

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß im vorliegenden Fall ein Raumwinkel von 30° in der Höhe und 30° in der Breite für den Elektroneneinfall nutzbar gemacht werden kann. Denn auch der Winkel ϑ in der Bahnebene läßt einen so breiten Spielraum zu, ohne die Zahl der fokussierbaren Elektronen wesentlich zu vermindern. In einem derartig großen Raumwinkel können aber praktisch alle Teilchen einer Quelle fokussiert werden.

Die hier am Elektronenzyklotron gesammelten Erfahrungen lassen sich natürlich auf ein Zyklotron, das mit Ionen arbeitet, übertragen. Der Übergang zu schweren Ladungsträgern bedingt aber die Anwendung von Ionenquellen, deren Aufbau von einer Elektronenquelle in Geometrie und Absaugbedingung abweicht, so daß für eine solche Übertragung der Ergebnisse eine sorgfältige Prüfung der veränderten Bedingungen notwendig wird.

Ein 300-kV-Bandgenerator mit übernormaler Ladungsdichte

VON ERWIN WILLY BECKER

Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Tailfingen

(Z. Naturforschg. **2a**, 395–397 [1947]; eingegangen am 1. Mai 1947)

Es wird ein 300 kV van-de-Graaff-Generator Kossel-Heise'scher Bauart beschrieben, der in Luft von Atmosphärendruck mit einer Beladungsdichte von 18 el.st. cgs-Einheiten/cm² arbeitet.

Elektrostatische Bandgeneratoren sind seit ihrer ersten Beschreibung durch van de Graaff und Mitarb.¹ hauptsächlich für kernphysikalische Untersuchungen verwendet worden. Es wurden dabei Spannungen von mehreren Millionen Volt und Stromstärken von einigen Milliampère erreicht. Außer bei diesen großen Apparaten, die naturgemäß nur mit erheblichem Aufwand gebaut und betrieben werden können, läßt sich das van-de-Graaff-Prinzip auch bei wesentlich kleineren Maschinen verwenden, die dann für Laboratoriumszwecke häufig sehr brauchbare und billige Hochspannungsquellen darstellen. Der Aufwand zur Erzeugung von einigen hundert kV wird besonders gering, wenn die Bandbesprühung durch Selbsterregung erfolgt, eine Möglichkeit, die insbesondere von W. Kossel und seinen Mitarbeitern² ausgenutzt wurde.

Die von elektrostatischen Generatoren gelieferte Stromstärke ist verhältnismäßig klein. Da das freie Band in Luft von Atmosphärendruck maximal mit 8 el.st. cgs-Einheiten pro cm² beladen werden kann³ und in der Praxis nur 50 bis 60% da-

von zu erreichen sind, ist zur Erzeugung von 100 μ A bereits eine Flächengeschwindigkeit von etwa 3 m²/sec erforderlich. Die Anwendung von Druckluft, die zu höheren Beladungsdichten führt, ist bei kleinen Maschinen wegen des unverhältnismäßig großen Aufwandes nicht wirtschaftlich. Es ist daher von Interesse, daß sich nach Kossel und Heise⁴ in Luft von Atmosphärendruck die 8 cgs nicht nur tatsächlich erreichen, sondern sogar überschreiten lassen, wenn man die beiden Bandhälften aufeinander gleiten läßt. Kossel und Heise erzielten so Beladungsdichten von 12 cgs.

Ein ähnlicher, mit „übernormaler“ Ladungsdichte arbeitender 300-kV-Generator, der sich bei gaskinetischen Untersuchungen⁵ in mehrjährigem Betrieb gut bewährt hat, sei im folgenden kurz beschrieben. Durch Einführung eines weiteren Spitzenkammes konnte die von Kossel und Heise erreichte Beladungsdichte überschritten und mit 18 cgs die nach unserem Wissen bisher höchste Flächendichte in Luft von Atmosphärendruck erreicht werden.

¹ R. J. van de Graaff, K. T. Compton u. L. C. van Atta, Physic. Rev. **43**, 149 [1933]; Literatur bis 1939 s. W. Gentner, Die Erzeugung schneller Ionenstrahlen für Kernreaktionen, Ergebn. exakt. Naturwiss. **19**, 107 [1940].

² W. Kossel, Z. Physik **111**, 264 [1938]; U. Neubert, Z. Physik **110**, 334 [1938].

³ W. Kossel², S. 272.

⁴ W. Kossel u. F. Heise, Z. Physik **113**, 769 [1939]; F. Heise, Z. Physik **116**, 317 [1940].

⁵ E. W. Becker, Z. Naturforschg. **2a**, 297 [1947]; ebenda „Das Trennrohr mit hohem Druck und radialem elektrischen Feld“, erscheint demnächst.



Schaltung und Konstruktion

In Abb. 1 ist die verwendete Schaltung wiedergegeben, die folgendermaßen arbeitet⁶: Bei der Bewegung des Bandes laden sich alle Walzen, da sie aus Metall bestehen, positiv gegen das Gummiband auf. Während die Walzen A, C und D das Potential der Erde bzw. des Hochspannungskörpers besitzen, erreicht die isoliert aufgestellte Erregerwalze B nach kurzer Zeit eine so hohe positive Spannung, daß von dem Spitzen-

kamm 1 negative Elektrizität auf das aufwärtslaufende Band sprüht. Sobald diese Ladung an der dem Spitzenkamm 2 gegenüberliegenden Stelle angekommen ist, bewirkt sie durch Influenz ein Besprühen des ablaufenden Bandes mit positiver Elektrizität, die, unten angekommen, die Wirkung der Erregerwalze verstärkt, während die auflaufende negative Ladung von C abgenommen und dem Hochspannungskörper zugeführt wird.

Als Neuerung gegenüber den Kossel-Heiseschen Schaltungen ist der Spitzenkamm 3 eingeführt, der folgende Aufgabe hat: Die Stärke der negativen Bandbesprühung durch 1 hängt stark von der bei der Erregerwalze ankommenden positiven Ladung ab. Da letztere durch Verluste und unvollkommenes Arbeiten von 2 stets erheblich kleiner ist als die primäre negative Beladung des auflaufenden Bandes, kann durch den geerdeten Kamm 3 kurz vor der Erregerwalze eine Nachbeladung des ablaufenden Bandes mit positiver Elektrizität und damit eine Verstärkung der negativen Bandbesprühung durch Kamm 1 erzielt werden. Durch die „Ausgleicher“-Wirkung von 1 und 3 ist der entscheidende Beladungsvorgang auf das kurze Bandstück zwischen den beiden Spitzenkammern verlegt worden, so daß die Stärke der Beladung von Störungen auf der übrigen Bandstrecke weitgehend unabhängig ist.

Abb. 1.
Schaltung des Generators. Die Pfeile zeigen die Strömungsrichtung der negativen Elektrizität.

Abb. 2 zeigt den Apparat im Lichtbild. Die Gesamthöhe beträgt 1,3 m, die Breite des Bandes 36 cm. Die Hochspannungselektrode von 38 cm \varnothing ruht auf vier Pertinaxsäulen und kann von dem oberen Walzen-system leicht abgenommen werden. Die mit dem An-

triebsmotor gekuppelte Walze A ist zur Stabilisierung der Bandlage um 10% ihres Durchmessers ballig gedreht. Die Erregerwalze aus Messing steht auf vier Pertinaxfüßen. Die Öffnung des unteren Faradaya-käfigs ist verhältnismäßig weit, um Überschlüge auf das Band zu vermeiden. Die Spitzenkämme sind aus Grammophon-nadeln zusammengesetzt, die ausgerichtet zwischen zwei Metallstreifen eingespannt sind². Das Band besteht aus Gummi ohne Einlage. Es wurde der größeren Haltbarkeit wegen meist 1,5 bis 2 mm stark gewählt.

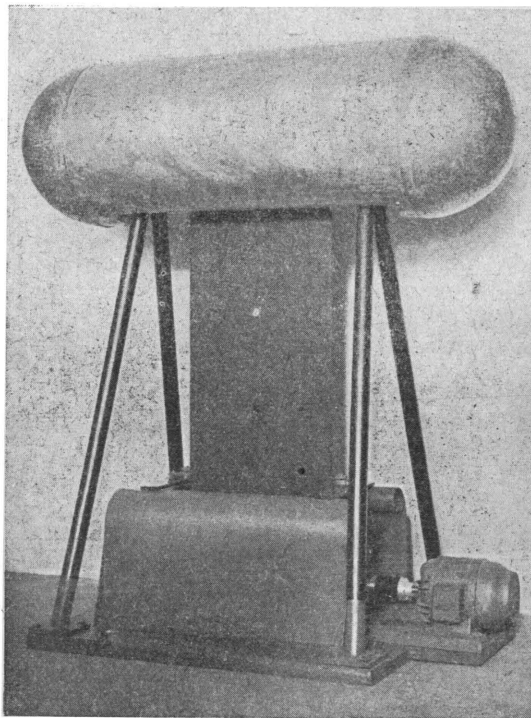


Abb. 2. Ansicht des 300-kV-Generators.
Gesamthöhe 1,3 m.

Leistung und Betriebserfahrungen

Da der Apparat im mehrtägigen Dauerbetrieb verwendet werden sollte, wurde die Bandgeschwindigkeit mit 3,8 m/sec verhältnismäßig niedrig eingestellt. Es ergab sich ein Kurzschlußstrom von 160 μ A, was bei einer Bandbreite von 36 cm einer Beladungsdichte von 18 egs-Einheiten pro cm^2 entspricht. Dieser Wert stellt unseres Wissens die höchste Beladungsdichte dar, die bisher in Luft von Atmosphärendruck erreicht wurde (s. Tab. 1). Noch höhere Beladungsdichten konnten durch geringfügiges Verschieben des Spitzenkammes 1 nach oben erzielt werden. Der Generator arbeitete dann

⁶ Vergl. dazu F. Heise⁴, S. 325.

jedoch wegen der zu starken Bandanziehung mechanisch und elektrisch nicht mehr einwandfrei⁷.

Autoren	Flächendichte [cgs]
Tuve und Mitarbeiter ⁸	4,8
Bramhall ⁹	5,2
van Atta und Mitarbeiter ¹⁰	4,8
U. Neubert ²	4,4
Baumhauer und Kunze ¹¹	5,2
M. v. Ardenne ¹²	6,2
Kossel und Heise ⁴	12,0
E. W. Becker ¹³	18,0

Tab. 1. Flächendichten einiger Bandgeneratoren in Luft von Atmosphärendruck.

Die maximale Spannung war nach Messungen mit der Kugelfunkenstrecke größer als 300 kV. Sie wurde durch Überschläge von der Hochspannungselektrode zum unteren Faradäykäfig begrenzt. Die Überschläge erfolgten nicht als Gleitfunken, sondern frei durch die Luft im Abstand von etwa 10 cm vom Band. Überhaupt traten niemals Entladungen zum Band hin auf, ein Vorteil, der nach F. Heise¹⁴ darauf beruht, daß bei der erdseitigen Erregung das Band eine Überschußladung vom Vorzeichen der Hochspannungselek-

⁷ Ordnet man einige cm über dem Spitzenkamm 3 einen weiteren Kamm an, der zu Kamm 2 parallelgeschaltet ist, so beobachtet man auf dem kurzen resultierenden Transportweg zeitweilig Beladungsdichten bis 30 cgs. Kossel und Heise⁴ erreichten mit derartig kurzen Transportstrecken 20 cgs. Für den praktischen Betrieb ist jedoch nur die bei Ausnützung der vollen Isolierlänge erreichbare Beladungsdichte von Bedeutung.

⁸ M. A. Tuve, L. R. Hafstad u. O. Dahl, *Physic. Rev.* **48**, 315 [1935].

trode führt. Die Maschine läuft beim Einschalten mit negativem Vorzeichen an. Ein Umpolen kann jedoch leicht durch kurzzeitiges Erden der Erregerwalze während des Betriebes erreicht werden.

Da die entscheidenden Beladungsvorgänge durch den Spitzenkamm 3 auf ein ganz kurzes Bandstück verlegt worden sind, arbeitet der Apparat auch mit mechanisch und elektrisch verhältnismäßig schlechten Bändern und unter ungünstigsten Luftverhältnissen noch einwandfrei. Aus dem gleichen Grund ist auch der Isolationszustand der Erregerwalze nicht mehr kritisch, so daß die im Dauerbetrieb nicht zu vermeidenden Verschmutzungen ohne Einfluß bleiben. Zur schnellen Einleitung der Erregung beim Einschalten des Generators läßt man den Spitzenkamm 3 kurzzeitig auf dem Band *schleifen*.

Da die Ozonrisse, die die Lebensdauer des Bandes begrenzen, einseitig von der besprühten Oberfläche ausgehen, kann man durch rechtzeitiges Wenden die Lebensdauer des Bandes fast verdoppeln. Mit einem 2 mm starken Band konnten gewöhnlich 600 bis 800 Betriebsstunden durchgeführt werden. Zur Verminderung der Reibung wurde zwischen die Bandhälften wiederholt etwas Talcum oder Lycopodium eingestreut. Der längste, mit nur wenigen Minuten Unterbrechung durchgeführte Dauerbetrieb erstreckte sich über 7 Tage.

⁹ E. H. Bramhall, *Rev. Sci. Instruments* **5**, 19 [1934].

¹⁰ L. C. van Atta, D. L. Northrup, C. M. van Atta, R. J. vande Graaff, *Physic. Rev.* **49**, 761 [1936].

¹¹ W. Baumhauer u. Kunze, *Z. Physik* **114**, 197 [1939].

¹² M. v. Ardenne, *Z. Physik* **121**, 236 [1943].

¹³ E. W. Becker, diese Arbeit.

¹⁴ F. Heise⁴, S. 325.