

Erfahrungen mit dem Niederstromkohlebogen als Strahlungsnormal

K. BEHRINGER

Elektrophysikalisches Institut der Technischen Hochschule München

(Z. Naturforsch. 25 a, 981—982 [1970]; eingegangen am 28. April 1970)

Bei genauen Messungen von spektralen Intensitäten im sichtbaren Teil des Spektrums stellt sich das Problem, die optische Anordnung mit Hilfe eines Strahlungsnormals zu eichen. Als gebräuchlichste Normalstrahler finden in diesem Wellenlängenbereich entweder der Eulersche Niederstromkohlebogen oder eine kalibrierte Wolframbandlampe Verwendung. Neben seiner höheren Intensität hat der Kohlebogen den Vorteil, daß der Sublimationspunkt von Graphit einen physikalischen Temperaturfixpunkt darstellt. Daher ist dieses Normal keiner Alterung unterworfen und der zum Betrieb notwendige Bogenstrom weitgehend unkritisch. Trotz verlässlicher Messungen der spektralen Intensitätsverteilung durch MAGDEBURG¹ bestehen aber noch Unsicherheiten, wie gut diese Werte im Einzelfall reproduziert werden können. Um hierüber mehr Klarheit zu gewinnen, wird der Vergleich eines Kohlebogens unter verschiedenen Betriebsbedingungen mit zwei kalibrierten Wolframbandlampen durchgeführt.

Zur Registrierung der spektralen Intensitäten wird ein Jena-Gitterspektrograph mit dem Photomultiplier 1 P 28 am Austrittsspalt verwendet. Um einen stabilen Nullpunkt und Unabhängigkeit von der Raumbeleuchtung zu erhalten, befindet sich eine rotierende Sektorblende im Strahlengang. Der so pulsierende Multiplierstrom wird in einem phasenempfindlichen Detektor wieder gleichgerichtet. Da Lichtquellen verschiedener Intensität verglichen werden sollen, muß die Linearität des Strahlungsempfängers gewährleistet sein. Deshalb wird der SEV bei Anodenströmen von weniger als 1 μA betrieben. Die Linearität wurde nachgeprüft, indem bei verschiedenen Beleuchtungsstärken immer das gleiche Filter in den Strahlengang gebracht und dann jeweils das Verhältnis der Multiplierströme genau festgestellt wurde. Dieser Quotient zeigt eine Abweichung von nur 1% bei einer Veränderung der Beleuchtungsstärke um Faktor 100. Rotierende Sektorblenden sind zur Änderung der Beleuchtungsstärke natürlich nicht geeignet, weil bei diesem Verfahren nur eine Zeitmitteilung vorgenommen wird, der Empfänger während der Hellphase jedoch immer das gleiche Licht erhält.

Nach einer längeren Unterbrechung der Intensitätsmessungen war auffällig, daß trotz konstanter Beleuchtung der vom Multiplier abgegebene Strom zunächst langsam abnahm, um sich dann nach etwa 10 Minuten auf einen festen Wert zu stabilisieren, was auf eine Ermüdung der Photokathode hindeutet. Daher wird in al-

len folgenden Untersuchungen der Strahlungsempfänger zunächst 10 Minuten lang einer Beleuchtung ausgesetzt, wie sie etwa bei der Messung zu erwarten ist. Die Genauigkeit der Versuchsanordnung wird nun im wesentlichen durch das Rauschen des Photostroms begrenzt und beträgt im vorliegenden Fall etwa $\pm 1\%$. Die spektralen Aufzeichnungen werden an einem Rohde & Schwarz-Kompensationsschreiber oder an einem EAI-X-Y-Schreiber durchgeführt. Die Wellenlängenachse des Schreibers erhält dabei ihre Spannung von einem Potentiometer, das mit dem Gitterdrehwinkel gekoppelt ist.

Die als Standard herangezogenen Wolframbandlampen sind bei einer Schwerpunktswellenlänge von 650 nm auf ihre schwarze Temperatur geeicht. Um den Verlauf des spektralen Emissionskoeffizienten zu erhalten, muß unter der Annahme, daß die Durchlässigkeit des Quarzfensters den theoretischen Formeln gehorcht und das spektrale Emissionsvermögen des Wolframs mit den Literaturwerten übereinstimmt, zunächst die wahre Temperatur des Wolframbandes errechnet werden. Über Tabellen der spektralen Strahldichte z. B. von MAHR² ist dann der spektrale Verlauf der Intensität außerhalb der Lampe bekannt, wobei die Absorption des Fensters noch einmal berücksichtigt werden muß. Während der Wert der schwarzen Temperatur sicher auf wenige Grad genau ist, können in den errechneten spektralen Intensitäten jedoch größere Abweichungen auftreten. So zeigen die gemessenen spektralen Strahldichten der beiden untersuchten Wolframbandlampen Differenzen bis zu 3%. Da beide Lampen gleichermaßen zuverlässig sind, wird für die Intensitätseichung der optischen Anordnung der Mittelwert aus beiden Messungen verwendet.

Bei der Untersuchung des Kohlebogens wurden zunächst stabile und reproduzierbare Intensitäten angestrebt. Kohlebögen, bei denen der Abbrand der Elektroden durch eine Nachstellung von Hand ausgeglichen wird, erweisen sich für eine genaue Messung als ungeeignet, da sich die Intensität beim Nachschieben der Kohlen um einige Prozent ändern kann. Bei der Verwendung eines Versorgungsgerätes, das keine ausreichende Stromprägung vornimmt, erfolgt zusätzlich eine Änderung des Bogenstromes, die wiederum die Intensität beeinflußt. Wesentlich günstiger ist bereits der Betrieb eines Bogens mit einer Spannungsfühlerautomatik, wie er z. B. von Spindler & Hoyer angeboten wird. Er ist mit einem Motor ausgestattet, der die beiden Elektroden in festem Verhältnis zueinander nachfährt und abhängig von der Brennspannung des Lichtbogens aus und eingeschaltet wird. Für die hier beschriebenen Messungen wurde der Spannungsfühler auf 70 V eingestellt. Es zeigt sich jedoch, daß die Regelung nur stabil arbeitet, wenn ein Abbrand der Kohlen von einigen Millimetern bis zum Ansprechen der Automatik zugelassen wird. Außerdem muß infolge des verschiedenen Abbrandes von Kathode und Anode die Brennstellung von

¹ H. MAGDEBURG u. U. SCHLEY, Z. Angew. Phys. 20, 465 [1966].

² K. MAHR, private Mitteilung.

Zeit zu Zeit mit Hand korrigiert werden, damit die Richtung der Flächennormale des positiven Kraters mit der Achsenrichtung der Kohle übereinstimmt.

Zur Vermeidung dieser Nachteile fand schließlich eine eigene Bogenkonstruktion Verwendung, bei der die Lage der leuchtenden Elektrodenenden getrennt von zwei Photozellen überwacht wird. Der Nachschub der Kohlen erfolgt durch zwei in ihrer Geschwindigkeit geregelte, kontinuierlich laufende Motore. Die Justierung der Photozellen erfolgt derart, daß sich wieder eine Brennspannung von 70 V ergibt und außerdem ein senkrechter Abbrand der Anode gewährleistet ist.

Beim Beginn jeder Messung und nach jeder Veränderung des Stromes oder der Lage der Elektroden wurde eine Einbrennzeit von einigen Minuten abgewartet. Im untersuchten Spektralgebiet konnten bei einer Änderung der Elektrodenstellung von 90° auf 105° keine Unterschiede festgestellt werden.

Die Wahl des Kathodenmaterials hat im Rahmen der Meßgenauigkeit keinen Einfluß auf die Intensität, sondern nur auf die Brennruhe. Es haben sich die Dachkohle Noris D oder Spektralkohlen von $3 \text{ mm } \phi$ bewährt. Die Spektralkohlen haben den Vorteil, keine Störlinien im Spektrum zu erzeugen, brennen jedoch schneller ab. Als Anode finden die Spektralkohlen RWII $6,35 \text{ mm } \phi$, RWII, RWI und RW0 mit jeweils $5 \text{ mm } \phi$ Verwendung. Die Tabellen der spektralen Strahldichten von MAGDEBURG gelten für RWII $6,35 \text{ mm } \phi$ und einen Bogenstrom von $7,3 \text{ A}$. Dieser Wert wird auch hier eingehalten. Für die anderen Anoden ist nach dem Gesichtspunkt der größten Brennruhe ein Strom von $7,2$; $8,5$ und 9 A gewählt worden. Die beiden Anoden RWII liefern bei der Untersuchung die gleiche Intensität, jedoch zeigt die dünne Kohle im selbstgebauten Brenner eine größere Kurzzeitstabilität. Deshalb werden die Registrierungen mit dieser Kohle vorgenommen. Die Schwankungen der Intensität bei den verwendeten Elektroden betragen etwa $\pm 1\%$.

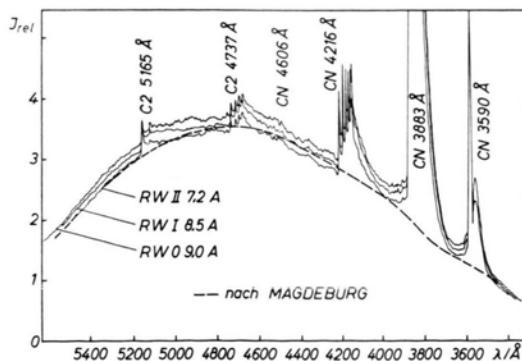


Abb. 1. Registrierung der spektralen Intensitäten verschiedener Kohleanoden. Der von MAGDEBURG gemessene Intensitätsverlauf ist gestrichelt eingezeichnet. Das Bild ist bezüglich der spektralen Empfindlichkeit nicht entzerrt.

Nachdem die Meßanordnung mit Hilfe der Wolframbandlampen in Abhängigkeit von der Wellenlänge ge-eicht worden ist, können in die Registrierkurven der

Bogenspektren die von MAGDEBURG angegebenen Werte nach Multiplikation mit dem Eichfaktor eingetragen werden. Das Ergebnis dieses Vergleichs zeigt Abb. 1. Für das von MAGDEBURG untersuchte Anodenmaterial RWII werden im langwelligeren Teil des Spektrums genau die erwarteten Werte gefunden. Zu kürzeren Wellenlängen hin weichen die gemessenen von den erwarteten Intensitäten zunehmend nach unten ab. Die Differenz erreicht bei 4400 Å ca. 2% und bei 3400 Å ca. 4% . Obwohl diese Differenz bereits in der Größenordnung der Meßgenauigkeit liegt, könnte vermutet werden, daß sich hier ein Einfluß des Luftdrucks (München 715 Torr) bemerkbar macht, der teilweise eine verminderte Strahldichte des Kohlekraters erklären würde. Die Täler zwischen den Banden $421,6 \text{ nm}$, $388,3 \text{ nm}$ und 359 nm erreichen nicht ganz den erwarteten Untergrund, so daß eine Interpolation in diesen Bereichen nur schlecht durchgeführt werden kann. Die Spektren der Materialien RWI und RW0 zeigen den gleichen Verlauf, liegen in der Absolutintensität jedoch etwa um 3 bzw. 5% über dem von RWII. Abb. 2 gibt die Intensitätsverteilung über den Durchmesser des Anodenkraters wieder. Dieser Registrierung ist zu entnehmen, daß mit geringem Fehler ein kreisförmiger Ausschnitt des Kraters von etwa $2,5 \text{ mm } \phi$ zu Eichzwecken herangezogen werden kann.

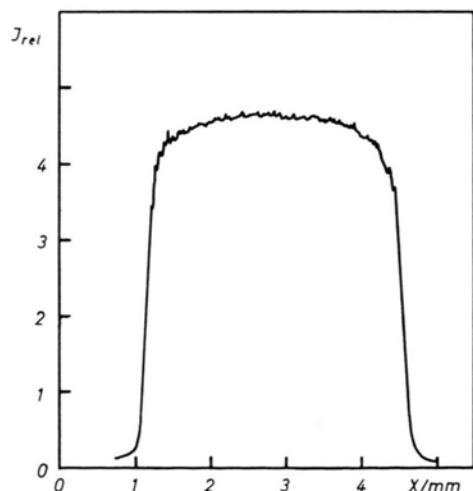


Abb. 2. Intensitätsverteilung über den Durchmesser des Anodenkraters.

Aus der guten Übereinstimmung des Intensitätsverlaufs für die verschiedenen Normalstrahler kann geschlossen werden, daß die von MAGDEBURG gemessenen Strahldichten jedenfalls innerhalb weniger Prozent reproduzierbar sind, wenn die Versuchsbedingungen richtig gewählt und stabil gehalten werden. Allen hier angegebenen Absolutintensitäten liegt letzten Endes natürlich das Eichnormal der PTB Berlin zugrunde.

Ich danke Herrn Prof. H. MAECKER sowie Herrn K. MAHR für hilfreiche Diskussionen und Hinweise.