

Gasentladungen

Stationäre Entladungen

Begriffe

DIN
1326
Blatt 1

Electric discharges in gases

Inhalt	Seite
1. Allgemeines	1
2. Stationäre Entladungen	2
3. Beispiele stationärer Entladungen	2
3.1. Dunkelentladung	2
3.2. Townsend-Entladung	2
3.3. Entladung mit Glimmkathode (Glimmentladung)	2
3.3.1. Kathodisches Entladungsgebiet einer Glimmentladung	3
3.3.2. Anodisches Entladungsgebiet einer Glimmentladung	3
3.3.3. Säule einer Glimmentladung	3
3.4. Entladung mit Bogenkathode	3
3.4.1. Niederdruckentladung mit Bogenkathode (Niederdruckbogen)	3
3.4.1.1. Kathodisches Entladungsgebiet einer Niederdruckentladung mit Bogenkathode	3
3.4.1.2. Anodisches Entladungsgebiet einer Niederdruckentladung mit Bogenkathode	4
3.4.1.3. Die Säule einer Niederdruckentladung mit Bogenkathode ..	4
3.4.2. Hochdruckentladung mit Bogenkathode (Hochdruckbogen) ..	4
3.4.2.1. Kathodisches Entladungsgebiet einer Hochdruckentladung mit Bogenkathode	4
3.4.2.2. Anodisches Entladungsgebiet einer Hochdruckentladung mit Bogenkathode	4
3.4.2.3. Die Säule einer Hochdruckentladung mit Bogenkathode ...	4
3.5. Koronaentladung	4
3.5.1. Koronaanfangsspannung	4
3.5.2. Phänomenologische Beschreibung	5
3.6. Gleitentladung	5
3.6.1. Anfangsspannung der Gleitentladung	5
3.6.2. Phänomenologische Beschreibung	5
Stichwortverzeichnis	6

1. Allgemeines

Gasentladungen nennt man die Vorgänge in Teilen elektrischer Stromkreise, in denen der Strom durch Gase oder Dämpfe fließt, deren Druck so groß ist, daß sie die Eigenschaften der Entladungen mitbeeinflussen. Die dabei vorhandenen Ladungsträger werden kurz Träger genannt.

Stationär heißen Entladungen, deren Eigenschaften von der Zeit unabhängig sind; anderenfalls nennt man sie nicht-stationär.

Zu den stationären Entladungen werden auch jene gezählt, bei denen auf Grund des statistischen Charakters der Trägererzeugungs- und Trägervernichtungsprozesse kleine Schwankungen auftreten. Unter andauernden Entladungen versteht man außer stationären Entladungen auch periodische Entladungen, wenn sich die Kenngrößen des periodischen Vorganges von Periode zu Periode nicht ändern. Innerhalb der

Periode sind solche Entladungen nicht-stationär. Die nicht streng periodischen, nicht-stationären Entladungen werden unter dem Namen Übergangsentladungen zusammengefaßt. Bei den Übergangsentladungen ist die Entwicklung der Entladung noch nicht zum Abschluß gekommen. Sie kann wesentlich von den äußeren Umständen (z. B. Veränderung der Spannung an den Elektroden, des Elektrodenabstandes, des vorhandenen Gases usw.) abhängen, und kann zu einer stationären Entladung oder zur Stromlosigkeit führen.

Selbständig sind Entladungen, bei denen die für die Aufrechterhaltung eines Stromes erforderlichen Träger mittelbar oder unmittelbar von der Entladung selbst gebildet werden.

Unselbständige Entladungen sind an Trägerzufuhr oder Trägerbildung aus einer zusätzlichen Energiequelle gebunden.

Fortsetzung Seite 2 bis 6

Ein Gas, welches elektrisch geladene Teilchen (Ionen und Elektronen) enthält und dadurch elektrisch leitend ist, wird **Gasplasma**, kurz **Plasma**, genannt. Die Gas-Teilchen können unangeregt und angeregt sein. Die einzelnen Partner (Elektronen, Ionen, Atome usw.) des Plasmas führen eine thermisch ungeordnete Bewegung mit meist angenäherter Maxwell'scher Verteilung der Geschwindigkeiten durch. Diesen Geschwindigkeiten ist durch die Wirkung des elektrischen Feldes eine Driftgeschwindigkeit überlagert. Durch die Mittelwerte der kinetischen Energien werden einzelne Temperaturen (Partnertemperaturen: Elektronentemperatur, Ionentemperatur, Atomtemperatur, usw.) der verschiedenen Partner festgelegt. Folgt die Besetzungszahl der einzelnen angeregten Zustände der Gasteilchen dem Boltzmann-Prinzip, so daß diese aus der Boltzmann-Gleichung durch Verwendung einer bestimmten Temperatur erhalten werden kann, so spricht man von einer Anregungstemperatur. Ionisierungstemperatur wird diejenige Temperatur genannt, die in die Saha-Gleichung eingesetzt werden muß, um zu richtigen Werten des Ionisierungsgrades in einem Plasma zu gelangen. Man spricht von isothermem Plasma, wenn der Energieaustausch zwischen den einzelnen Partnergruppen ausgeglichen ist (thermisches Gleichgewicht). Häufig sind nicht nur die Temperaturen der Ladungsträger, insbesondere der Elektronen, höher als die der neutralen Gasteilchen, sondern der Energieaustausch ist auch nicht ausgeglichen. Dann spricht man von einem nicht-isothermen Plasma. Ist im betrachteten Volumen die Anzahl der positiven Ladungsträger gleich der Anzahl der negativen Ladungsträger, so ist das Plasma im betrachteten Volumen als Ganzes elektrisch neutral. Wegen der thermischen Bewegung aller Teilchen treten jedoch in kleinen Volumenelementen ständige Schwankungen der Feldstärke auf und verursachen ein sich örtlich und zeitlich dauernd änderndes Mikrofeld. Man nennt ein solches Plasma deshalb quasineutral.

2. Stationäre Entladungen

Raumladungsfrei heißen Entladungen, bei denen der Feldverlauf wesentlich durch das der Spannung zwischen den Elektroden entsprechende elektrische Feld bestimmt wird.

Raumladungsbehaftet nennt man Entladungen, bei denen der Feldverlauf wesentlich durch die resultierende Raumladung der im Entladungsraum vorhandenen Ladungsträger mitbestimmt wird.

Stetige Übergänge und Mischformen sind möglich.

Bei einer Entladung mit Raumladungen lassen sich häufig drei Entladungsgebiete unterscheiden:

- kathodisches Entladungsgebiet vor der negativen Elektrode (Kathode),
- anodisches Entladungsgebiet vor der positiven Elektrode (Anode),
- Säule der Entladung (gelegentlich auch als positive Säule bezeichnet), die das kathodische mit dem anodischen Gebiet verbindet.

Während bei genügend großem Elektrodenabstand die Ausdehnung der kathodischen und anodischen Entladungsgebiete unabhängig vom Elektrodenabstand ist, hängt die Länge der Säule wesentlich vom Elektrodenabstand ab.

Eine andere Unterteilung der Entladungen mit Raumladungen in Niederdruckentladungen und Hoch-

druckentladungen ist zweckmäßig, wenn das Verhalten der Säule beschrieben werden soll. Von Niederdruckentladungen spricht man bei Drücken unter $5 \text{ N/cm}^2 = 50 \text{ kPa} = 500 \text{ mbar}$, sonst von Hochdruckentladungen.

3. Beispiele stationärer Entladungen

3.1. Dunkelentladung

Dunkelentladung heißt eine Entladung, bei der der Stromtransport im Entladungsraum nur durch Ladungsträger erfolgt, die durch Fremdeinwirkung (z. B. Bestrahlung) erzeugt werden. Stoßionisation spielt keine Rolle; Leuchterscheinungen werden nicht beobachtet.

3.2. Townsend-Entladung

Townsend-Entladung heißt eine Entladung, bei der Ladungsträger (insbesondere Elektronen) beim Transport durch den Gasraum infolge Stoßionisation neue Elektronen und Ionen erzeugen, die am Stromtransport und bei der Stoßionisation mitwirken. Weitere Ladungsträger können von der Entladung selbst z. B. durch Photoionisation im Gasraum oder infolge Befreiung von Elektronen aus den Elektroden durch Ionen oder Photonen gebildet werden. Der Entladungsstrom steigt damit angenähert exponentiell mit zunehmender Spannung an den Elektroden an. Raumladungen spielen praktisch keine Rolle. Townsend-Entladungen sind meistens unselbständig. Außer den durch Bestrahlung erzeugten Elektronen (Anfangselektronen genannt) werden an der negativen Elektrode weitere Elektronen (Folgeelektronen genannt) z. B. durch Stoß positiver Ionen ausgelöst. Bei höheren Stromdichten können sich aus der Townsend-Entladung stationäre raumladungsbehaftete Entladungen entwickeln. Die Art der sich entwickelnden Entladungen wird wesentlich mitbestimmt durch strombegrenzende Elemente des Stromkreises.

3.3. Entladung mit Glimmkathode (Glimmentladung)

Die Entladung mit Glimmkathode ist eine Entladungsform mit kalter Kathode, bei der der Feldverlauf wesentlich durch eine in geringem Abstand vor der Kathode beginnende positive Raumladung bestimmt und hierdurch eine hohe Spannung (in der Größenordnung von einhundert Volt), Kathodenfall genannt, längs einer Strecke von wenigen Millimetern bis einigen Zentimetern je nach Druck, Gasart und Elektrodenwerkstoff hervorgerufen wird. Eine Kathode mit vernachlässigbarer Thermoemission wird kalte Kathode genannt.

Die Stromdichten vor der Kathode sind relativ gering, z. B. bei einem Druck von $0,01 \text{ N/cm}^2 = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ mbar}$ einige Zehntel mA/cm^2 . Der Strom im Kathodenfall wird hauptsächlich durch positive Ionen gebildet. Beim Aufprall der positiven Ionen auf die Kathode werden außer den Elektronen, die zu ihrer Neutralisation dienen, nur wenige zusätzliche Elektronen (z. B. auf etwa 20 positive Ionen ein zusätzliches Elektron) befreit. Befreiung von Elektronen durch Thermoemission spielt keine Rolle.

Entladungen mit Glimmkathode kommen vorwiegend in Niederdruckentladungen vor (Beispiel: Hochspannungsleuchtröhren mit kalten Elektroden) und werden dann Glimmentladungen genannt. Doch kann unter besonderen Bedingungen auch eine Entladung mit Glimmkathode bei hohen Drücken erhalten werden.