

eine Spannung von einigen 100 V bis zur nächsten Elektrode (Dynode) beschleunigt werden, wo jedes Elektron mehrere Sekundärelektronen auslöst. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis nach mehreren Verstärkungsstufen (oft 10 oder mehr) ein gut messbarer Strom entstanden ist.

3.12 Leitung in Gasen

3.12.1 Die Gasentladung

Die Atome und Moleküle von Gasen sind unter Normalbedingungen nicht thermisch ionisiert, also elektrisch neutral. Da keine Ladungsträger vorhanden sind, tritt in ihnen im allgemeinen auch keine Stromleitung auf.

Versuch 3.18

An einen Plattenkondensator mit einem Plattenabstand von einigen cm wird eine Spannung von einigen 100 V gelegt. Bei normaler Luftatmosphäre zeigt ein in den Kreis eingeschaltetes Strommessinstrument keinen Strom an. Hält man hingegen eine Flamme zwischen die Kondensatorplatten, so zeigt das AMPÈREmeter einen Strom an.

Durch die erhöhte Temperatur können in dem Gas Ladungsträger ionisiert werden, die sich in dem elektrischen Feld bewegen. Darüber hinaus kann die Ionisation auch durch Licht oder radioaktive Strahlung erfolgen, dabei entstehen positive Ionen und Elektronen. Die Elektronen können sich nachträglich an neutrale Atome bzw. Moleküle anlagern, sodass auch negative Ionen auftreten.

Die unselbständige Gasentladung

Immer, wenn die Stromleitung erst eintritt, wenn durch äußere Einflüsse Ladungsträger im Gas erzeugt werden, spricht man von **unselbständiger Gasentladung**.

Bei einer konstanten Gasionisierung (pro Zeiteinheit wird eine konstante Anzahl von Ladungen erzeugt) zeigt die unselbständige Gasentladung eine charakteristische Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung (s. Abb. 3.43, entnommen aus [3]):

Für kleine Spannungen (Bereich I) nimmt die Stromstärke zunächst linear mit der Zeit zu, d.h., es gilt das OHMSche Gesetz $U/I = konst.$. Die Gasionen stoßen auf dem Weg zur gegenpoligen Elektrode auf andere Gasatome. Ferner können sie mit Ionen entgegengesetzter Ladung wieder rekombinieren, deshalb wird dieser erste Bereich auch **Rekombinationsbereich** genannt. Steigt die Spannung weiterhin, dann gelangen die Ionen so schnell zu den Elektroden, dass keine Rekombinationprozesse mehr möglich sind. Alle Gasionen fließen jetzt in einem konstanten Strom ab, der Sättigungsstrom genannt wird (Bereich II).

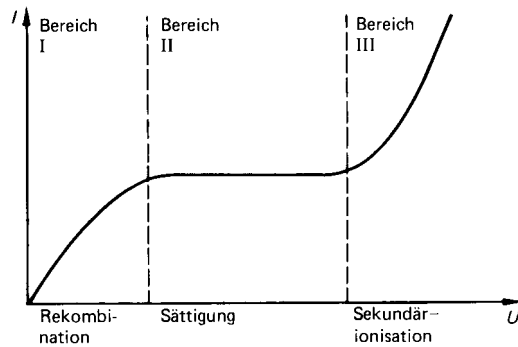


Abbildung 3.43: Unselbständige Gasentladung

Werden die Ionen durch die zunehmende Spannung so stark beschleunigt, dass ihre kinetische Energie ausreicht, um bei einem Stoß mit den neutralen Atomen diese ionisieren zu können (**Stoßionisation**), dann werden **Sekundärelektronen** erzeugt (Bereich III), und es läuft nun eine selbständige Gasentladung ab.

Die Ionisation von Materie wird zur Messung der Aktivität oder der Energie der Strahlung eines radioaktiven Präparates ausgenutzt. Bei diesen sogenannten **Ionisationskammern** (s. Abb. 3.44.a) wird die durch die Strahlung im Zählgas oder Halbleiterkristall erzeugte Ladung gemessen (**Primärionisation**). Die erzeugten Ionen und Elektronen wandern aufgrund eines angelegten elektrischen Feldes zu den Elektroden. Erhöht man die angelegte Spannung, so werden die primär erzeugten Elektronen so stark beschleunigt, dass sie ihrerseits ionisieren können (**Sekundärionisation**). Die ist in Abb. 3.44.b dargestellt. Beide Abbildungen stammen aus [9].

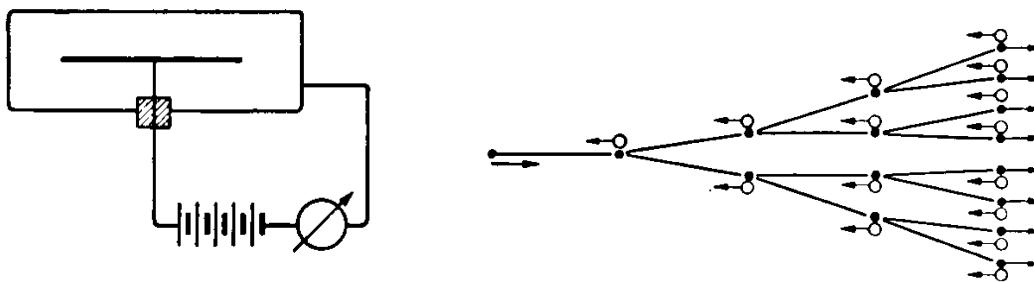


Abbildung 3.44: Ionisationskammer und Sekundärionisation

Selbständige Gasentladung bei normalem Gasdruck

Bei der **selbständigen Gasentladung** findet der Ladungsfluss ohne äußere Einwirkung statt. Dazu müssen aber immer schon ein paar Ladungsträger im Gas vorhanden sein, was aber immer der Fall ist, da die Höhenstrahlung und die von Spuren radioaktiver Stoffe ausgehende Strahlung immer einige Ionen und Elektronen in den Gasen bilden (etwa 10 positive Ionen und Elektronen pro Sekunde in 1 cm^3 Luft). Die Gasatome können aufgrund ihrer kinetischen Energie andere durch Stoßionisation ionisieren. Dieser Vorgang läuft lawinenartig ab. Die dazu erforderliche kinetische Energie stammt aus der Energie des elektrischen Feldes. Sowohl die Elektronen als auch die Ionen müssen auf der mittleren freien Weglänge l eine Mindestspannung $\Delta U = E l$ durchlaufen, damit die dabei gewonnene Energie $E_{\text{kin}} = 1/2 m v^2 = Q \Delta U$ der zur Stoßionisation benötigten Energie entspricht. Je größer die mittlere freie Weglänge, d.h., je geringer die Dichte bzw. der Druck des Gases ist, um so kleiner ist die Spannung, bei der die selbständige Entladung zündet. Je nach Spannung, Gasdruck sowie Gestalt der Elektroden gibt es verschiedene Erscheinungsformen der Gasentladung.

Spitzen- oder Koronaentladung: In der Nähe geladener Leiter herrscht eine besonders hohe Feldstärke an den Stellen, an denen die Oberfläche einen kleinen Krümmungsradius hat, wie z. B. an Spitzen, Kanten und dünnen Drähten. Die hohe Feldstärke kann dazu führen, dass in dem umgebenden Gas eine Stoßionisation angeregt wird und eine Entladung des Leiters erfolgt. Von der Spitze geht eine büschelförmige Lichterscheinung aus, die in der Luft rötlich-violett ist. Diese Erscheinung kann man oft an Hochspannungsleitungen beobachten.

Funkenentladung: Bei hoher Spannung kann es zu einem schlagartigen Übergang großer Ladungsmengen zwischen Leitern kommen. Der momentan sehr starke Funkenstrom führt zur Erhitzung des Gases in der Entladebahn, von der eine Druckwelle (Knall) ausgeht. Die Spannung, bei der der Funke auftritt, hängt von der Form und von dem Abstand der Elektroden und vom Gasdruck und der Gasart ab. Man kann daher aus der Schlagweite von Funken zwischen zwei Elektroden auf die Spannung schließen (Messfunkenstrecke).

Bogenentladung: Die Bogenentladung wollen wir uns am Beispiel der auch in der Vorlesung häufig benutzten Kohlebogenlampe ansehen. Zwischen zwei Kohlestäben wird eine Spannung von mindestens 60 V angelegt. Bringt man die Stäbe in Kontakt und zieht sie dann wieder auseinander, so entsteht zwischen ihnen ein Lichtbogen. Bei der Berührung entsteht an der Kontaktstelle ein großer Übergangswiderstand, der die Kohlen zum Glühen bringt. Das umgebende Gas wird erhitzt und kann Gasatome ionisieren. Beim Auseinanderziehen der Kohlen tritt daher eine Gasentladung auf. Die positiven Ionen schlagen auf der Kathode auf und erhitzen diese auf 3000 K. Durch Glühemission sendet die Kathode weitere Elektronen aus, die auf ihrem Weg

zur Anode weitere Ionen erzeugen. Durch den Aufprall der Elektronen auf die Anode wird diese auf 5000 K aufgeheizt. Hier bildet sich ein Krater, der die Quelle des intensiven Lichtes ist. Im Lichtbogen herrschen Temperaturen von 10000 K.

Selbständige Gasentladung in verdünnten Gasen: die Glimmentladung

Versuch 3.19

In eine Glasröhre sind an den Enden zwei Elektroden vakuumdicht eingeschmolzen und es besteht die Möglichkeit, die Röhre zu evakuieren. An den Elektroden wird eine Spannung von einigen 1000 V angelegt. Solange Atmosphärendruck in der Röhre vorherrscht, findet keine Entladung statt. Erst wenn man durch Abpumpen den Gasdruck erniedrigt, so setzt bei etwa 50 mbar eine Entladung ein, die der Funkenentladung ähnlich ist. Zwischen den Elektroden beobachtet man einen unruhigen Lichtfaden. Bei weiterer Druckerniedrigung verbreitert sich der Lichtfaden. Bei dem Druck von etwa 1 mbar erfüllt eine Leuchterscheinung die ganze Röhre, die in verschiedene helle und dunkle Zonen unterteilt ist (s. Abb. 3.45, entnommen aus [1]).

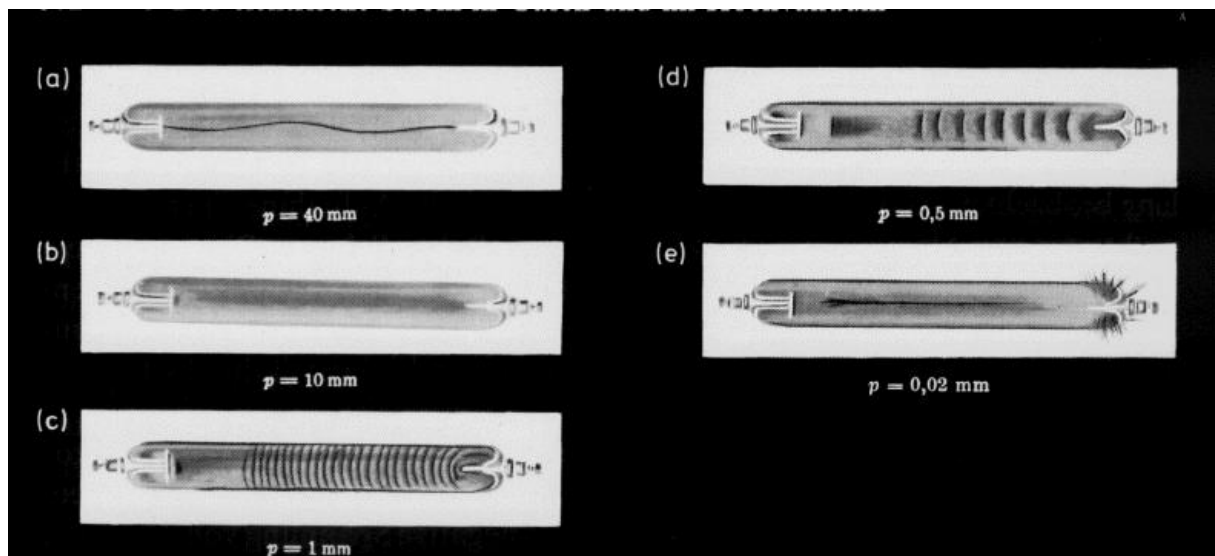


Abbildung 3.45: Die Glimmentladung

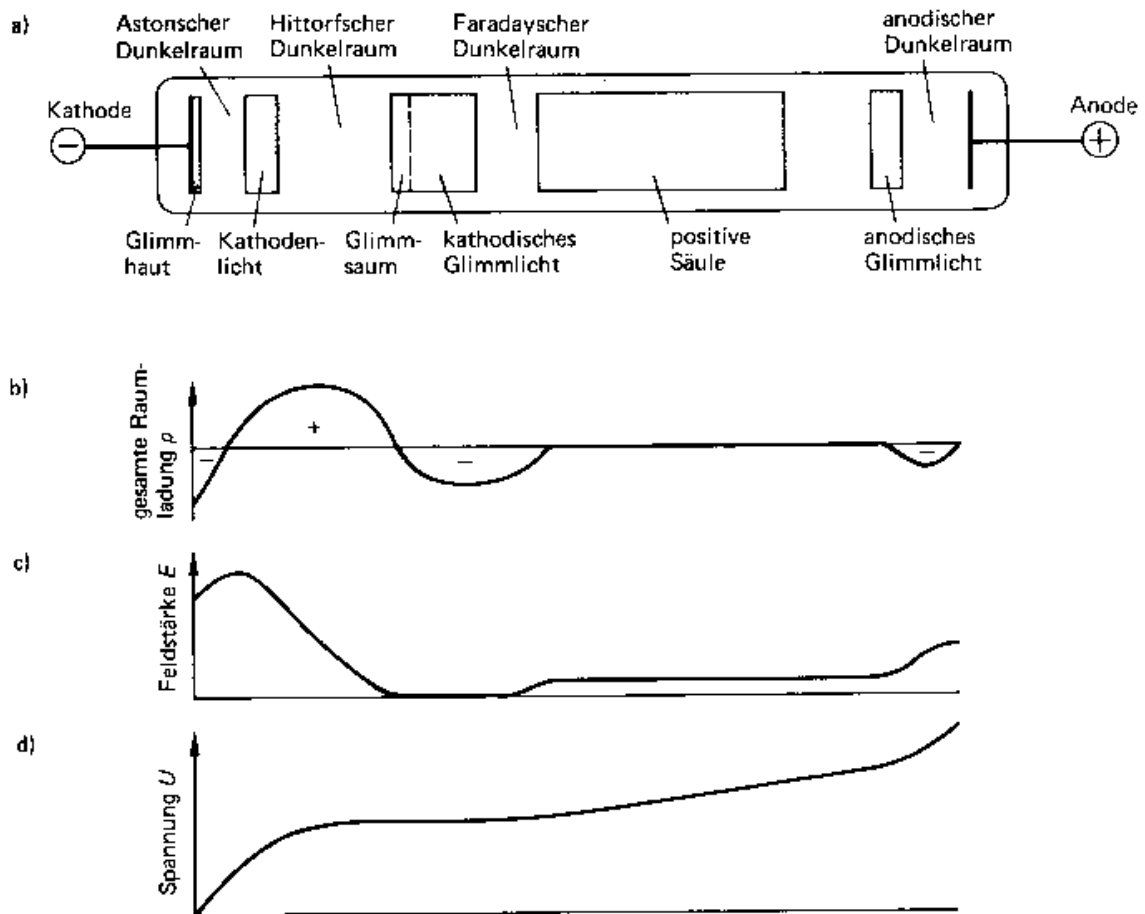


Abbildung 3.46: Charakteristische Zonen bei der Glimmentladung

Zwischen der Kathode und dem Kathodenlicht liegt ein kleiner dunkler Bereich, der ASTONsche Dunkelraum. In diesem Raum ist die Feldstärke E am größten. Durch den Aufprall positiver Ionen auf die Kathode werden Elektronen freigesetzt (negative Raumladung), die zunehmend Feldenergie aufnehmen. Im Bereich des HITTORFschen Dunkelraums werden durch die schnellen Elektronen viele Gasatome ionisiert, so dass eine starke positive Raumladung entsteht. Die Energie der Elektronen wird im kathodischen Glimmlicht (beginnend mit einem Glühsaum) durch die Lichtaussendung verbraucht. Deshalb nimmt hier die Feldstärke bis auf Null ab, und es entsteht eine große negative Ladungsdichte. Nach dem FARADAYSchen Dunkelraum leuchtet eine positive Säule. In diesem Gebiet

sind gleich viele Elektronen und positive Ionen vorhanden. Hier diffundieren fortwährend Elektronen und Ionen an die Wand und rekombinieren dort unter Lichtausstrahlung. Die Energie zur Erzeugung neuer Ladungsträger wird dem konstanten elektrischen Feld entnommen. Die positive Säule ist der längste leuchtende Teil einer Glimmentladung. Zwischen ihr und der Anode kann ein kleiner glimmender Bereich liegen (anodisches Glimmlicht). Unmittelbar vor der Anode ist ein Feldstärkeanstieg zu verzeichnen, der von der negativen Raumladung der schnell abfließenden Elektronen herrührt. Die ist in Abb. 3.46 (entnommen aus [3]) graphisch dargestellt.

Die positive Säule von Glimmentladungen wird zu Beleuchtungszwecken benutzt. Man verwendet ziemlich lange Röhren, denen man alle möglichen Formen (z.B. Buchstaben) geben kann, besonders zur Lichtreklame. Die Säule folgt nämlich allen Windungen des Rohres ohne Schwierigkeiten, wie folgender Versuch zeigt.

Versuch 3.20

Wir legen an das Umwegrohr nach HITTORF (s. Abb. 3.47 aus [1]) eine Hochspannung an und evakuieren das Rohr langsam. Wir beobachten, dass bei hohen Drücken die Entladung direkt zwischen den Elektroden erfolgt, bei niedrigen Drücken hingegen über den Umweg.

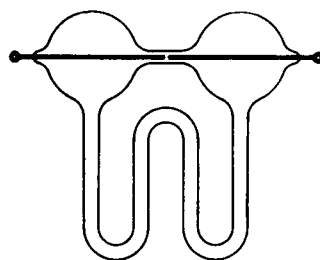


Abbildung 3.47: Umwegrohr nach Hittorf

Je nach Gasfüllung erhält man verschiedene Farben, so leuchtet beispielsweise die Säule mit Neon rot, mit Argon und einer Spur Quecksilberdampf erhält man blaues Licht und mit Helium gelbes. Die kathodischen Entladungsteile sind bei solchen Leuchtröhren unscheinbar und spielen für die Lichtausbeute keine Rolle. Man kann sogar Leuchtröhren in allen möglichen Farben bauen, indem man die Innenfläche der Glasröhre mit Leuchtstoffen überzieht, die in der gewünschten Farbe fluoreszieren.

3.12.2 Plasmaströme

Ein Plasma besteht aus positiven Ionen und negativen Elektronen großer Dichte. Wegen der annähernd vollständigen Ionisation der Materie (bis zu 99 %) wird der Plasmazustand

auch der **vierte Aggregatzustand** genannt. Ein Beispiel eines quasineutralen Plasmas, d.h. mit gleich vielen positiven und negativen Ladungsträgern, ist die positive Säule bei einer Glimmentladung.

Das physikalische Verhalten von Materie im Plasmazustand spielt vor allem in der Astro- und in der Kernphysik eine Rolle. Die Ladungsträgerkonzentrationen liegen beispielsweise in der Ionosphäre bei 10^{10} Ladungsträgern pro m^3 , in der Sternatmosphäre bei 10^{20} Ladungsträgern pro m^3 und im Sterninnern sogar bei 10^{30} Ladungsträgern pro m^3 . Diese hohen Konzentrationen werden durch extrem hohe Temperaturen (10 000 bis 30 000 K) verursacht. Atomkerne und Elektronen sind bei einer Temperatur von 10^8 K völlig von einander getrennt, so dass es zu einer Atomkernverschmelzung (Kernfusion) kommen kann.