

# Eine Strahlungsquelle für kontinuierliche Strahlung hoher Strahldichte

Von PAUL SCHULZ

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Greifswald

(Z. Naturforsch. 2a, 583-584a [1947]; eingegangen am 5. April 1947)

Es werden zwei Xenon-Hochdruckentladungsrohren verschiedener Leistungsaufnahme beschrieben. Die Röhren stellen im Sichtbaren und Ultravioletten Lichtquellen für kontinuierliche Strahlung hoher Strahldichte bei großer Ausbeute dar. Im nahen Ultravioletten wird ein intensives Linienspektrum ausgesandt.

In einer Reihe von Arbeiten<sup>1</sup> ist das Verhalten von elektrischen Entladungen in Edelgasen bei hohen Drucken untersucht worden. Dabei wurde gefunden, daß die kontinuierliche Strahlung hier im Vergleich zu Entladungen in anderen Gasen einen sehr hohen Anteil zur Gesamtstrahlung liefert. Das Kontinuum konnte zurückgeführt werden auf Rekombinations- (Frei-gebunden-Strahlung) und Bremsstrahlung (Frei-frei-Strahlung) und dargestellt werden durch:

$$S_K = \text{const } N e^{-\frac{e V_i}{k T}}$$

( $N$  Anzahl der Atome im  $\text{cm}^3$ ,  $V_i$  Ionisierungsspannung). Die Liniensstrahlung wird durch eine analoge Beziehung:

$$S_L = \text{const } N e^{-\frac{e V_a}{k T}}$$

( $V_a$  Anregungsspannung der Linie) gegeben. Der relativ hohe Anteil der kontinuierlichen Strahlung konnte durch den Termaufbau der Edelgasatome erklärt werden. Bei diesen sind die Terme dicht unterhalb der Ionisierungsgrenze zusammengedrängt, so daß die als Anregungsspannung des Kontinuums auftretende Ionisierungsspannung nur wenig größer ist als die Anregungsspannung der Linien. Die Ausbeute des Kontinuums nimmt rasch mit der Stromstärke zu, während die Ausbeute der Liniensstrahlung annähernd konstant ist. Der raschere Anstieg der kontinuierlichen Strahlung beruht zum Teil offensichtlich auf der Tatsache, daß  $V_i$  stets größer als  $V_a$  ist und somit die mit wachsendem Strom eintretende Temperaturerhöhung in Gl. (1) empfindlicher eingeht als in Gl. (2). Wegen des geringen Unterschiedes zwis-

schen  $V_i$  und  $V_a$  reicht dieser Anteil aber nicht aus, um das sehr verschiedenartige Verhalten beider Strahlungsanteile zu erklären. Zu einem wesentlichen Teil muß der sehr rasche Anstieg des Kontinuums auf eine mit zunehmender Stromstärke abnehmende „effektive“ Ionisierungsspannung der Edelgasatome zurückgeführt werden. Eine Herabsetzung der wirksamen Ionisierungsspannung in Hochdruckentladungen ist schon früher<sup>2</sup> beobachtet worden und durch eine Verschmierung der dicht gelagerten Terme infolge ihrer großen Verbreiterung bei den hohen Atom- und Ionendichten erklärt worden<sup>3</sup>.

Die Ausbeute der kontinuierlichen Strahlung für die verschiedenen Edelgase nimmt in der Reihenfolge Neon, Argon, Krypton, Xenon zu. Für hohe Stromdichten ist die Absolutausbeute in den schweren Edelgasen, insbesondere im Xenon, recht beträchtlich.

Aus diesem Grunde ist im folgenden die Xenon-Hochdruckentladung als Lichtquelle für kontinuierliche Strahlung verwandt worden. Es wurden zwei Entladungsrohre für verschiedene Leistungsaufnahmen gebaut. Die kleinere Type kann maximal mit 8 Amp. bei einer Brennspannung von fast 30 V betrieben werden. Unterbelastung ist in weiten Grenzen zulässig. Doch geht dabei die Lichtausbeute merklich herunter.

Die Entladungsrohre ist in Abb. 1 wiedergegeben. Der Kolben  $Q$  besteht aus Quarz. Die Durchführungen  $D$  sind Mo-Bänder. Zum Schutze gegen Aufplatzen der Füße bei den hohen verwandten Drucken von ca. 40 Atm. Xenon umschließt der Kolben mit seinen seitlichen Ausführungen so den Fuß mit der Mo-Band-durchführung, daß ein schmäler Zwischenraum entsteht, in dem derselbe Druck wie im Kolben besteht.

<sup>2</sup> R. Mannkopff, Z. Physik 76, 396 [1936]; R. Rompe u. P. Schulz, Z. Physik 110, 223 [1938].

<sup>3</sup> P. Schulz, Z. Physik 114, 435 [1939].

<sup>1</sup> P. Schulz, Reichsber. Physik 1, 147 [1944]; Ann. Physik 1, 95, 107 [1947].



Als Anode *A* dient eine massive Wolfram-Elektrode. Die Kathode *K* ist eine Wendel-Elektrode. Obwohl zwischen zwei spitzen Vollelektroden ein engerer Bogen und damit bei gleicher Leistungsaufnahme eine höhere Stromdichte, d. h. nach obigem eine höhere Ausbeute zu erzielen ist, wurde die Wendel-Elektrode verwandt, da nur in diesem Fall eine ruhig brennende Entladung erreicht wurde.

Die größere Type ist bis 30 Amp. belastbar. Sie ist in Abb. 2 wiedergegeben. Die Brennspannung beträgt wie bei der kleineren Röhre 30 Volt. Der Kolben besteht gleichfalls aus Quarz. Die Anode *A* ist eine massive Wolfram-Elektrode. Als Kathode *K* dient eine Wendel-Elektrode. An Stelle einer einzigen Mo-Band-durchführung enthält der Fuß *F* vier Mo-Bänder. Die Füllung besteht aus 40 Atm. Xenon.

Zur Einleitung der Entladung besitzen beide Lampen eine Zündelektrode *Z*, auf die ein kurzer hoher Spannungsimpuls etwa mit Hilfe eines kleinen Induktors gegeben wird. Die Röhren zünden dann unmittelbar an 220 V, u. U. auch an niederen Spannungen bis herab zu etwa 125 V. Da die Brennspannung nur knapp 30 Volt beträgt, ist bei diesem Betrieb ein beträchtlicher Teil der Leistung zu vernichten. Man stellt deshalb zweckmäßig nach der Zündung auf eine Spannung von etwa 35—40 Volt ein. Dies kann einfach dadurch geschehen, daß die niedere Spannung unter Verwendung geeigneter Widerstände zunächst zu der hohen Spannung hinzu- und danach letztere abgeschaltet wird. Ein Schema dieser Schaltung zeigt Abb. 3.

Das Umschalten auf niedere Betriebsspannung kann vermieden werden, wenn Berührungszündung unter Verwendung von Bimetallstreifen benutzt wird. Die Zündung kann dann sofort an einer Netzspannung von ca. 40 V erfolgen. Wegen der Komplizierung des technischen Aufbaus ist jedoch zunächst Zündung mit Zündsonde vorzuziehen.

Die Ausbeute im Sichtbaren ist recht hoch. Sie beträgt für die größere Lampentype 3,3 HK/Watt. Die Leuchtdichte ist 23 000 Sb bei einer zugrundegelegten Bogenbreite von 2 mm. Bei einem Elektrodenabstand von 4 mm steht somit eine leuchtende Fläche von 8 mm<sup>2</sup> zur Verfügung. Ein Bild des Bogens zeigt Abb. 4.

Die entsprechenden Daten für die kleinere Lampentype sind: Lichtausbeute 3 HK/Watt, Leuchtdichte 10 000 Sb, Bogenbreite 1 mm, Elektrodenabstand 3 mm, leuchtende Fläche 3 mm<sup>2</sup>.

Eine Spektralaufnahme des sichtbaren Gebietes mit einem Glasspektrographen zeigt Abb. 5. Wie man sieht, tritt außer dem intensiven Kontinuum nur eine schwache Liniengruppe zwischen 4500 Å und 4917 Å auf. Das Licht ist weitgehend tageslichtähnlich.

Nach dem Ultravioletten reicht die kontinuierliche Strahlung mit hoher Intensität bis zur Grenze

der Quarzabsorption. Eine Aufnahme dieses Spektralbereiches mit einem Quarzspektrographen zeigt Abb. 6. Einzelne Linien treten hier kaum auf.

Das Infrarotspektrum wird in Abb. 7 wiedergegeben. Im Ultraroten tritt eine intensive linienhafte Emission in Erscheinung. Die kontinuierliche Strahlung hingegen ist hier relativ schwach. Die Liniemission liegt im wesentlichen im Bereich von 0,8 μ bis 1 μ.

Die mit einem Doppelmonochromator gemessene Verteilung der gesamten ausgestrahlten Energie gibt Abb. 8 wieder. Die ultrarote Liniengruppe tritt mit großer Intensität aus dem kontinuierlichen Untergrund hervor. Die sichtbare Liniengruppe zwischen 4500 Å und 4917 Å erscheint nur sehr schwach. Das Kontinuum erstreckt sich über das gesamte Spektrum und hat sein Maximum bei 0,55 μ, entsprechend der Strahlung eines schwarzen Körpers von 5200° K. Letztere ist zum Vergleich mit eingezeichnet. Das Xenon-Kontinuum gleicht weitgehend der Sonnenstrahlung, reicht aber beträchtlich weiter ins Ultraviolett als das wegen der Atmosphärenabsorption bei etwa 0,29 μ abbrechende Sonnenkontinuum. Auch dieses sowie die Energieverteilung eines schwarzen Körpers von 5713° K, dessen Strahlungsmaximum mit dem Sonnenmaximum zusammenfällt, ist in Abb. 8 eingetragen.

Die Xenon-Hochdruckentladung ist nach obigem eine Lichtquelle, die im Sichtbaren und Ultravioletten ein nahezu reines, sehr gleichmäßiges Kontinuum liefert. Ihre Ausbeute ist im Sichtbaren etwas geringer als die des Quecksilber-Hochdruckbogens. Doch wegen ihres weißen Farbcharakters ist sie überall dort mit Erfolg zu verwenden, wo es auf gute Farbwiedergabe ankommt. Die hohe Leuchtdichte macht sie auch für Projektionszwecke brauchbar. Im Ultravioletten ist sie jeder anderen bekannten Lichtquelle für kontinuierliche Strahlung in bezug auf Ausbeute, Strahlungsdichte und Einfachheit der Handhabung (an gewöhnlich verfügbarer Spannung, z. B. 220 V zu betreiben) bei weitem überlegen. Außer für spektroskopische Untersuchungen und photochemische Reaktionen macht die Sonnenähnlichkeit ihres Spektrums sie auch für Bestrahlungszwecke zu einem naheliegenden Hilfsmittel. Daneben stellt die Lampe im nahen Ultraroten zwischen 0,8 μ und 1 μ eine Lichtquelle sehr hoher Strahlungsdichte und Ausbeute dar.

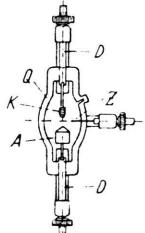


Abb. 1.

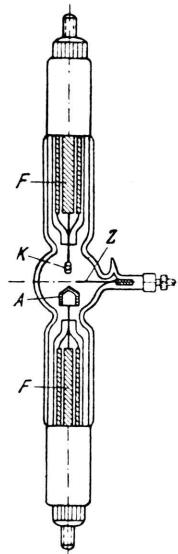


Abb. 2.

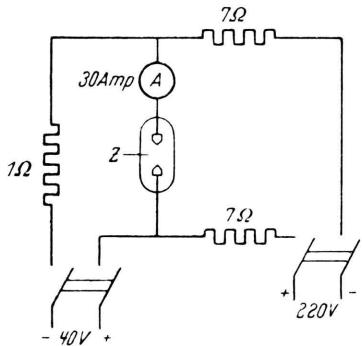


Abb. 3.



Abb. 4.

Abb. 1. Xenon-Hochdrucklampe (8 Amp., 30 Volt).

Abb. 2. Xenon-Hochdrucklampe (30 Amp., 30 Volt).

Abb. 3. Anordnung zum Umschalten auf niedere Betriebsspannung.

Abb. 4. Bogen der Xenon-Hochdrucklampe.

Abb. 5. Sichtbares Spektrum des Xenon-Hochdruckbogens.

Abb. 6. Ultraviolettes Spektrum des Xenon-Hochdruckbogens mit dem Quecksilberspektrum zum Vergleich.

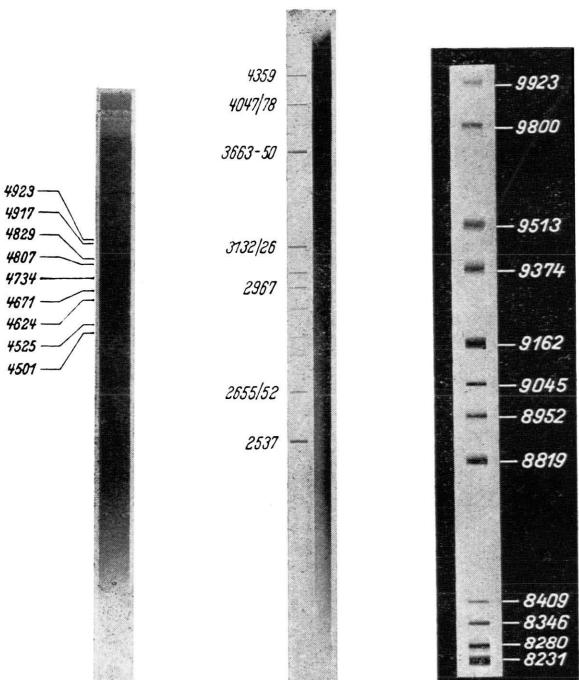


Abb. 5.

Abb. 6.

Abb. 7.

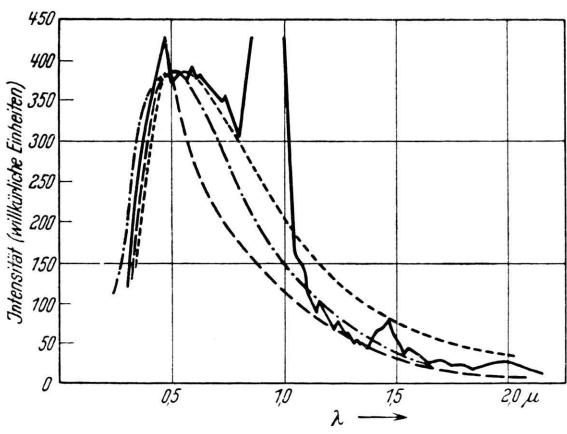


Abb. 8.

Abb. 7. Infrarotspektrum des Xenon-Hochdruckbogens.

Abb. 8. Energieverteilung des Xenon-Hochdruckbogens sowie des schwarzen Körpers von  $5200^\circ$  K,  $5713^\circ$  K und der Sonnenstrahlung.

— Xenon-Hochdruckentladung,  
 - - - Schwarzer Körper  $5200^\circ$  K,  
 - - - Sonne,  
 - - - Schwarzer Körper  $5713^\circ$  K.

