

Lichtbögen mit Brennfleck und ohne Brennfleck.

Von

W. THOURET, W. WEIZEL und P. GÜNTHER.

Mit 9 Figuren im Text.

(Eingegangen am 15. August 1951.)

1. Außer den gewöhnlichen Lichtbögen mit kathodischem Brennfleck gibt es auch Bögen ohne kathodischen Brennfleck. Sie treten bei großer Belastung auf, wenn die Kathode auf hohe Temperatur kommt. — 2. Lichtbögen ohne Brennfleck sind im Xenon mit kleineren Strömen als in Quecksilber und bei Gleichstrom mit kleineren Stromstärken als bei Wechselstrom zu erhalten. — 3. Der Übergang von einem Brennfleckbogen zu einem brennflecklosen Bogen erfolgt als plötzlicher Umschlag. — 4. Der Umschlag vom Brennfleckbogen zu brennflecklosem Bogen erfolgt bei größerer Stromstärke als der Rückumschlag. Man beobachtet also eine Hysteresiserscheinung, welche bei Xenon ausgeprägter als bei Quecksilber ist. — 5. Die Wiederspitzigkeit bei Wechselstrom tritt zusammen mit dem kathodischen Brennfleck auf. Ihre Ursache liegt zum Teil in dem Raum unmittelbar vor der Kathode und sie muß durch denselben Mechanismus erklärt werden, wie der Brennfleck selbst.

An der Kathode eines Lichtbogens ist gewöhnlich ein sog. Brennfleck zu beobachten. Die Bogensäule schnürt sich dicht vor der Kathode stark zusammen und setzt an ihr in einem sehr hellen Punkt an. In vergrößerter Projektion erkennt man vor der Elektrode eine ungefähr kugelförmige Zone, die die normale Bogensäule an Leuchtdichte bedeutend übertrifft und die ohne sichtbaren Zwischenraum auf der Kathode aufsitzt. Solche ausgesprochenen Brennflecke treten besonders bei flüssigem Quecksilber, niedrig schmelzenden Metallen, wie Kupfer und an künstlich gekühlten Kathoden auf. Vielfach bewegen sie sich auf der Kathode mit erheblicher Geschwindigkeit hin und her. Die ältere thermische Bogentheorie, wie auch die Feldemissionstheorie haben der Erscheinung des Brennflecks wenig Beachtung geschenkt und gerieten in Widerspruch mit der hohen Stromdichte, welche in ihm herrscht, und seiner leichten Beweglichkeit auf der Kathodenoberfläche. Seitdem die Kontraktionstheorie [1] den Stromtransport zur Bogenkathode und den niedrigen Kathodenfall der Lichtbögen gerade durch die Brennfleckbildung erklärt, ist es wichtig festzustellen, ob Brennflecke eine allgemeine Eigenschaft der Lichtbögen sind oder ob es auch Lichtbögen ohne kathodische Brennflecke gibt.

1. Gleichstrombögen in Quecksilber und Xenon.

An kugelförmigen Quecksilberhöchstdrucklampen [2] und ähnlich konstruierten Xenonhochdrucklampen [3] kann man verhältnismäßig leicht

den Bogenansatz an der Kathode in vergrößerter Projektion verfolgen. Bei mäßiger Stromstärke ist ein sehr deutlich ausgebildeter Brennfleck zu sehen, während bei großen Strömen das deutliche Bild eines Brennflecks verschwindet. Bei Quecksilber beobachtet man vor der Kathode zwar auch dann noch eine höhere Leuchtdichte, aber in viel geringerem Maße als beim eigentlichen Brennfleck, während bei Xenon oft keine Spur von erhöhter Leuchtdichte oder Kontraktion zu sehen ist.

An einer technischen Quecksilberlampe vom Typ HBO für 500 W und einem Betriebsdruck von 35 Atm mit Gleichstrom betrieben beobachtet man bei Strömen bis

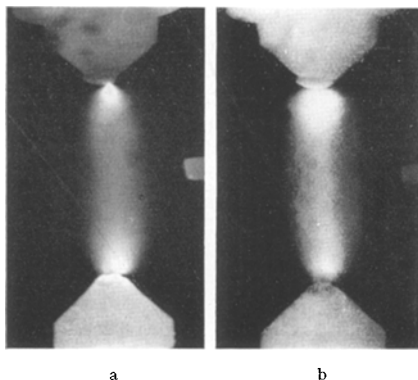


Fig. 1 a u. b. a Quecksilberbogen HBO 500 bei 5 Amp Gleichstrom. Kathode oben, Brennfleck an der Kathode b Quecksilberbogen HBO 500 bei 8 Amp Gleichstrom. Kathode oben, kein Brennfleck an der Kathode.

5 Amp einen wohlausgeprägten Brennfleck, wenn die obere Elektrode Kathode ist. Steigert man den Strom, so verschwindet der Brennfleck plötzlich zwischen 6 und 7 Amp und kehrt wieder zurück, wenn man den Strom wieder ermäßigt. Bei mehr als 7 Amp hat man also einen Bogen ohne kathodischen Brennfleck, wenn die obere Elektrode Kathode ist. Gerade der plötzliche Umschlag des Bogens mit Brennfleck in einen Bogen ohne Brennfleck macht es sehr deutlich, daß zwei verschiedene Entladungsformen

existieren, über deren Verschiedenheit man vielleicht im Zweifel sein könnte, wenn der Übergang allmählich vor sich ginge. Die Fig. 1a zeigt eine solche Lampe mit Brennfleck bei 5 Amp, die Fig. 1b einen Bogen ohne Brennfleck in derselben Lampe bei 8 Amp.

Anders verhält sich der Bogen, wenn die untere Elektrode Kathode ist. In diesem Falle wird an der HBO 500-Lampe bis zu Strömen von 12 Amp ausnahmslos ein Brennfleck beobachtet. Größere Belastungen führen zur Beschädigung der Lampe.

Das Verschwinden des Brennflecks erfolgt bei einer etwas höheren Stromstärke, wenn man den Strom steigert, als der Rückumschlag vom brennflecklosen Bogen in den Brennfleckbogen, wenn man den Strom erniedrigt. Der Übergang zwischen den beiden Bogenformen ist zwar reversibel, aber zeigt eine Art Hysterese.

Ganz analoge Beobachtungen können an Xenonlampen gemacht werden, nur erhält man brennflecklose Bögen schon bei niedrigerem Strom. Eine Xenonlampe, wie sie in Fig. 4a abgebildet ist und die normalerweise mit Gleichstrom von 8 Amp betrieben wird, zeigt keinen

Brennfleck, wenn die Kathode oben steht. Senkt man den Strom, so bildet sich plötzlich ein sehr deutlicher Brennfleck bei etwa 1,2 Amp. Der Umschlag erfolgt ganz plötzlich und ist sehr auffallend. Beim Wiederholen des Versuchs wiederholt sich der Umschlag im gleichen Stromintervall, wenn auch nicht ganz genau bei derselben Stromstärke. Erhöht man nun den Strom wieder, so verschwindet der Brennfleck ebenso plötzlich bei 3,5 bis 4 Amp. Der Vorgang ist grundsätzlich derselbe wie bei Quecksilber, jedoch ist die Hysterese viel ausgeprägter.

Liegt die Kathode unten, so erzielt man erst bei 8 Amp den Umschlag in die Entladung ohne Brennfleck. Die Fig. 2a zeigt einen Xenonbogen mit Brennfleck bei 1,0 Amp, die Fig. 2b einen Xenonbogen ohne Brennfleck an derselben Kathode bei 4,5 Amp.

Das geschilderte Verhalten ist typisch für Xenon- und Quecksilberbögen zwischen Wolframelektroden. Man kann folgende Regelmäßigkeiten erkennen:

1. Bei mäßigem Strom beobachtet man einen Brennfleck, während bei hohen Strömen der Brennfleck fehlt.

2. Der Umschlag erfolgt plötzlich. Er ist reversibel, zeigt aber eine gewisse Hysterese. Der Umschlag zum brennflecklosen Bogen vollzieht sich bei höherem Strom als der Rückumschlag zum Brennfleckbogen. Die Hysterese ist bei Xenon viel ausgeprägter als bei Quecksilber.

3. Der Umschlag erfolgt bei um so kleinerer Stromstärke, je kleiner die Kathode ist, und je höher deshalb die Temperatur, welche sie bei einem bestimmten Strom annimmt.

4. Der Umschlag erfolgt bei kleinerem Strom, wenn die Kathode die obere Elektrode ist und durch das aufsteigende Gas erhitzt wird.

5. Unter sonst ähnlichen Umständen sind in Quecksilber viel größere Ströme erforderlich, um einen brennflecklosen Bogen zu erzielen, als in Xenon.

2. Die Struktur des Brennflecks.

Auch bei den Bögen, welche als brennflecklos bezeichnet sind, kann man unter Umständen eine Verengung der Lichtbogensäule vor der Elektrode und einen Anstieg der Leuchtdichte vor ihr beobachten. Dies hat zur Folge, daß es mitunter schwer ist, zu entscheiden, ob ein Brennfleck vorliegt oder nicht. Während aber bei den Bögen mit Brennfleck die Kontraktion erforderlich ist, um den Bogen aufrechtzuerhalten, ist die Kontraktion beim brennflecklosen Bogen eine zufällige Erscheinung,

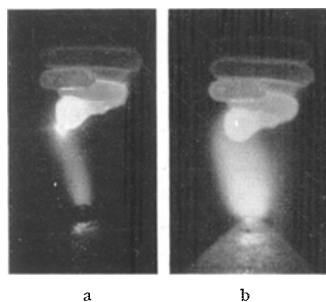
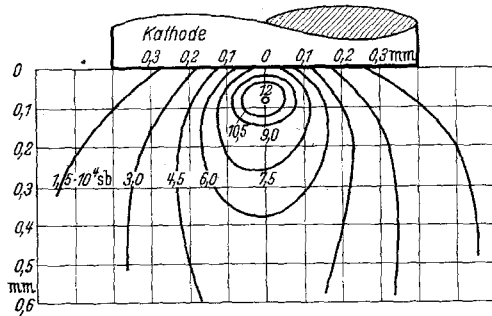


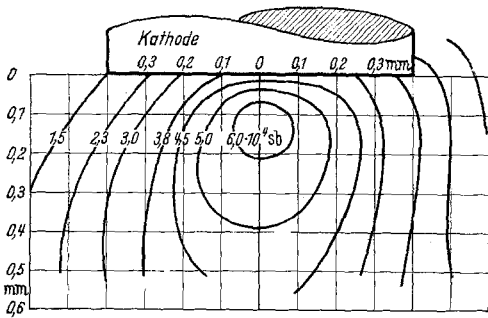
Fig. 2a u. b. a Xenonbogen bei 1 Amp Gleichstrom. Kathode oben, Brennfleck an der Kathode. b Xenonbogen bei 4,5 Amp Gleichstrom. Kathode oben, kein Brennfleck an der Kathode.

welche z. B. nur deshalb entsteht, weil die Kathode klein ist und dem Ansatz des Bogens keinen ausreichenden Querschnitt darbietet. In solchen Fällen kann man mit Sicherheit zwischen den beiden Entladungsformen nur unterscheiden, wenn man den plötzlichen Umschlag beobachten kann.

Um eine quantitative Vorstellung von den beiden Bögen zu erhalten, wurde ein Quecksilberbogen stark vergrößert auf einen Schirm projiziert



a



b

Fig. 3 a u. b. a Leuchtdichteverteilung vor der Kathode eines Brennfleckbogens. Hg-Höchstdrucklampe, Gleichstrom, 10,5 Amp, Kathode oben, Druck 32 Atm. b Leuchtdichteverteilung vor der Kathode eines brennflecklosen Bogens. Hg-Höchstdrucklampe, Gleichstrom, 11,5 Amp, Kathode oben, Druck 32 Atm.

und die Beleuchtungsstärke des Bildes ausgemessen. Die Kathode endete in diesem Fall in einen zylindrischen Stift mit ebener Stirnfläche von 0,8 mm Durchmesser. Die Fig. 3 a zeigt die Kurven gleicher Leuchtdichte beim Bogen mit Brennfleck, die Fig. 3 b beim Bogen ohne Brennfleck. Die Stromstärke ohne Brennfleck betrug 11,5 Amp, mit Brennfleck 10,5 Amp. Die Projektion verwischt leider die Unterschiede etwas, weil sich in jedem Punkte des Bildes das Licht von inneren und äußeren Gebieten des Bogens überlagert. Angesichts der geringen Unterschiede in den Stromstärken ist die große Veränderung der Leuchtdichteverteilung augenfällig. Man kann folgende Unterschiede deutlich feststellen:

1. Mit Brennfleck wird wesentlich höhere Leuchtdichte und damit höhere Temperatur vor der Kathode erzielt als ohne Brennfleck.
2. Mit Brennfleck ist der radiale Abfall der Leuchtdichte wesentlich steiler als ohne Brennfleck. Dies ist deutlich erkennbar, obwohl gerade dieser Umstand durch die Projektion verwischt wird.
3. Mit Brennfleck reicht die hohe Temperatur viel näher an die Kathode heran als ohne Brennfleck.

3. Wechselstrombögen.

Betrieht man Quecksilber- oder Xenonbögen mit Wechselstrom, so beobachtet man Bögen ohne Brennfleck viel seltener als bei Gleichstrom-

betrieb. Immerhin konnten wir bei hohen Stromstärken auch Xenonbögen ohne Brennfleck erhalten. Haben beide Elektroden gleiche Größe und Form, so verschwindet beim Erhöhen der Stromstärke der Brennfleck zuerst in der Halbperiode, in der die obere Elektrode Kathode ist. Um auch den Brennfleck an der unteren Elektrode zum Verschwinden zu bringen, muß man den Strom noch weiter steigern. Hat man zwei verschiedene Elektroden, so werden brennflecklose Bögen an der kleineren Elektrode begünstigt. Alle Beobachtungen, welche wir machen konnten, weisen darauf hin, daß für das Verschwinden des Brennflecks die Temperatur der jeweiligen Kathode maßgebend ist. Es scheint eine gewisse Erhitzung der Kathode notwendig zu sein, um einen brennflecklosen Bogen zu ermöglichen. Der Brennfleck verschwindet immer zuerst an der heißeren Elektrode; offenbar ist es gleichgültig, aus welchen Gründen die höhere Temperatur entsteht.

4. Die Wiederzündspitze bei Wechselstrombögen.

Ein Wechselstrombogen erlischt bei niedriger Frequenz in jedem Nulldurchgang völlig und muß in jeder Halbperiode neu gezündet werden. In einem Spannungssoszillogramm (s. Fig. 6a und b) ist die Wiederzündung als scharfe Wiederzündspitze sichtbar. Die Spannung steigt nach dem Nulldurchgang auf einen Wert an, welcher bis zu 100 V über der Brennspannung nach der Wiederzündung liegt und sinkt dann plötzlich auf die Brennspannung ab, die dann fast unverändert bis zum Erlöschen des Bogens vor dem nächsten Nulldurchgang anhält.

KERN [4], TER HORST [5] und TIMOSCHENKO [6] sind schon früher zu der Ansicht gekommen, daß die Ursache eines wesentlichen Anteiles der Wiederzündspitze nicht in der Bogensäule liegt, sondern in der Nähe derjenigen Elektrode, welche nach der Wiederzündung Kathode wird. KERN konnte sogar zeigen, daß sich beim Nulldurchgang vor der Elektrode ein Dunkelraum bildet, dessen Dicke direkt mit der Wiederzündspannung zusammenhängt. Außerdem beobachtete KERN bei Quecksilberbögen und SCHENFER [7] bei Kohlebögen, daß die Wiederzündspitze bei höheren Frequenzen abnimmt und schließlich verschwindet. KESSELRING [8] stellte fest, daß die Wiederzündspitze höher in Gasen von gutem Wärmeleitvermögen ist, als in Gasen, welche die Wärme schlecht leiten (Wasserstoff und Luft).

In einer Reihe von Versuchen konnten wir feststellen, daß in Hochdrucklampen mit kurzen elektrodenstabilisierten Bögen die Wiederzündspitze deshalb auftritt, weil nach dem Nulldurchgang ein Brennfleck gebildet werden muß. Die Versuche wurden an drei Xenonlampen verschiedener Bauart mit folgenden Eigenschaften ausgeführt:

a) Xenonhochdrucklampe für 200 W Leistung, 30 Atm Betriebsdruck. Die Elektroden waren beide gleich und bestanden aus einem Wolframstift mit aufgezogener Wolframwendel (Fig. 4a).

b) Xenonhochdrucklampe für 900 W und 20 Atm Betriebsdruck. Eine Elektrode bestand aus Stift und aufgezogener Wendel, während die andere Elektrode eine große Massivelektrode war (Fig. 4b).

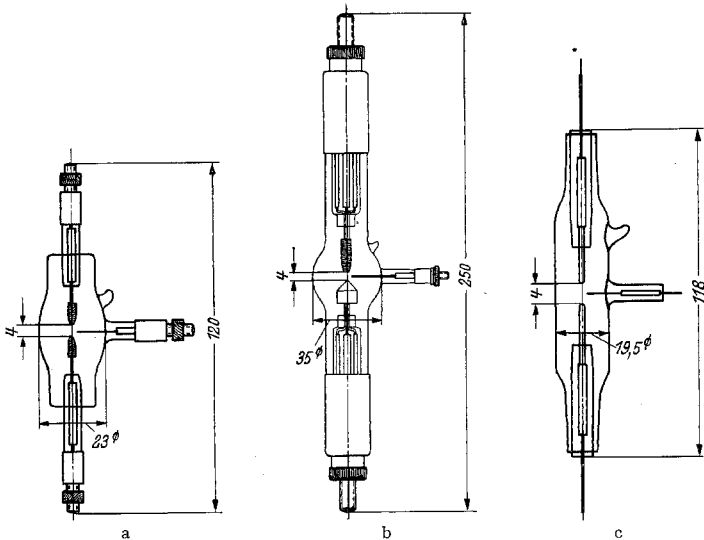


Fig. 4a—c. a Xenonlampe. Beide Elektroden als Wolframstift mit aufgezogener Wendel. b Xenonlampe mit zwei verschiedenen Elektroden. c Xenonlampe, beide Elektroden als einfacher Wolframstift.

c) Xenonlampe mit zwei gleichen verhältnismäßig dünnen Wolframstiften als Elektroden für Betriebsdruck von 20 bis 30 Atm (Fig. 4c).

In der Fig. 5a ist die Wiederzündspannung der Lampe nach Fig. 4a

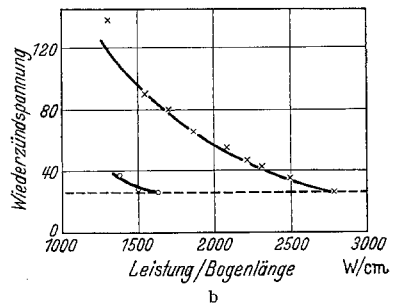
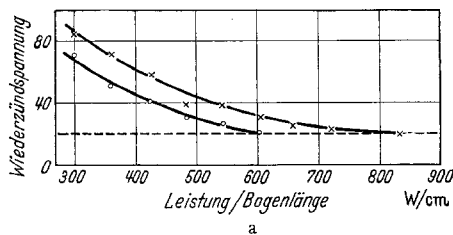


Fig. 5a u. b. a Xenonlampe gemäß Fig. 4a mit gleichen Elektroden. b Xenonlampe gemäß Fig. 4b mit kleiner oberer und großer unterer Elektrode.

xxx Wiederzündspannung, an der unteren, ooo an der oberen Elektrode. Die punktierte Linie gibt die Brennspannung an.

gegen die Leistung aufgetragen. Wie aus dem Oszillogramm der Fig. 6a hervorgeht, ist die Wiederzündspitze an der unteren Elektrode größer als an der oberen. Sie nimmt an beiden Elektroden mit wachsender Leistung ab und verschwindet bei 600 W/cm an der oberen, bei 800 W/cm an der unteren Elektrode. Bei höheren Leistungen ist die Wiederzünd-

spannung gleich der Brennspannung, d.h. es ist keine Wiederzündspitze mehr vorhanden.

Das entsprechende Diagramm für die Lampe nach Fig. 4b mit der Massiv-elektrode unten zeigt Fig. 5b. Der Unterschied zwischen der oberen und unteren Elektrode ist bedeutend verstärkt, weil die untere Elektrode größer ist und sich nur wenig erwärmt. Im Oszillogramm Fig. 6b ist oben keine Wiederzündspitze mehr zu sehen, während die untere Elektrode eine sehr hohe Wiederzündspitze zeigt. Dieses Oszillogramm ist in dem Strombereich aufgenommen, in welchem die obere Elektrode keine Wiederzündspitze mehr hat. Dreht man diese Lampe

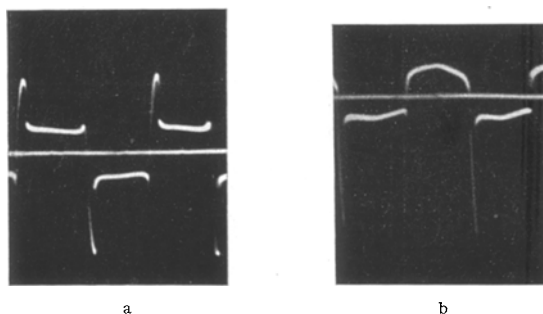


Fig. 6a u. b. a Kleine Wiederzündspitze an der oberen, große Wiederzündspitze an der unteren Elektrode.
b Keine Wiederzündspitze an der oberen, sehr große Wiederzündspitze an der unteren Elektrode.

um, so daß die Massiv-elektrode oben steht, so vermindert sich der Unterschied der Wiederzündspitzen.

Gleichzeitig mit den Wiederzündspitzen wurden die Brennflecke beobachtet. Ausnahmslos zeigte sich bei allen Versuchen, daß der Brennfleck genau zugleich mit der Wiederzündspitze verschwindet. Wir schließen daraus, daß die Wiederzündspitze (oder mindestens der größte Teil von ihr) bei diesen kurzen Bögen ihre Ursache im Brennfleck hat und mit dem Mechanismus der Brennfleckbildung aufs engste zusammenhängt. Dies wird besonders an den Fig. 7a, b, c deutlich. Sie zeigen eine Lampe mit gleichen Elektroden. Bei 5 Amp sind Brennflecke an beiden Elektroden sichtbar und das Oszillogramm zeigt Zündspitzen in beiden Halbperioden (Fig. 7a). In mittlerem Strombereich (Fig. 7b) sieht man nur an der unteren Elektrode Brennfleck und Wiederzündspitze, während bei Strömen über 14 Amp an beiden Elektroden Brennfleck und Wiederzündspitze verschwunden ist (Fig. 7c).

Wesentlich anders als Xenonlampen verhalten sich Quecksilberlampen im gleichen Leistungsbereich. Eine Lampe HBO 500 mit zwei gleichen Elektroden zeigt an beiden Elektroden Wiederzündspitzen von gleicher Größe (s. Oszillogramm Fig. 8). Steigert man die Leistung, so

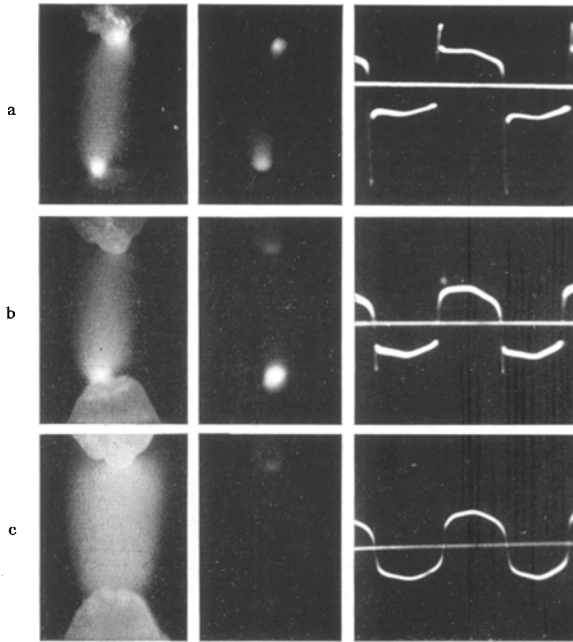


Fig. 7a—c. a Brennfleck und Wiederzündspitze an beiden Elektroden. b Brennfleck und Wiederzündspitze an der unteren Elektrode. c Beide Elektroden ohne Brennfleck und ohne Wiederzündspitze. Die linke Aufnahme des Bogens ist normal belichtet, die rechte hingegen schwach, um die Brennflecke sichtbar zu machen.

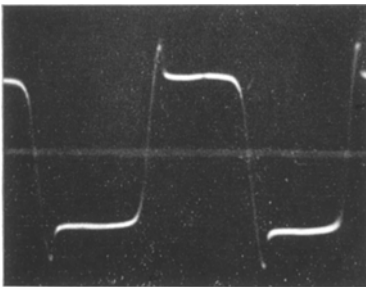


Fig. 8.

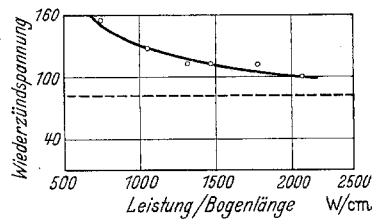


Fig. 9.

Fig. 8. Oszillogramm eines Hg-Bogens mit gleichen Wiederzündspitzen an beiden Elektroden.

Fig. 9. Hg-Lampe mit gleichen Elektroden. Die Wiederzündspannung ist an beiden Elektroden dieselbe und verschwindet nicht bei hoher Leistung.

werden die Wiederzündspitzen kleiner. In dem Bereich bis 2000 W/cm, in welchem man die Lampe betreiben kann, gelingt es aber nicht, die Wiederzündspitzen zum Verschwinden zu bringen, auch zeigt sich kein Unterschied zwischen oberer und unterer Elektrode (s. Fig. 9). Andere Quecksilberlampen zeigen ähnliches Verhalten.

Durch diese Versuche kommen wir zu folgenden Feststellungen:

1. Wiederzündspitze und Brennfleck treten bei diesen kurzen Lichtbögen stets gemeinsam auf. In Xenon verschwinden bei höherer Belastung beide. Unter geeigneten Bedingungen beobachtet man an einer Elektrode einen kathodischen Brennfleck und eine Wiederzündspitze, wenn sie Kathode ist, während die andere Elektrode weder Brennfleck noch Wiederzündspitze zeigt.

2. Brennfleck und Wiederzündspitze verschwinden leichter an der oberen Elektrode. An kleinen Elektroden verschwinden Brennfleck und Wiederzündspitze leichter als an großen Elektroden. Für das Verschwinden beider Erscheinungen scheint es darauf anzukommen, daß die Kathode auf hohe Temperatur kommt.

3. Mit Wechselstrom muß man bei Xenon etwa 3- bis 4mal höhere Ströme anwenden, um den Brennfleck zum Verschwinden zu bringen, als bei Gleichstrom. Dies dürfte der Grund sein, weshalb es nicht gelungen ist, in Quecksilber Wechselstrombögen ohne Brennfleck und Wiederzündspitze zu beobachten. Das Verschwinden der Brennflecke kann bei Quecksilber erst bei so hohen Strömen erwartet werden, welche von den verwendeten Lampen nicht mehr vertragen werden.

5. Die Kathodentemperatur.

Die gemachten Beobachtungen legen die Vermutung nahe, daß der brennflecklose Bogen ein thermischer Bogen ist, bei welchem die Elektrodenemission der Kathode ausreicht, um den Strom im wesentlichen zu transportieren. Ein solcher Bogen bedarf der Kontraktion nicht und alle beobachteten Erscheinungen kann man zu verstehen hoffen, wenn die Kathodentemperatur tatsächlich hoch genug ist.

Um über die Kathodentemperatur Anhaltspunkte zu bekommen, wurde die Temperaturverteilung auf der Kathode eines Wechselstrombogens pyrometriert. Direktes Pyrometrieren führt jedoch nicht zum Ziel, da die hellen Brennflecke ihre Umgebung überstrahlen. Wir haben deshalb den Bogen auf einen Drehspiegel projiziert, welcher durch einen Synchronmotor mit 3000 Touren/min angetrieben wurde. Auf diese Weise erreicht man, daß der Bogen während einer Periode auf einem Kreis abgebildet wird. Stellt man das Pyrometer an die Stelle, welche dem Nulldurchgang entspricht, so sind im Fernrohr nur die beiden glühenden Elektroden zu sehen, deren Temperatur man unmittelbar bestimmen kann. Zur Eichung wurde eine geeichte Wolframbandlampe benutzt. Die Wiederzündspannung in Xenon verschwand, wenn die heißesten Punkte der Elektrode je nach der Elektrodenform zwischen 2550 und 2850° K liegen. Es wurde auch der Versuch gemacht, aus der Temperaturverteilung auf den möglichen Emissionsstrom zu schließen.

Hierbei muß man bedenken, daß die Temperaturen während des Nulldurchgangs etwas niedriger liegen als während der Brennzeit des Bogens. Man kann deshalb nur die Größenordnung des Emissionsstromes abschätzen. Das Ergebnis dieser ziemlich rohen Beurteilung geht dahin, daß es durchaus denkbar ist, daß der Emissionsstrom den Bogenstrom bei den brennflecklosen Bögen deckt.

Eine andere interessante Beobachtung konnte an einem Xenonbogen gemacht werden, der mit 2 Amp Gleichstrom betrieben wurde. Diesen Bogen kann man sowohl mit wie ohne Brennfleck brennen. Es war ganz auffallend, daß sich beim brennflecklosen Bogen die Kathode viel höher erhitzt, als beim Brennfleckbogen.

6. Ergebnisse.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Beobachtungen kann man folgendermaßen zusammenfassen:

1. Außer den gewöhnlichen Lichtbögen mit kathodischem Brennfleck gibt es auch Bögen ohne kathodischen Brennfleck. Sie treten bei großer Belastung auf, wenn die Kathode auf hohe Temperatur kommt.

2. Lichtbögen ohne Brennfleck sind im Xenon mit kleineren Strömen als in Quecksilber und bei Gleichstrom mit kleineren Stromstärken als bei Wechselstrom zu erhalten.

3. Der Übergang von einem Brennfleckbogen zu einem brennflecklosen Bogen erfolgt als plötzlicher Umschlag.

4. Der Umschlag vom Brennfleckbogen zu brennflecklosem Bogen erfolgt bei größerer Stromstärke als der Rückumschlag. Man beobachtet also eine Hysteresiserscheinung, welche bei Xenon ausgeprägter als bei Quecksilber ist.

5. Die Wiederezündspitze bei Wechselstrom tritt zusammen mit dem kathodischen Brennfleck auf. Ihre Ursache liegt deshalb in dem Raum unmittelbar vor der Kathode und sie muß durch denselben Mechanismus erklärt werden wie der Brennfleck selbst.

Aus diesen Feststellungen können folgende Schlüsse gezogen werden: Lichtbögen, welche keinen Brennfleck besitzen, benötigen keine Kontraktion, um den Strom zur Kathode zu transportieren. Da aber die Kontraktion unvermeidlich ist, solange noch ein nennenswerter Bruchteil des Stromes von den Ionen getragen wird, muß die Elektronenemission der Kathode praktisch den ganzen Bogenstrom bestreiten, wenn kein Brennfleck mehr vorhanden ist. Der brennflecklose Bogen ist also ein wirklich thermischer Bogen. Die Existenz dieser Bögen dürfte der sicherste Beweis dafür sein, daß der normale Lichtbogen mit kathodischem Brennfleck kein thermischer Bogen ist und tatsächlich nach dem Mechanismus der Kontraktionstheorie zustande kommt.

An Elektroden, welche so hoch schmelzen, daß sie auf hohe Temperatur und dementsprechende Emission gebracht werden können, ist demnach ein thermischer Bogen und ein Brennfleckbogen möglich. Jeder dieser Bögen hat seinen eigenen Stabilitätsbereich. Beide Bereiche überlappen sich etwas. An Elektroden, die eine genügend hohe Temperatur nicht erreichen können, weil sie vorher schmelzen oder verdampfen, oder weil die Wärme abgestrahlt oder abgeleitet wird, können sich nur Brennfleckbögen bilden. Für brennflecklose Bögen scheinen Materialien wie Wolfram (oder Kohle) besonders geeignet zu sein.

Literatur.

[1] WEIZEL, W., R. ROMPE u. M. S. SCHÖN: Z. Physik **115**, 179 (1940). — WEIZEL, W., u. R. ROMPE: Z. Physik **119**, 366 (1942). — [2] ROMPE, R., u. W. THOURET: Z. techn. Phys. **19**, 352 (1938). — THOURET, W.: Lichttechnik **2**, 73, 107 (1950). — [3] SCHULZ, P.: Ann. Phys. **1**, 95 (1947). — Z. Naturforsch. **2a**, 583 (1947). — [4] KERN, J.: Z. Physik **114**, 552 (1939). — [5] TER HORST: Physica, Haag **3**, 131 (1936). — [6] TIMOSCHENKO, G.: Z. Physik **84**, 783 (1933). — [7] SCHENFER: Arch. Elektrotechn. **22**, 633 (1929). — [8] KESSELRING: ETZ **55**, 92, 116, 165 (1934).

Bonn, Physikalisches Institut der Universität.

Hanau, Quarzlampen G.m.b.H.