

# **Physik und Technik von Ionenquellen**

Vorlesung mit Übungen

Wintersemester 2011/2012

Prof. Dr. Oliver Kester, Dr. Peter Forck

Institut für Angewandte Physik  
und  
GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung Darmstadt

# 1) Einführung

Zur Physik der Ionenquellen gehören:

- Produktion geladener Teilchen (Elektronen, Ionen) → Erzeugung von Plasmen
- Ionisation von Atomen (Elektronenstoßionisation, Photoionisation)
- Strahlextraktion aus Plasmen oder von Kathoden
- Strahlformierung und Transport der geladenen Teilchen
- Strahldiagnostik
- Anwendungen in Grundlagenforschung, Industrie und Technik

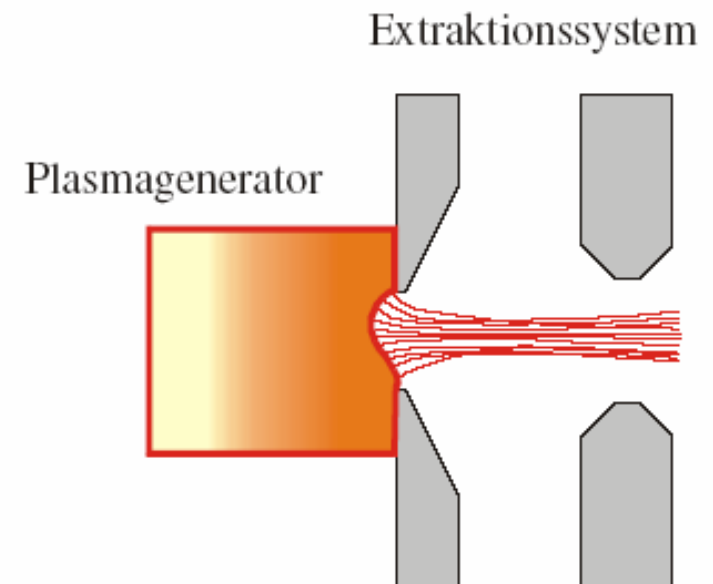
Produktion geladener Teilchen:

Elektronen → Elektronenkanonen

Ionen (positive oder negative) → Ionenquellen

Arbeitsprinzip einer Plasma-Ionenquelle:

- Plasmaerzeugung
- Extraktion
- Strahltransport



## Erzeugung von Ionen:

- positive Ionen werden durch Elektronenstoß, Photonen oder an heißen Oberflächen erzeugt



- negative Ionen

Anlagern eines Elektrons an ein neutrales oder Umladen eines Ions das positiv geladen ist an einer heißen Oberfläche oder im Metaldampf (Alkalimetalle, vorzugsweise Cs)

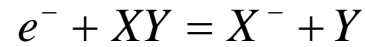
→ exothermer Prozess durch Elektronenaffinität

Electron affinities and ionization energies of elements

Group I A		Ionization potential (eV) - Electron affinity (eV)						VIII A
1 H	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	2 He	
13.59 0.75							24.58 0.078	
3 Li	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3.39 0.62	9.32 < 0	8.30 0.28	11.26 1.26	14.54 ≤ 0	13.61 1.46	17.42 3.39	21.56 < 0	
11 Na	12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
5.14 0.54	7.64 < 0	5.98 0.46	8.15 1.38	10.55 0.74	10.36 2.07	13.01 3.61	15.76 < 0	
19 K	20 Ca	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
4.34 0.50	6.11 ≈ 0	6.00 0.3	7.88 1.2	9.81 0.80	9.75 2.02	11.84 3.36	14.00 < 0	
37 Rb	38 Sr	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
4.18 0.48	5.69 < 0	5.78 0.3	7.34 1.25	8.64 1.05	9.01 1.97	10.45 3.06	12.13 < 0	
55 Cs	56 Ba	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
3.89 0.47	5.21 < 0	6.11 0.3	7.41 1.1	7.29 1.1	8.43 1.9	9.5 2.8	10.74 < 0	

Ist die Elektronenaffinität  $> 0$ , dann ist das negative Ion stabil (siehe Tabelle)!

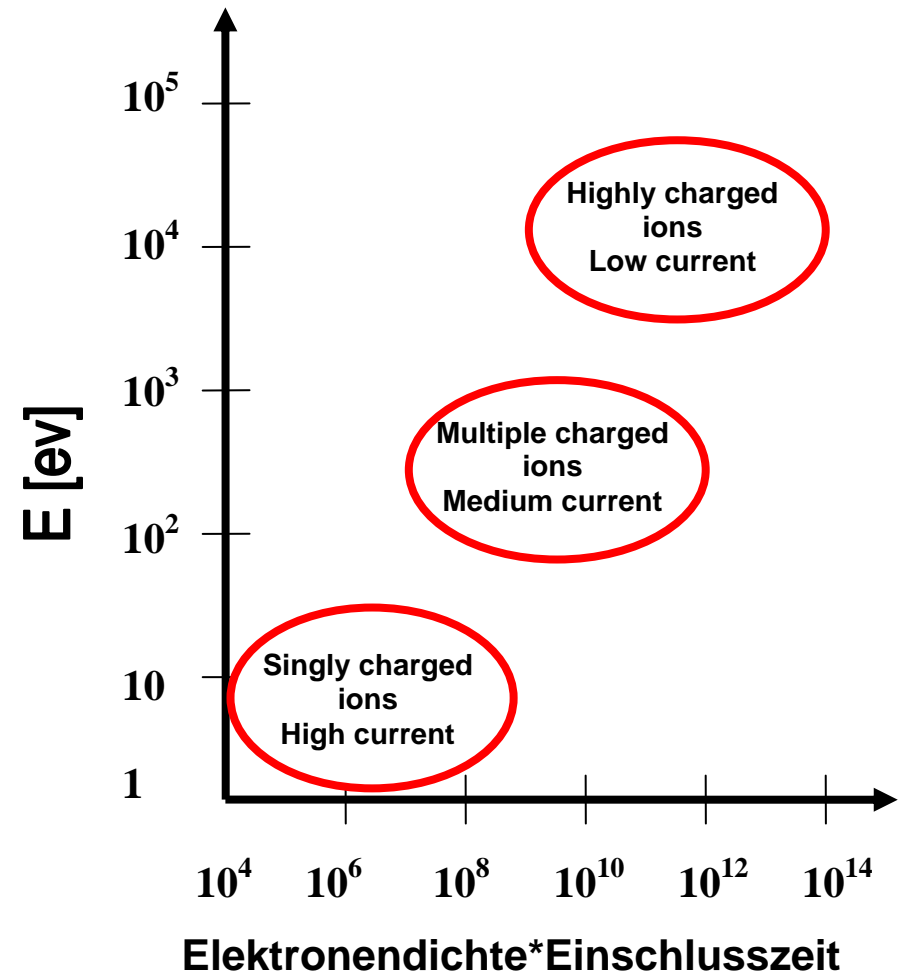
weitere Mechanismen: Moleküldissoziation  
Anregung



### Klassifizierung von Ionenquellen:

Die Klassifizierung geschieht über die Elektronenenergie und die Einschlusszeit und die Elektronendichte im Plasma der Ionenquelle.

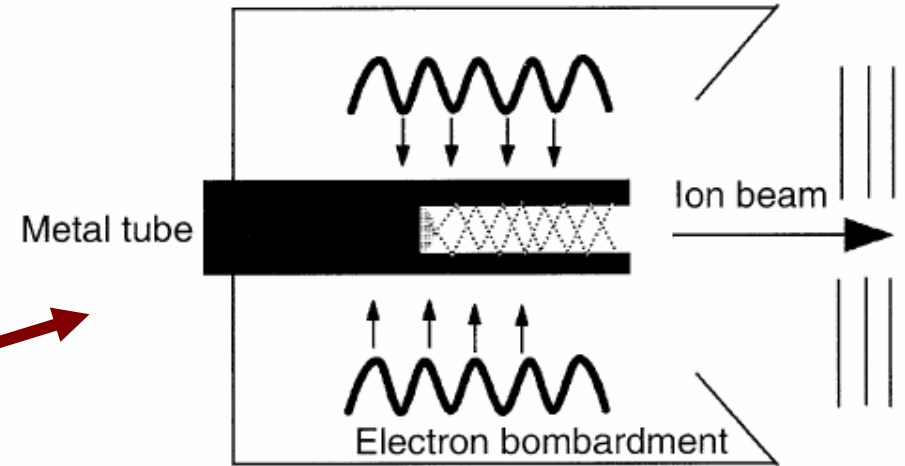
Die Elektronenenergie bestimmt den maximalen erreichbaren Ladungszustand, der Parameter Dichte\*Einschlusszeit die Zeitdauer wie schnell der Ladungszustand erreicht wird.



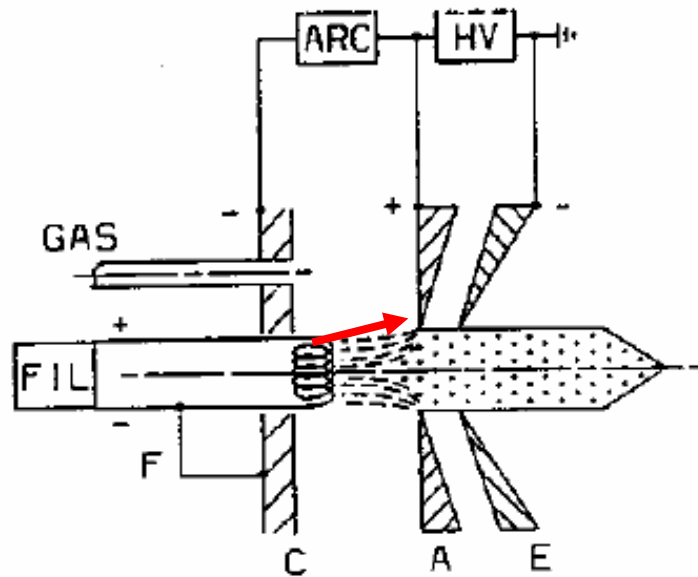
## Ionenquellentypen:

- Quellen mit Strömen bis zu mehreren Ampere, aber geringen Ladungszuständen
- Quellen mit hochgeladenen Ionen (bis  $U^{92+}$ ), jedoch geringen Intensitäten

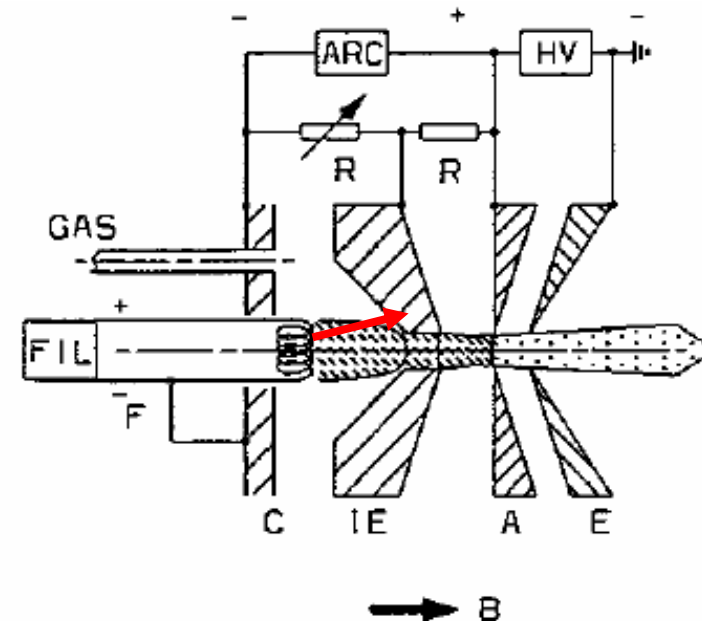
einfachste Quellen → Oberflächenquellen



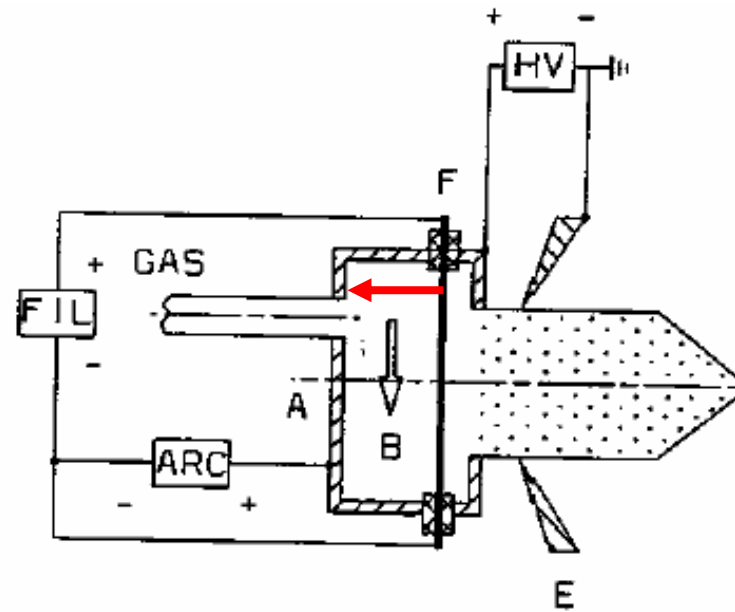
## *Elektronenstoßquelle*



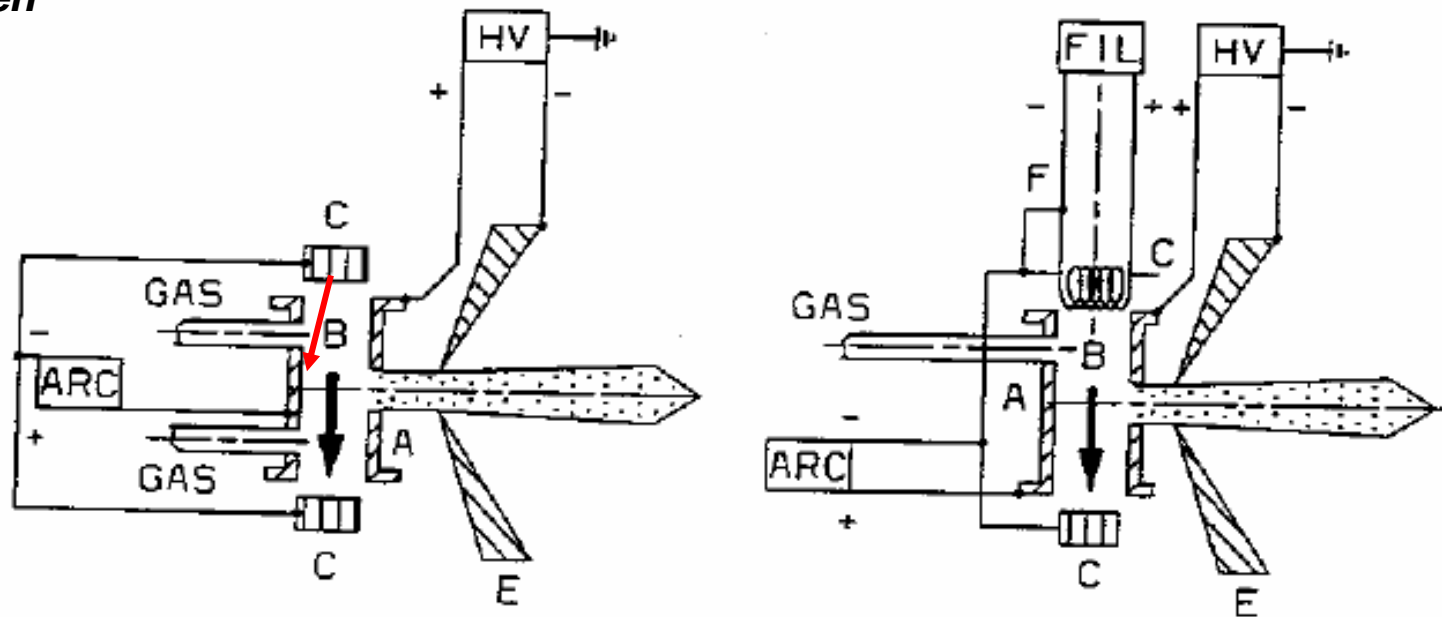
## *Plasmatronquelle*



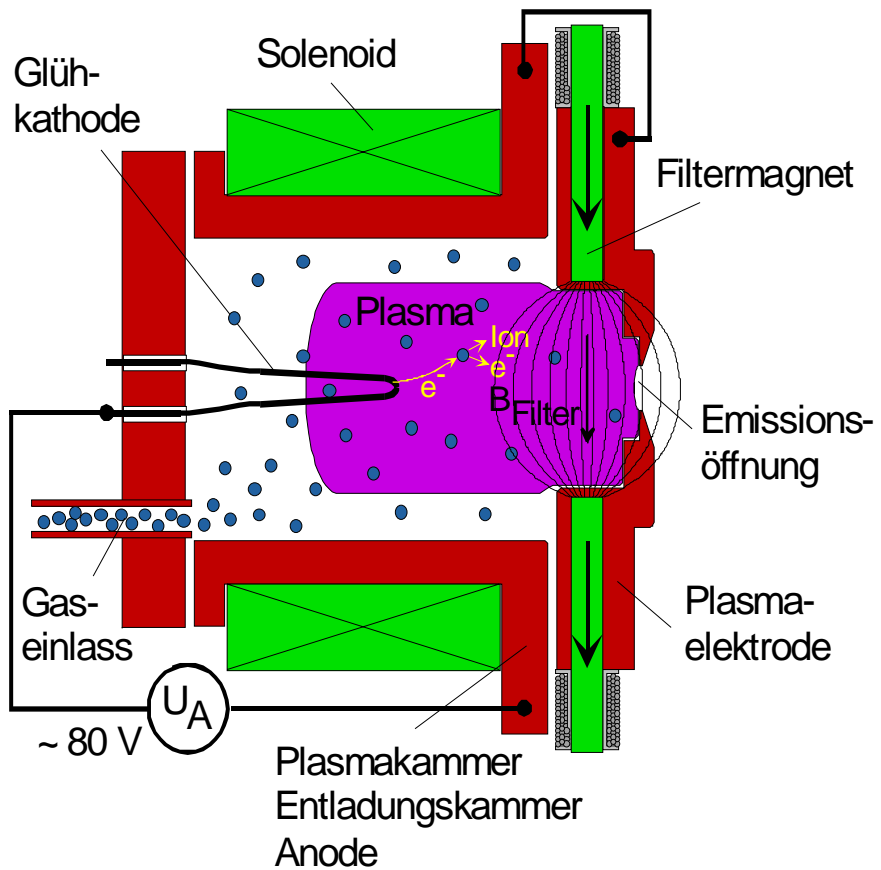
## Magnetronquellen



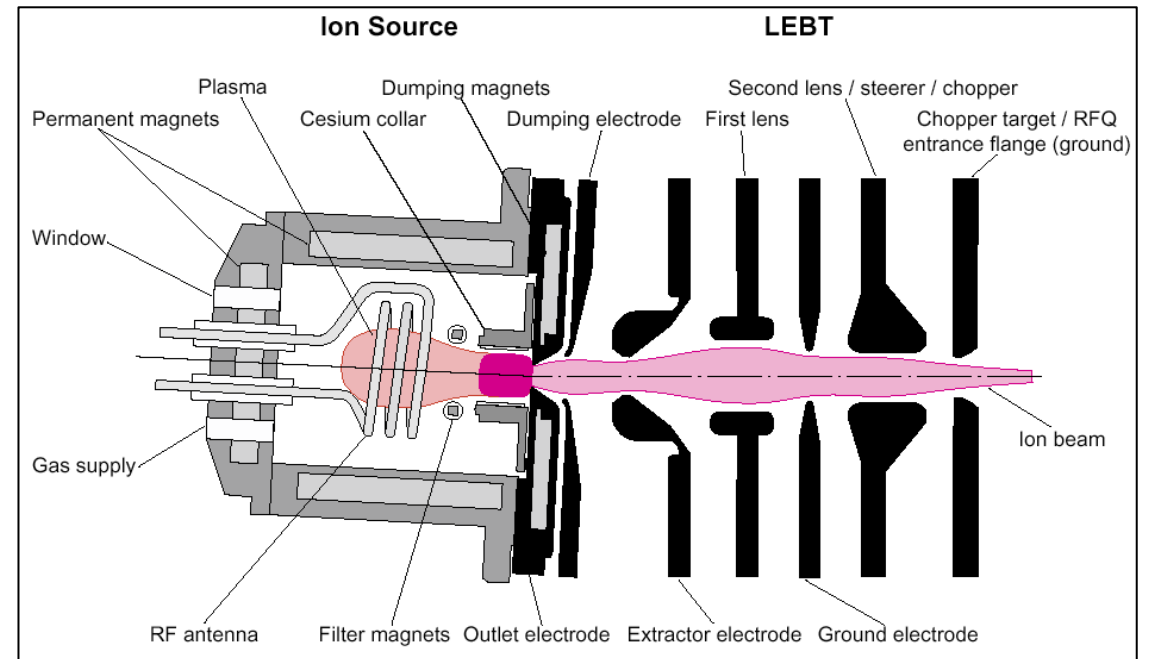
## Penningquellen



## Volumen-Quellen



## HF-Quellen

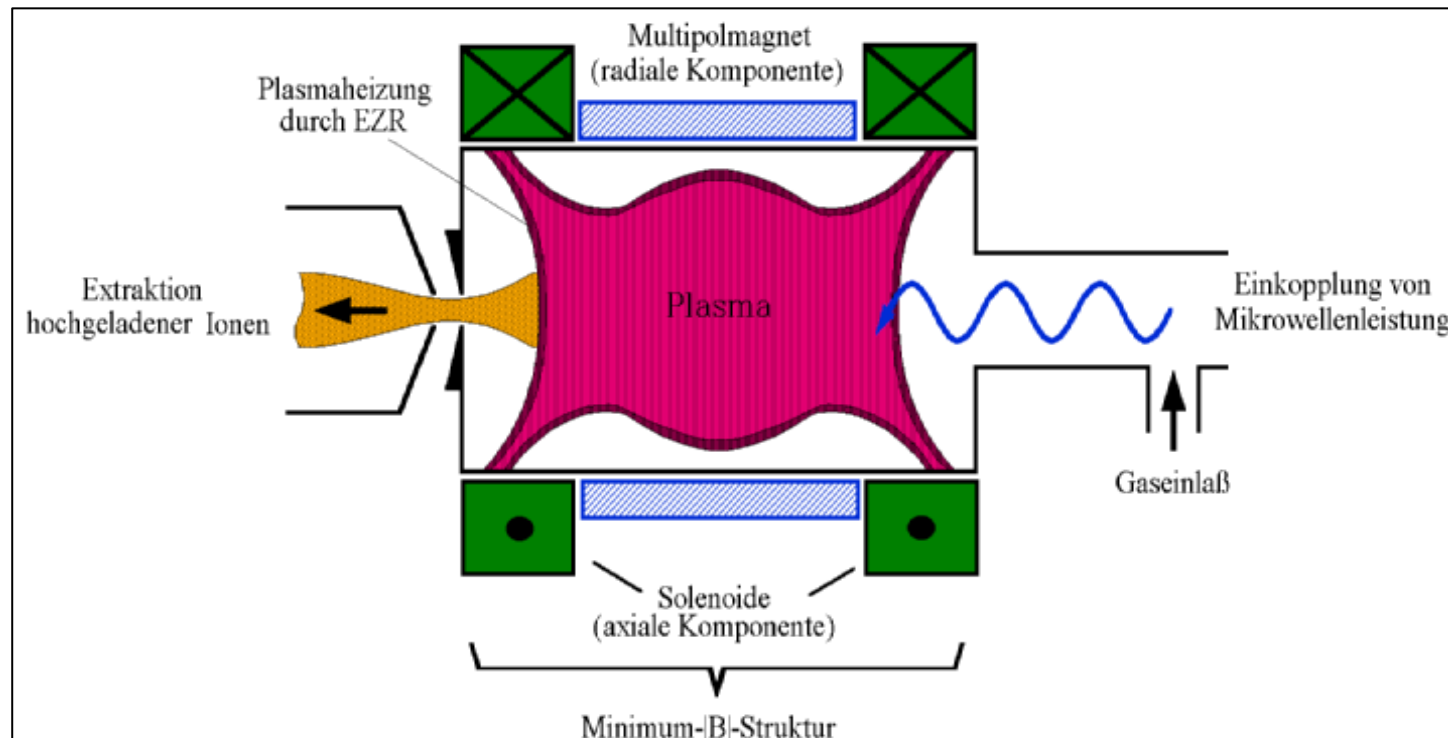
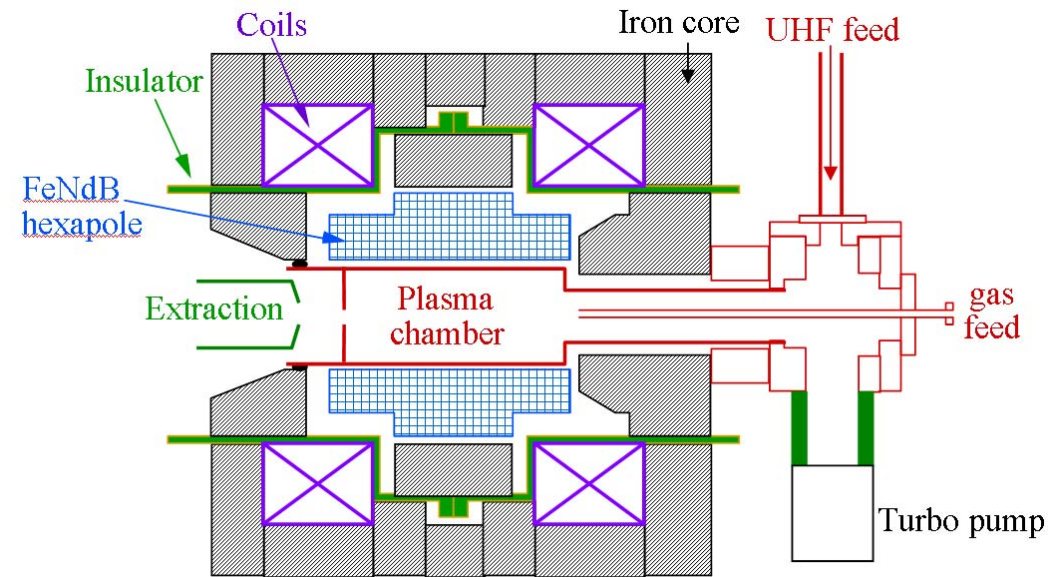


## Hochladungs-Ionenquellen:

EZR (Elektron Zyklotron Resonanz Ionenquelle)

Mikrowellen geheiztes Plasma

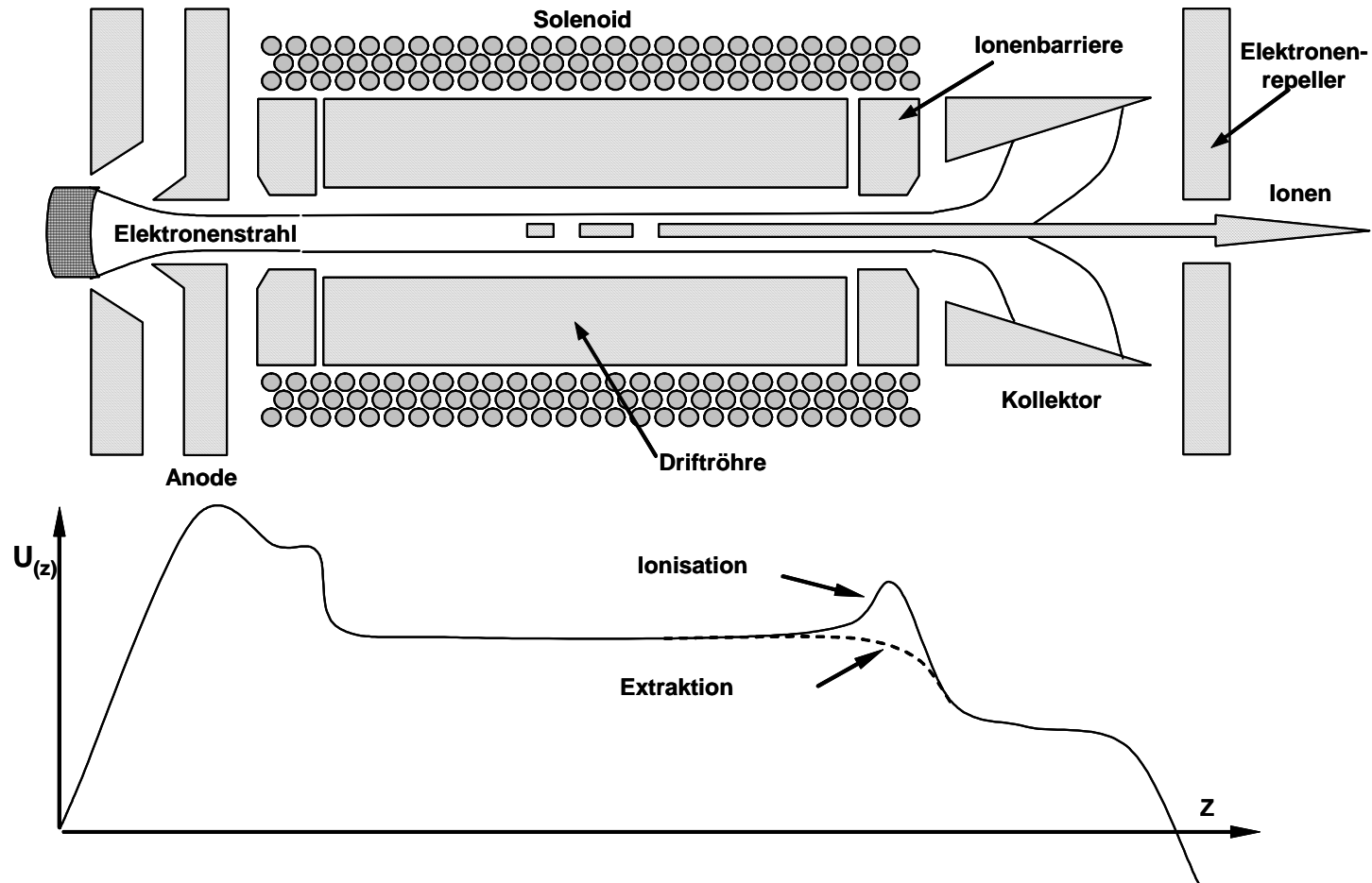
→ Magnetfeldeinschluss der Ionen durch Solenoid- und Multipolfeld





## Die Elektronenstrahl-Ionenquelle

EBIS (Electron Beam Ion Source); Ionen werden im Elektronenstrahl eingeschlossen  
Der Elektronenstrahl wird durch ein Solenoidfeld fokussiert



## Anwendung von Ionenstrahlen:

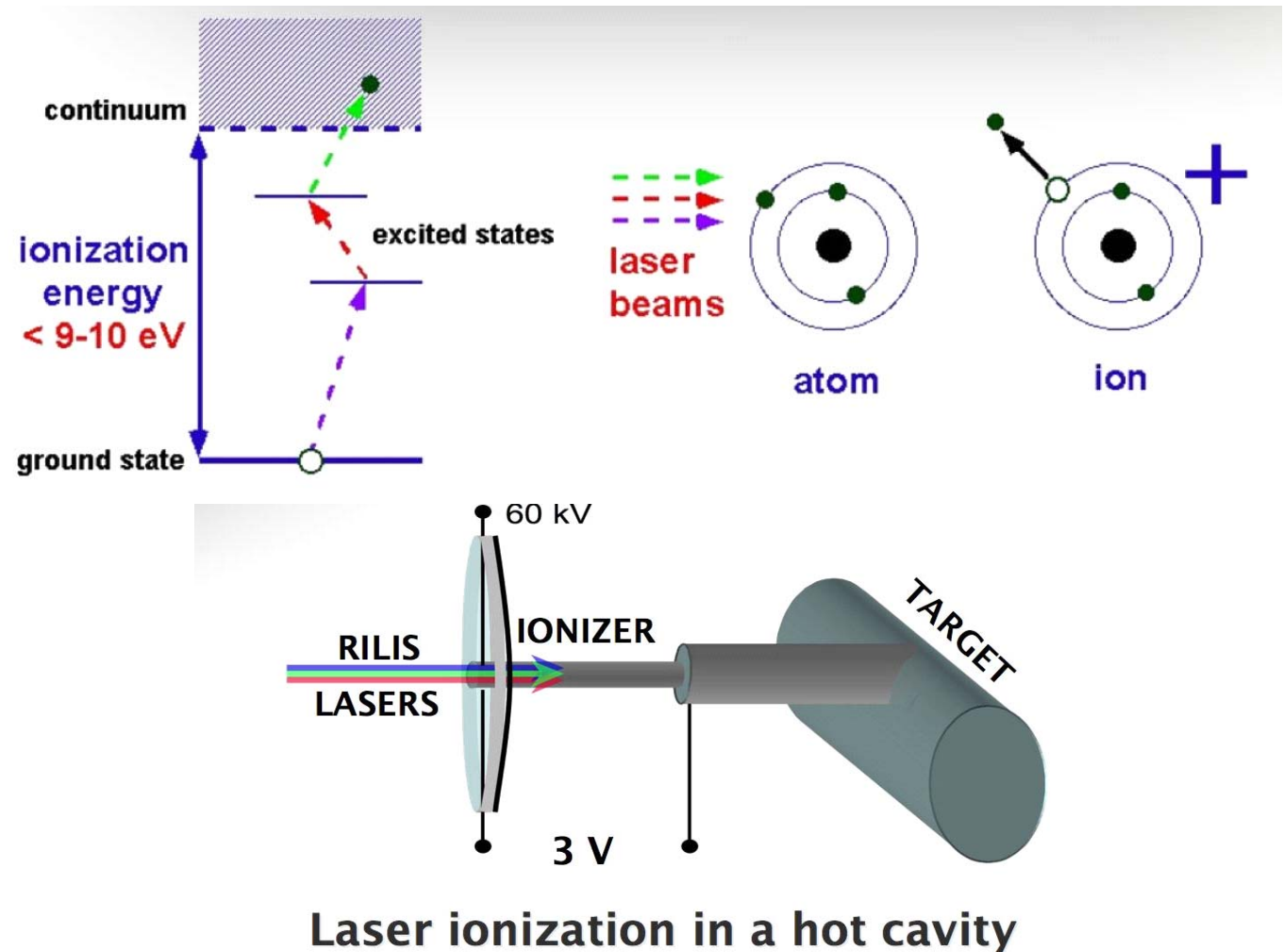
Sputtern, Plasmätzen, Ionenantriebe, Atomphysik, Implantation, Massenspektrometrie, Beschleunigern

Neben Plasma-Ionenquellen ist die Erzeugung von Ionen über resonante Laserionisation möglich

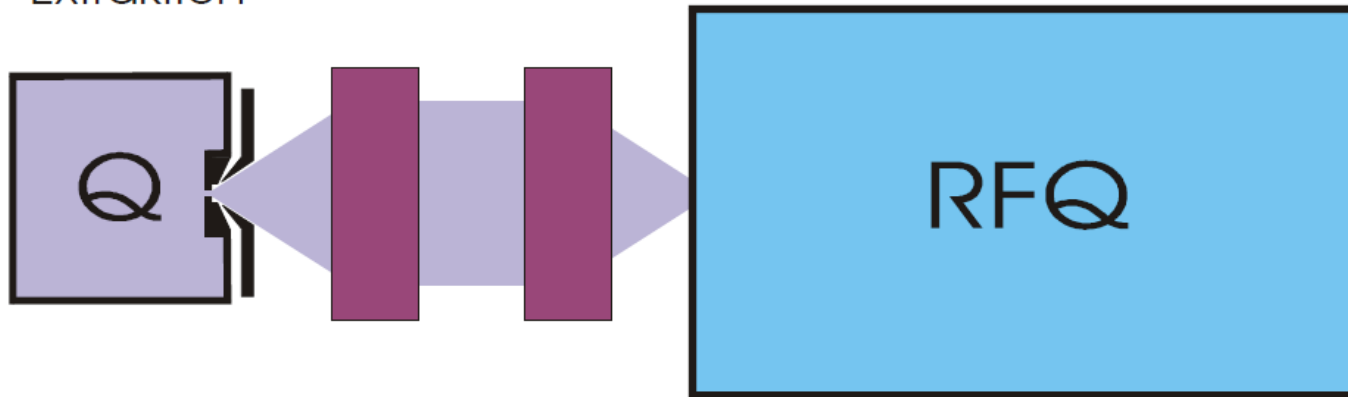
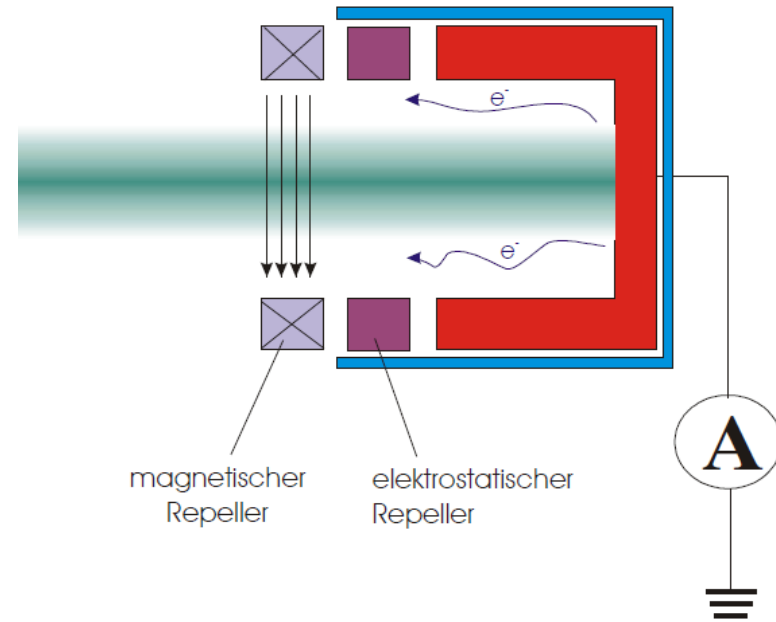
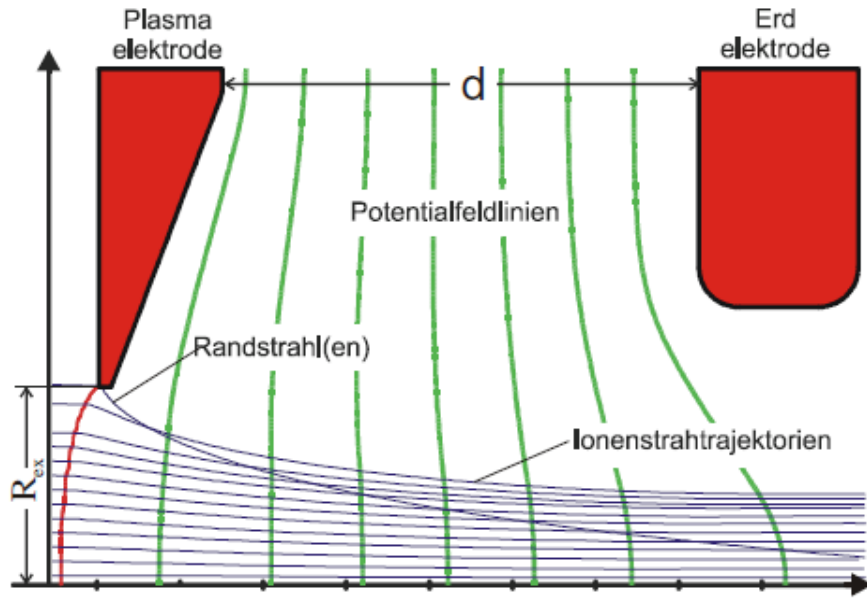
(**RILIS** resonant laser ionisation ion source)

Ionisierung durch resonante Laseranregung in mehreren Schritten:

Beispiel: ISOLDE RILIS

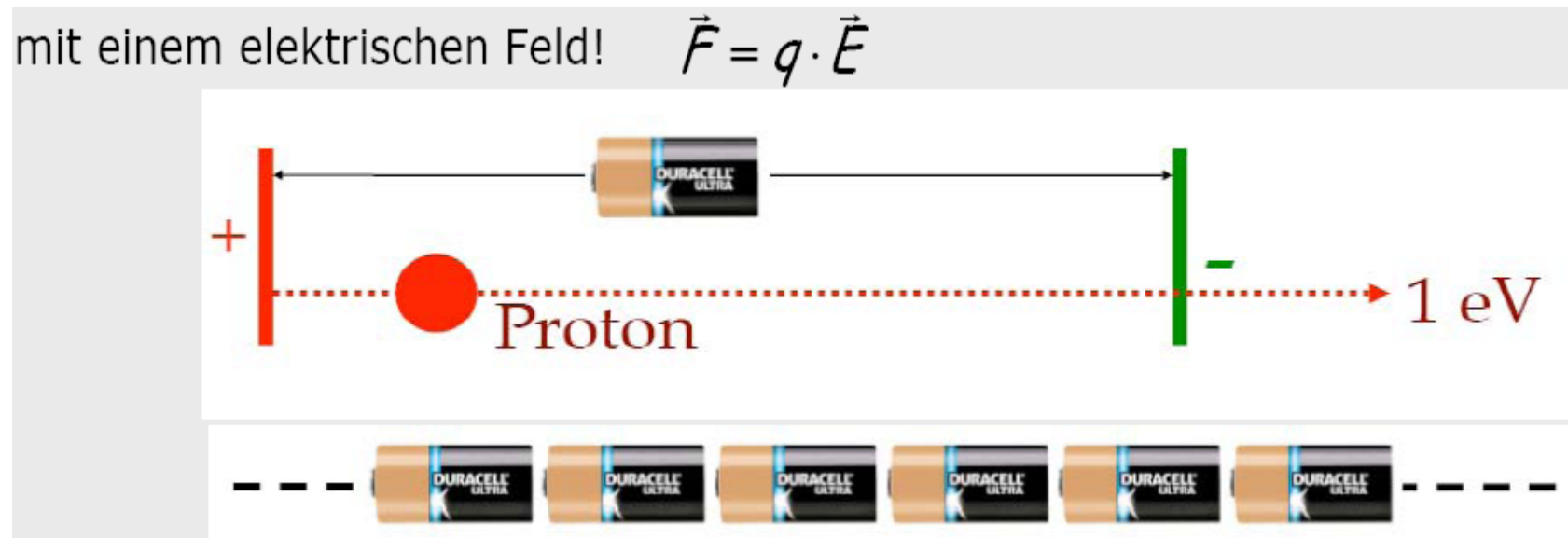


# Strahlformierung, -transport und Diagnostik:



## Wichtige Größen, die in der Vorlesung genutzt werden:

Die kinetische Energie von geladenen Teilchen wird gewöhnlich in *Elektronenvolt* (eV) angegeben. 1 eV ist die Energie, welches ein einfach geladenes Teilchen gewinnt, wenn es eine Potentialdifferenz von 1 Volt durchläuft.



$$1 \text{ eV} = e \cdot (1 \text{ Volt}) = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Die Masse des Elektrons beträgt  $m_e = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Die Masse des Protons beträgt  $m_p = 1.672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Die atomare Masseneinheit ist  $1 \text{ u} = 1.6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Ein Elektron mit der Energie von 1 eV bewegt sich mit der Geschwindigkeit von ca. 594 km/s