

Technische Physik
in Einzeldarstellungen

Herausgegeben von W. Meissner

6

Hochstromkohlebogen

Physik und Technik einer Hochtemperatur-Bogenentladung

Von

Prof. Dr. Wolfgang Finkelnburg

Mit 132 Abbildungen

Springer-Verlag / Berlin · Göttingen · Heidelberg
J. F. Bergmann / München

1948

Wolfgang Finkelnburg
Bonn a. Rh., 5. 6. 1905

ISBN 978-3-540-01357-0 ISBN 978-3-642-87008-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-87008-8

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**
Copyright 1948 by Springer-Verlag in Berlin · Göttingen · Heidelberg.

**Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. US-W-1093
der Nachrichtenkontrolle der Militärregierung.
1500 Exemplare.**
Druck: Dr. F. P. Datterer & Cie. (Inh. Th. Dietz), Freising.

Meinen treuen Mitarbeitern gewidmet

Vorwort

Als Quelle höchster Temperaturen, Strahlungsdichte, Leuchtdichte und Lichtstärke hat der Hochstromkohlebogen in den letzten Jahren ein wissenschaftliches wie technisches Interesse gefunden, das durch die Möglichkeiten einer Chemie hoher Temperaturen noch weitere Kreise erfaßt hat. Andererseits sind in der Physik wie der Technik dieser merkwürdigen Entladungsform in den Kriegsjahren so große Fortschritte erzielt worden, daß der gegenwärtige Stand unserer Kenntnis für den interessierten Entladungsphysiker, Lichttechniker oder Chemiker nicht mehr zu überblicken ist, um so mehr, als ein großer Teil der Ergebnisse überhaupt nicht oder nur in unveröffentlichten Berichten mitgeteilt worden ist.

In dem vorliegenden Buch, das aus einem 1944 von der Akademischen Verlagsgesellschaft in Leipzig in kleiner Auflage nur für den Dienstgebrauch hergestellten Bericht „Physik und Technik des Hochstromkohlebogens“ hervorgewachsen ist, wird deshalb der Versuch gemacht, unsere gegenwärtige Kenntnis über den Hochstromkohlebogen und dessen technisch wichtigste Form, den Beckbogen, geschlossen darzustellen. Eine solche Darstellung scheint uns als Grundlage weiterer Forschung, Entwicklung und Anwendung notwendig, obwohl wegen der zahlreichen noch ungeklärten Probleme der gesamte Fragenkreis für eine *abschließende* Bearbeitung noch nicht reif ist. Dafür wurde auf Vollständigkeit der größte Wert gelegt und alle irgendwie bekannt gewordenen Ergebnisse mit berücksichtigt. Das Buch geht daher über eine Zusammenfassung und Bearbeitung der vorliegenden Veröffentlichungen weit hinaus. Da es als Grundlage weiterer Arbeit dienen soll, wurde die Physik des Bogens mit aller erforderlichen Ausführlichkeit behandelt, die technischen Anwendungen dagegen nur soweit gebracht, als sie zur Beurteilung weiterer Anwendungsmöglichkeiten erforderlich erschienen.

In dem vorliegenden Buch sind unveröffentlichte Ergebnisse, z. T. in Form von Berichten, der Herren Dr. Baldewein (Siemens-Plania-Werk, Berlin-Lichtenberg), Dr. Harald und Dr. Heinz Beck-Meinigen (AEG.), Dr. Guillery (Siemens-Schuckert, Nürnberg), Dipl.-Ing. Laue

und Werner (Körting und Mathiesen A.G., Leipzig), Leuchs (Conradty, Nürnberg), Dr. Neukirchen (Ringsdorff-Werke, Mehlem/Rhein), Prof. Dr. Seeliger und seinen Mitarbeitern Dr. Rohloff und Franzmeyer sowie Prof. Dr. Th. Schmidt (Physikalisches Institut der Universität Greifswald), Dr. Steenbeck (Siemens und Halske, Berlin), Prof. Dr. Stintzing (Röntgeninstitut der Technischen Hochschule Darmstadt) und Dipl.-Ing. Wolff mit verwertet und an den entsprechenden Stellen genannt. Allen diesen Herren sowie ihren Werken und Dienststellen bin ich zu besonderem Dank verpflichtet.

Dem Buch liegen weiter zu einem erheblichen Teil Forschungsergebnisse meines eigenen Arbeitskreises zugrunde, darunter zahlreiche unveröffentlichte meiner Mitarbeiter Hannappel, Dr. Haury, Heinzmann, Dr. Höcker, Köhler, Oftring, Frl. Reubold und Dr. Schluge. Ihnen allen, denen dieses Buch auch gewidmet ist, gilt mein herzlichster Dank, besonders meinem langjährigen Mitarbeiter Dr. Schluge für die kritische Durchsicht des Manuskripts, sowie für Hilfe mannigfacher Art. Mein Dank gilt ferner den Ringsdorff-Werken K.G. in Mehlem/Rhein und Herrn Dr. Neukirchen für die Lieferung von tausenden von Versuchskohlen und für manchen Rat aus der Praxis.

Nördlingen/Bayern, im Sommer 1947

Wolfgang Finkelnburg

Inhaltsverzeichnis.

| | |
|--|----|
| I. Einleitung | I |
| II. Überblick über Eigenschaften und Mechanismus des Niederstromkohlebogens | 3 |
| III. Allgemeine Eigenschaften und Betriebsbedingungen des Hochstromkohlebogens | 5 |
| 1. Vergleich der Eigenschaften von Niederstrombogen und Hochstromkohlebogen | 5 |
| 2. Die Entwicklung des Hochstrombogens aus dem Niederstrombogen | 7 |
| 3. Der Beckbogen und andere Formen des Hochstromkohlebogens | 9 |
| 4. Der positive Krater | 10 |
| 5. Die Anodenflamme | 12 |
| 6. Die Bogensäule | 15 |
| 7. Der negative Brennfleck | 18 |
| 8. Das Zischen des überlasteten Homogenkohlebogens | 19 |
| 9. Der Wechselhochstrombogen | 20 |
| 10. Der Drehstrom-Beckbogen | 21 |
| 11. Hochstrombogenkohlen | 22 |
| 12. Die Technik des experimentellen Arbeitens mit dem Hochstromkohlebogen | 23 |
| IV. Die physikalischen Eigenschaften des Hochstromkohlebogens | 26 |
| A. <i>Elektrische Eigenschaften</i> | 26 |
| 1. Die Stromspannungskennlinien | 26 |
| a) Meßmethoden | 27 |
| b) Allgemeine Ergebnisse | 30 |
| c) Die Kennlinien des Beckbogens und der Beckeffekt | 31 |
| d) Ein Ähnlichkeitsgesetz für Bögen von verschiedenem Kohledurchmesser | 32 |
| e) Der Einfluß des Materials der Negativkohle auf die Kennlinien | 34 |
| f) Der Einfluß der Kohlenstellung | 34 |
| g) Der Einfluß der Bogenlänge auf die Kennlinien | 34 |
| h) Die Kennlinien von Wechselhochstrombögen | 35 |
| 2. Anodenfall und Potentialverteilung im Bogen | 36 |
| a) Die Methode der Potentialmessung | 36 |
| b) Die Potentialverteilung im Bogen | 38 |
| c) Ergebnisse der Anodenfallmessungen | 39 |
| 3. Die Eigenschaften des zischenden Homogenkohlebogens | 40 |
| a) Allgemeines | 41 |
| b) Ausbildung und Bewegung von Brennfleck und Mikrobrennfleck | 41 |
| c) Die niederfrequenten und die hochfrequenten Schwankungen von Spannung und Stromstärke | 42 |
| d) Zischgeräusche und Leuchtdichteschwankungen | 46 |
| e) Das Verhalten von Säule und Flamme des zischenden Bogens | 47 |
| f) Zischneigung, Zischeinsatz und Bogenkennlinie | 49 |
| g) Der Ablauf der Zischvorgänge | 50 |

| | |
|--|-----|
| B. Die Strahlung des Hochstromkohlebogens | 52 |
| 1. Gesamtstrahlung und Gesamtstrahlungsausbeute | 52 |
| a) Meßmethoden | 52 |
| b) Die frontale Gesamtstrahlungsstärke | 53 |
| c) Die Winkelverteilung der Gesamtstrahlung | 54 |
| d) Gesamtstrahlung und Gesamtstrahlungsausbeute | 55 |
| 2. Die Gesamtstrahlungsdichte des Hochstrombogenkraters | 56 |
| a) Meßmethode | 57 |
| b) Meßergebnisse an Homogenkohle- und Beckbögen | 57 |
| 3. Leuchtdichte und Lichtstärke der Hochstromkohlebögen | 59 |
| a) Meßmethoden | 59 |
| b) Die Leuchtdichte des Niederstrom-Kohlebogenkraters | 61 |
| c) Die Leuchtdichteverteilung über den Hochstrombogenkrater | 64 |
| d) Die räumliche Verteilung der emittierenden Zentren | 65 |
| e) Die Kraterleuchtdichte als Funktion der Bogenparameter bei Gleichstrombetrieb | 66 |
| f) Die Kraterleuchtdichte des Wechselhochstrombogens | 73 |
| g) Die Abhängigkeit der Kraterleuchtdichte von der Dochtzusammensetzung | 73 |
| h) Die Leuchtdichte der Anodenflammen | 78 |
| i) Der Zusammenhang von Kraterleuchtdichte, Anodenfall (bzw. Brennspannung) und Abbrand der Positivkohle | 79 |
| k) Die Frontlichtstärke | 81 |
| 4. Winkelverteilung der Lichtstrahlung, Lichtstrom und Lichtausbeute | 82 |
| a) Die Messung der Winkelverteilung | 82 |
| b) Lichtstrom und Lichtausbeute | 83 |
| c) Die Abhängigkeit der Lichtausbeute von der Belastung und der Kraterleuchtdichte | 85 |
| 5. UV-Strahlung, UV-Ausbeute und UV-Strahlungsdichte | 89 |
| 6. Die Ultrarotstrahlungsdichte des Beckbogens | 91 |
| a) Allgemeines | 91 |
| b) Meßmethoden | 91 |
| c) Die UR-Strahlungsdichte des Beckbogenkraters in Abhängigkeit von der Belastung und Dochtzusammensetzung | 92 |
| 7. Die spektrale Energieverteilung der Bogenstrahlung | 93 |
| a) Meßmethoden | 94 |
| b) Die Energieverteilungskurven der Beckbogenstrahlung | 95 |
| c) Die Energieverteilung der Strahlung des Homogenkohle-Hochstrombogens | 97 |
| 8. Die spektroskopische Analyse der Bogenstrahlung | 99 |
| a) Das Spektrum der Beckbogendämpfe | 99 |
| b) Das Spektrum der Kohlenstoffanodenflamme des Homogenkohle-Hochstrombogens | 101 |
| c) Das Spektrum der kontrahierten Säule | 102 |
| 9. Die Farbe des Bogenlichts | 103 |
| a) Meßmethoden | 103 |
| b) Die Lichtfarbe der Beckkraterstrahlung | 105 |
| c) Die Lichtfarbe des Beckbogen-Dampfstrahls | 107 |
| C. Die Temperaturen im Hochstromkohlebogen | 107 |
| 1. Bedeutung und Messung höchster Temperaturen. Die Definition der Hilfstemperaturen | 107 |
| a) Allgemeines über die Messung höchster Temperaturen | 107 |

| | |
|---|-----|
| b) Wahre Temperatur, schwarze Temperatur, Farbtemperatur und Wiensche Temperatur | 108 |
| 2. Die schwarze Temperatur des Beckbogenkraters . . | 110 |
| a) Die pyrometrische Bestimmung der schwarzen Temperatur des Beckkraters | 110 |
| b) Die schwarze Temperatur des Hochstrombogenkraters nach Gesamtstrahlungsmessungen | 112 |
| c) Die schwarze Temperatur des Beckbogenkraters nach der Energieverteilungskurve der Strahlung | 113 |
| d) Die Ermittlung der schwarzen Temperatur aus der Leucht- dichte | 114 |
| 3. Die wahre Temperatur des Beckkraters | 116 |
| a) Wiensches Gesetz und Wiensche Temperatur des Beckkraters | 116 |
| b) Die Abschätzung der wahren Temperatur aus der schwarzen Temperatur | 117 |
| 4. Die Temperatur der Anodenflammen | 118 |
| a) Die Berechnung der Anodenflammentemperatur aus Messun- gen der Anodendampfstrahlgeschwindigkeit nach Seeliger- Rohloff | 118 |
| b) Die Temperatur der Anodenflamme des zischenden Homogen- kohle-Hochstrombogens | 120 |
| c) Spektroskopische Bestimmungen der Dampftemperatur . . | 121 |
| d) Die Temperatur der normalen nicht kontrahierten Nieder- strombogensäule | 122 |
| e) Die Temperatur der kontrahierten Hochstromsäule | 123 |
| D. <i>Sonstige Eigenschaften des Hochstromkohlebogens</i> | 124 |
| 1. Kohlenabbau und Materialtransport im Hochstrom- bogen | 124 |
| a) Bedeutung für Theorie und Praxis | 124 |
| b) Die Verdampfung als Hauptursache des Anodenabbaues . . | 125 |
| c) Der Anodenabbau in Luft und die Ermittlung des Ver- brennungsanteils | 126 |
| d) Die Abhängigkeit des positiven „Abbrands“ vom umgebenden Gas | 128 |
| e) Pilzwachstum und Mechanismus des Materialtransports im Bogen | 128 |
| f) Der Kathodenabbau und seine Gesetze | 131 |
| 2. Der Hochstromkohlebogen in reinen Gasen, bei Über- und Unterdruck | 132 |
| a) Der Bogen in Sauerstoff, Stickstoff und Kohlendioxyd . . | 132 |
| b) Das Verhalten des Hochstromkohlebogens in Argon und seine Deutung | 133 |
| c) Das Verhalten des Hochstromkohlebogens bei Unterdruck | 134 |
| d) Das Verhalten des Hochstromkohlebogens bei Überdruck . | 134 |
| 3. Magnetische Eigenschaften und magnetische Beein- flussung des Hochstromkohlebogens | 137 |
| a) Die Wirkung des Eigenmagnetfelds des Bogenstroms . . . | 137 |
| b) Die Wirkung eines unbewickelten „Blasmagneten“ | 139 |
| c) Die Wirkung eines äußeren magnetischen Querfeldes . . . | 141 |
| d) Die Wirkung eines magnetischen Längsfeldes | 144 |
| e) Die theoretischen Grundlagen der Stabilisierung des Dreh- strombogens durch ein magnetisches Drehfeld | 145 |
| f) Ausführung und Ergebnis der Stabilisierung des Drehstrom- bogens | 147 |
| g) Die magnetische Stabilisierung des Wechselstrombogens . . | 149 |

| | |
|---|-----|
| 4. Die Eigenschaften der kontrahierten Hochstromsäule | 151 |
| a) Säulenumbildung und Säulensteifheit | 151 |
| b) Potentialverlauf, Spektrum und Temperatur der Hochstromsäule | 152 |
| c) Die Deutung der kontrahierten Säule und ihrer Steifheit . . | 154 |
| 5. Chemische Eigenschaften des Hochstromkohlebogens | 155 |
| a) Chemische Vorgänge im Homogenkohle-Hochstrombogen | 155 |
| b) Die chemischen Vorgänge im Beckbogen | 156 |
| c) Chemische Vorgänge in den Hochstromkohlen | 158 |
| V. Bogenmechanismus und Theorie des Hochstromkohlebogens | 159 |
| 1. Die empirischen Grundlagen der Theorie | 159 |
| a) Der grundsätzliche Gegensatz zum Niederstrombogen | 159 |
| b) Das empirische Hochstrombogengesetz | 160 |
| 2. Die Deutung der Anodenflamme | 165 |
| a) Die Deutung des Leuchtens und der Länge der Anodenflamme | 166 |
| b) Die Abhängigkeit der Anodenflamme von den Versuchsbedingungen | 168 |
| c) Anodenflamensäume und Anodenflammenchemismus | 169 |
| 3. Der Mechanismus der anodischen Vorgänge | 169 |
| 4. Die Energiebilanz des Anodenfallgebiets | 171 |
| 5. Die Theorie des Anodenfalls beim Hochstromkohlebogen | 173 |
| a) Modellvorstellungen und Möglichkeiten einer Anodenfalltheorie | 174 |
| b) Die thermische Anodenfalltheorie | 174 |
| c) Die kinetische Anodenfalltheorie | 177 |
| d) Offene Probleme der Anodenfalltheorien | 181 |
| 6. Mechanismus und Theorie des normalen und des zischenden Homogenkohlebogens | 182 |
| a) Die Theorie der Stromdichtekonstanz beim normalen Anodenfall des Homogenkohlebogens | 182 |
| b) Der Mechanismus des Zischens | 183 |
| c) Die Ermittlung von Säulengradient und Anodenfall des zischenden Homogenkohle-Hochstrombogens | 184 |
| d) Die Deutung der Anodenfallmessungen am Zischbogen | 185 |
| e) Der Mechanismus des Homogenkohle-Hochstrombogens | 186 |
| 7. Zur Theorie der kathodischen Vorgänge | 187 |
| 8. Die Theorie der turbulenten und der kontrahierten Säule des Hochstromkohlebogens | 187 |
| a) Die turbulente Bogensäule | 188 |
| b) Die allgemeine Theorie der stationären Bogensäule | 188 |
| c) Die Theorie der kontrahierten Hochstromsäule | 191 |
| d) Die Theorie des Wendelns der kontrahierten Säule und seiner Verhinderung | 194 |
| VI. Die technischen Anwendungen des Hochstromkohlebogens | 196 |
| 1. Der Beckbogen als Scheinwerferlichtquelle | 196 |
| 2. Der Beckbogen in der Atelierbeleuchtung | 203 |
| 3. Der Beckbogen in der Kinoprojektion | 208 |
| 4. Der Hochstromkohlebogen in der medizinischen Therapie | 210 |
| 5. Sonstige wissenschaftliche und technische Anwendungen der Beckbogenstrahlung | 212 |
| 6. Der Hochstromkohlebogen in der Schweißtechnik | 212 |
| 7. Chemische Anwendungen des Hochstromkohlebogens | 213 |
| VII. Literaturverzeichnis | 215 |
| Sachverzeichnis | 219 |