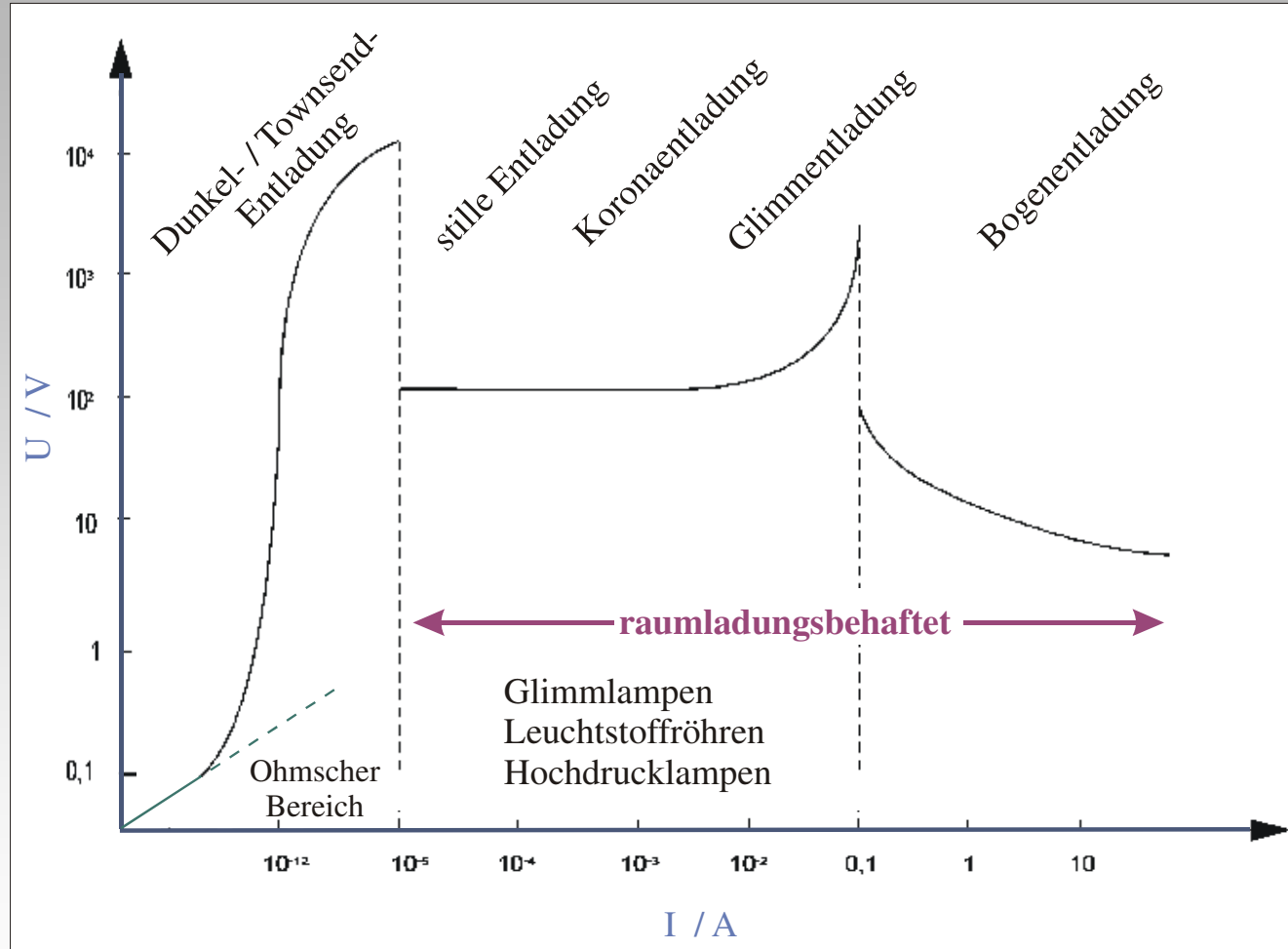


# Erzeugung von Plasmen

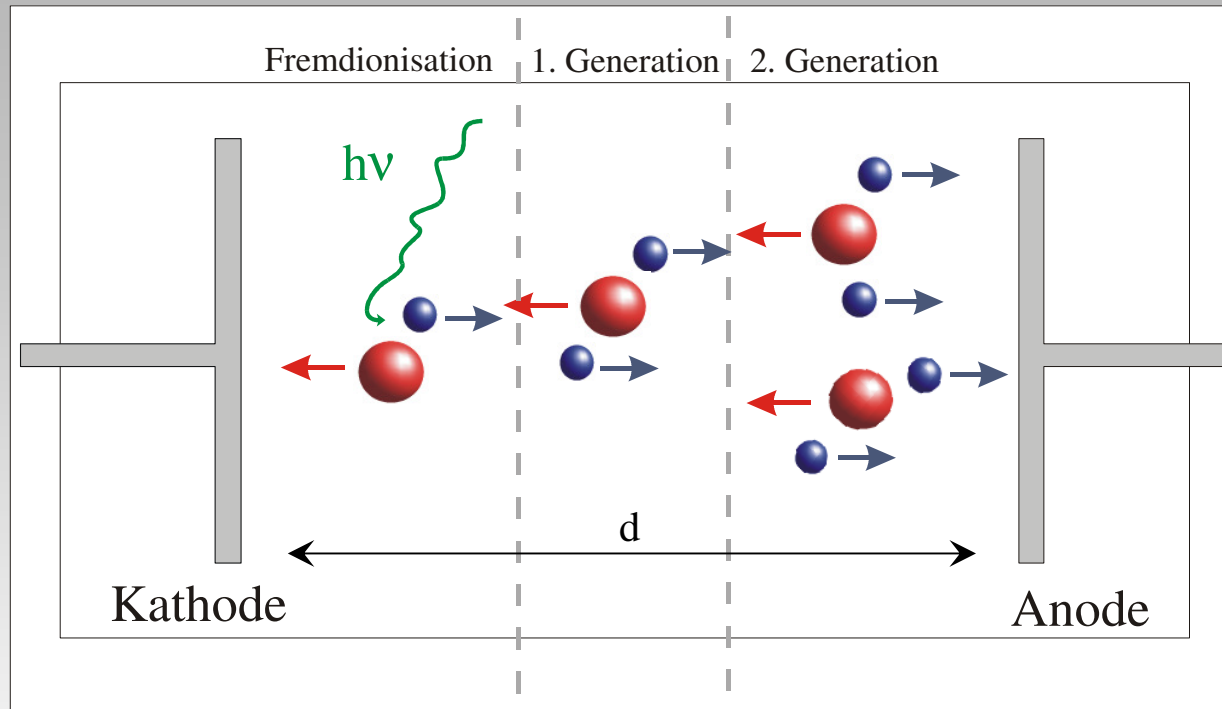
am Beispiel der Geißler-Röhre

# Die Gasentladungskurve

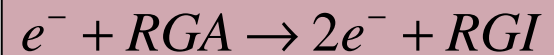


Charakterisierung der Gasentladung über die Strom - Spannungs - Kennlinie

# Erzeugung von Ladungsträgern im elektrischen Feld



Beobachtung: Die Erzeugung von freien Ladungsträgern ist proportional zum Gasdruck und dem elektrischen Feld.



# Erzeugung von Ladungsträgern im elektrischen Feld

Durch die Produktion freier Ladungsträger kommt es zu Inhomogenitäten im elektrischen Feld

$$\Delta\phi = -\frac{\rho}{\epsilon} \quad (\text{G.1})$$

Die Townsend-Koeffizienten

(G2a)

$$dN_e = N_e \alpha dx$$

$$dN_i = N_i \beta dx$$

$$dN_e = N_i \gamma_i$$

$\alpha / \beta$  erster bzw. zweiter Townsend – Koeffizient: Wahrscheinlichkeit pro Längeneinheit, dass ein Elektron bzw. Ion einen Ionisationsprozess auslöst.

$\gamma$  dritter Townsend-Koeffizient: Sekundärelektronenkoeffizient Erzeugung freier Elektronen z.B. an der Kathode durch auftreffende Ionen

Materialkonstante  $0,01 < \gamma < 0,1$

# Ladungsträgerlawine

aus G.2a folgt, dass die an der Kathode ausgelösten Elektronen  $N_0$ , mit

$$N(x) = N_0 \cdot e^{\alpha x} \quad ; \quad N(d) = N_0 \cdot e^{\alpha d} \quad (\text{G.2b})$$

$N(d)$  freie Elektronen auf ihrem Weg zur Anode erzeugen.

Durch Multiplikation mit der Elementarladung  $e_0$  ergibt sich aus G.2b die messtechnisch zugängliche Größe  $j$ .

$$\frac{j}{j_0} = e^{\alpha d}$$

# Zündbedingung für die Entladung

unter Berücksichtigung der Produktion von Sekundärelektronen ergibt sich für den Strom

$$j = j_0 \cdot \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}$$

der Nenner liefert für die Zündbedingung

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) \geq 1$$

(G.3a)

bei der Glimmentladung ist

$$e^{\alpha d} \gg 1$$

(G.3b)

daraus folgt für die Zündbedingung

$$\gamma \cdot e^{\alpha d} > 1$$

(G.3c)

# Ionisationsenergie

Annahme: ein inelastischer Ionisationsstoß erfolgt sobald das Elektron die zur Ionisation benötigte Energie  $W_i$  besitzt.

$$e \cdot E \cdot \lambda_i = W_i \quad (\text{G.4})$$

$\lambda_i$  – zur Energiegewinnung benötigte Strecke

für die mittlere freie Weglänge in einem Gas gilt:

$$\lambda_f = \frac{k_b T}{\pi \delta^2 \sqrt{2} p}$$

für  $\alpha$  folgt damit

$$\alpha = \frac{1}{\lambda_f} \cdot e^{-\frac{\lambda_i}{\lambda_f}}$$

# Paschen-Funktion

mit den Randbedingungen:

$$c_1 = \frac{1}{p \cdot \lambda_f}$$

$$c_2 = \pi \sqrt{2} \cdot \delta^2 \cdot \frac{U_i}{k_b T}$$

ergibt sich:

$$\alpha = c_1 \cdot p \cdot e^{-\frac{c_2 p}{E}}$$

(G.5)

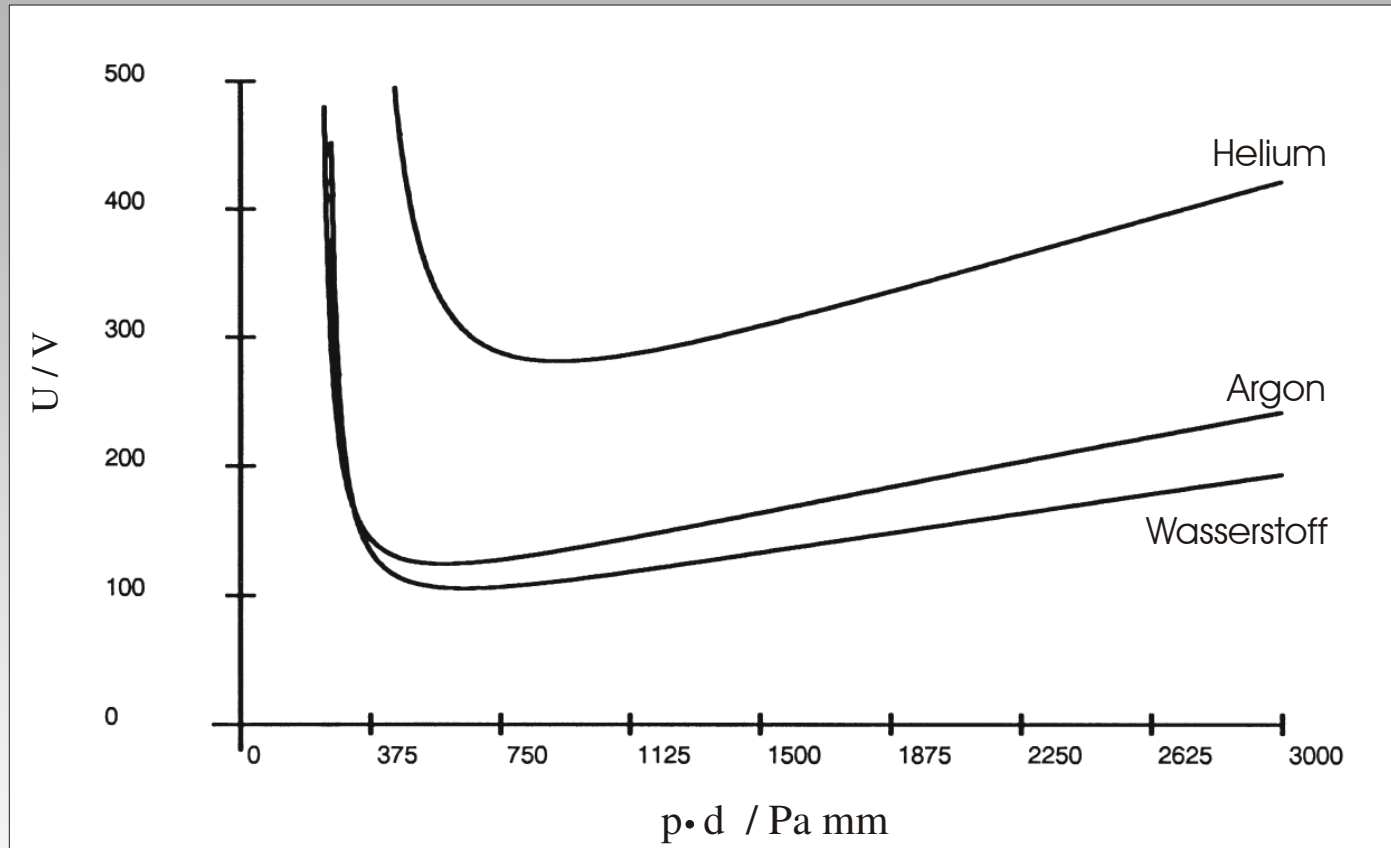
durch Einsetzen von G.5 in die  
Zündbedingung G.3c ergibt sich die  
Paschen-Funktion

$$U_p = c_2 \cdot pd \cdot \frac{1}{\ln(c_1 \cdot pd) - \ln \ln(1/\gamma)}$$

(G.6)



# Oberhalb der Paschen - Kurven zündet eine Gasentladung



Paschen – Kurven für verschiedene Gase

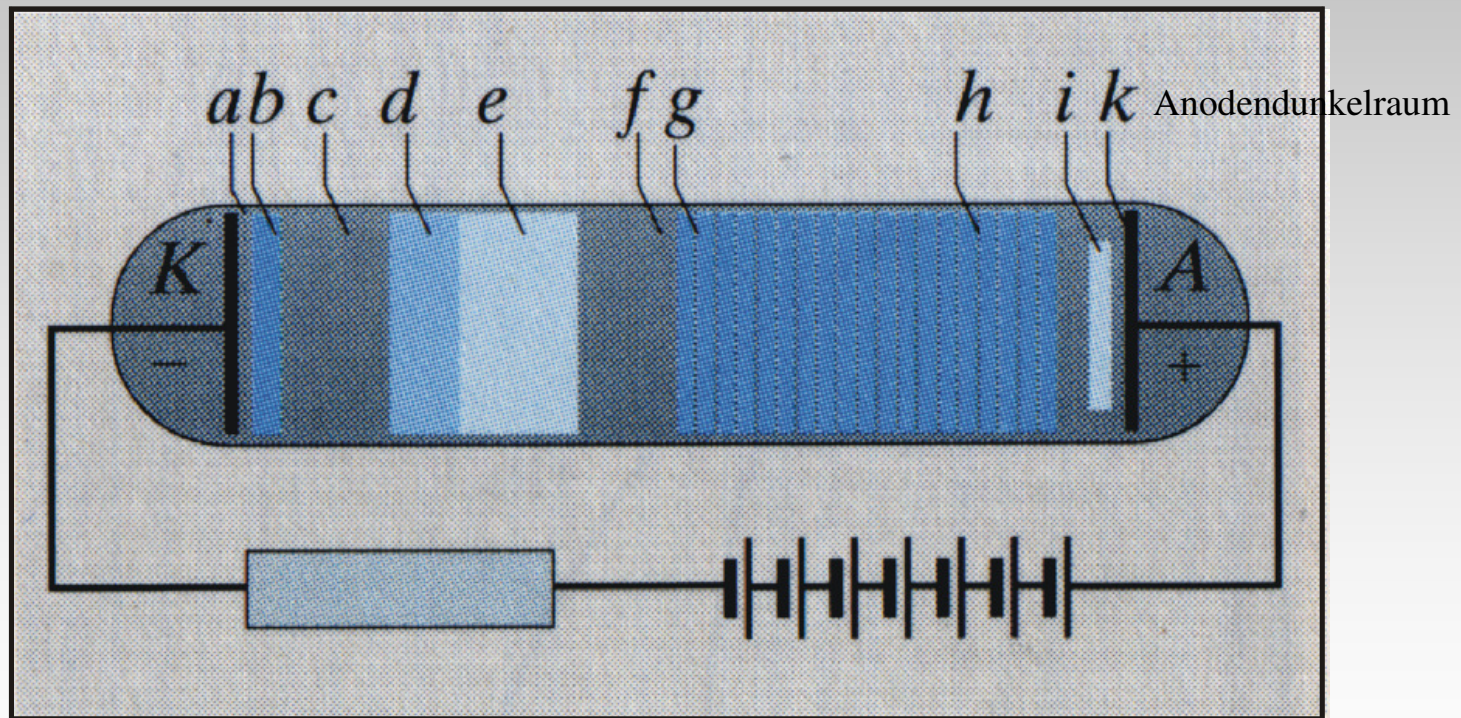
Die Unterschiede zwischen dem Kurvenverläufen beruhen auf dem gasspezifischen Werten für den Sekundärelektronenkoeffizienten  $\gamma$ .

# Experimente mit der Geißler – Röhre

- a) Astonscher Dunkelraum
- b) Kathodenschicht Ionen (Kathodenaufprall)
- c) Hittorfscher Dunkelraum

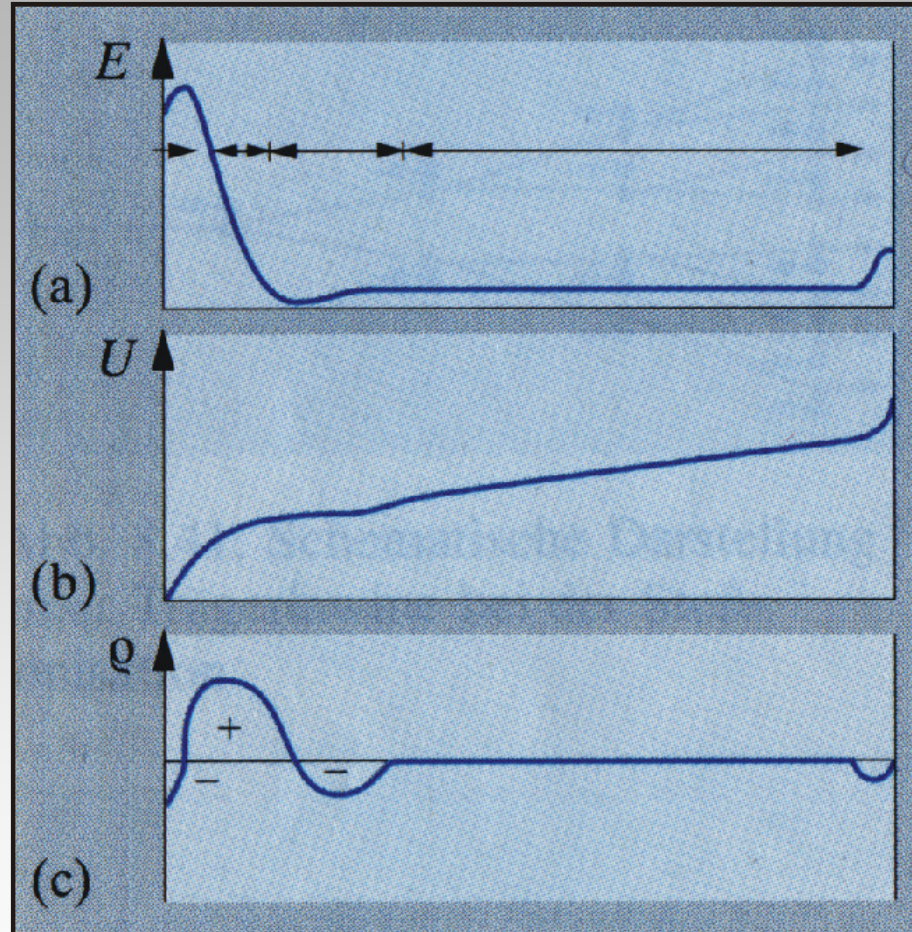
- d) Glimmsaum
- e) negatives Glimmlicht
- f) Farradayscher Dunkelraum

- g) Scheitel der positiven Säule
- h) positive Säule
- i) anodisches Glimmlicht



Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus mit gezündeter Gasentladung

# Experimente mit der Geißler – Röhre



Feldstärke, Potentialverlauf und Raumladungsdichte  
zwischen Kathode und Anode bei einer Glimmantladung