



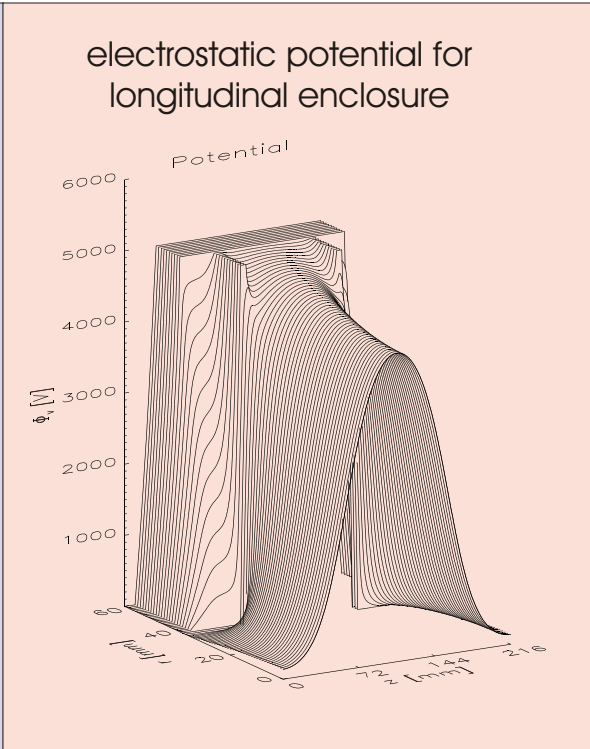
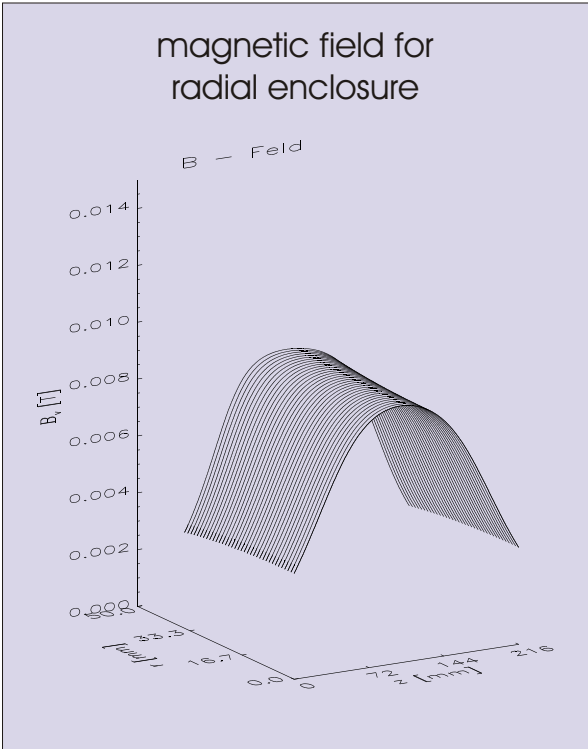
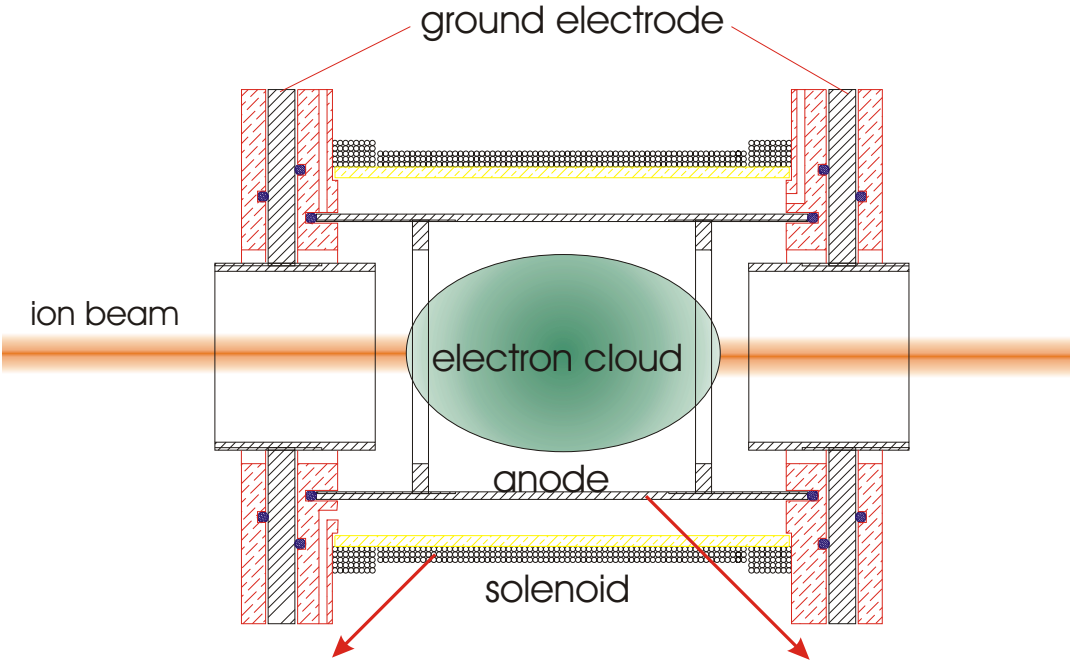
Low Energy Beam Transport and Diagnostic

Gabor - Linsen: Fünf Fragestellungen

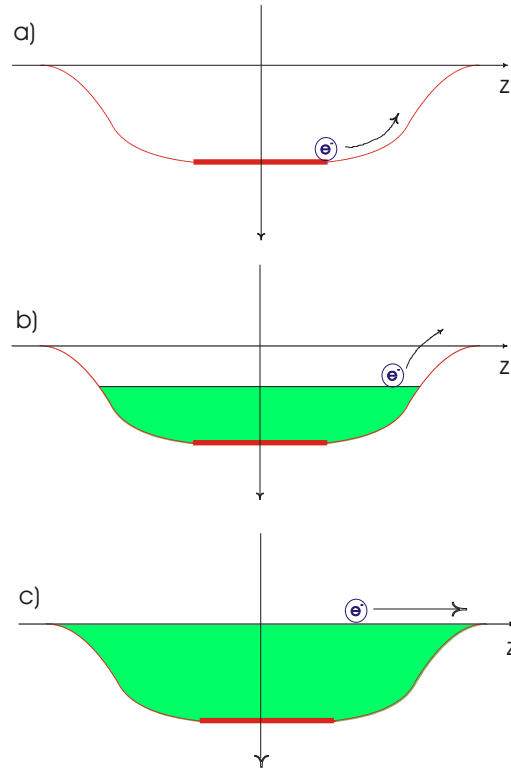
C. Gabor, A. Jakob, O. Meusel*, J. Pozimski, U. Ratzinger, J. Schäfer

Riezlern 2003

Aufbau und Funktion der Gabor - Linse



Longitudinaler Elektroneneinschluß



einfachster Ansatz

$$\Phi(r = 0) = 0$$

unter Annahme einer homogenen Verteilung
ist die Maximaldichte:

$$\rho_{e,\max, \text{long}} = \frac{4U_A \epsilon_0}{r_A^2}$$

für thermalisierte Elektronen gilt:

$$\rho_e(z, r = \text{konst}) = \rho_e(z = \Phi_{\max}, r = \text{konst}) \cdot \exp\left[-\frac{e\Delta\Phi(z, r = \text{konst})}{k_b \cdot T_e}\right]$$

dabei sind $\rho_e(z = \Phi_{\max}, r = \text{konst})$ und T_e freie Parameter, die über die longitudinalen Verluste gekoppelt sind.

Radialer Elektroneneinschluß

Bewegungsgleichung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern

$$m_e \frac{dv}{dt} = -e \cdot (E_{raum} + v \times B)$$

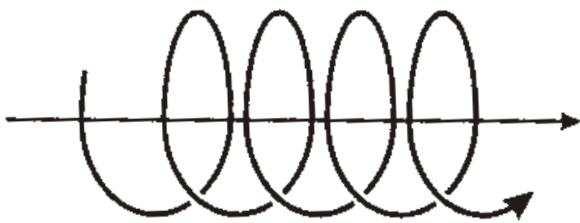
Winkelgeschwindigkeit

$$\Theta' = -\underbrace{\frac{eB_z}{2m_e}}_{\omega_l} + \frac{c}{r^2}$$

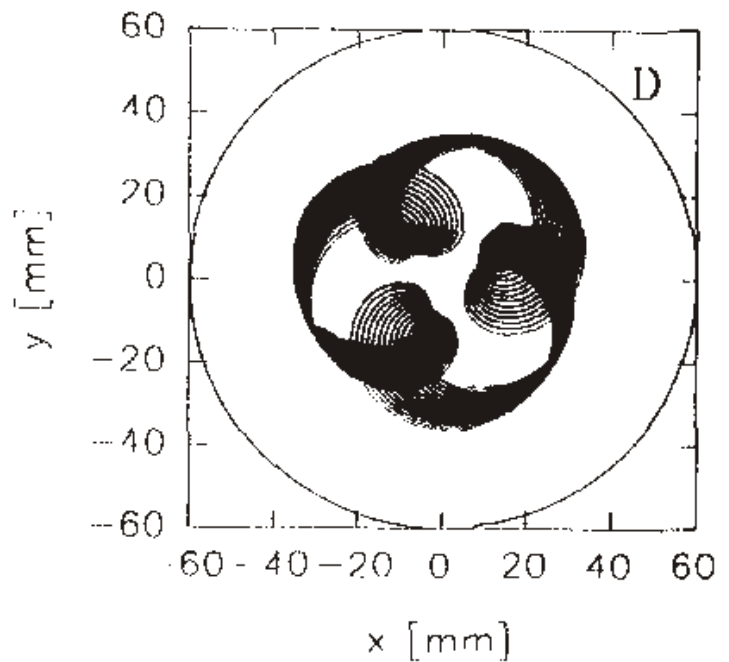
Maximaldichte

$$E(r) = \frac{1}{\epsilon_0 r} \int_0^r \rho_{\max}(r') r' dr$$

$$\rho_{e,\max,rad} = \frac{e\epsilon_0 B_z^2}{2m_e}$$



elektrische Diffusion in
gekreuzten elektrischen
und magnetischen Feldern

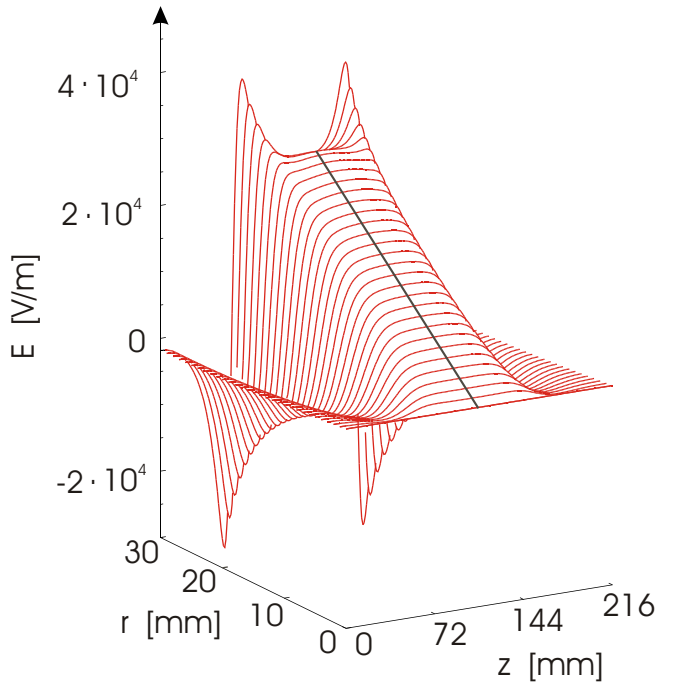
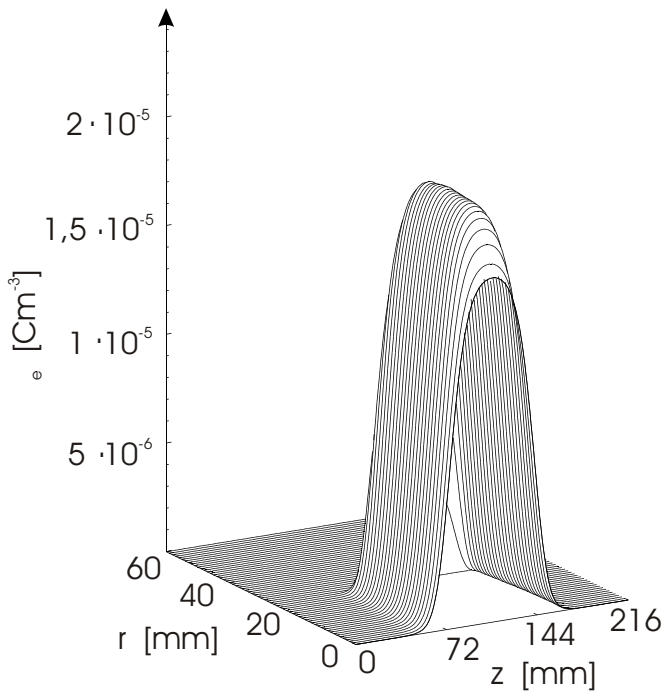


im Zylinderpotential

Überblick

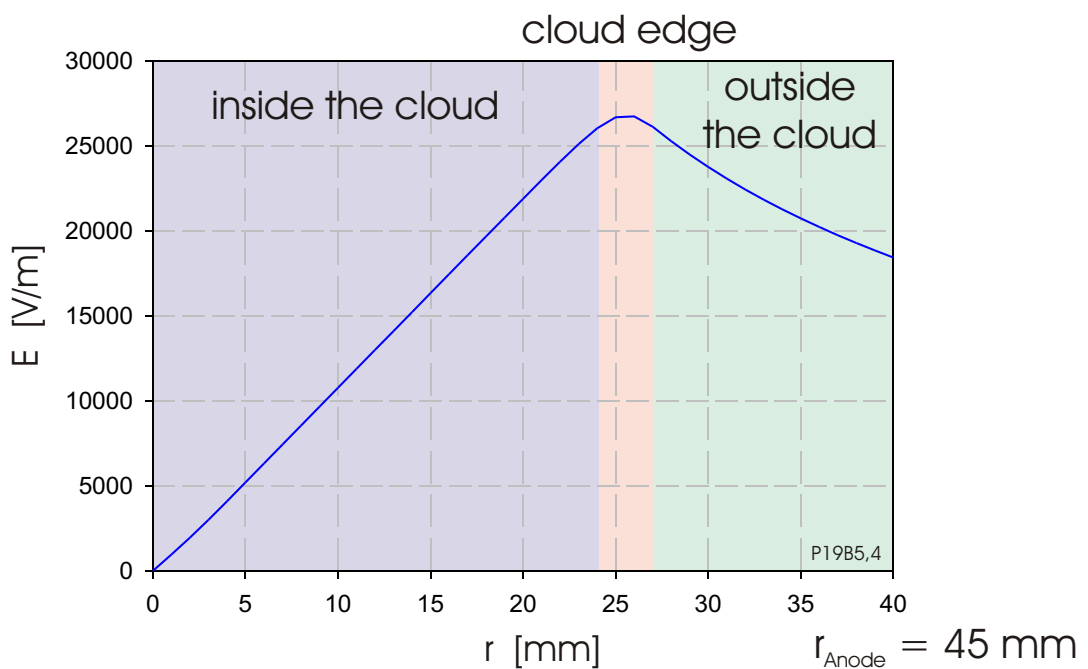
- ▶ Sind mit Gabor - Linsen lineare Abbildungen möglich?
- ▶ Woher stammen die in der Linse eingeschlossenen Ladungsträger?
- ▶ In welcher Zeit vollzieht sich die Füllung einer Gabor-Linse?
- ▶ Bei welchem Restgasdruck können Gabor - Linsen betrieben werden?
- ▶ Ist mit Gabor - Linsen eine nichtrotations-symmetrische Strahlanpassung möglich?
- ▶ Gabor - Linsen eignen sich gut, um die Emittanz eines Ionenstrahles in die Akzeptanz eines RFQ's abzubilden.

Elektrostatistische Fokussierung mit linearer Abbildung

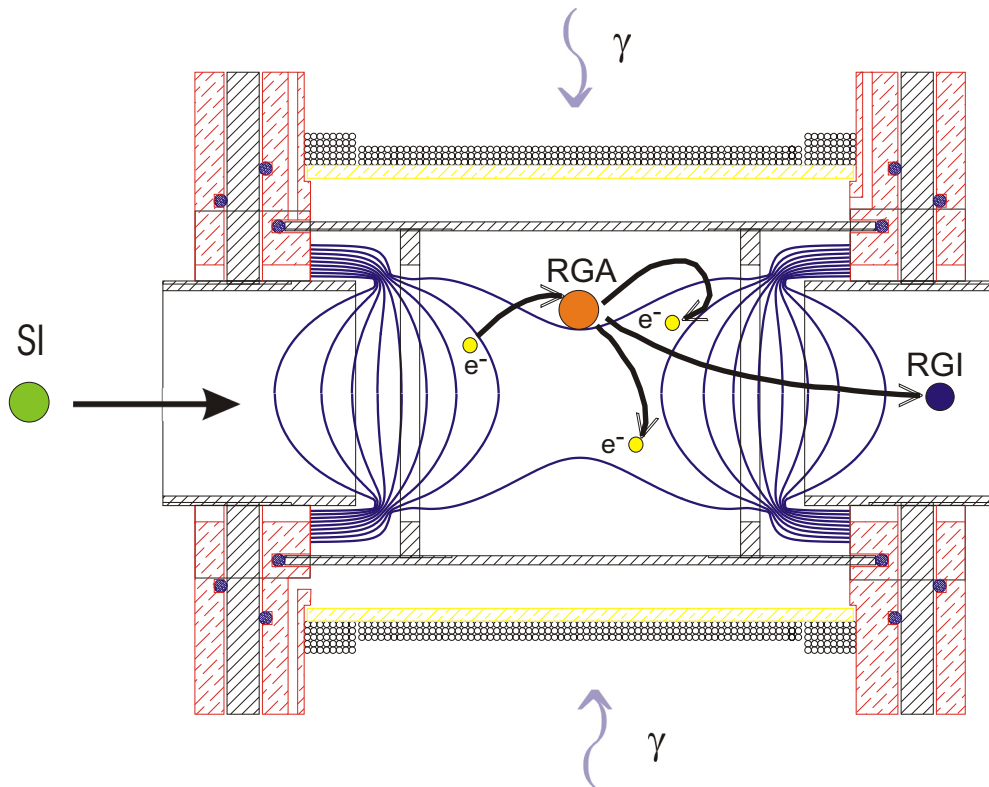


Eine Linearitätsbedingung ist:

$$r_{\text{Strahl}} < r_{\text{Wolke}}$$



Woher stammen die in der Linse eingeschlossenen Ladungsträger?



Reaktionsgleichung

Wirkungs-
querschnitt

Projektil / Energie

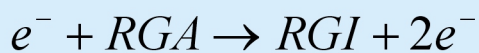


$$^* 8 E-21 m^2$$

$$He^+ U = 10 keV$$

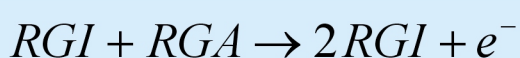


$$^{***} \text{Erzeugungsrate: } 1 E6 m^{-3}s^{-1}$$



$$^{**} 3,8 E-21 m^2$$

$$e^- U = 100 eV$$



$$^* 2 E-21 m^2$$

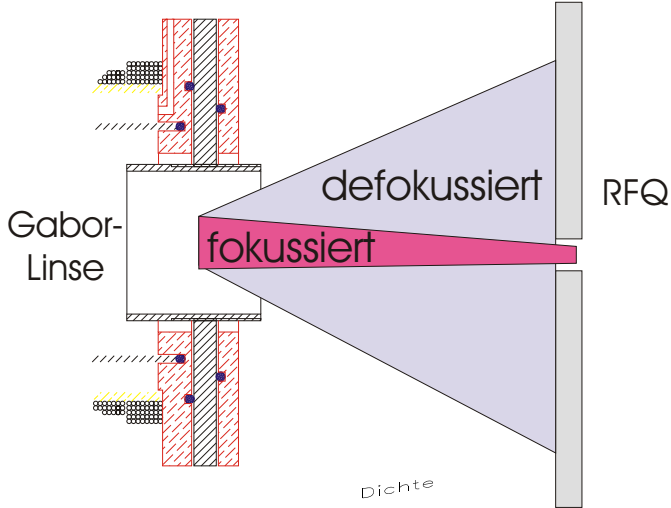
$$He^+ U = 3 keV$$

* R.K Janev, W.D. Langer, K. Evans, D.E. Post,
Elementary processes in hydrogen-helium plasmas, Springer, Heidelberg (1987)

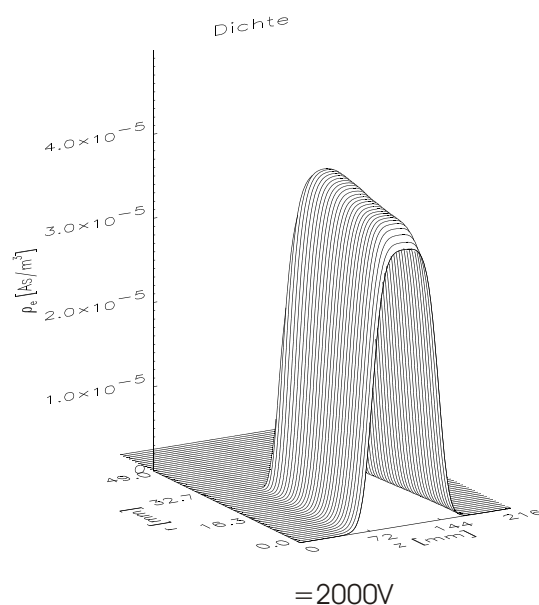
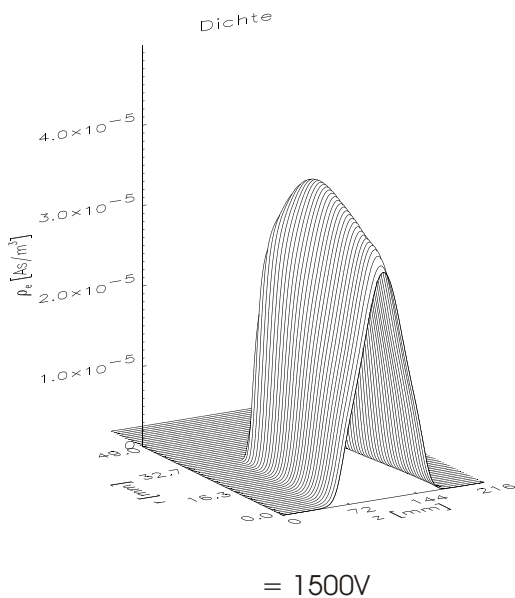
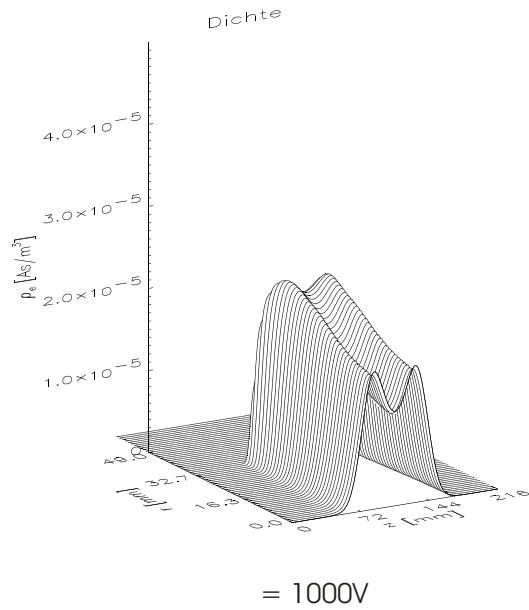
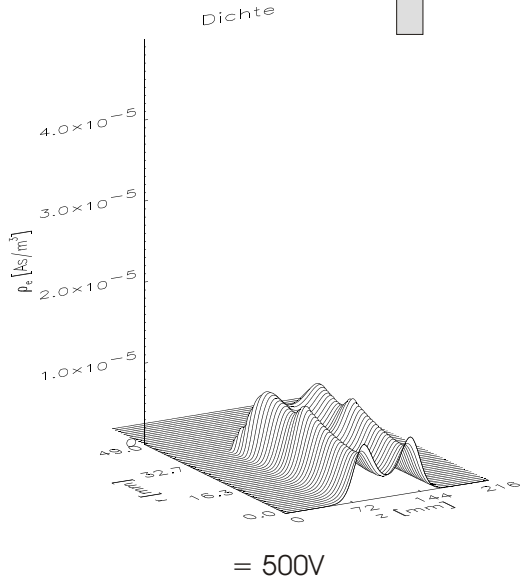
** Y.-K. Kim, W.R. Johnson, and M.E. Rudd, Phys. Rev. A 61, 034702 (2000).

*** H. Vogel, Gerthsen Physik, Springer, Heidelberg (1999)

In welcher Zeit vollzieht sich die Füllung einer Gabor-Linse?



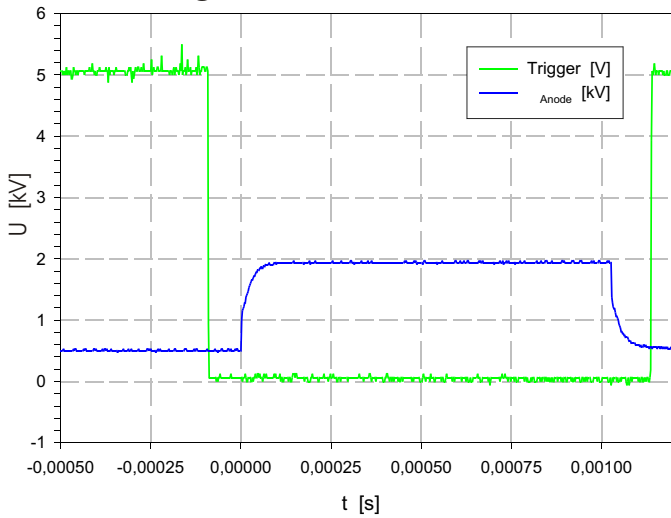
- Untersuchung des zeitlichen Verhaltens bei Änderung der äußeren Felder
- Reduktion der Leistungsdichte nach dem RFQ



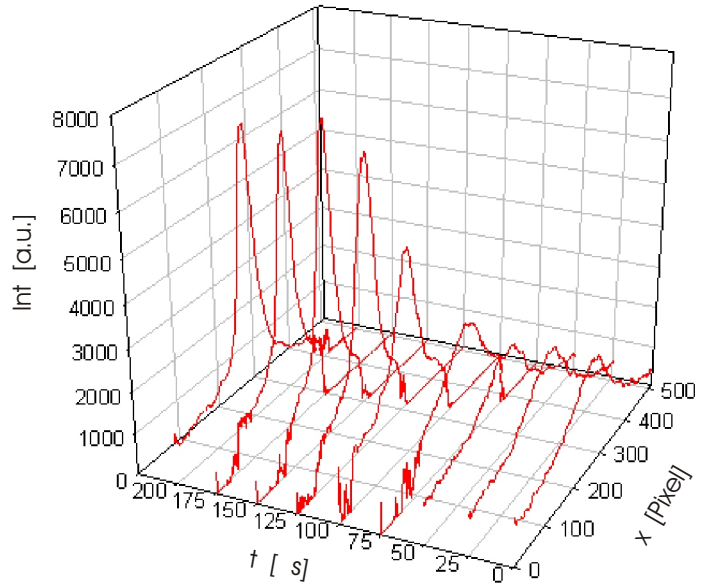
Pulsung der Gabor-Linse erste Meßergebnisse

$f = 50 \text{ Hz}$
Pulslänge = 1 ms

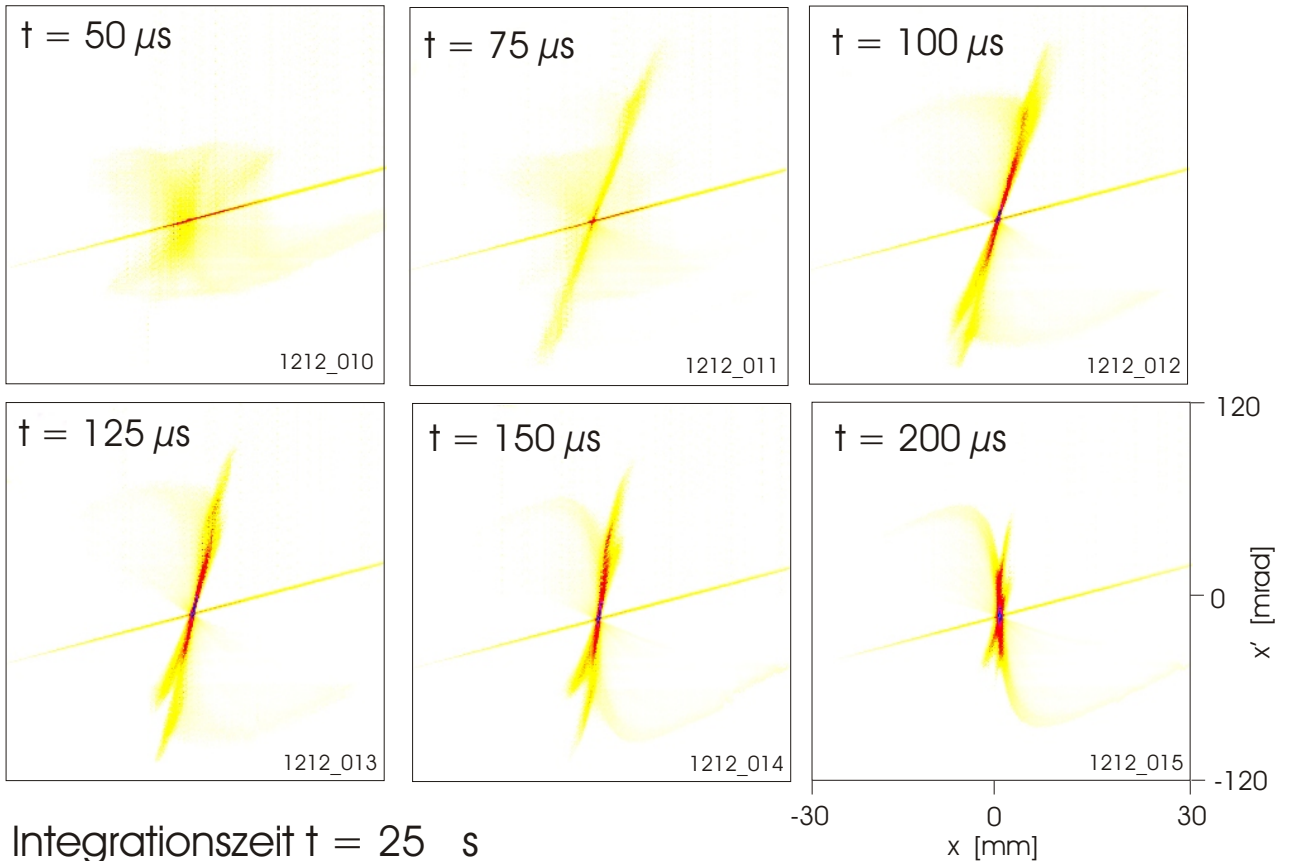
Pulsung des Anodenpotentials



zeitliche Entwicklung
des Strahlprofils



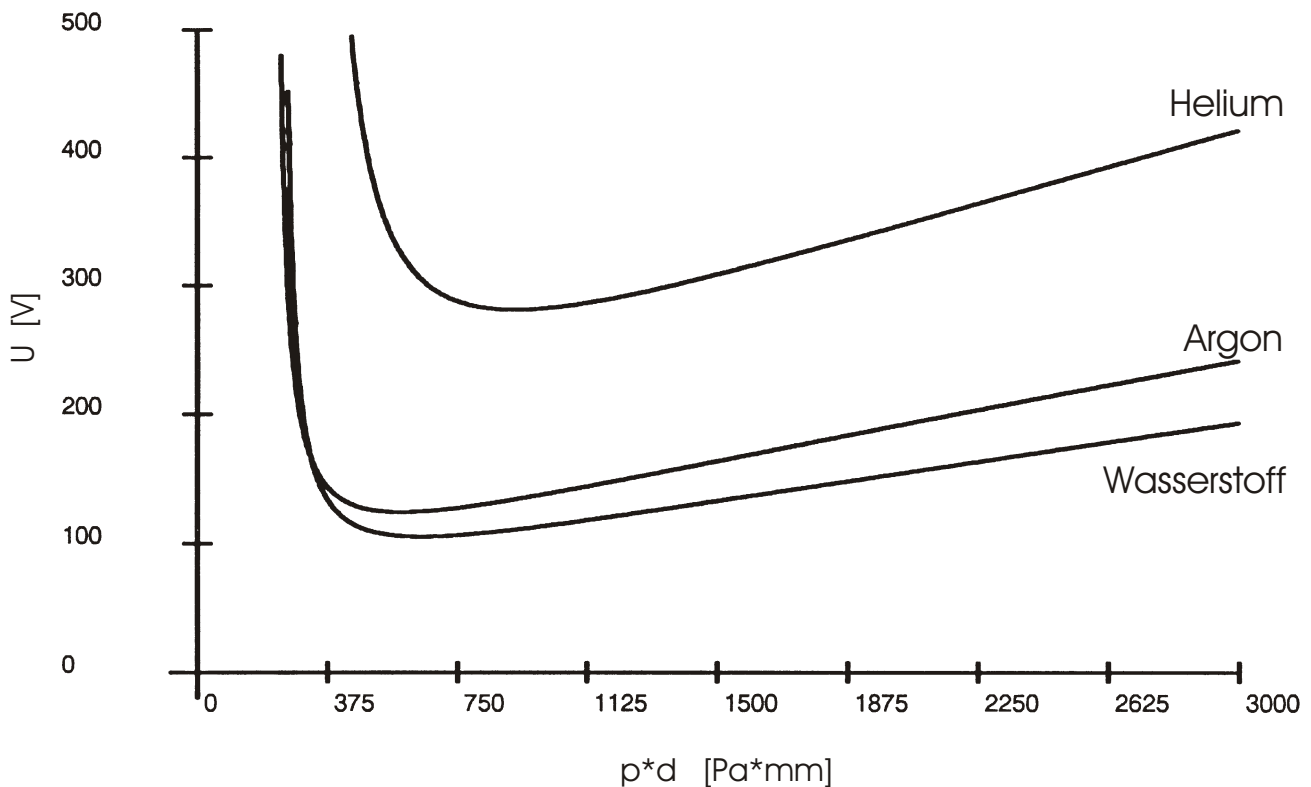
zeitliche Entwicklung der Phasenraumverteilung



Bei welchem Restgasdruck können Gabor - Linsen betrieben werden?

Zündbedingung für ein Plasma nach Paschen

$$E \cdot d = U_z = \frac{\pi \delta^2 \sqrt{2} \cdot U_{Ion} \cdot pd}{k_B T} \cdot \frac{1}{\ln \frac{\pi \delta^2 \sqrt{2} \cdot pd}{k_B T} - \ln \ln \frac{1+\gamma}{\gamma}}$$

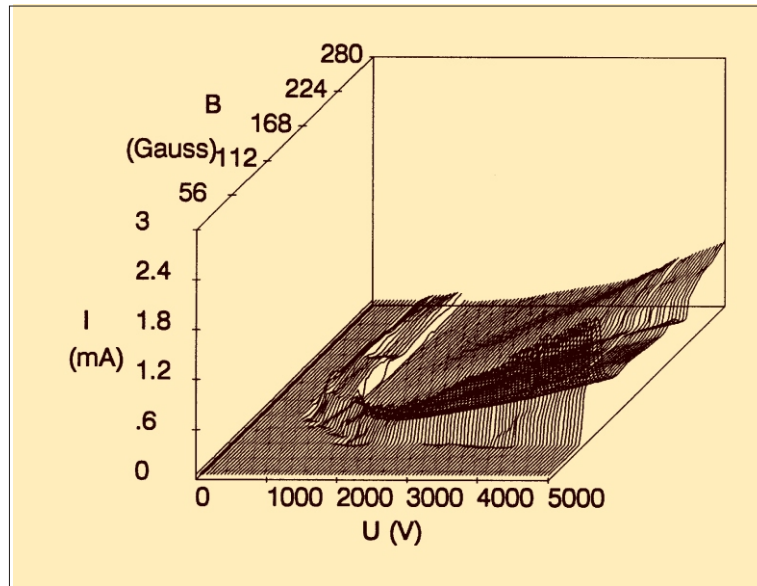


Die Kurven trennen das Gebiet der Gasentladung (oberhalb) von dem Gebiet in dem keine Gasentladung stattfindet.

Zustand unterhalb der Paschenkurve

- nichtneutrales Plasma
- Strahlfokussierung möglich

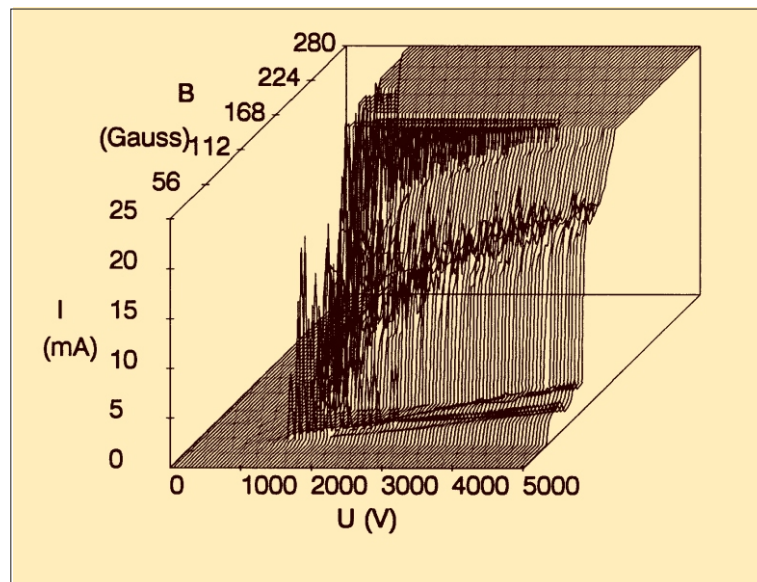
Argon
 $p = 1E-4$ mbar



Zustand oberhalb der Paschenkurve

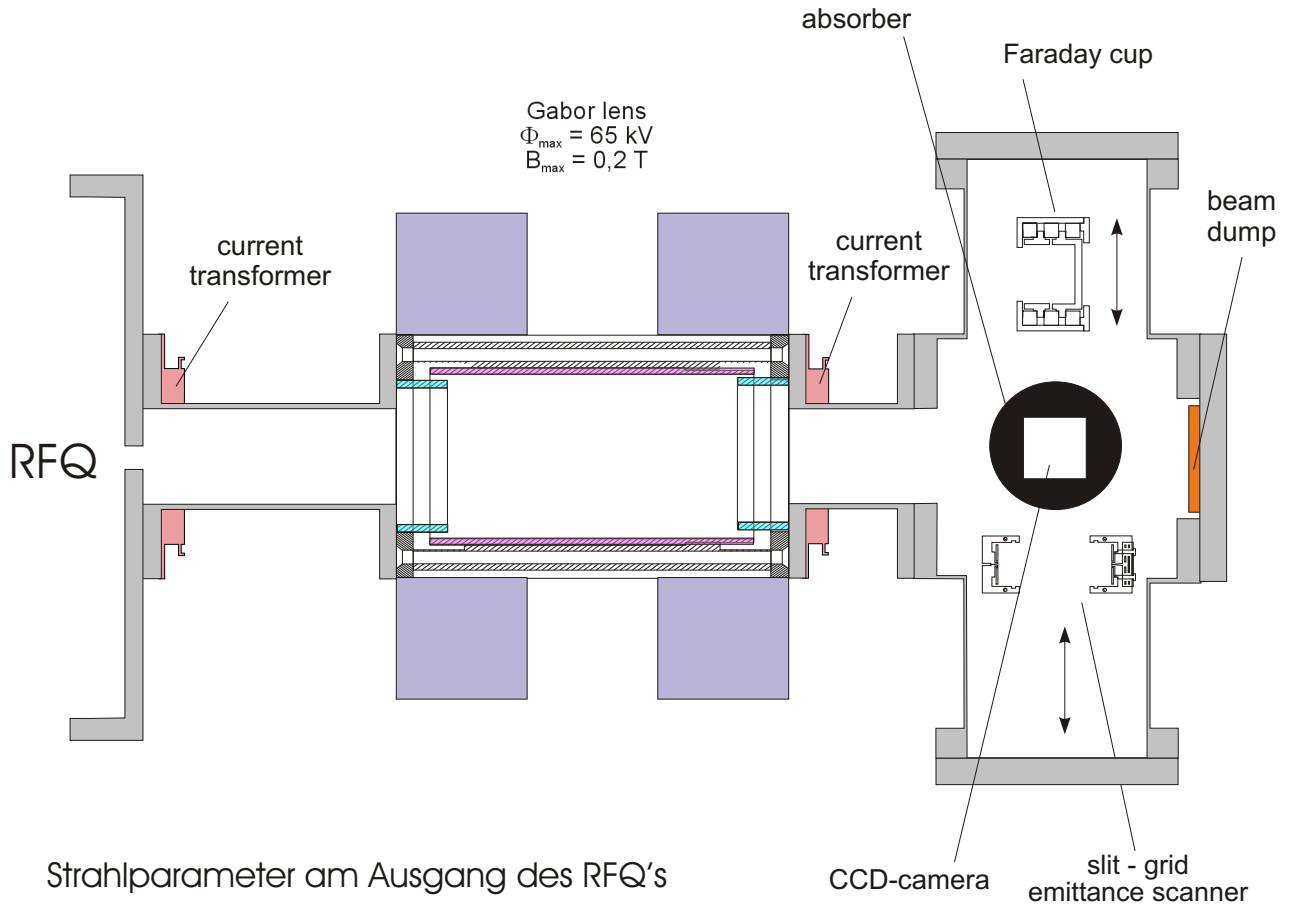
- quasineutrales Plasma
- für Ionenstrahlen undurchsichtig
- "Extraktion" von Restgasionen aus der Linse (Penningquelle)

Argon
 $p = 3E-4$ mbar

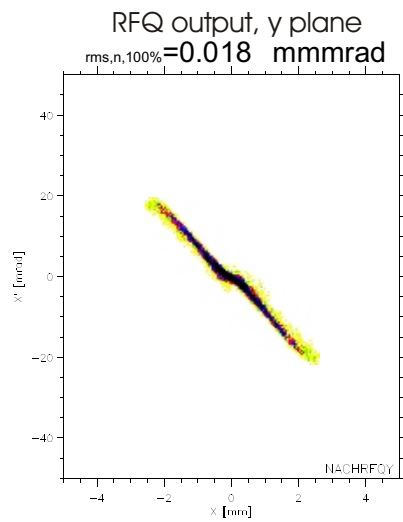
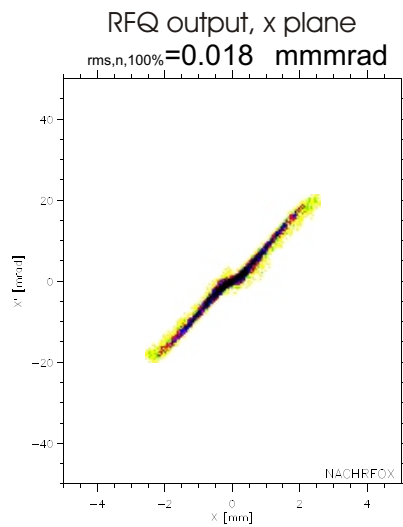


Low Energy Beam Transport and Diagnostic

Ist ein Strahltransport mit gebrochener rotationssymmetrie der Anode sinnvoll?



$U = 440 \text{ keV}$
 $I = 10 \text{ mA}$



$$\rho_{e,\max, long} = \frac{4U_A \epsilon_0}{r_A^2}$$

U_A	anode potential
ϵ_0	permittivity of free space
$\rho_{e,\max, long}$	electron density
r_A	anode radius

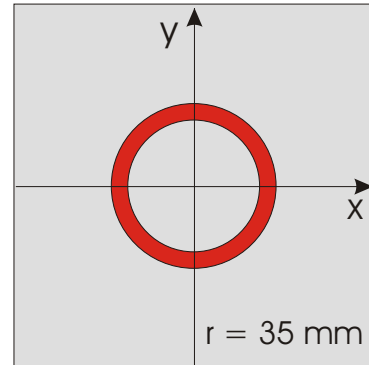
Low Energy Beam Transport and Diagnostic

Anodenform rotationssymmetrisch

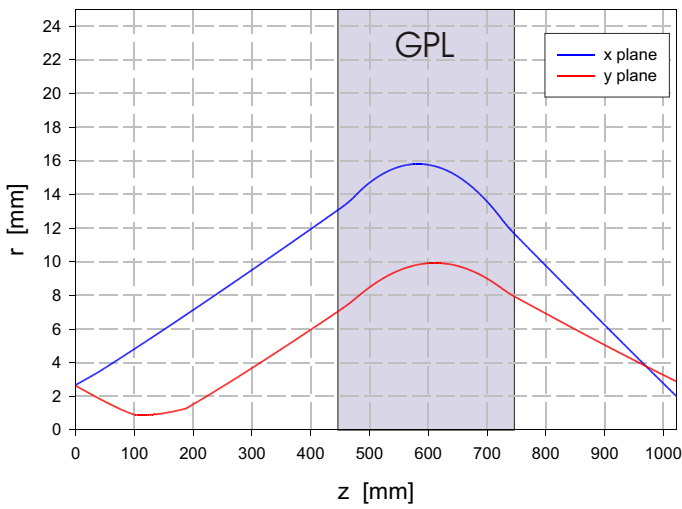
Linsenparameter

$$B_{z,max} = 3E-2 \text{ T}$$

$$\Phi_{anode} = 45 \text{ kV}$$

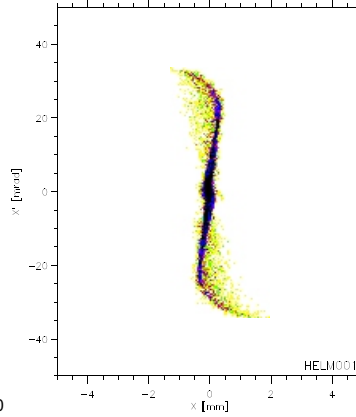


Strahlenvelope



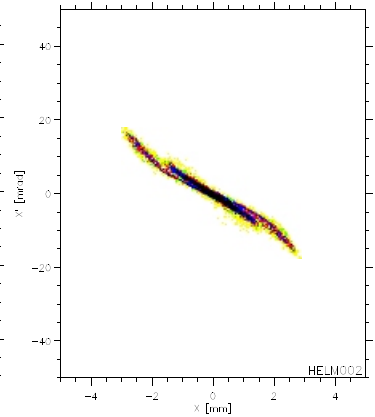
final focus, x plane

rms,n,100%=0.056 mmmrad



final focus, y plane

rms,n,100%=0.021 mmmrad

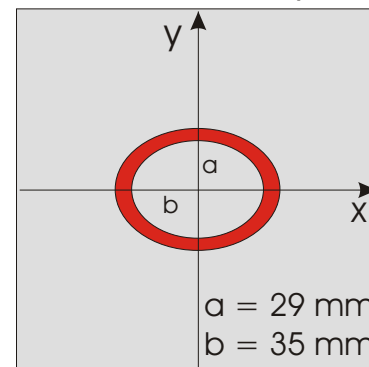


Anodenform elliptisch

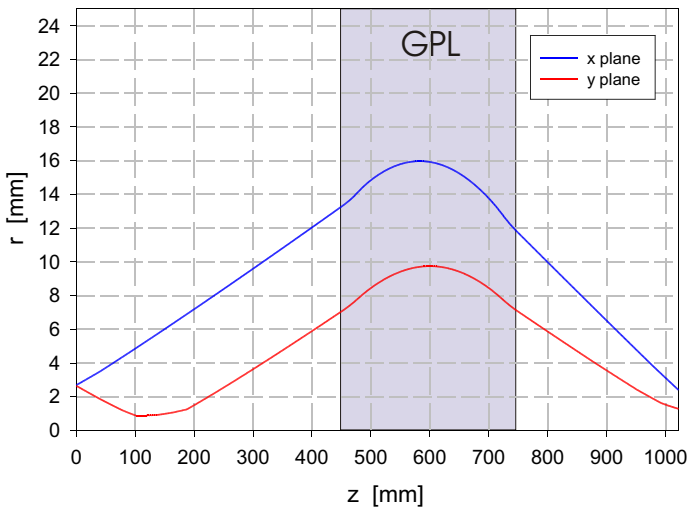
Linsenparameter

$$B_{z,max} = 0,1 \text{ T}$$

$$\Phi_{anode} = 45 \text{ kV}$$

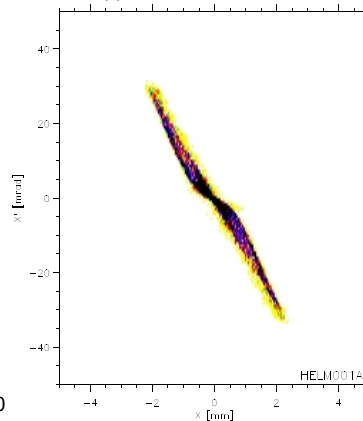


Strahlenvelope



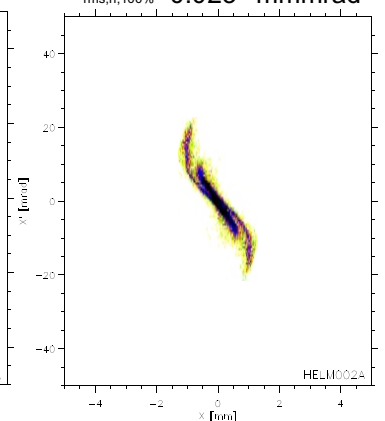
final focus, x plane

rms,n,100%=0.036 mmmrad

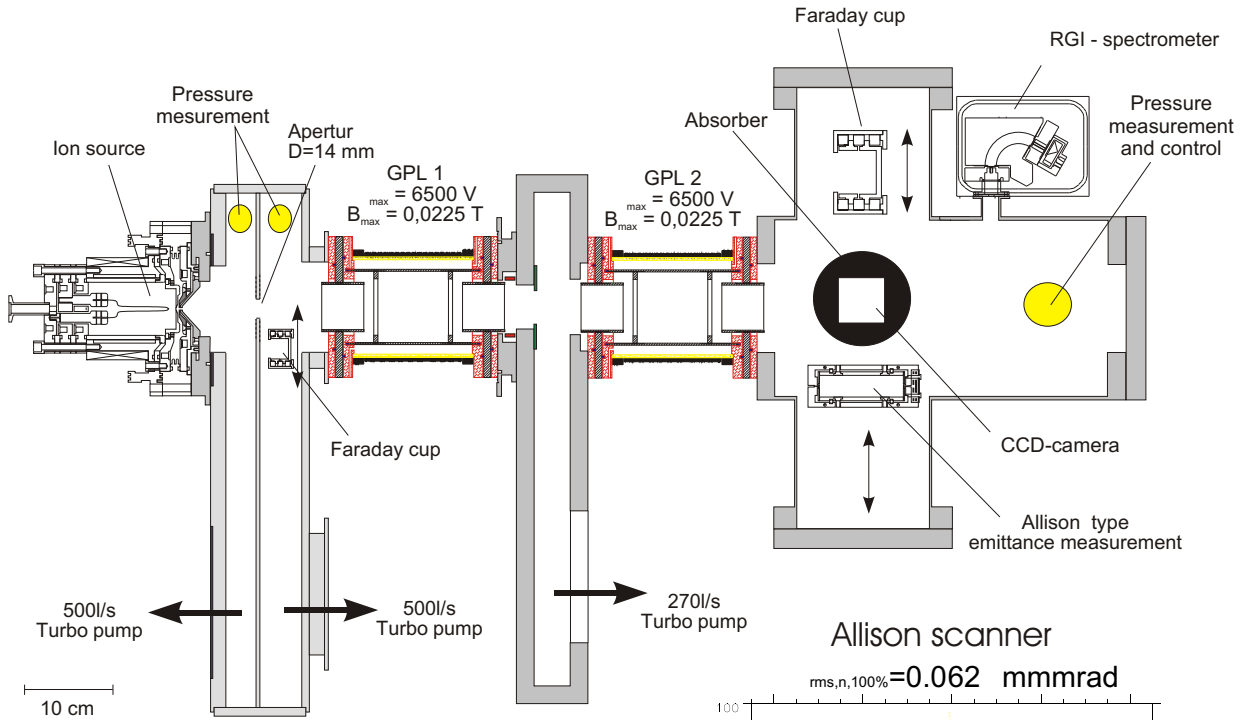


final focus, y plane

rms,n,100%=0.023 mmmrad



Exemplarische Messung nach einer LEBT - Sektion bestehend aus zwei Gabor - Linsen



beam parameter

$$U_{\text{ex}} = 14 \text{ kV}$$

$$I_{\text{ex}} = 8,61 \text{ mA}$$

lens parameter

$$B_{z,\text{max}} = 7,9\text{E-}3 \text{ T}$$

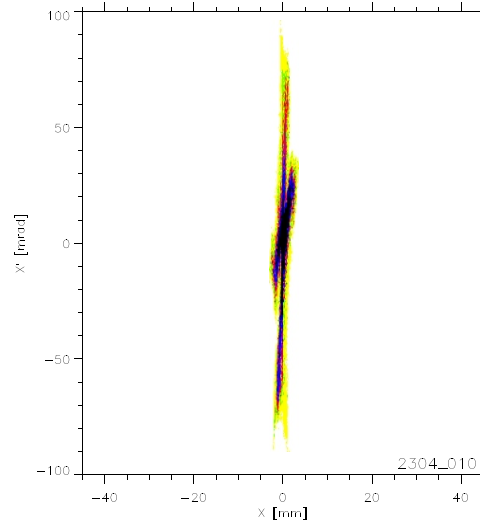
$$\Phi_{\text{anode}} = 1,85 \text{ kV}$$

$$B_{z,\text{max}} = 8,1\text{E-}3 \text{ T}$$

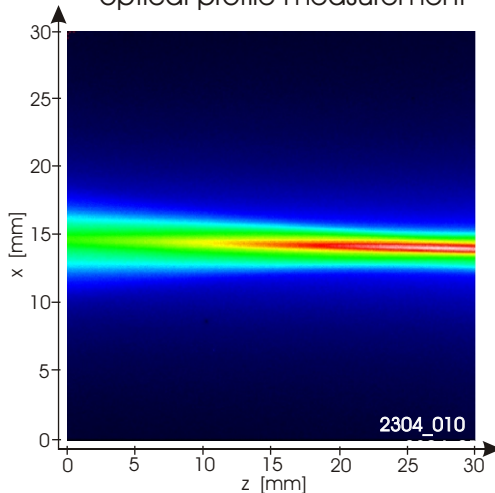
$$\Phi_{\text{anode}} = 1,95 \text{ kV}$$

Allison scanner

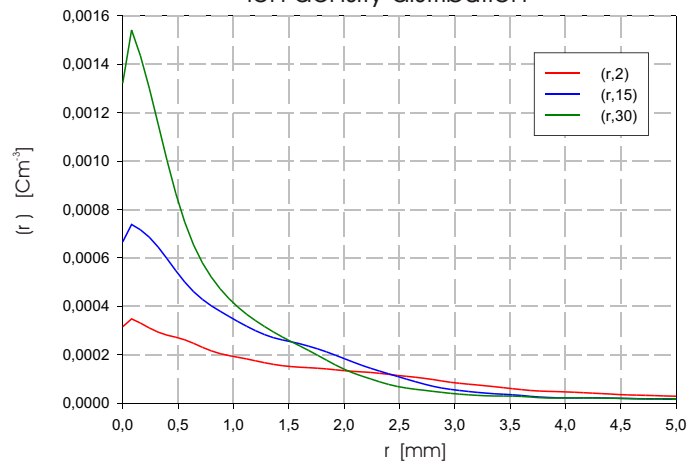
$$\text{rms}, n, 100\% = 0.062 \text{ mmmrad}$$



optical profile measurement



ion density distribution





Zusammenfassung

offene Fragen bei der Linsendiagnostik:

- Temperaturbestimmung (opt. Spektroskopie)
- Dichtebestimmung (Mikrowelleninterferometrie)
- Dichteverteilung (Fadenstrahlexperiment)
- Aufbauzeit als Funktion des Restgasdruckes
- Transport gepulster Strahlen

offene Fragen bei den Einsatzmöglichkeiten:

- Hochstrominjektoren
- MEBT - Sektionen
- Ringe
- H^- - Transport