils die entstehende Raumladespannung nach Größe und Phase zu bestimmen.

Aus der Analysierung der mathematisch leicht erfaßbaren Vorgänge im äußeren System resultiert die Zusammensetzung der Spannung  $U_r$  aus zwei entsprechenden Teilbeiträgen  $U_c$  und  $U_q$ .

Ein schwingungsfähiger Betriebspunkt entsteht dann, wenn das Verhältnis  $\mathfrak{R} = U_c/U_q$  für das innere System genau übereinstimmt mit demselben Verhältnis für das äußere System. Das äußere Resonanzsystem bildet zusammen mit der schwingenden Raumlade ein System von zwei gekoppelten Kreisen, die über die Röhrenkapazität  $C_0$  miteinander gekoppelt sind. Die schwingungserhaltende Rückkopplung liegt in der äußeren Verbundenheit der beiden Spannungen  $U_q$  und  $U_c$ .

Eine genaue Betrachtung der Energieumsetzungen in der Röhre führt zu der Erkenntnis, daß es beim Raumladeschwing-Generator prinzipiell unmöglich ist, ebensolche Wirkungsgrade zu erreichen, wie bei den gewöhnlichen Röhrengeneratoren.

Nachdem die einzelnen physikalischen Vorgänge des Generators klargelegt sind, wird sein Betriebsverhalten einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Eine mathematische Durchrechnung ist wegen der Kompliziertheit der inneren Vorgänge nur bei stark vereinfachenden Annahmen möglich. Die gesamte Raumlade wird zu einer unendlich dünnen, mit konstanter Amplitude schwingenden Ladungsschicht idealisiert. Zwei Korrekturfaktoren  $\psi$  und  $\nu$  gestatten eine Anpassung an die Wirklichkeit. Die Gleichsetzung der Rückkopplungsfaktoren  $\mathfrak{R}$  des äußeren und

des inneren Systems führt zum Koppelwellenlängenverlauf. Der Berechnung des Schwingungsintensitätsverlaufes wird die Annahme zugrunde gelegt, daß die Ladungsschicht unter allen Umständen stets mit derselben Amplitude schwingt.

Es werden nacheinander je die Gleichungen für den Koppelwellen- und den Intensitätsverlauf, einmal als Funktion der Eigenfrequenz (bzw. Wellenlänge) des angeschlossenen Außensystems ohne Dämpfung, dann als Funktion der Eigenfrequenz (bzw. Wellenlänge) des gesamten Außensystems ohne Dämpfung und schließlich noch als Funktion derselben Eigenfrequenz (bzw. Wellenlänge) aber mit berücksichtigter Dämpfung berechnet. Der Verlauf der Gleichungen wird jeweils einmal als Funktion der Gitterspannung und dann als Funktion der äußeren Abstimmung für die Werte der Korrekturfaktoren  $\psi = 1$  und  $\nu = 1$  bildlich dargestellt. Die Darstellung mittels der Eigenfrequenz des gesamten Außensystems hat den Vorteil, einfachere Gleichungen und einfachere Verläufe zu ergeben. Die Übereinstimmung der berechneten Kurvenverläufe mit den experimentell aufgenommenen ist in Anbetracht der starken Idealisierung und namentlich in Anbetracht der starken Abweichung der Elektrodenform im Experiment gegenüber der theoretisch vorausgesetzten Elektrodenform als sehr gut zu bezeichnen.

Als Zwischenresultat entstehen in der Berechnung die später zu gebrauchenden Ortskurven der Spannung  $U_r$  und des Stromes  $\mathfrak{J}_a$  in Abhängigkeit der Koppelfrequenz (bzw. Wellenlänge) bei fester äußerer Abstimmung.

Am Schluß des der mathematischen Behandlungsweise gewidmeten Kapitels wird noch der Ausdruck für die Generatorleistung abgeleitet.

Das wirkliche Betriebsverhalten mit allen Besonderheiten kann nur auf graphischem Wege ermittelt werden. Dazu ist die Kenntnis einer dynamischen Röhrencharakteristik oder Schwingcharakteristik, die der bekannten Schwingliniencharakteristik beim gewöhnlichen Röhrengenerator analog ist, notwendig. Der Aufbau dieser Charakteristik wird entsprechend den vielen Größen ( $U_c$ ,  $U_q$ ,  $\varphi_0$ ,  $U_g$ ,  $U_a$ ,  $I_s$ ,  $\omega_k$ ), die sie in gegenseitige Beziehung zu bringen hat, bedeutend komplizierter und umfangreicher als beim gewöhnlichen Röhrengenerator. Sie kann auf zwei verschiedene Arten dargestellt werden. Die Vektorschwingcharakteristik gilt für die speziellen Werte  $I_s = I_s$  und  $\omega_k = \omega_0$  und enthält zwei

sich gegenseitig überschneidende Kurvenscharen mit den Parametern  $U_g$  und  $U_g$ . Aus ihr ist bei gegebenen Spannungen  $U_c$  und  $U_g$  die Spannung  $U_c$  nach Größe und Richtung ( $\varphi_c$ ) direkt ablesbar. Der Winkelschwingcharakteristik liegen ebenfalls die speziellen Werte  $I_s = I_{s_c}$  und  $\omega_k = \omega_{c_c}$  zugrunde. Sie arbeitet jedoch mit zwei Kurvenscharen, die den gemeinsamen Parameter  $\varphi_c$  tragen. Die eine Schar bringt die Spannungen  $U_c$  und  $U_c$  und die andere Schar die Spannungen  $U_g$  und  $U_c$  in gegenseitige Beziehung. Für andere Werte von  $I_s$  und  $\omega_k$  erfahren beide Arten der Schwingcharakteristik eine Transformation der Achsenmaßstäbe.

Durch wiederholte Anwendung des vollständigen Vektorbahnkurvendiagramms (mit Abfangladungen) ist es möglich, die ganze Schwingcharakteristik punktweise theoretisch zu konstruieren. Zur überschläglichen Ableitung der allgemeinen Form dieser Charakteristik genügt es, wenn eine einzige Kurve für  $U_c = \text{konstant}$  und zwei Kurven für  $U_g = \text{konstant}$  der Vektor-schwingcharakteristik ermittelt werden. Von den zwei Kurven für  $U_g = \text{konstant}$  soll die eine zweckmäßigerweise im Gebiet, das für die Erzeugung der Raumladeschwingungen in Frage kommt, liegen ( $U_g = U_{g_0}$ ), während die andere Kurve notwendigerweise die wichtige Endkurve der Charakteristik mit der Spannung  $U_g = \infty$  wiederzugeben hat. Die vollständige Charakteristik entsteht durch einfaches Auffüllen des so erhaltenen Gerüsts mit einer Anzahl Zwischenkurven. Sie hat wegen der Beeinflussung durch verschiedene Effekte stark unsymmetrische Form.

Eine einfache Konstruktion gestattet mit Hilfe der Winkelschwingcharakteristik für ein beliebiges Außensystem den wirklichen Koppelwellen- und Intensitätsverlauf punktweise zu konstruieren, wenn von diesem Außensystem die schon abgeleitete Ortskurve der Spannung  $U_c$  zur Verfügung steht. Die Ortskurve bestimmt für einen beliebigen Frequenzpunkt  $\omega_k$  direkt das Verhältnis von  $U_c/U_c$  nach Größe und Richtung ( $\varphi_c$ ). Die Übereinstimmung mit dem inneren System ist im Schnittpunkt der  $U_c-U_c$ -Geraden des äußeren Systems mit der  $U_c-U_c$ -Kurve für denselben Winkel  $\varphi_c$  in der Winkelschwingcharakteristik garantiert. Durch diesen Schnittpunkt werden die zur Bestimmung der Schwingintensität notwendigen Spannungen  $U_c$  und  $U_c$  angegeben. Auf der zugehörigen  $U_g$ -Kurve ist der entsprechende Wellenlängeppunkt direkt ablesbar. Ein Vergleich

mit einer idealen Schwingcharakteristik, die genau die für  $\psi = 1$  und  $\nu = 1$  berechneten Koppelwellen- und Intensitätsverläufe ergibt, leistet zur Vertiefung der Einsicht in die Vorgänge nützliche Dienste.

Bei der ausführlichen Durchkonstruktion zeigt es sich, daß die experimentell festgestellten Abhängigkeiten von der Gitterspannung, der äußeren Abstimmung, vom Dämpfungswiderstand und vom Sättigungsstrom von der Theorie bis in die kleinsten Einzelheiten richtig wiedergegeben werden. Verschiedene eigenartige Effekte gelangen dabei zu einer zwanglosen und natürlichen Erklärung. Insbesondere ist nun zu verstehen, warum bei den Raumladeschwingungen immer nur die kürzere Koppelwelle mit großer Schwingintensität auftritt.

Die stabilen und instabilen Schwinggebiete liegen, abgesehen von kleinen Verschiebungen der Übergangsstellen, beim Raumladeschwing-Generator an den gleichen Stellen, wie beim gewöhnlichen zweikreisigen Röhrengenerator. Die genaue Entscheidung der Schwingstabilitätsfrage mit praktisch brauchbaren Mitteln ist wegen der Kompliziertheit der Vorgänge unmöglich.

Die Selbsterregungsbedingung für einen Betriebspunkt ist erfüllt, wenn für ihn die Gerade des äußeren Systems die Winkelschwingcharakteristik schneidet. Die Lagen der verschiedenen Grenzgeraden in den Winkelschwingcharakteristiken können als Grenzkurve der Selbsterregungsbedingung in einem besonderen Diagramm festgehalten werden. In dasselbe Diagramm kann auch eine Grenzkurve der Stabilitätsbedingung eingetragen werden. Dieses Diagramm stellt für den Raumladeschwing-Generator das Analoge zum Rukopschen Reißdiagramm dar. Nur die Betriebspunkte, welche zwischen die beiden Kurven zu liegen kommen, sind schwingfähig. An den Übergangsstellen können Reiß-, Spring- und Zieherscheinungen auftreten.

Schließlich ist es mit Hilfe von einfach konstruierbaren Leistungskurven in der Winkelschwingcharakteristik möglich, diejenigen Betriebsbedingungen für die Röhre zu finden, unter denen sie die maximal mögliche Schwingleistung abgeben kann.

#### Schlußwort.

Die vorliegende Arbeit entstand im Institut für Hochfrequenztechnik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich im Laufe der Jahre 1931—1933. Sie war ursprünglich mehr als experimentelle Arbeit zur Schaffung

der Grundlagen für die Klärung einiger wichtiger Grundfragen gedacht. Es wurde deshalb von vornherein weniger Wert auf die Erzeugung von extrem kurzen Wellen und großen Schwingintensitäten gelegt, als vielmehr nach möglichster Einfachheit der Versuchsbedingungen getrachtet. Die Experimente zeitigten denn auch bald gute Anknüpfungspunkte für theoretische Betrachtungen. Nach Überwindung einiger Anfangsschwierigkeiten erwiesen sich die eingeschlagenen Wege als sehr fruchtbar. Die theoretischen Entwicklungen konnten durch den alleinigen Aufbau auf physikalischen Grundgesetzen immer mehr von den Experimenten unabhängig gemacht werden, weshalb das Augenmerk mehr und mehr der Theorie zugewendet wurde. Je tiefer in die Vorgänge eingedrungen wurde, desto mehr zeigte sich die vielgestaltige Größe des ganzen Fragenkomplexes, der zusammenhängend behandelt werden muß, wenn die Theorie nicht Stückwerk bleiben will. Die eigentliche Bestimmung der Arbeit als Dissertationsarbeit, die innerhalb nützlicher Frist zu einem Abschluß gelangen soll, verlangte demgegenüber eine Beschränkung des Umfanges.

Durch die alleinige Behandlung der grundlegenden elektrischen Erzeugungsweise mit dem Bremsfeld wird die Generatorart des Magnetrons zwar ausgeschlossen, ohne daß indessen grundsätzliche Erscheinungen ausgeschieden werden, da die beiden Generatorarten im Prinzip gleich arbeiten. Die weitere Abgrenzung bei der Grundwelle der Raumladeschwingungen war von vornherein gegeben. Die Spezialisierung der Theorie auf den Fall der planparallelen Elektroden gestattet sodann eine saubere Abtrennung gegenüber dem kompliziert zu behandelnden Fall der zylindrischen Anordnung, bei dem qualitativ doch nichts Neues entsteht. Ohne eine störende Lücke zu hinterlassen, konnte schließlich dem experimentellen Programm eine zeitersparende Beschränkung auferlegt werden. Wenn trotzdem Zeitmangels wegen immer noch nicht alle Teilprobleme bis zu erschöpfender Tiefe behandelt werden konnten, so gelang es doch, den verbleibenden Problemkomplex bis zu einem gewissen abgerundeten Abschluß zu bringen, innerhalb dessen auch die anfänglich gestellten Fragen zu ihrer Beantwortung gelangten. Auf experimentelle Nachprüfungen mußte leider verzichtet werden, ob schon namentlich die experimentelle Aufnahme einer Schwingcharakteristik zur Stützung der Theorie sehr notwendig gewesen wäre. Immerhin liefern die ausführlichen Messungen an der Zweifadenröhre weitgehende Beweise für die Richtigkeit der Theorie.

Die neu entwickelte Theorie bedeutet in rein technischer Hinsicht insofern noch keinen Fortschritt, als sie sich ausschließlich mit der Klärung der physikalischen Probleme befaßt. Damit sind aber gerade die nötigen Grundlagen geschaffen, auf denen die technische Entwicklung mit Erfolg aufbauen kann.

Der Zusammenhang der Theorie des Bremsfeldgenerators mit derjenigen des Magnetrons ist ein sehr enger. Die schwingenden Elektronen unterliegen beim Magnetron ebenfalls einer Beeinflussung ihrer Schwingamplitude und Phasenlage durch die steuernde Spannung an den Elektroden. Es muß bei dieser Generatorart das Vektorbahn-

kurvendiagramm mitsamt den Abfangladungen sinngemäß anwendbar sein. Die für die Schwingcharakteristik entwickelten Konstruktionsverfahren sind allgemeingültig und sind demnach ohne weiteres übertragbar. Es erfährt lediglich die Form der Charakteristik eine entsprechende Änderung.

Das Verständnis der für die Erzeugung der Grundwelle maßgebenden Vorgänge bildet schließlich gewissermaßen den Schlüssel für die theoretische Klärung der technisch wichtigeren Raumladeoberwellen. Solange die Vorgänge bei der Grundwelle nicht geklärt sind, ist an eine tiefere Einsicht in die Vorgänge bei den Oberwellen kaum zu denken. Wenn nun auch die Grundlagen gesichert erscheinen, bleibt bei diesen Erscheinungen immer noch ein weites Betätigungsfeld für theoretische Bearbeitung offen. Die parallel zu dieser Arbeit, ebenfalls hier in Zürich durchgeführten Untersuchungen von J. Müller zeigen, daß eine ganze Reihe von neuen Komplikationen hinzukommen, die erst einer Aufklärung bedürfen, bevor zu einem tieferen Eindringen in die eigentliche Theorie der Raumladeoberwellen geschritten werden kann.

Die benutzten Röhren waren teilweise von der Glühlampenfabrik Veltheim ausgeführt und uns in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt worden. Zu großem Dank bin ich dem Vorstände und dem Stiftungsrat des „Aluminiumfonds Neuhausen“ verpflichtet, der die Mittel zur Durchführung dieser Arbeit gewährte.

Es ist mir eine besondere Freude, an dieser Stelle meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. F. Tank für sein förderndes Interesse und seine wertvollen Anregungen zu der vorliegenden Arbeit meinen tiefgefühlten Dank aussprechen zu können.

#### Schrifttum.

- [1] H. E. Hollmann: Zusammenfassende Berichte, Zeitschr. f. Hochfrequenztechn. **33**, S. 27, 66, 101, 1929; Zeitschr. f. Hochfrequenztechn. **44**, S. 37, 1934.
- [2] K. Kohl: Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, 1930.
- [3] K. W. Wagner u. H. E. Hollmann: Elektr. Nachr.-Techn. **11**, 418, 1934.
- [4] F. Tank u. E. Schiltknecht: Helv. Phys. Acta **1**, 110, 1925.
- [5] G. Potapenko: Zeitschr. f. techn. Physik **10**, 542, 1929.
- [6] H. E. Hollmann: Elektr. Nachr.-Techn. **6**, 253, 1929.
- [7] H. G. Möller: Zeitschr. f. Hochfrequenztechn. **34**, 201, 1929.
- [8] W. Gerber: Zeitschr. f. Hochfrequenztechn. **36**, 98, 1930.
- [9] R. Wundt: Zeitschr. f. Hochfrequenztechn. **36**, 133, 1930.
- [10] H. G. Möller: Elektr. Nachr.-Techn. **7**, 293, 1930.
- [11] H. G. Möller: Elektr. Nachr.-Techn. **7**, 411, 1930.
- [12] H. G. Möller u. W. Hirsch: Zeitschr. f. Hochfrequenztechn. **37**, 145, 1931.
- [13] M. Edler: Arch. f. Elektrot. **26**, 841, 1932.
- [14] E. W. Helmholtz: Elektr. Nachr.-Techn. **10**, 181, 1933.
- [15] H. E. Hollmann: Sitz.-Ber. der preuß. Akad. d. Wiss. Math. Klasse VI, April 1933.
- [16] J. Müller: Zeitschr. f. Hochfrequenztechn. **41**, 156, 1933.
- [17] Llewellyn: Bell System Techn. Journ. **59**, 13, 1934.
- [18] J. Müller: Ann. d. Phys. **21**, 611, 1934.

(Eingegangen Mitte Februar 1935.)