

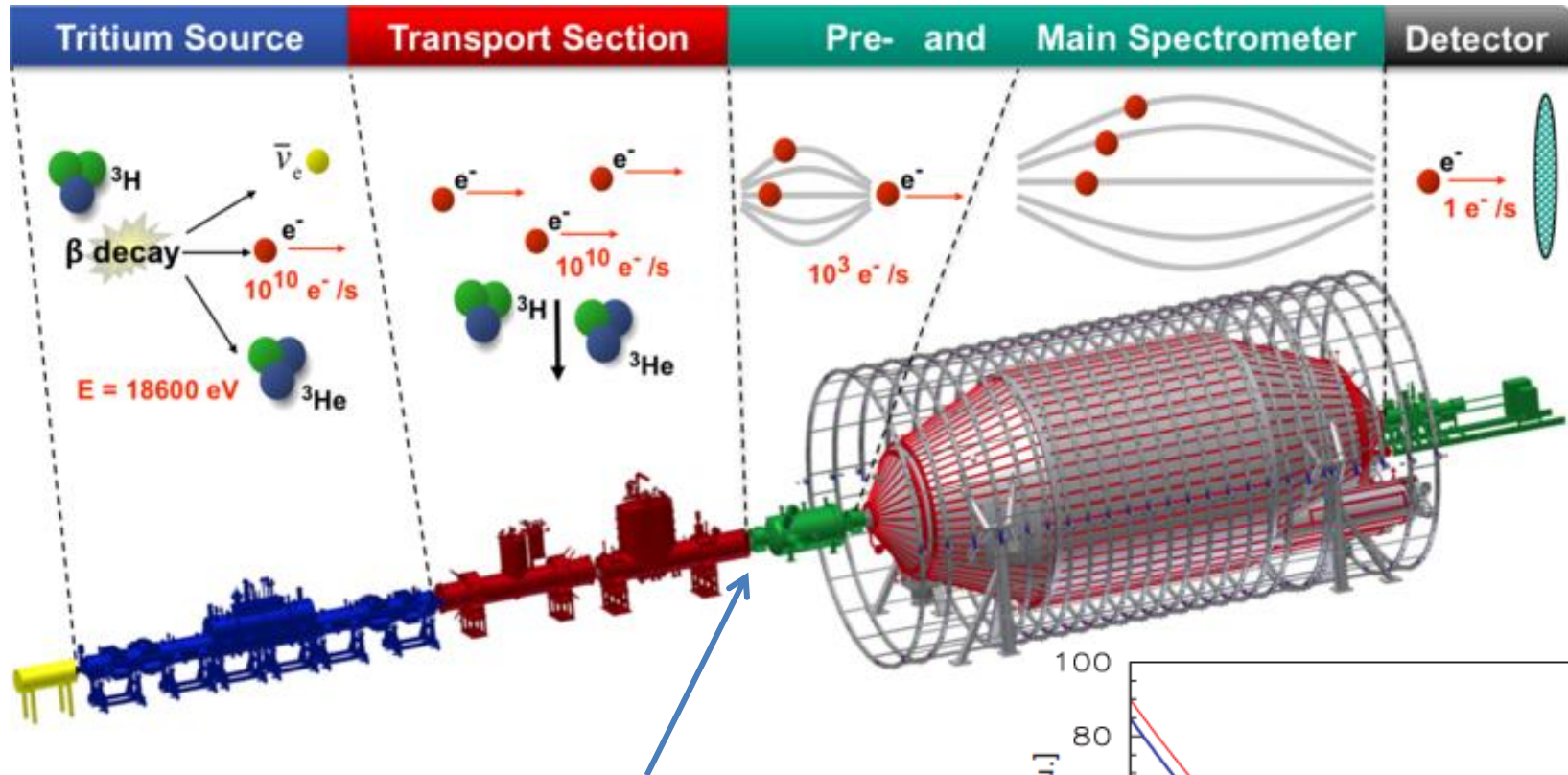
Entwicklung einer Feldemissions-Elektronenkanone zum Testen von pin-Dioden

Enrico Ellinger
Astroteilchenschule, Bärenfels
13. Oktober 2014

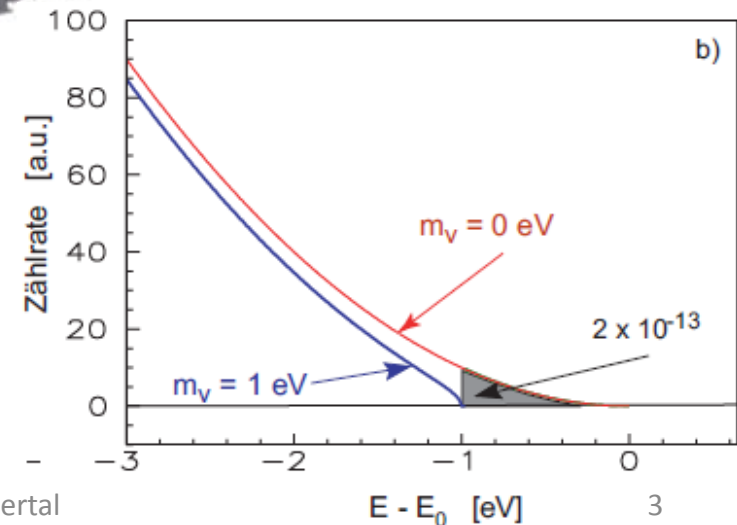
- Motivation
- Feldemission an scharfen Spitzen
- Spitzenpräparation
- Aufbau
- Erste Tests
- Nächste Schritte
- Zusammenfassung

Motivation

Das Katrinexperiment

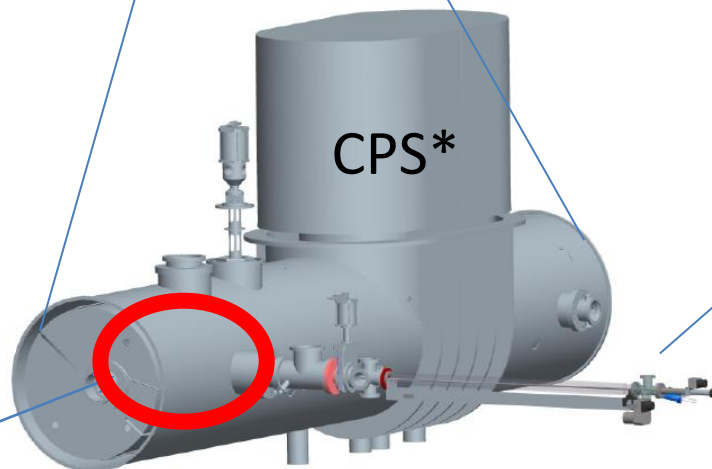
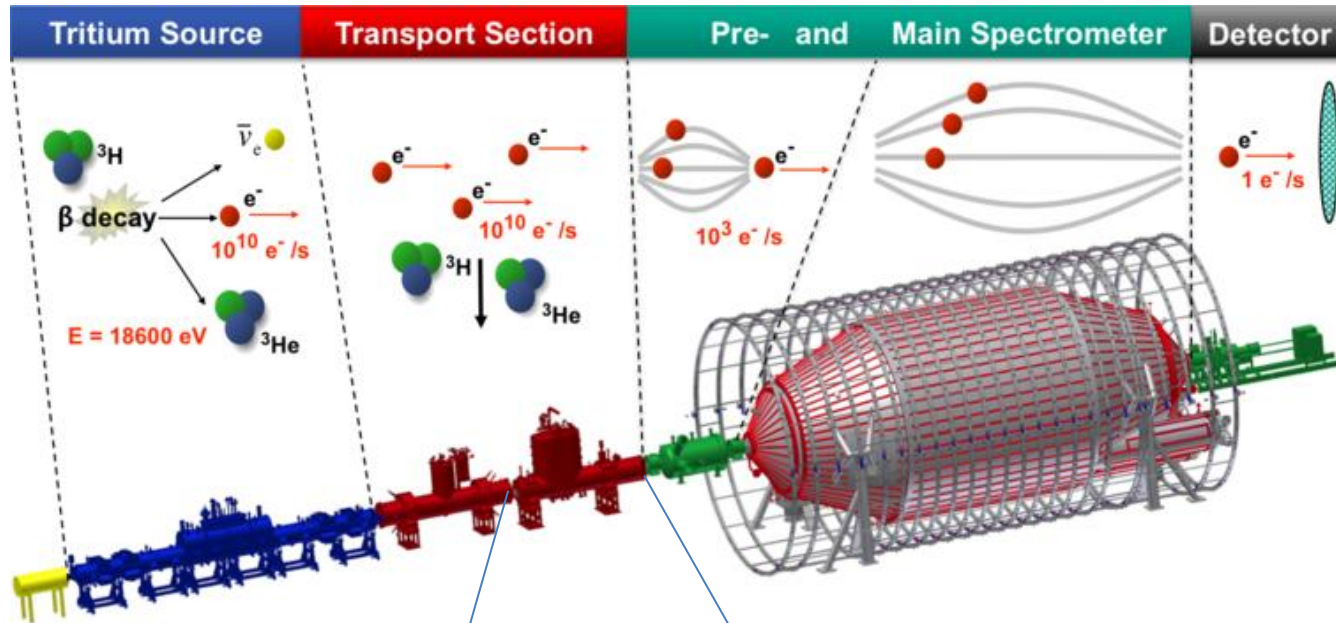


- Intensität des ins Vorspektrometer eintretenden Elektronenstrahls muss überwacht werden.
- Strahlintensität $I = 10^7 \text{ e}/(\text{s} \cdot \text{mm}^2)$
- $E = 0 - 18.6 \text{ keV}$



Motivation

Das Katrinexperiment



Position des
**Foward Beam
Monitor Detektors
(FBMD)**

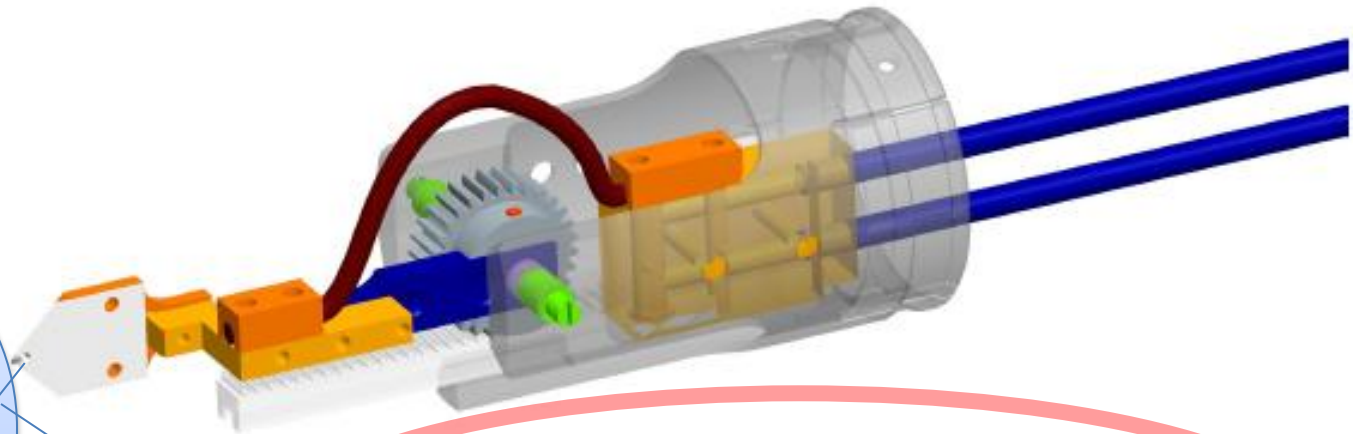
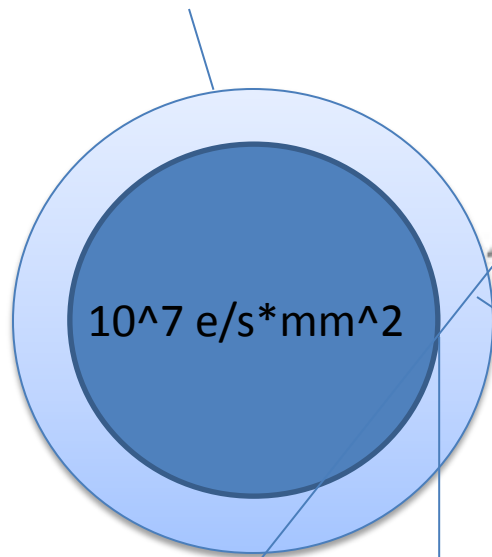
Elektronen

(*Cryogenic Pumping Section)

Motivation

Anforderung an pin-Diode

Elektronenstahl von
7 cm Durchmesser

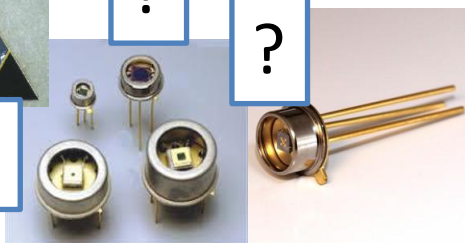


- Rate = $10^6 \text{ e}^- / \text{s} \cdot \text{mm}^2$
- beta Energien zwischen 0-18.6 keV
- B = 1.2 T
- T = 77K - 300K
- p = 10^{-10} mbar

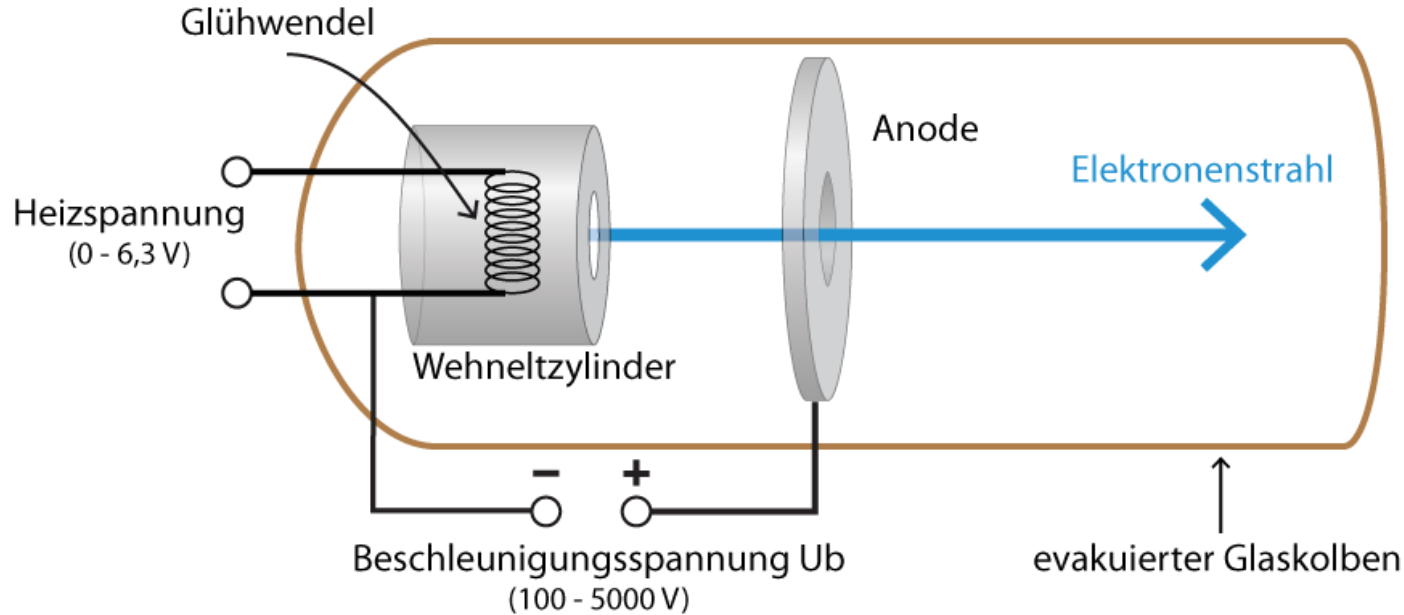
Welche Diode ist geeignet?

Pin diode

d=7mm



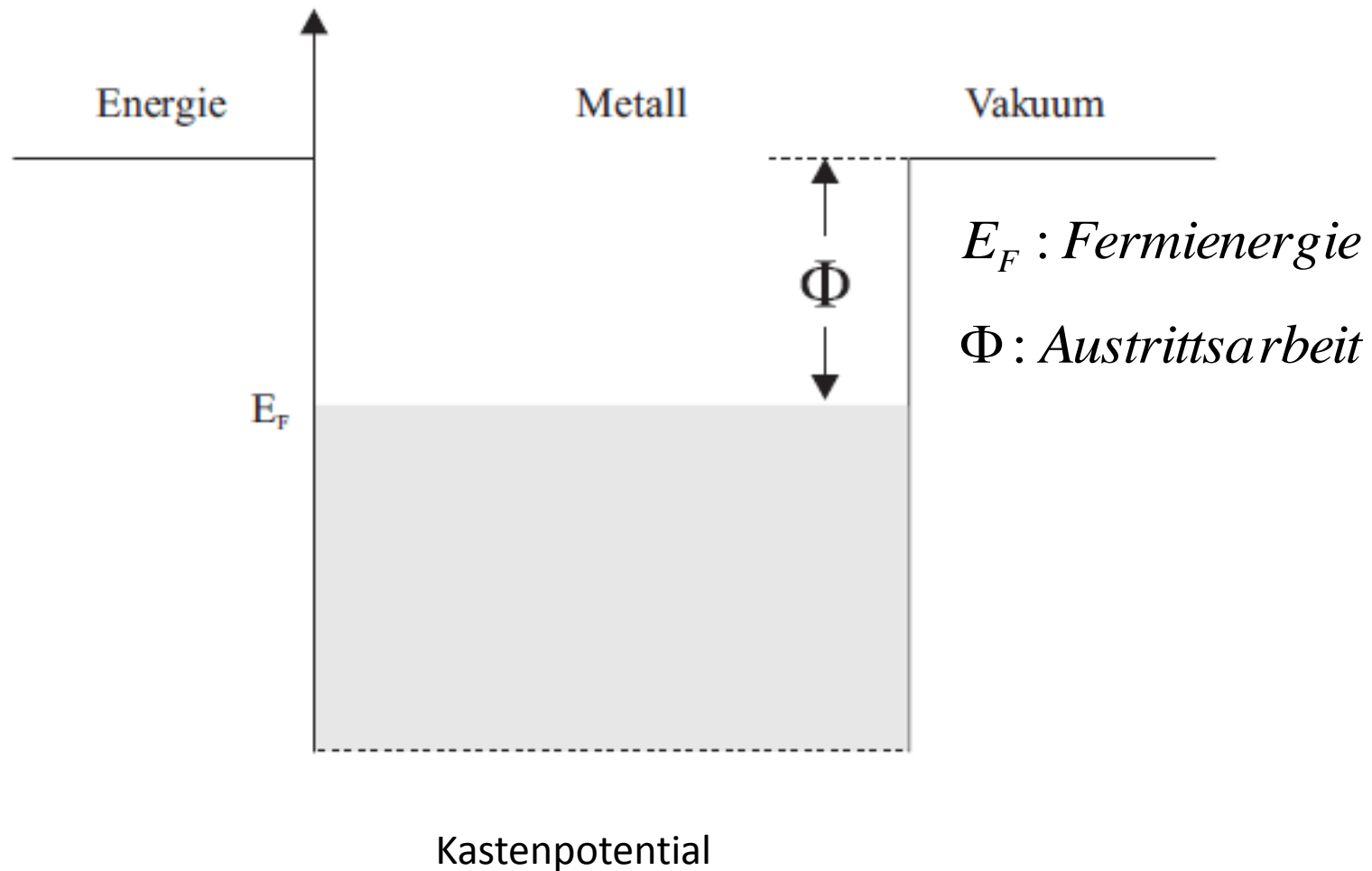
Ein einfaches Prinzip



Problem hier: Heiße Glühwendel !
Dioden sind stark sensitiv auf Licht.

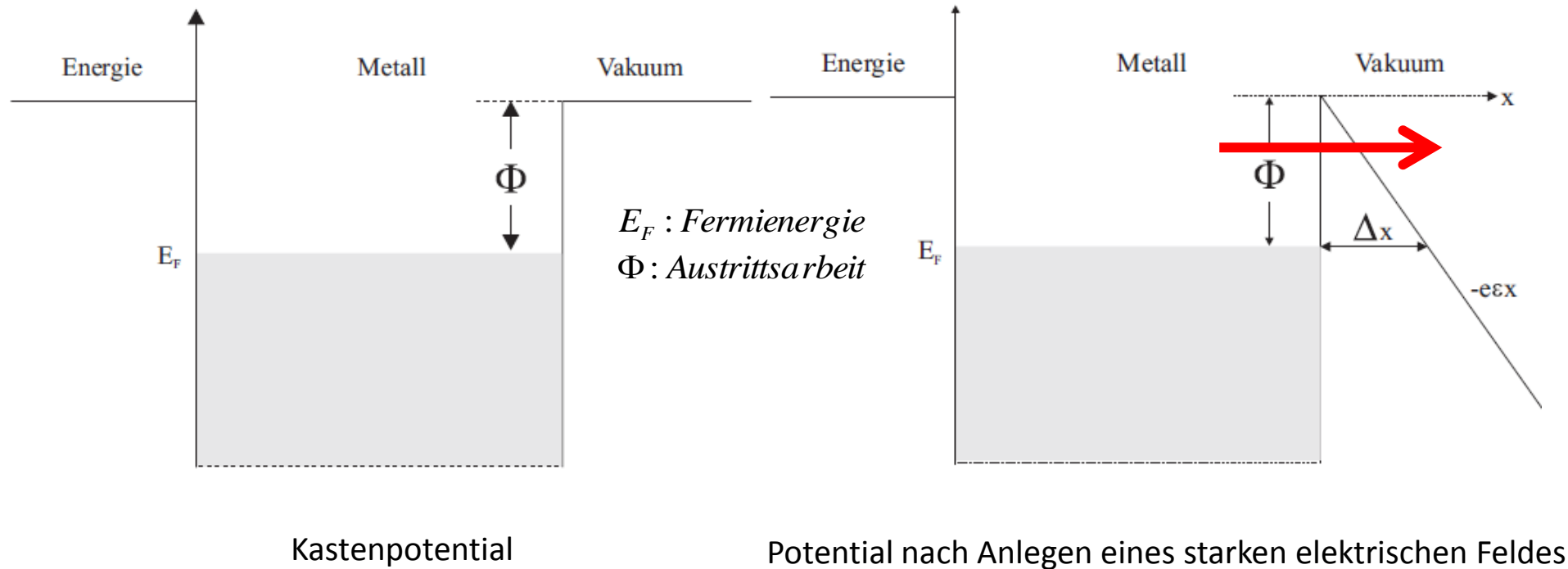
Feldemission

- Auslösen von Elektronen aus Metall mittels hoher E-Felder (Tunneleffekt)

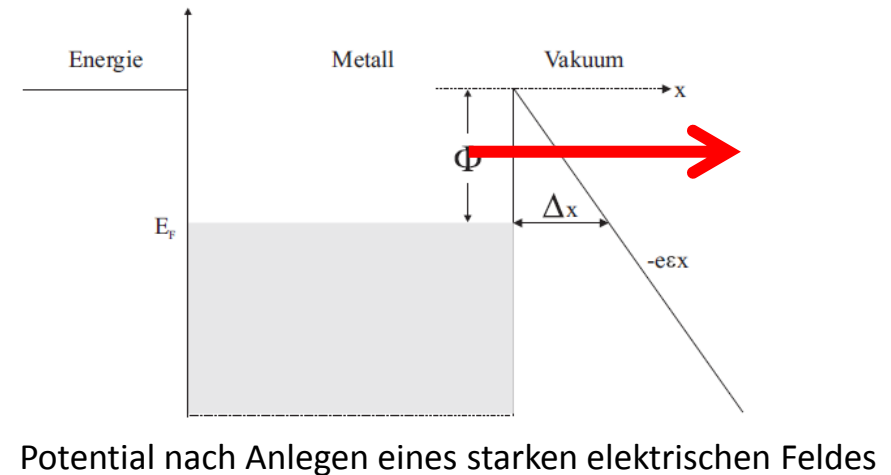
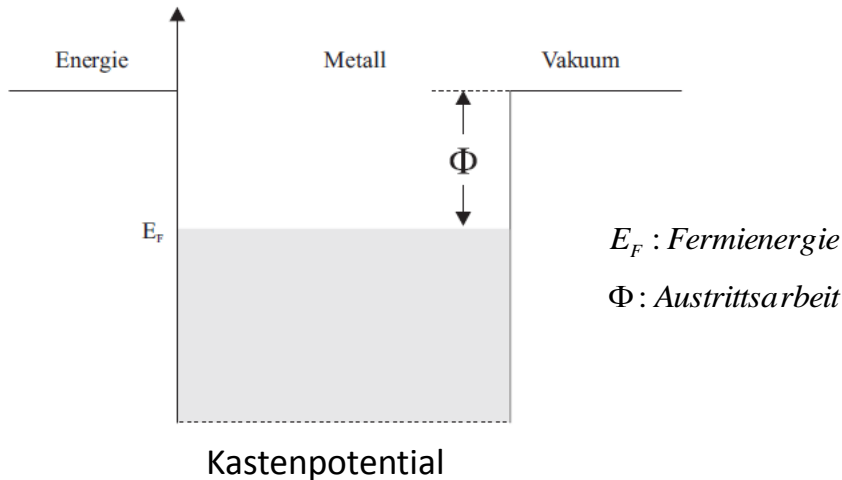


Feldemission

- Auslösen von Elektronen aus Metall mittels hoher Felder (Tunneleffekt)



- Auslösen von Elektronen aus Metall mittels hoher Felder (Tunneleffekt)



$$\text{Stromdichte: } j(E) = \frac{q^3 m^*}{8\pi m \hbar \Phi} \cdot E^2 \exp\left(-\frac{4\sqrt{2m}\Phi^{3/2}}{3\hbar q E}\right) = K_1 \frac{|E|^2}{\Phi} \cdot e^{-K_2 \cdot \Phi^{3/2}/|E|} \quad (\text{Fowler-Nordheim-Gleichung für Feldemission})$$

$$\text{Nötige Feldstärken: } \mathcal{E} = O(10^9 \text{ V} / \text{m})$$

- Beispiel Plattenkondensator

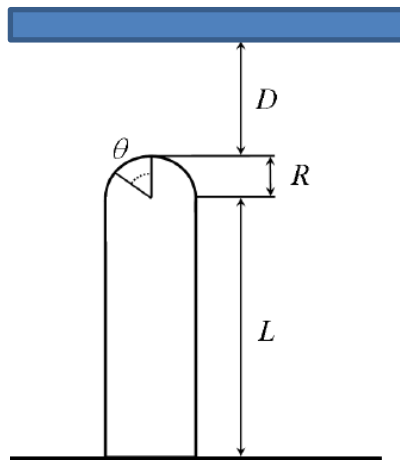
$$U = E_p * d = 10^9 \text{ V} / \text{m} * 1 \text{ mm} = 1 \text{ MV}$$

- Durchschlagsfestigkeit Vakuum 20 – 40 kv/mm
- Technisch aufwendig (z.B. Vakuumdurchführung)

LÖSUNG:

Felder an scharfen Metallspitzen

Eine Platte des Plattenkondensators wird durch eine Spitze ersetzt



$$E_{Spitze} = \gamma \cdot E_P = \gamma \cdot \frac{U}{D}$$

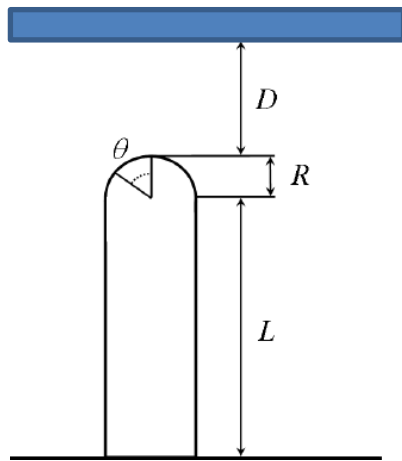
$$\gamma = 3,5 + \frac{L}{R} \approx \frac{L}{R}$$

γ : field enhancement factor

- Für den Betrieb im kV Bereich muss γ im Bereich von 10^{-3} liegen
- Typ. Spitzenradien $R = 100 - 1000 \text{ nm}$
- also $L = 10 - 100 \text{ um}$?

Modell einer Spitze: Kugel auf Pfosten

Eine Platte des Plattenkondensators wird durch eine Spitze ersetzt



$$E_{Spitze} = \gamma \cdot E_P = \gamma \cdot \frac{U}{D}$$

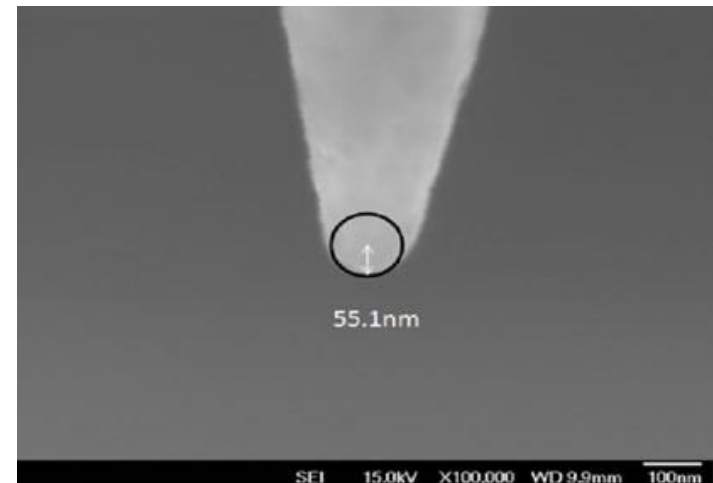
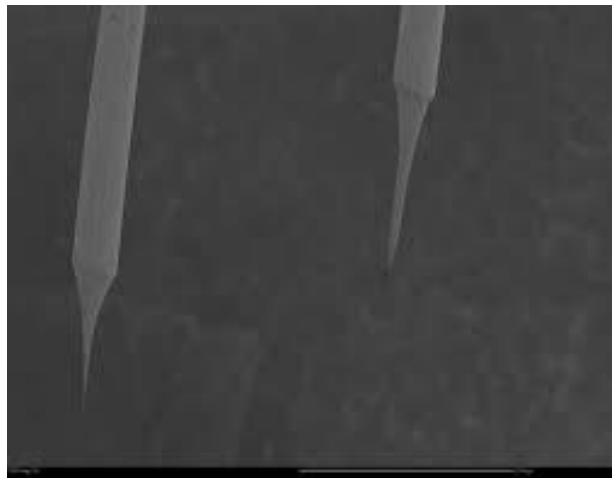
$$\gamma = 3,5 + \frac{L}{R} \approx \frac{L}{R}$$

γ : field enhancement factor

- Für den Betrieb im kV Bereich muss γ im Bereich von 10^{-3} liegen
- Typ. Spitzenradien $R = 100\text{-}1000\text{ nm}$
- also $L = 10\text{-}100\text{ }\mu\text{m}$? *!!! So einfach ist es leider nicht !!!*

Modell einer Spitze: Kugel auf Pfosten

- Reale Spitzen



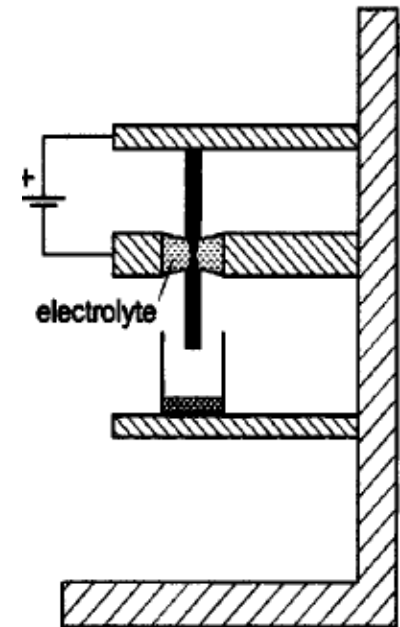
Elektrochemisches Ätzen in NaOH Lösung mit der Drop-Off-Methode

- 0,2 mm Wolframdraht
- 2 molare NaOH Lösung als Elektrolyt
- 3 - 9 V Elektrodenspannung, Strom im mA Bereich
- Ätzzeiten 5 – 15 Minuten

Chemischer Prozess



A. K. Kar, S. Gangopadhyay, and B. K. Mathur, Meas. Sci. Technol. 11, 1426 (2000).

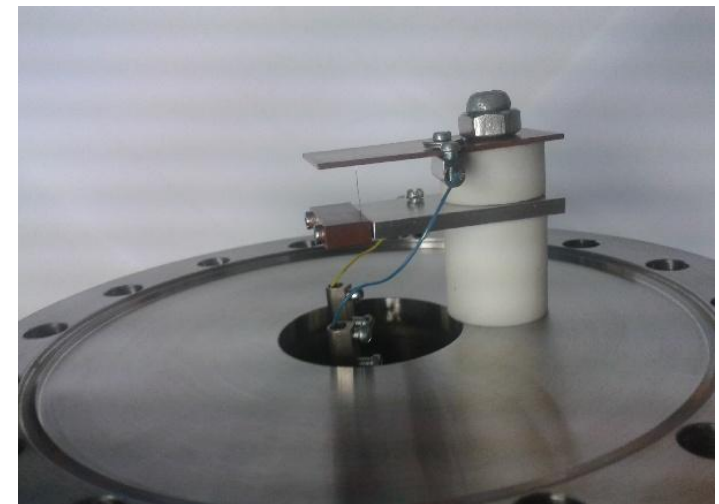
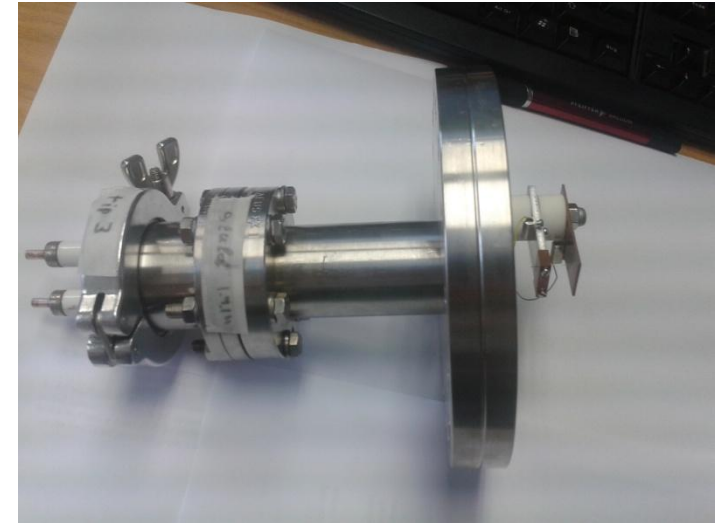
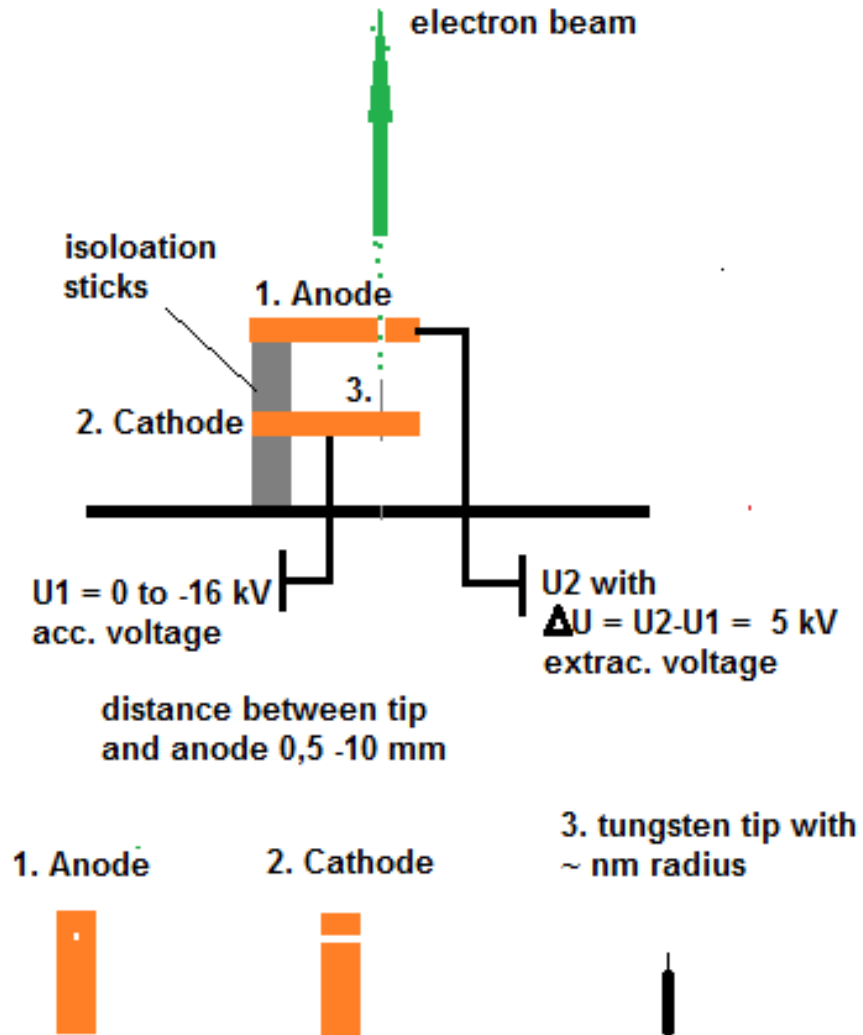


Reinigungsprozess nach dem Ätzen:

- destilliertes Wasser -> Isopropanol -> Aceton (einfach)
- Flashen und oder **Self Sputtering** (schwerer)

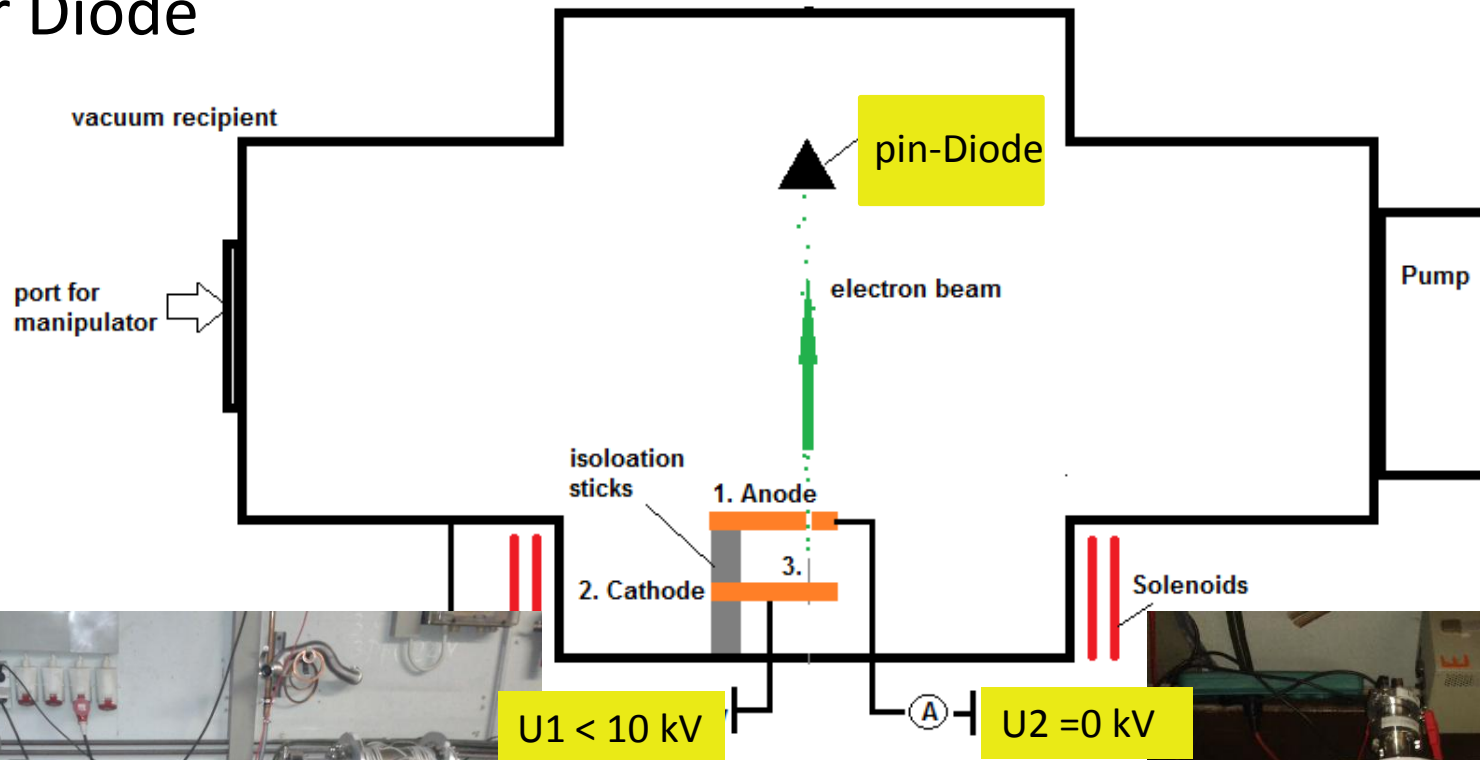
Die Elektronenkanone

Der erste Versuch

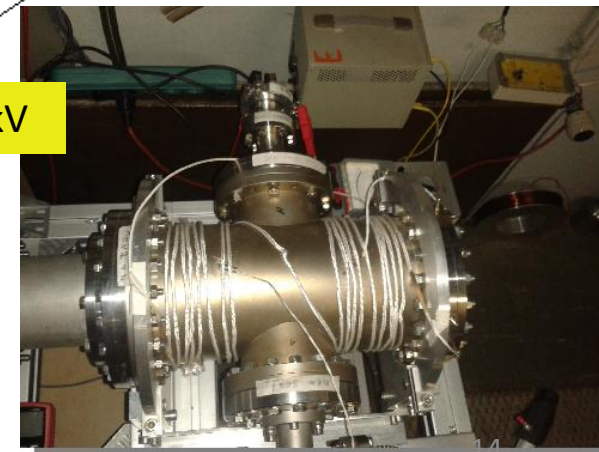
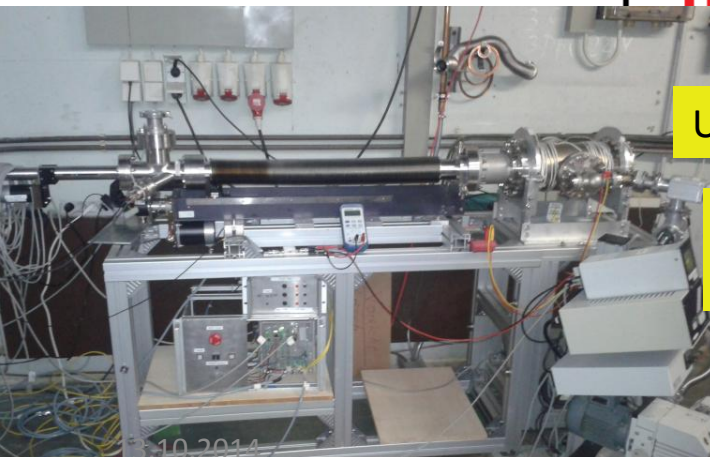


Erster Test

Ziel: Messen des Anodenstroms und Sehen erster Signale mit der Diode



- Abstand Spitze \leftrightarrow Anode 2mm



Ergebnis

Unerwartete Effekte

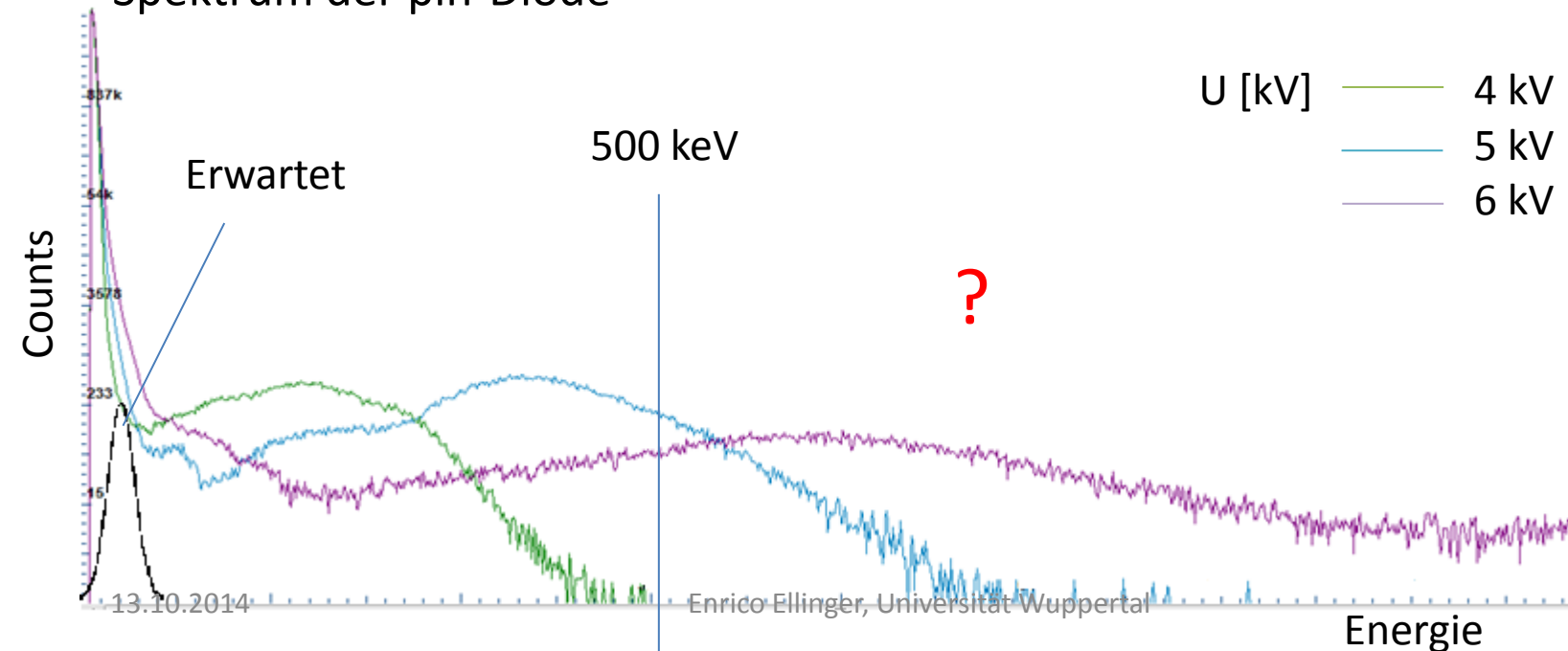


Messungen an Anode

U [kV]	I [nA]
-2 kV	1-4
-3 kV	1-4
-4 kV	2-5
-5 kV	3-10

- Zunächst wie erwartet, aber wir sehen **das gleiche bei positiver Kathodenspannung !?**

Spektrum der pin-Diode



Ergebnis

Unerwartete Effekte



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

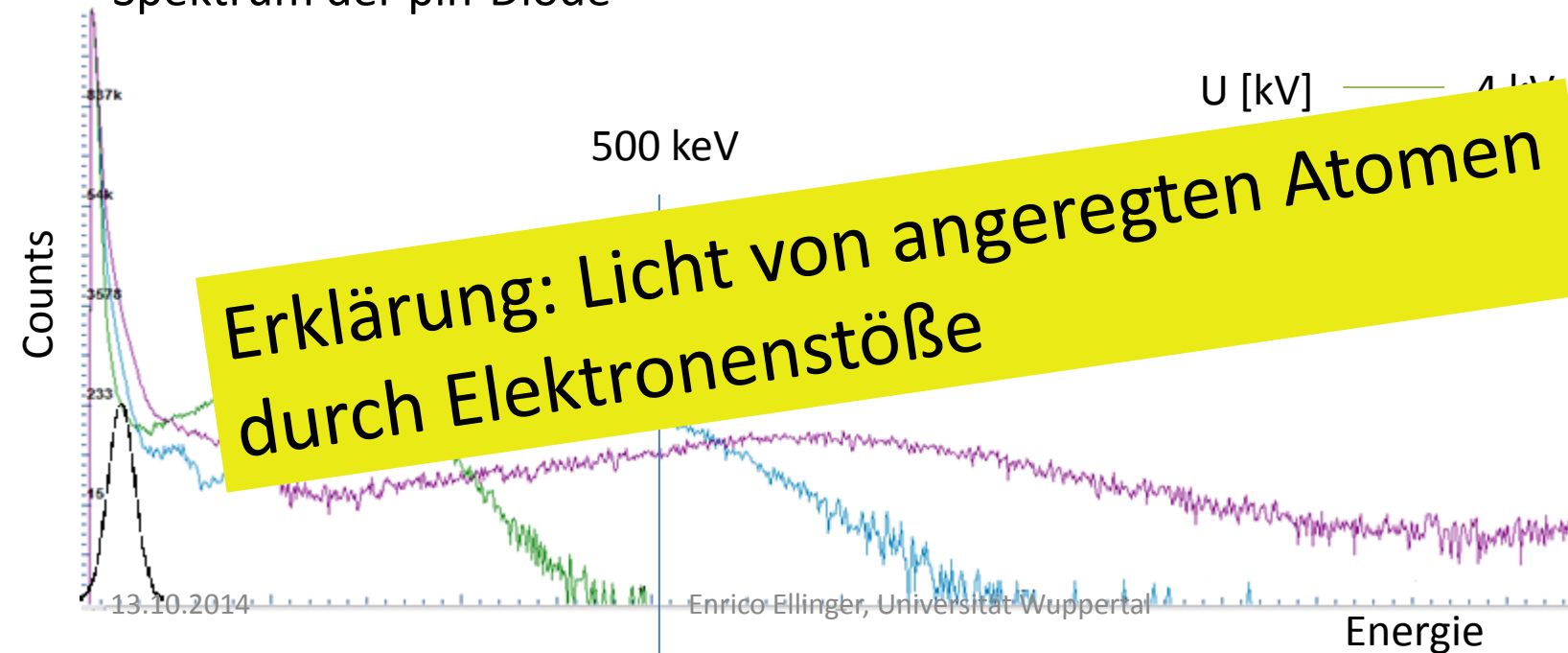
Messungen an Anode

U [kV]	I [nA]
-2 kV	1-4
-3 kV	1-4
-4 kV	1-4
-5 kV	3-10

- Zunächst wie erwartet, aber wir sehen das gleiche Verhalten bei -5 kV !?

Erklärung: Kriechströme an Isolatoren

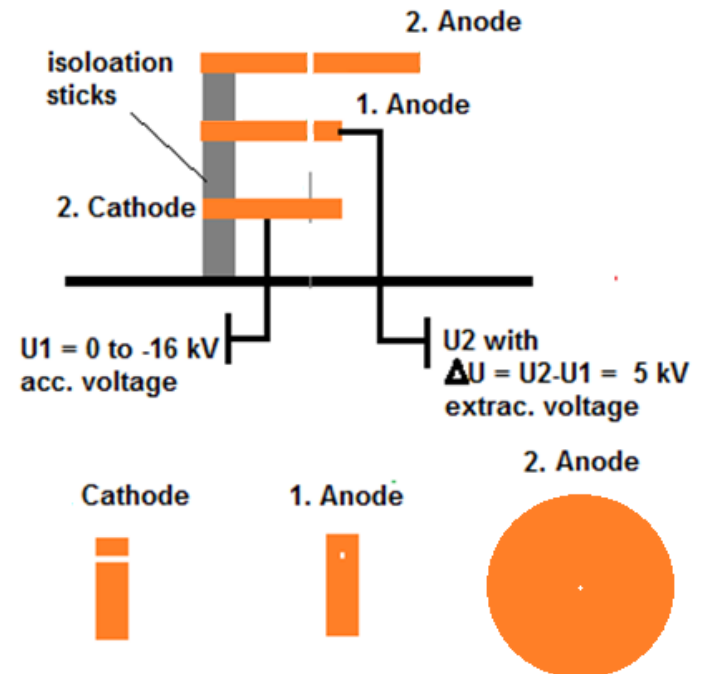
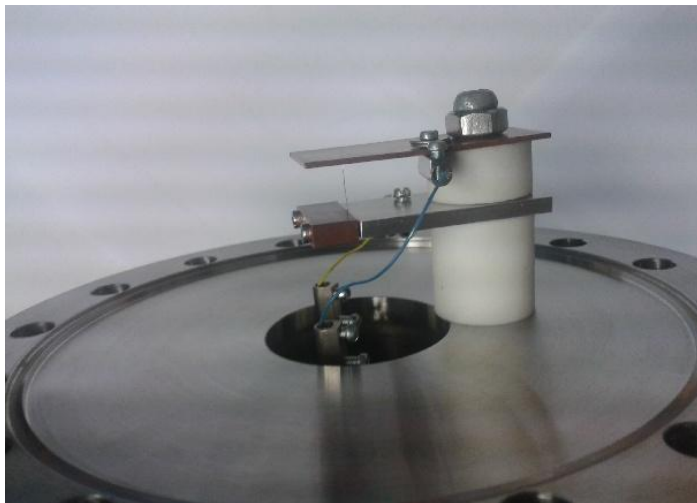
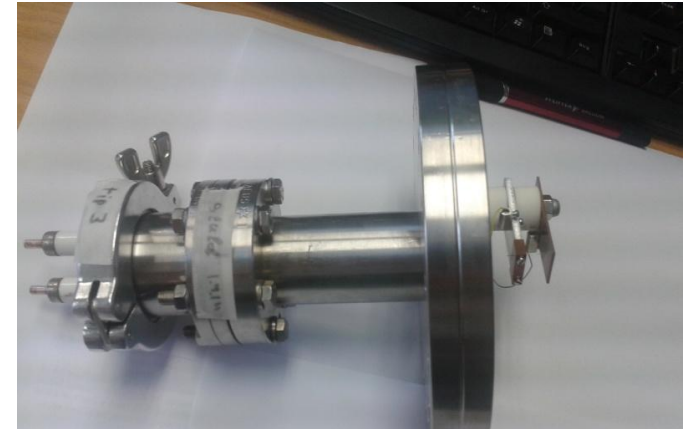
Spektrum der pin-Diode



Nächste Schritte

für den zweiten Versuch

- Bessere HV- Durchführungen
 - 2 X 20 kV einfach
 - in 90° Winkel platzieren
- Kanten an *ALLEN* HV tragenden Teilen vermeiden
 - Kathode und Anode runden
 - HV-Klemmen aus Keramik
- Zweite Anode
 - separiertes Regulieren von Beschleunigungs- und Extraktions-Spannung
 - große Scheibe schirmt zusätzlich Licht ab



- Für die Wahl einer adäquaten pin-Diode für den FBMD müssen diese getestet werden.
- Feldemissions-Elektronenkanonen können gewünschte Intensitäten und Energieschärfen ohne Erzeugung von Licht erreichen.
- Spitzenradien von 100 nm werden mit der drop-off Methode erreicht.
- So einfach ist es nicht: HV tragende Teile müssen speziell gewählt und behandelt werden um Verunreinigung durch Licht zu vermeiden.
- Elektronenkanone wird angepasst.

Danke