

## Über Hochfrequenzentladungen mit statischem Magnetfeld

Von H. SCHLÜTER

Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, München  
(Z. Naturforsch. 15 a, 744–745 [1960]; eingegangen am 14. Juli 1960)

Im zweiten Teil einer früheren Notiz<sup>1</sup> wurde über Entladungswiderstände bei einer für spektroskopische Zwecke gebauten Hochfrequenzapparatur berichtet. Die OHMSCHEN Entladungswiderstände, für die die Gitterspannung des Senders als relatives Maß diente, durchliefen Minima, wenn die Feldstärke des statischen Magnetfeldes variiert wurde. Die Magnetfeldstärke beim Minimum des OHMSCHEN Entladungswiderstandes  $H_m$ , die Senderfrequenz  $f$  und der Gasdruck  $p$  hingen annähernd folgendermaßen zusammen:  $H_m \sim \sqrt{f}$  und  $H_m \sim \sqrt{p}$  (4 bis 15 MHz, 0,1 bis 0,6 Torr). Für wiederholte Messungen bei Wasserstoff und Deuterium galt in guter Näherung der Zusammenhang  $H_m \sim \sqrt{m_i}$  ( $m_i$ : Ionenmasse). Auch einige Messungen mit Argon und Luft paßten zu diesem Zusammenhang. Die Versuchsergebnisse ließen sich gut im Hinblick auf theoretische Untersuchungen von KÖRPER<sup>2</sup> ordnen, die den Brechungsindex eines Plasmas für Hochfrequenzwellen behandeln. Hierbei spielt die mittlere Gyrationenfrequenz  $\nu_{\text{om}}$  eine wichtige Rolle. Bei einer Deutung der Messungen nach diesen Rechnungen muß man annehmen, die beobachteten nicht-monoton mit der Magnetfeldstärke veränderlichen OHMSCHEN Entladungswiderstände seien im wesentlichen durch den Mechanismus der Energiezufuhr hervorgerufen, während die Energieabfuhr lediglich monoton von der Magnetfeldstärke abhänge. Die Energieabfuhr, vor allem die Diffusion, müßte sich also normal verhalten und ohne wesentlichen Einfluß sein. Es wurde darauf hingewiesen, daß daher Versuche an einer verbesserten Apparatur notwendig seien, die Einkoppelungsversuche bei konstanter Magnetfeldstärke und konstanter Energiezufuhr und Energieabfuhr gestattet. Obwohl diese Versuche noch nicht durchgeführt sind, liegen inzwischen Hinweise vor, die es nahelegen, bei der Deutung der beobachteten Minima des OHMSCHEN Entladungswiderstandes Effekte der Energieabfuhr in Betracht zu ziehen.

Die bisherigen Messungen waren auf den Druckbereich von 0,1 bis 0,6 Torr beschränkt, da nur hier konstante Betriebsbedingungen möglich waren. Sie konnten mit Hilfe einer stark erhöhten Gasdurchströmung zu niedrigeren Drucken erweitert werden. Außerdem wurden reproduzierbare Versuche mit Helium, Argon, Luft, Sauerstoff und Stickstoff durchgeführt. Die neuen Versuchsergebnisse passen z. T. nicht gut zu der Interpretation in Anlehnung an die Rechnungen von KÖRPER. Vor allem die Messungen bei Stickstoff können

nicht ohne besondere Annahmen gedeutet werden. Nach KÖRPER sollte man bei Stickstoff Minima des OHMSCHEN Entladungswiderstandes bei Magnetfeldstärken erwarten, die – abgesehen von Dämpfungsverstimmungen – um den Faktor  $\sqrt{m_i/Z}$  ( $m_i$  in Einheiten der Protonenmasse,  $Z$  Ladungszahl) höher liegen als die bei Wasserstoff. Die Messungen ergeben deutlich niedrigere Werte. Abb. 1 gibt ein Beispiel für Stickstoff und Was-

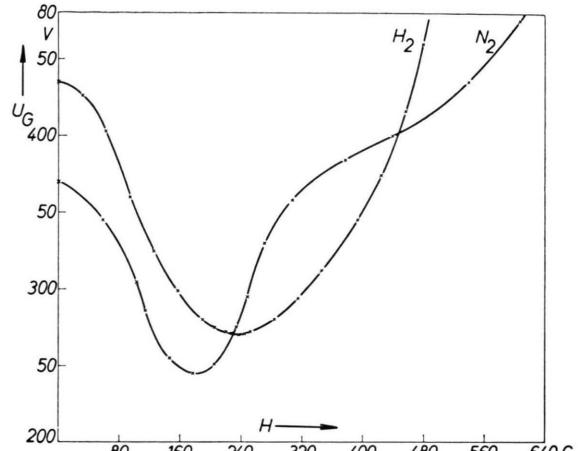


Abb. 1. Gitterspannung  $U_G$  als Funktion der Feldstärke des statischen Magnetfeldes  $H$  bei Wasserstoff und Stickstoff (etwa 0,26 Torr; 7,4 MHz; 4 kV).

serstoff bei etwa 0,26 Torr, 7,4 MHz und 4 kV. Hier zeigt die für Stickstoff gemessene Kurve ein ausgeprägtes Minimum bei niedrigerer Magnetfeldstärke als die für Wasserstoff gemessene. Das Verhalten des Stickstoffs ist von besonderem Interesse beim Vergleich mit Versuchen von HOH und LEHNERT<sup>3</sup>.

Diese Versuche an Gleichstromentladungen zeigen, daß die Energieabfuhr durch Diffusion nicht notwendig mit steigender Magnetfeldstärke sinken muß, sondern daß von bestimmten Magnetfeldstärken ab dieses normale Verhalten aufhört. Mit weiter steigender Magnetfeldstärke treten Effekte auf, die die Energieabfuhr erhöhen. Neuere Untersuchungen von MÜLLER an Gleichstromentladungen<sup>4</sup> bestätigen dies. Es liegt nahe, in Analogie zu den Versuchen von HOH und LEHNERT auch bei den hier betrachteten Hochfrequenzuntersuchungen anomale Verlustmechanismen für die Minima der OHMSCHEN Entladungswiderstände – zumindest großen-teils – verantwortlich zu machen.

Analog der hier benutzten Gitterspannung (als relatives Maß für den OHMSCHEN Entladungswiderstand) wird bei HOH und LEHNERT die elektrische Feldstärke bei konstantem Strom in Abhängigkeit von der Magnetfeldstärke gemessen. Wie die Minima bei verschiedenen

<sup>1</sup> H. SCHLÜTER, Z. Naturforsch. 15 a, 281 [1960].

<sup>2</sup> K. KÖRPER, Z. Naturforsch. 12 a, 815 [1957].

<sup>3</sup> F. C. HOH u. B. LEHNERT, Proc. of the Fourth Intern. Conf. on Ionization Phenomena in Gases, Uppsala 1959, S. 604.

<sup>4</sup> G. MÜLLER, Max-Planck-Institut für Physik u. Astrophysik, München, in Vorbereitung.



Gasarten zueinander liegen, kann bei Wasserstoff, Helium, Argon und Stickstoff verglichen werden. Die relative Lage der Minima bei diesen Gasarten stimmt zumindest qualitativ überein. In beiden Fällen zeigt der Stickstoff die Tendenz, bei vergleichsweise kleiner Magnetfeldstärke Minima zu durchlaufen. Die qualitative Abhängigkeit vom Gasdruck stimmt ebenso überein; die Lage des Minimums verschiebt sich schwächer als linear mit steigendem Druck zu höherer Magnetfeldstärke. Eine weitere Ähnlichkeit kann man darin sehen, daß in beiden Fällen die zugeführte Leistung von geringem Einfluß auf die Lage der Minima ist; dort ist die jeweils gewählte und dann konstant gehaltene Stromdichte, hier die Anodenspannung des Senders (im Druckbereich von 0,1 bis 0,6 Torr) ohne großen Einfluß. Zu stören scheint zunächst, daß bei den Hochfrequenzversuchen die Lage der Minima von der Senderfrequenz abhängt ( $H_m \sim V/f$ ). Diese Abhängigkeit könnte — u. a. — durch den Einfluß der Senderfrequenz auf die Eindringtiefe hervorgerufen sein. Es ist gut denkbar, daß bei einer ringförmigen Hochfrequenzentladung die Eindringtiefe eine ähnliche Rolle spielt wie bei einer stati-

schen linearen Entladung der Gefäßradius  $r$ , für den bei HOH und LEHNERT angenähert die Beziehung  $H_m \sim 1/r$  beobachtet wurde. Für detailliertere Vergleiche der beiden Versuchsanordnungen und eine quantitative Prüfung der z. T. sicher komplizierten Zusammenhänge sind weitere theoretische und experimentelle Untersuchungen<sup>5</sup>, besonders der Temperaturverhältnisse und des Einflusses der Neutralgaskomponente, notwendig.

Bei den betrachteten Hochfrequenzentladungen ist die Leistungsdichte wesentlich höher als bei den Gleichstromentladungen von HOH und LEHNERT. Außerdem ist hier ein relativ kurzes Entladungsgefäß<sup>6</sup> mit außerhalb der Senderspule stark inhomogenem Magnetfeld benutzt, während dort sehr lange Entladungsrohre mit homogenem Magnetfeld verwendet wurden. Wie in diesem Falle kann auch bei früheren Hochfrequenzuntersuchungen, z. B. denen von BOESCHOTEN, VAN INGEN und VAN DYK<sup>7</sup> (kapazitive Ankoppelung), nur eine eingehende Prüfung entscheiden, ob und wie weit die anomale Diffusion für die beobachteten nicht-monotonen Ohmschen Entladungswiderstände oder ähnliche Meßgrößen wesentlich ist.

<sup>5</sup> Mikrowellenmessungen von M. TUTTER an der hier betrachteten Hochfrequenzapparatur geben Anhalte dafür, daß nach dem Minimum Oszillationen auftreten.

<sup>6</sup> Auch bei G. MÜLLER wird ein kurzes Entladungsgefäß benutzt.

<sup>7</sup> F. BOESCHOTEN, A. M. VAN INGEN u. C. VAN DYK, Interne Bericht, Utrecht.

## Massentransport in flüssigen Metallen senkrecht zu gekreuzten elektrischen und magnetischen Feldern

Von HANS KNOF

Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz  
(Z. Naturforschg. 15 a, 745—746 [1960]; eingegangen am 20. Juli 1960)

In flüssigem Quecksilber wandern gelöste Metalle unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes. Mit theoretischen Überlegungen läßt sich für gekreuzte elektrische und magnetische Felder eine zu beiden senkrechte Wanderungsgeschwindigkeit abschätzen, die noch meßbar sein sollte.

So wurde dann Goldamalgam mit 0,1 Gew.-% Gold untersucht, dessen Überführungszahl im elektrischen Feld gemessen ist<sup>1, 2</sup>. Die Zelle dazu besteht im wesentlichen aus zwei senkrecht zum Magnetfeld liegenden Glasplatten, zwischen denen sich das Amalgam befindet. An den Längsseiten wird das Amalgam durch zwei Elektroden von  $25 \mu$  Dicke begrenzt. Eine Querseite wird durch Araldit abgeschlossen, während die andere mit dem Amalgamvorrat in Verbindung steht. Das Amalgamblatt hat die Abmessungen  $10 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 25 \mu$ . Die Glasplatten werden mit Wasser gekühlt.

Zum Versuch wurde die vakuumdichte Zelle ausgepumpt und das flüssige Amalgam mit Atmosphärendruck

Probe Nr.	Amalgam in g	Gold in $\gamma$	Goldkonzentration in Gew.-%
0	0,2312	238	0,103
1	0,5724	590	0,103
2	0,0917	88	0,097
3	0,0966	84	0,087
4	0,1250	73	0,058
5	0,1242	40	0,032

Tab. 1.

hineingepreßt. Sechs Tage lang flossen  $15 \text{ A}$  in einem Magnetfeld von 5500 Gauss. Die Wasserkühlung führte dabei die im Amalgam erzeugte Wärme ab. Danach wurde der Strom langsam heruntergeregt und dann erst das Magnetfeld abgeschaltet. Beim Eintauchen der Zelle in ein Kühlbad erstarnte das Amalgam, so daß die beiden Glasplatten mit dem Amalgam in etwa  $2,5 \text{ cm}$  breite Streifen zerbrochen werden konnten. Nach dem Wiegen des Amalgams wurde das Quecksilber abgetrieben und das zurückbleibende Gold mit Königswasser aufgelöst und als Kolloid kolorimetrisch bestimmt<sup>3</sup>.

Die Tabelle gibt die Analysenergebnisse wieder. Die ersten beiden Proben sind aus dem Amalgamvorrat entnommen. Die Proben zwei bis fünf sind die Abschnitte des Amalgamblattes. Neben diesem Versuch mit Platin-

<sup>1</sup> K. E. SCHWARZ, Z. Phys. Chem. (A) 161, 231 [1932].

<sup>2</sup> P. C. MANGELSDORF JR., Symposium, Pittsburg, April 1959.

<sup>3</sup> E. B. SANDELL, Colorimetric Determination of Traces of Metals, Interscience, Inc., New York 1950, 2nd Edition.