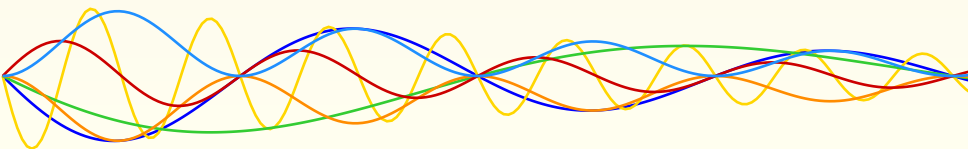


# Edelgasentladungen

Clemens Schäfermeier

Ausgabeversion

Inkohärente Lichtquellen, 27. Mai 2011



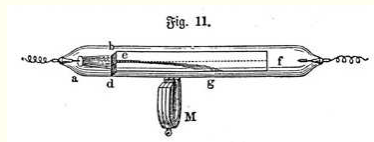
# Inhalt

- 1 Einführung, Prinzip, Aufbau
  - Das Prinzip der Gasentladung
  - Aufbau einer Gasentladungslampe
  - Abgabe von Strahlung
  - Einflüsse & deren Folgen
- 2 Entladungstypen
  - Townsend-Entladung
  - Glimm-Entladung
  - Bogen-Entladung
- 3 Einfluss des Gasdrucks
- 4 Edelgase
  - Eigenschaften von Edelgasen
  - Spektren der Edelgase
  - Penning-Effekt
- 5 Quellenverzeichnis

# Die Gasentladung ...

Der Begriff der “Gasentladung” beschreibt Vorgänge, bei denen gasförmige Materie mit elektrischem Strom durchflossen wird. Der Effekt der Gasentladung findet in einem weiten Gebiet Anwendung, von der Lichterzeugung über das “Zünden” vom Aerosol in Verbrennungsmotoren ... bis zur Atomphysik.

Die erste technische Umsetzung gelang H. GEISSLER im Jahre 1857 [Karsten, 1888]. Diese Niederdruck-Gasentladungsröhre wird nun als **Geißleröhre** bezeichnet.



Aus: Meyers Konversationslexikons (quelloffen)

## ... und ihre Persönlichkeiten

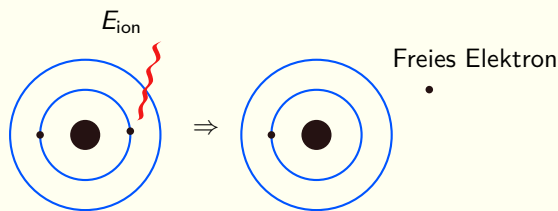


Im 19. Jahrhundert wurden nicht nur die Röhren beachtet. SIR  
W. CROOKES [Wikipedia, 2011]

# Die Prozesse einer Gasentladung I

Zunächst der schematische Ablauf der Prozesse auf “atomarer Ebene”:

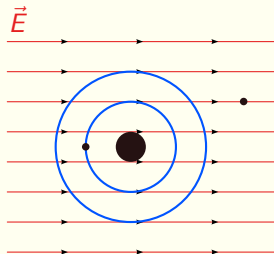
- 1 Es müssen freie Ladungsträger vorhanden sein — oder noch erzeugt werden.



Kosmische Hintergrundstrahlung ( $\pi^0$ ) genügt um eine **kleine Menge** an Teilchen zu ionisieren.

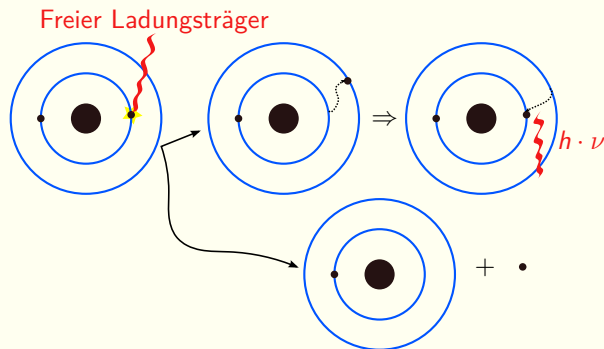
# Die Prozesse einer Gasentladung II

- 2 Es muss ein elektrisches Feld angelegt sein. Betrieb sowohl in DC als auch AC möglich.



## Die Prozesse einer Gasentladung III

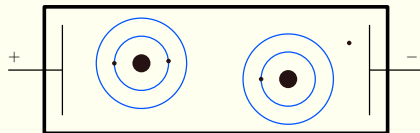
- 3 Beschleunigte Ladungsträger kollidieren mit Gasatomen.  
⇒ Anregung oder Ionisierung der getroffenen Atome.  
⇒ Bei ausreichender Potentialdifferenz: Beginn eines **Kreisprozesses** mit **Lawineneffekt**.



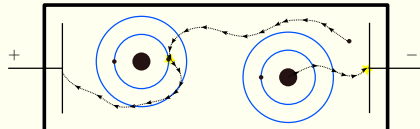
# Die Prozesse einer Gasentladung IV

Der Prozessablauf nochmal in “technischer” Umgebung (hier ohne Lawineneffekt):

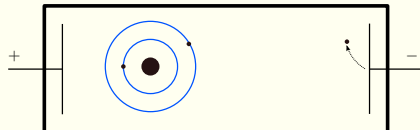
1



2



3

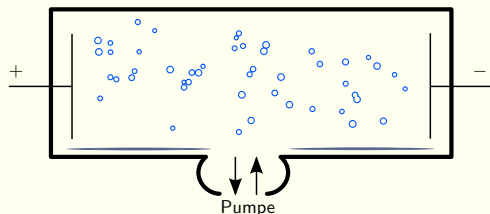




# Aufbau einer Gasentladungslampe

Die technische Umsetzung der Gasentladung:

- 1 Evakuierung eines Glases oder Keramikgefäßes.
- 2 Befüllung des Gefäßes mit:
  - Gas, Gasmischung oder Gas & Feststoff (Metall, i.d.R. Hg)
- 3 Kontaktierung und Verschaltung mit einer **Strombegrenzung**.  
⇒ Bei AC keine **internen** Elektroden notwendig.



Prinzipskizze einer mit Gas & Feststoff befüllten Röhre

# Abgabe von Strahlung

Die EM-Strahlung kann durch verschiedene Effekte entstehen:

- $A \xrightarrow{E^*} A^* \rightarrow A + h \cdot \nu$
- $A^+ + e^- \rightarrow A + h \cdot \nu$
- Beschleunigung der Ionen nahe der Elektroden  
⇒ Maxwell:  $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$

Bei der Glimm-Entladungen dominiert der erste Effekt.

# Einflüsse ...

Die Effekte einer Gasentladung hängen ab von:

- der angelegten Potentialdifferenz
- der Füllung
- des Fülldrucks
- des Abstands zwischen den Elektroden
- der Rohrgeometrie
- falls Heizung vorhanden: der Temperatur

## ... und deren Folgen

Aufgrund vom

- - in der Regel - geringen Fülldruck ( $\ll 1$  bar)  
⇒ lange mittlere freie Weglänge
- stark selektiven Absorptions/Emission-Spektrum der Gasfüllung

ist die ausgesandte Strahlung **nicht** im thermodynamischen Gleichgewicht.

# Typisierung der Entladung I

Einen großen Einfluss stellt die Potentialdifferenz dar. Je nach deren Betrag treten unterschiedliche Effekte auf:

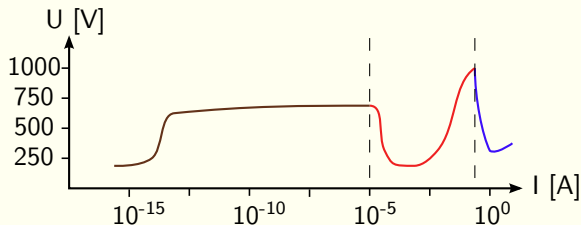
- Townsend-Entladung
- Glimm-Entladung
- Bogen-Entladung



Zunahme der Potentialdifferenz

# Typisierung der Entladung II

Townsend-Entladung → Glimm-Entladung → Bogen-Entladung



Strom/Spannungsverlauf einer Gasentladungsröhre [Gallo, 1975]

An den Übergängen geschehen **selbstverstärkende** Effekte. Für einen sicheren Betrieb der Glimm-Entladung benötigt man daher eine Strombegrenzung (Drossel).

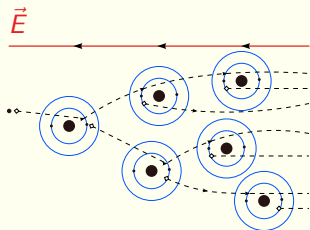
# Townsend-Entladung I

Bei Potentialdifferenz  $\lesssim 500$  V:

- Stromfluss im Bereich von  $10^{-12}$  A, initialisiert von ionisierender Strahlung.  
⇒ Keine Strahlung sichtbar

Bei Potentialdifferenz circa 500 V bis 600 V:

- Elektronen mit genug Energie um neutrale Teilchen zu ionisieren.  
⇒ Lawineneffekt  
⇒ Stromfluss  $< 10^{-5}$  A



Schematische Darstellung des Lawineneffekts

# Townsend-Entladung II

Nach J. S. TOWNSEND kann der Stromfluss im Gas mit

$$\frac{I}{I_0} \approx e^{\alpha_n d}$$

beschrieben werden.

- $I$  : gemessener Strom,  $I_0$  : Strom an der Kathode
- $d$  : Abstand zwischen den Elektroden
- $\alpha_n$  : der **erste** Townsend Koeffizient

$\alpha_n$  ist die Anzahl an erzeugten Ionenpaaren pro Meter, wenn ein negatives Ion von Kathode zur Anode bewegt wird.

Ein **zweiter** Townsend Koeffizient  $\gamma$  beschreibt die Anzahl von positiven Ionen erzeugten Sekundärelektronen pro Meter.



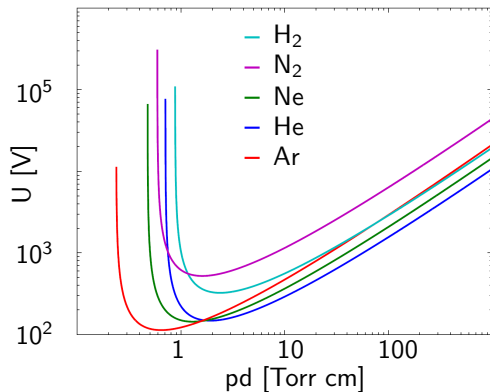
# Glimm-Entladung I

Übergang zur Glimm-Entladung geschieht sobald Durchschlagspannung des Füllgases erreicht. Diese wurde von F. PASCHEN 1889 experimentell untersucht [Wikipedia, 2011]. Er fand

$$U = \frac{Bpd}{\ln(Apd) - \ln[\ln(1 + \gamma^{-1})]}.$$

- $A$  &  $B$  : Konstanten, abhängig von der mittleren freien Weglänge der Ionen
- $pd$  : Luftdruck  $\times$  Elektrodenabstand
- $\gamma$  : zweiter Townsend Koeffizient

# Glimm-Entladung II



Verlauf des Paschen-Gesetzes

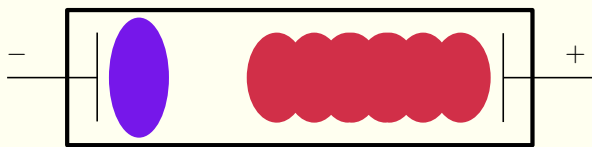
Funktion besitzt  
Minimum.  
⇒ Wegstrecke, um  
Elektronen "auf"  
Energie zur Ionisation  
zu beschleunigen

# Glimm-Entladung III

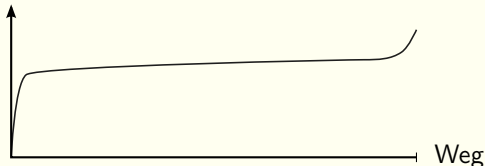
Bereiche in einer Röhre während Glimm-Entladung im DC Betrieb:



Quelle: Arbeitsgruppe  
Nichtlineare Systeme und  
Strukturbildung,  
Universität Münster

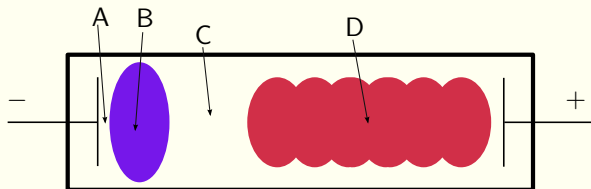


Potentialdifferenz



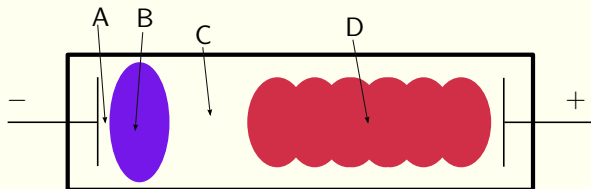
Schematische Darstellung der Potentialdifferenz

# Glimm-Entladung IV



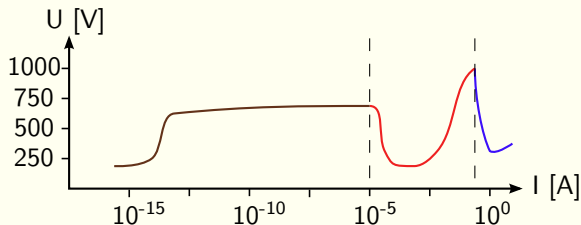
- A "Kathoden Dunkelraum": Energie der Ionen unterhalb Anregungsenergie der Gasteilchen  $\Rightarrow$  **elastische** Stöße. Hohe Dichte an positiven Ionen, teilweise ausgelöst aus der Kathode (Sputtereffekt)  $\Rightarrow$  hohe Potentialdifferenz.
- B "Negatives Glimmlicht": **Inelastische** Stöße zwischen Ionen und Gasteilchen  $\Rightarrow$  Anregung  $\Rightarrow$  optische Strahlung. Ebenso Strahlung von freien, angeregten Teilchen infolge des Sputtereffekts.

# Glimm-Entladung V



- C “Farradayscher Dunkelraum”: Energie der Elektronen unterhalb Anregungsenergie der Gasteilchen, kleiner Anteil an positiven Ionen.
- D “Positive Säule”: Elektronen haben wieder die Energie zur Anregung & Ionisation erhalten. Ladungsträgerverluste durch Diffusion zur Rohrwand  $\Rightarrow$  Gleichgewicht an Ladungsträgern. Form der Säule durch Rohrwand bestimmt [Meichsner].

# Bogen-Entladung I



Bei Stromflüssen  $\geq 1$  A bildet sich über den gesamten Bereich der Entladung ein **Plasma** (zunächst nicht im thermodynamischen Gleichgewicht).

- Die Stromdichte steigt auf  $\approx 100$  A/mm<sup>2</sup>
  - ⇒ Temperatur im Plasma  $> 10000$  K
  - ⇒ Thermische Elektronenemission [Bergmann, 2005]

## Bogen-Entladung II



Lichtbogen zwischen zwei Nägeln [Wikipedia, 2011]

# Auswirkungen des Gasdrucks

Aus höherem Gasdruck folgt eine kürzere mittlere freie Weglänge.

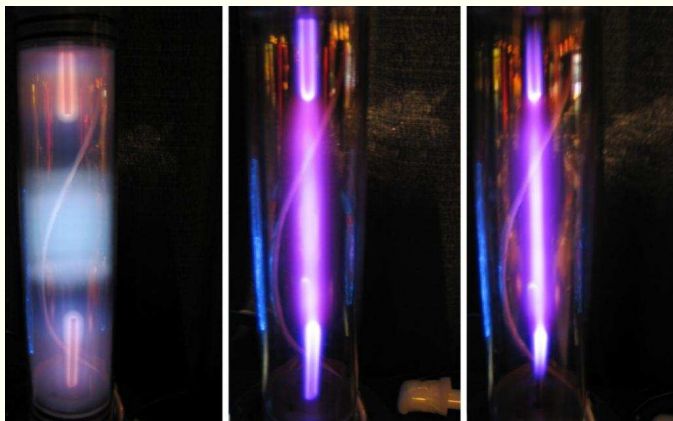
Daraus folgt:

- Die Durchbruchspannung sinkt.
- Die Wärmeentwicklung steigt.

In einem abgeschlossenen Gefäß ohne Wärmeaustausch und Strombegrenzung ist dies ein selbstverstärkender Prozess  $\Rightarrow$  Zerstörung durch Überhitzung oder Überdruck.



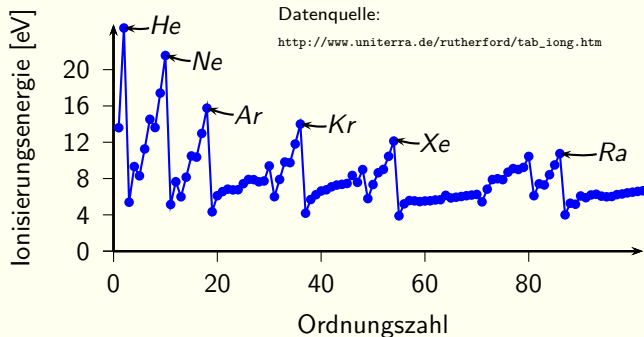
# Von der Glimm- zur Bogen-Entladung



Ar-Gasentladungsröhre im AC Betrieb bei ansteigendem Gasdruck (von links nach rechts) [Wikipedia, 2011]

# Verwendung von Edelgas

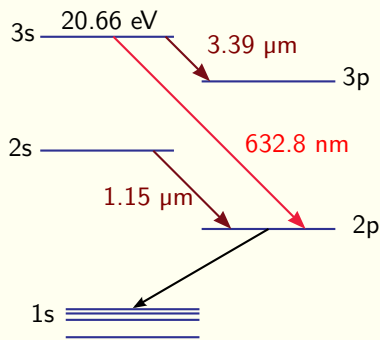
Edelgase besitzen "einfache" Termschema, sind chemisch stabil (abgeschlossene Schalen) und ungiftig.



Die Ionisierungsenergie liegt im Bereich 50 nm (He) bis 102 nm (Xe)

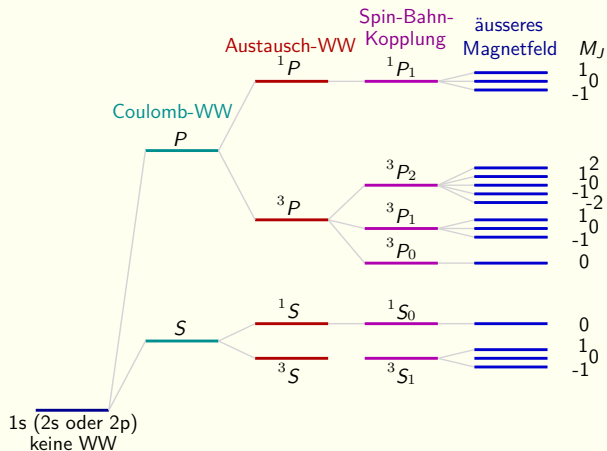
# Termschemata von Edelgasen I

Durch Wechselwirkungen entstehen Aufspaltungen der Spektre. Bei Übergängen zwischen höheren Niveaus ist die Strahlung sichtbar.



Drei strahlende Übergänge des Neons mit Kennzeichnung der Orbitale

# Termschemata von Edelgasen II

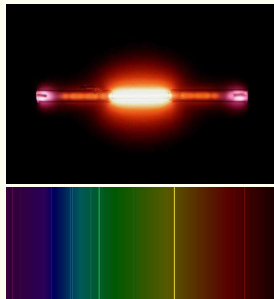


Quelle: [http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/methoden\\_I\\_2.xhtml](http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/methoden_I_2.xhtml)

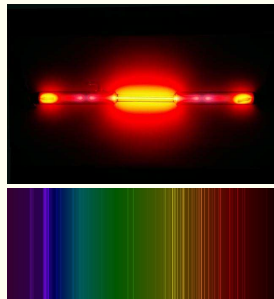
## Aufspaltung des Heliums

# Übersicht von Spektren der Edelgase I

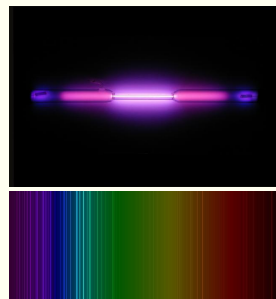
Helium:



Neon:

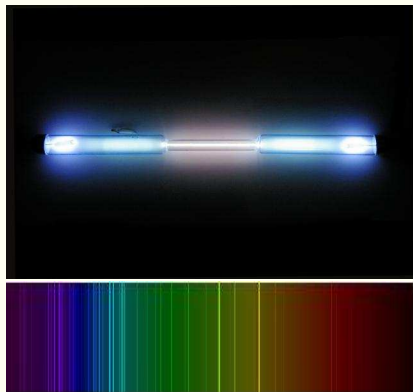


Argon:

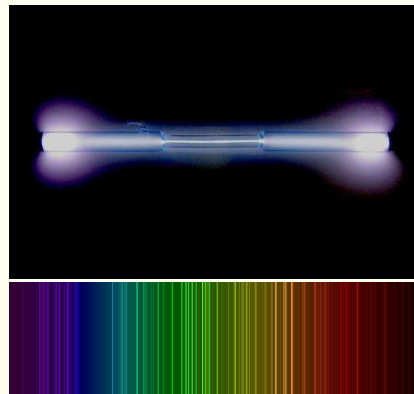


# Übersicht von Spektren der Edelgase II

Krypton:



Xenon:



Xenon besitzt das breiteste, tageslicht-ähnlichste Spektrum der Edelgase. Quelle gezeigter Röhren & Spektren: [Wikipedia, 2011]

# Der Penning-Effekt

Mischt man Gase mit unterschiedlichen Ionisationsenergien kann es zum PENNING-Effekt kommen.

Beispiel: Neon-Argon Gemisch

$$E^+(Ne) = 16.5 \text{ eV}, E^+(Ar) = 15.8 \text{ eV} \Rightarrow E^+(Ne) > E^+(Ar)$$



Dieser Effekt **erhöht** die Ladungsträgerdichte.

# Literatur- & Quellenverzeichnis I



## Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gasentladung>,

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gasentladungsrohr>,

[http://de.wikipedia.org/wiki/Positive\\_Säule](http://de.wikipedia.org/wiki/Positive_Säule),

[http://en.wikipedia.org/wiki/Gas-filled\\_tube](http://en.wikipedia.org/wiki/Gas-filled_tube),

<http://en.wikipedia.org/wiki/Helium>,

[http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_discharge\\_in\\_gases](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_discharge_in_gases),

[http://en.wikipedia.org/wiki/Noble\\_gas](http://en.wikipedia.org/wiki/Noble_gas)

Stand: 26. Mai 2011



## C. Röhr, Universität Freiburg

Elektronenspektren I (UV/VIS)

Stand: 26. Mai 2011



# Literatur- & Quellenverzeichnis II



Institut für Niedertemperatur-Plasmaphysik, Universität  
Greifswald

Plasma elektrischer Gasentladungen

Stand: 26. Mai 2011



C. F. Gallo

*Coronas and Gas Discharges in Electrophotography: A Review*  
IEEE Transactions on Industry Applications, 1975, Vol.IA-11,  
No. 6, S. 739 - 748



C. E. Mortimer, U. Müller

*Chemie*

9. Auflage 2007, Georg Thieme Verlag

# Literatur- & Quellenverzeichnis III



L. Bergmann, C. Schaefer

*Lehrbuch der Experimentalphysik – Band 5*

2. Auflage 2005, de Gruyter, S. 245 - 248



G. Karsten

*Allgemeine Deutsche Biographie (ADB)*

Band 26, Duncker & Humblot, Leipzig 1888, S. 321 – 323