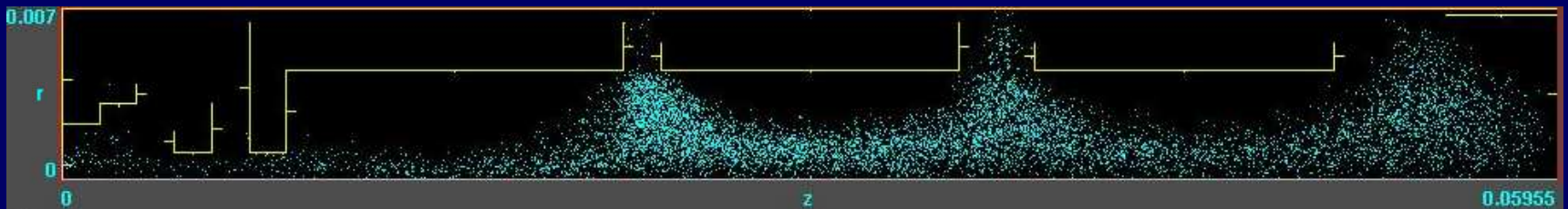
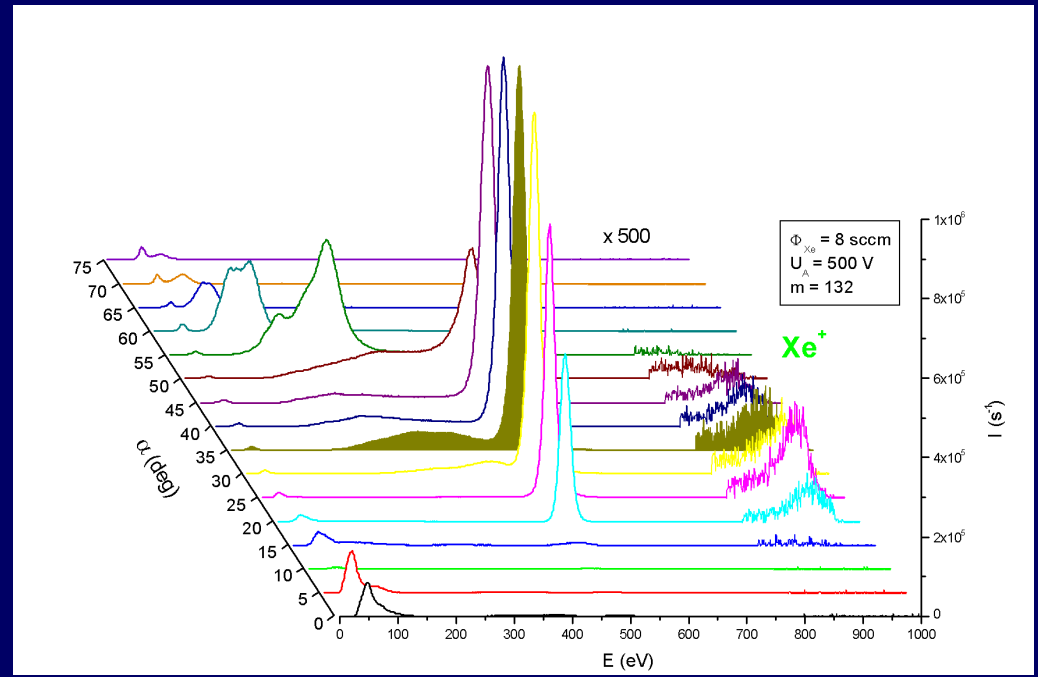
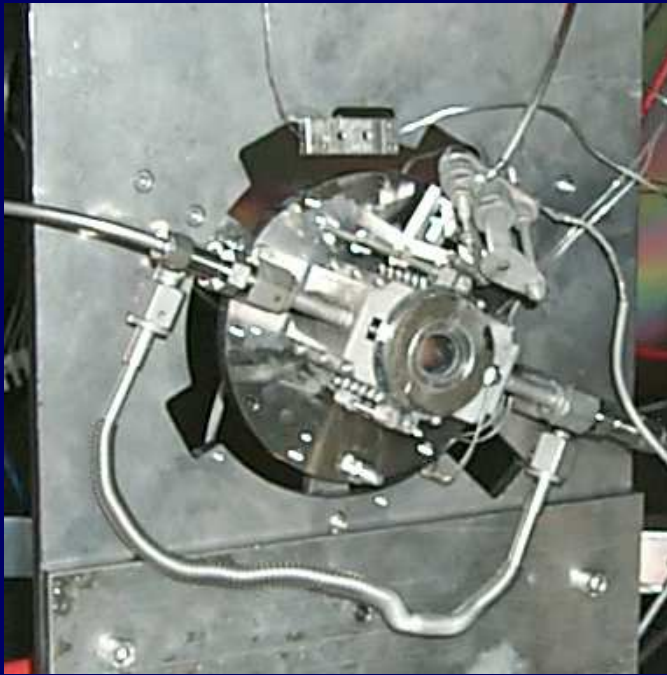

Modellierungsansatz für eine DC-Heißkatodenplasmaanregung

ST. JANKUHN

E. HARTMANN, H. NEUMANN, F. SCHOLZE, M. TARTZ

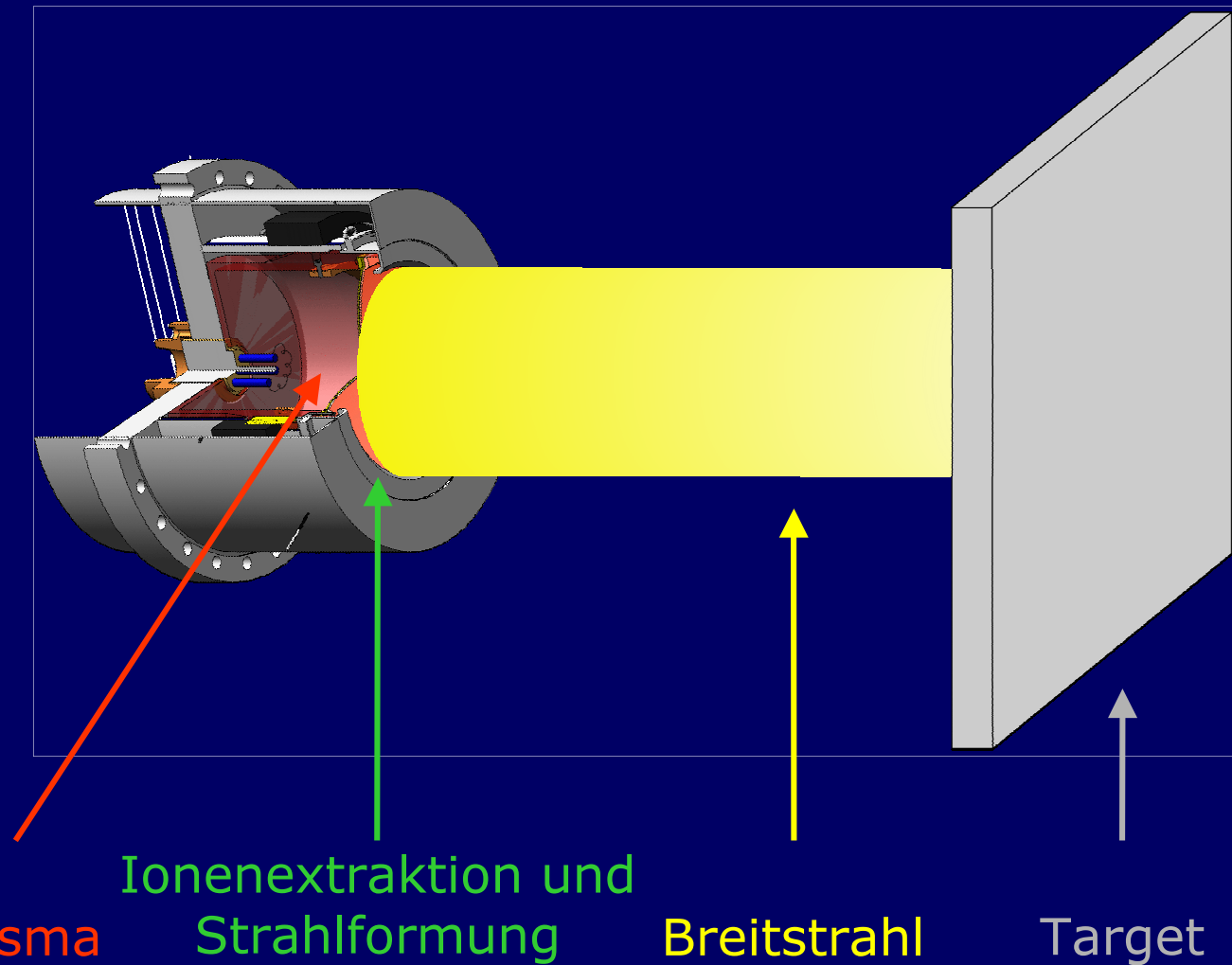


Rückblick: HEMP-Thruster



Ionenstrahltechnologischer Gesamtprozess

ISQ120DC



Plasma

Ionenextraktion und
Strahlformung

Breitstrahl

Target



Anwendungsbeispiele

Schrägschliffanlage



Ionenstrahlanlage



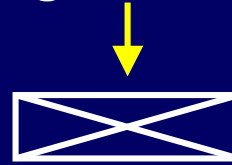
Plasmamodellierung

XOOPIC-Modell ISQ120DC

DielectricRegion

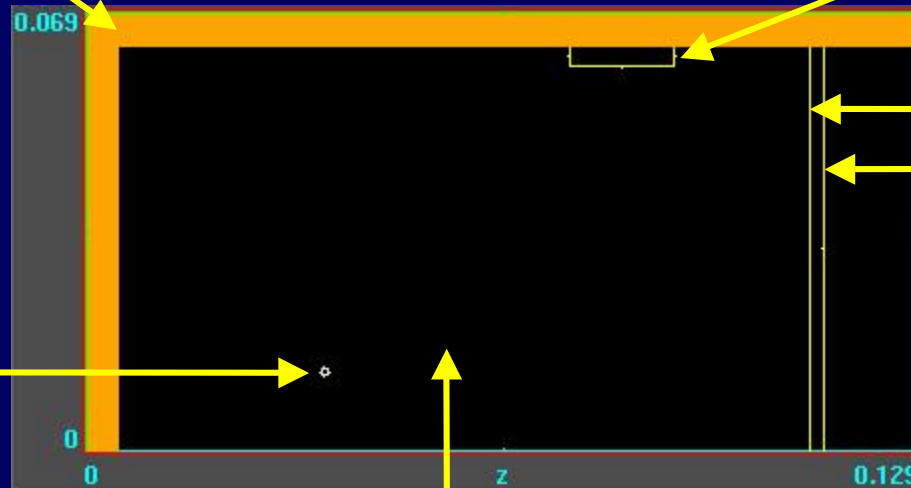
$$\epsilon_r = 9.2$$

MagneticField



Equipotential

$$C = 480 \text{ V}$$



BeamEmitter

$$C = 400 \text{ V}$$

$$T = 3000 \text{ K}$$

Equipotential

$$C = 400 \text{ V}$$

$$C = -470 \text{ V}$$

Conductor

MCC|Ar

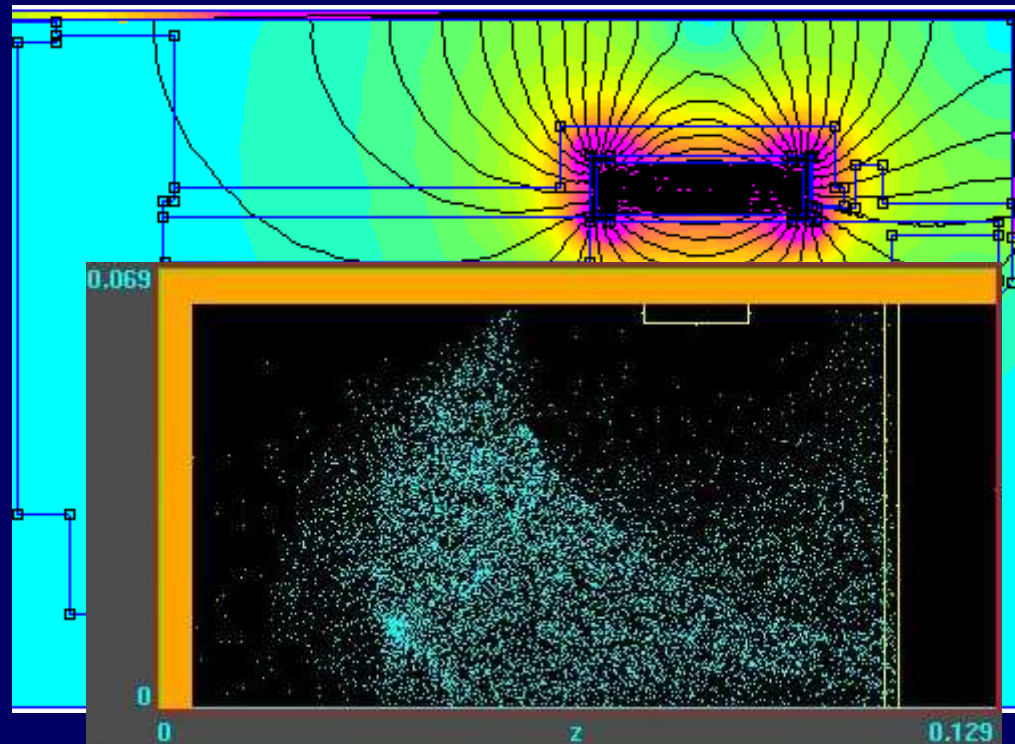
$$p = 4e-3 \text{ Torr}$$

http://www.txcorp.com/products/OOPIC_Pro/



MagneticField I

FEMM-Modell ISQ120DC



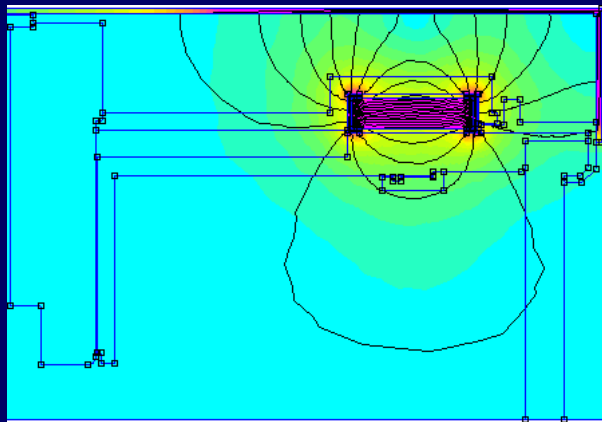
ISQ120DC-19

$t = 3.0006e-07 \text{ s}$

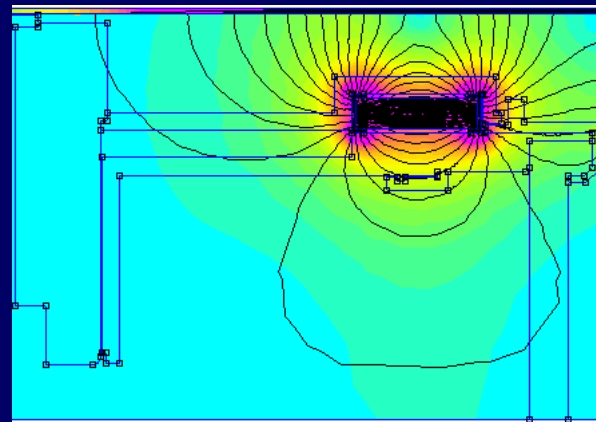


MagneticField II

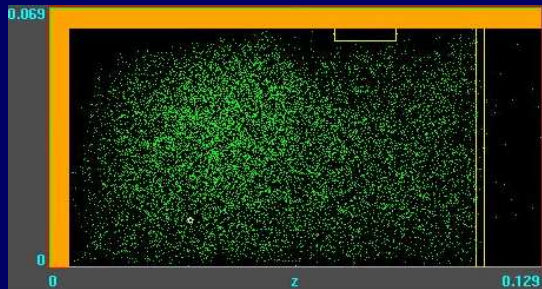
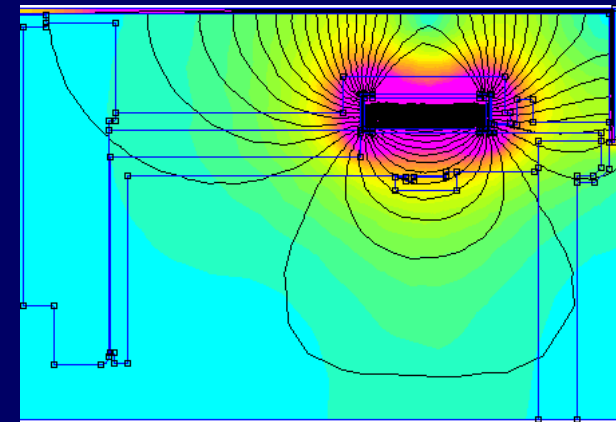
AlNiCo250



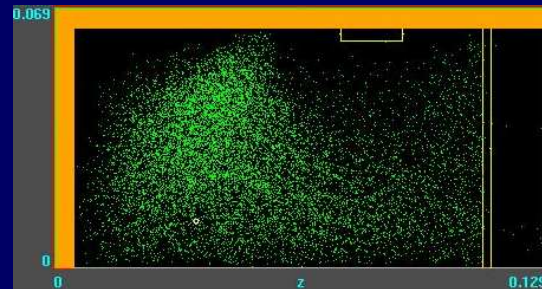
AlNiCo500



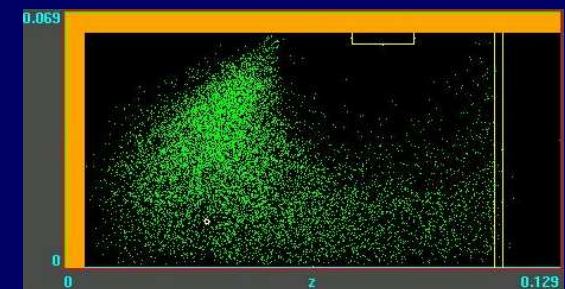
AlNiCo8



ISQ120DC-21



ISQ120DC-19



ISQ120DC-22

$t = 6.0006e-07$ s



BeamEmitter

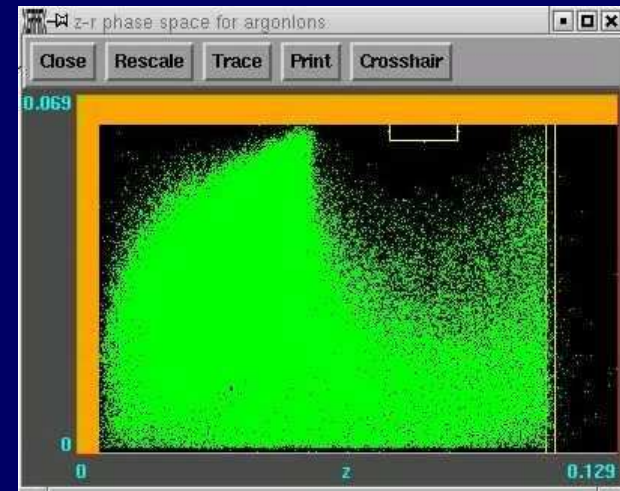
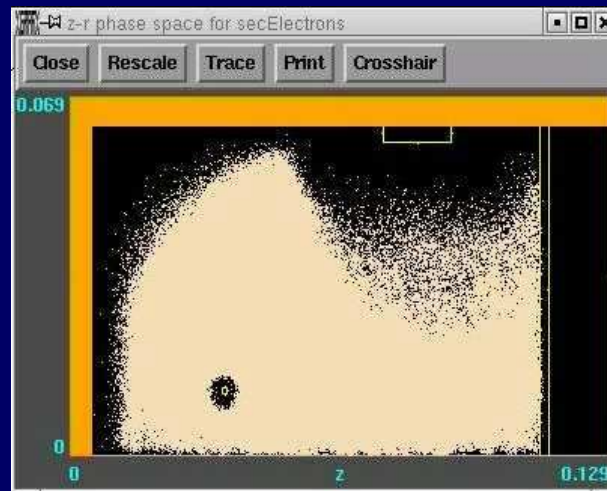
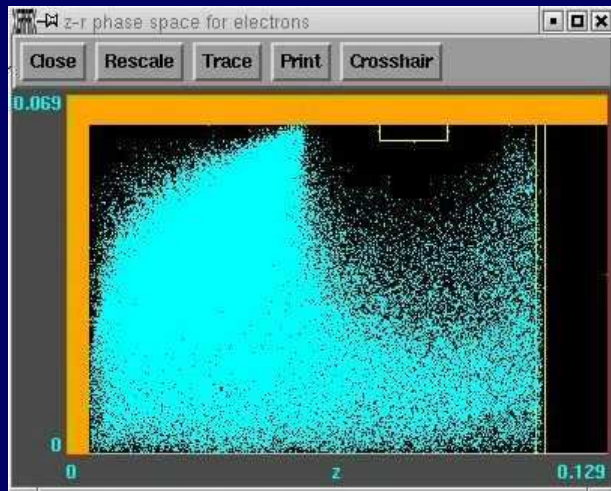
Elektronentemperatur

$$T_e = 3000 \text{ K} \rightarrow E_e = 0,26 \text{ eV}$$

$$v_e = (2E_e/m_e)^{1/2} = 301560 \text{ m/s}$$

Elektronenstrom

$$I_e = 0,2 \text{ A}$$



ISQ120DC-22

$t = 7.00001e-07 \text{ s}$

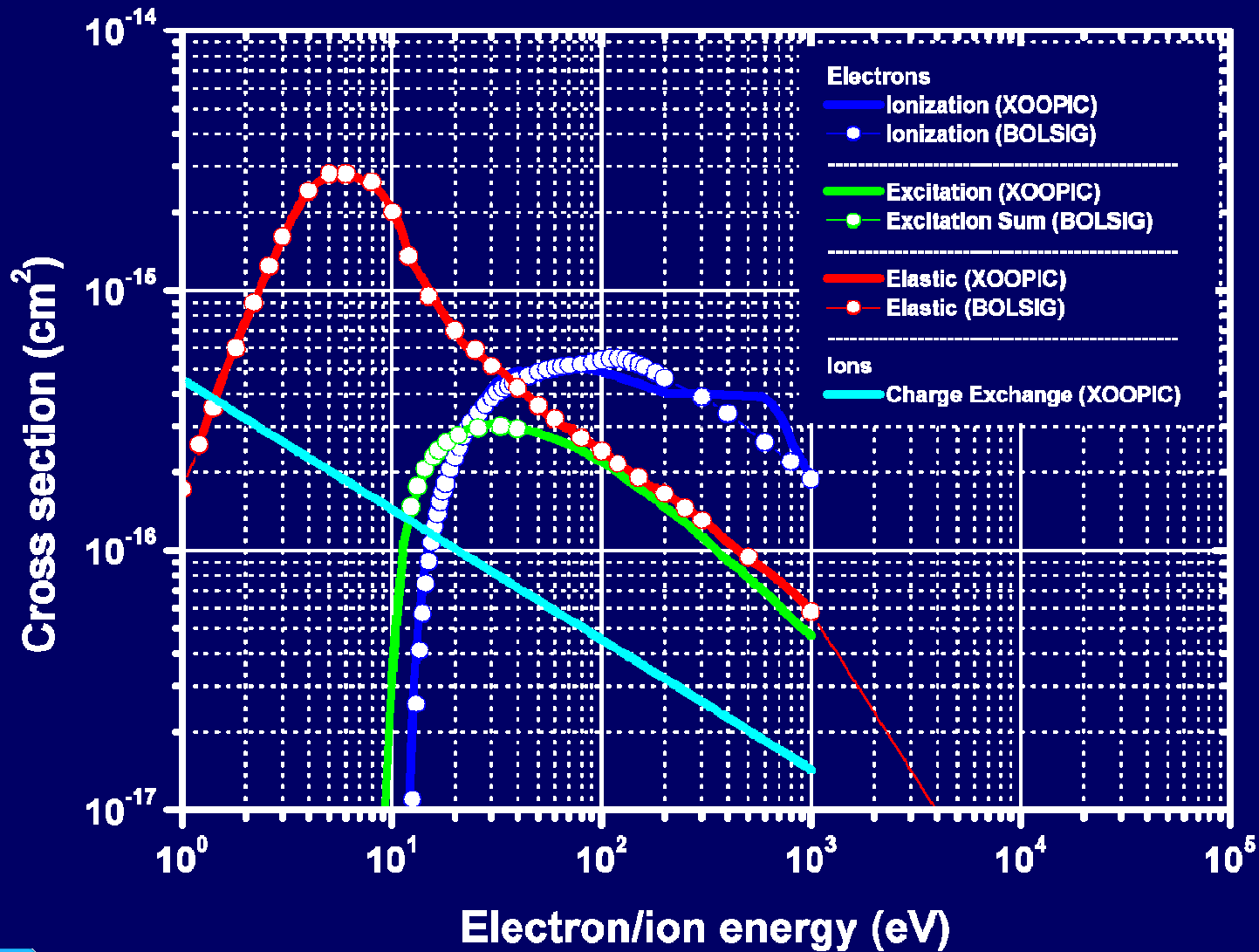


Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V.
Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz

Oberflächentechnologie mit Plasmaprozessen
Mühlleithen, 03.03.2004

Wechselwirkungsprozesse

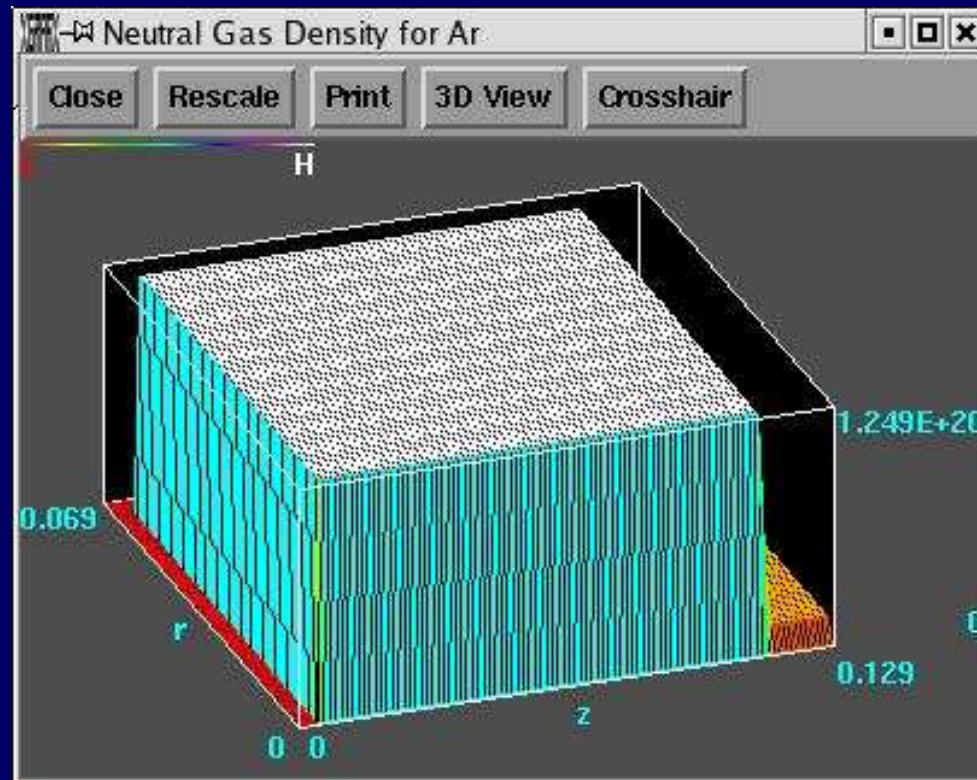
- Elektronenstoßionisation
 $Ar^{i+} + e^- \rightarrow Ar^{(i+1)+} + 2e^-$, $Ar^{i+} + e^- \rightarrow Ar^{(i+2)+} + 3e^-$, etc.
- Elektronenstoßanregung
 $Ar^{i+} + e^- \rightarrow Ar^{i*+} + e^-$
- Elastische Stöße (Impulsübertrag)
 $Ar^{i+} + e^- \rightarrow Ar^{i+} + e^-$
- Ladungsaustausch
 $Ar^{i+} + Ar \rightarrow Ar^{(i-1)+} + Ar^+$
- Strahlende Rekombination
 $Ar^{i+} + e^- \rightarrow Ar^{(i-1)+} + \gamma$
- Photoionisation
 $Ar^{i+} + \gamma \rightarrow Ar^{(i+1)+} + e^-$
- Dielektronische Rekombination
 $Ar^{i+} + e^- \rightarrow Ar^{(i-1)+**}$ und $Ar^{(i-1)+**} \rightarrow Ar^{(i-1)+*} + \gamma$
- Vakanzkaskaden und shake-off-Prozesse
 $Ar^{i**} \rightarrow Ar^{(i+1)+*} + e^-$ bzw. $Ar^{i**} \rightarrow Ar^{i*+} + \gamma$



Neutralgasdichteverteilung

$$\rho_{\text{Tank}} \approx 5e-4 \text{ mbar}$$

$$\rightarrow \rho_{\text{Gefäß}} \approx 5e-3 \text{ mbar} \approx 4e-3 \text{ Torr} \rightarrow N_{\text{Ar}} = (pV)_{\text{Gefäß}} / (kT_{\text{Ar}}) \approx 2e17$$

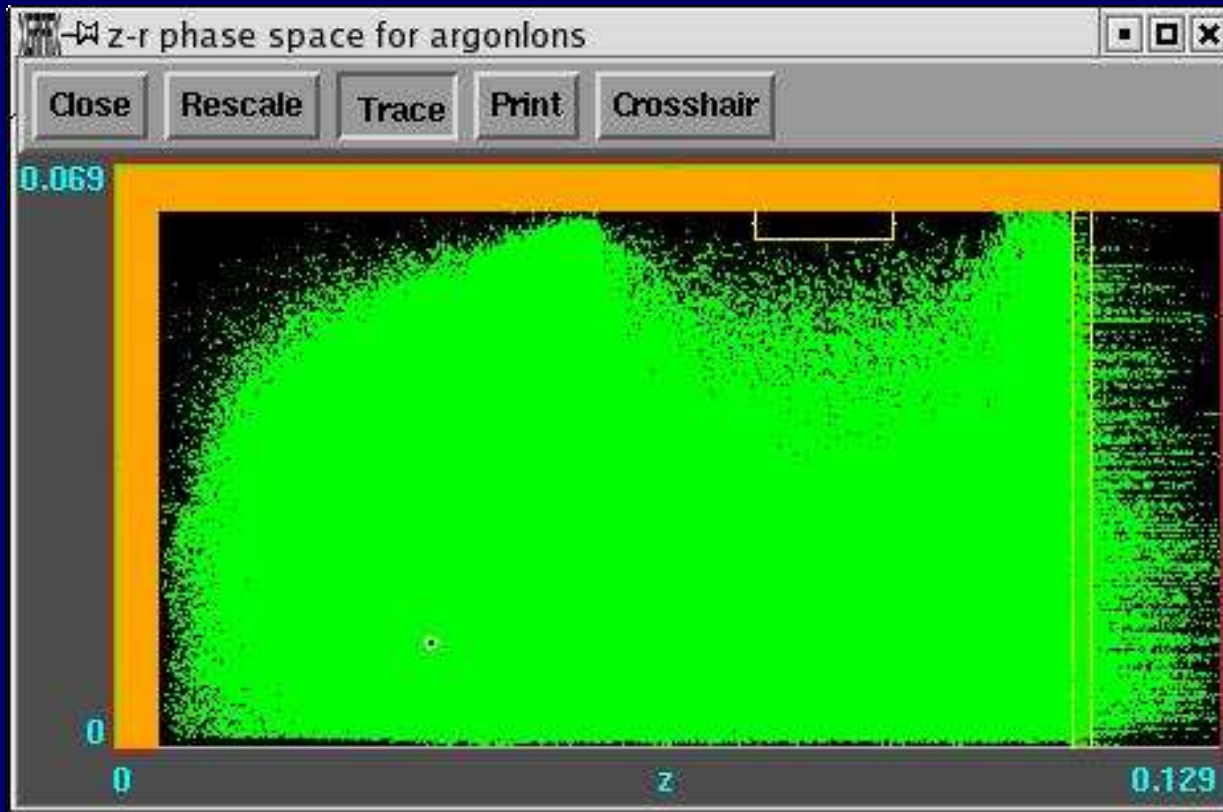


Equipotential/Conductor

Anode

Gitter

Sphärische Näherung → Transparenz = 0.6

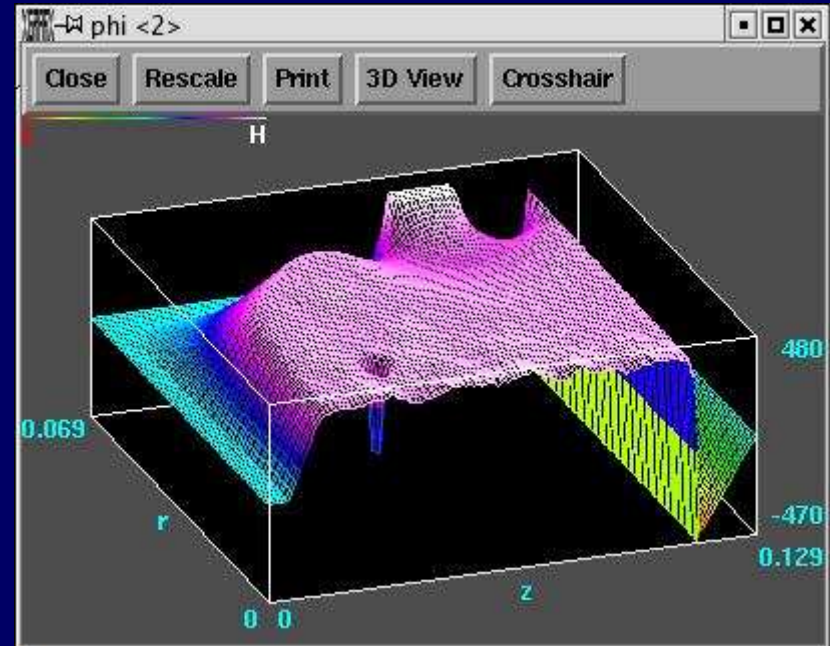
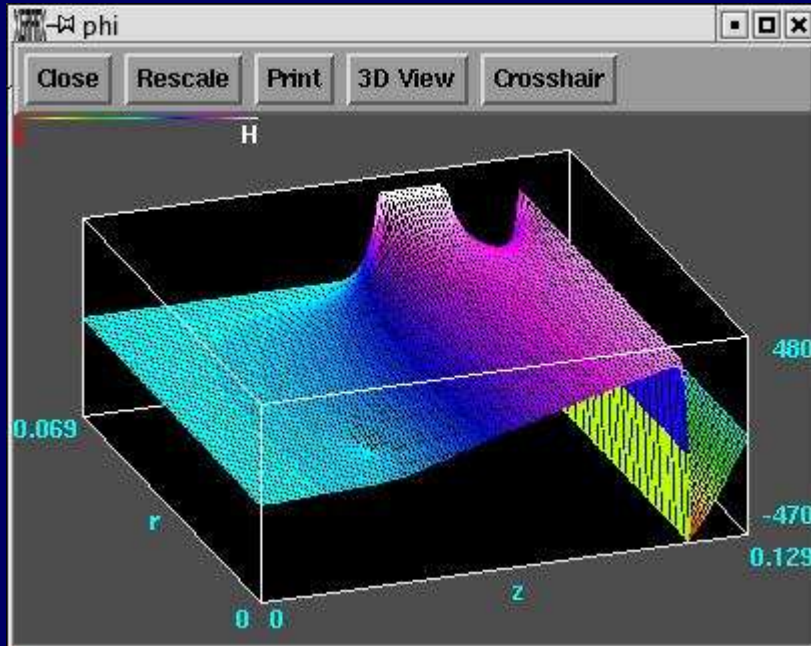
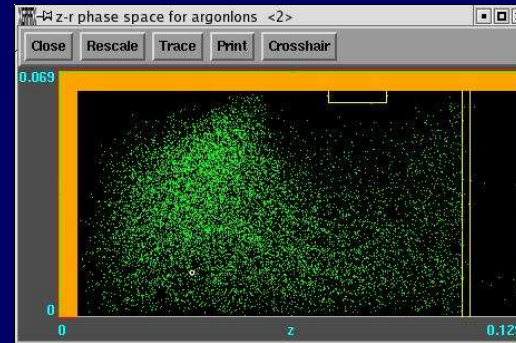
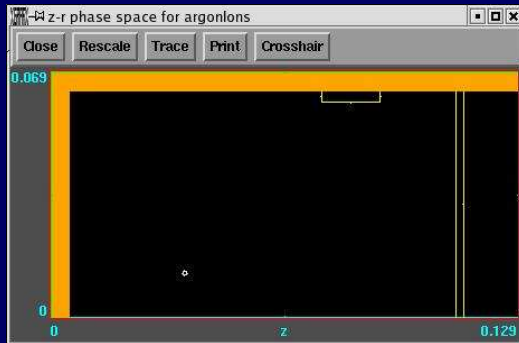


ISQ120DC-19

$t = 4.0006e-07 \text{ s}$



Plasmapotenzial I



ISQ120DC-19

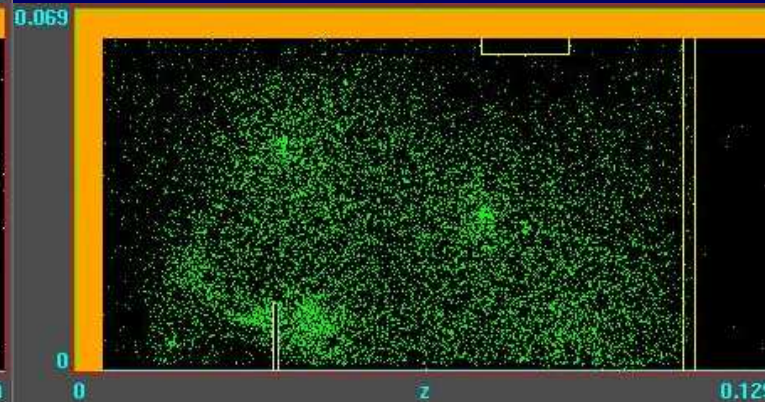
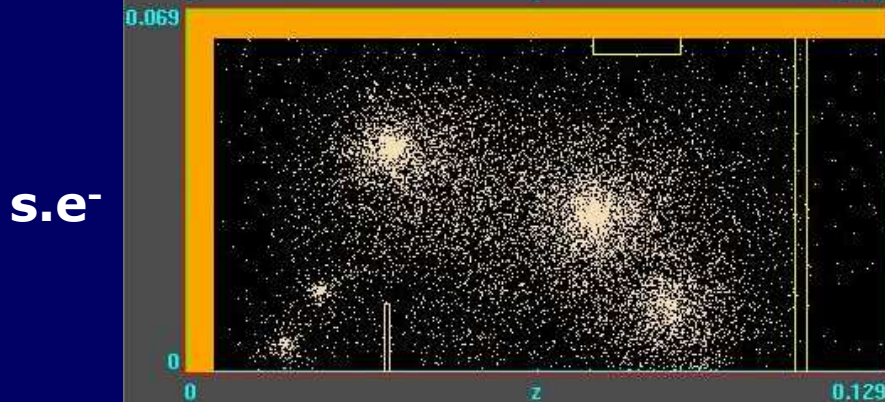
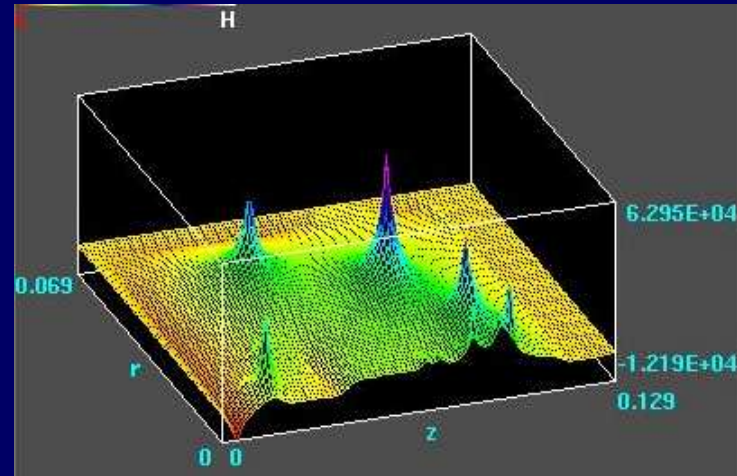
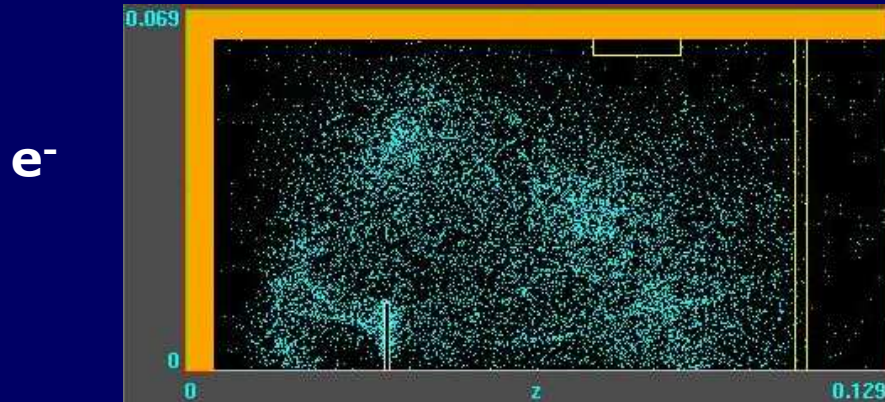
$t = 0$ s

$t = 6.10001e-07$ s



Plasmapotenzial II

Plasmaoszillationen/Numerische Instabilitäten?



ISQ120DC-18

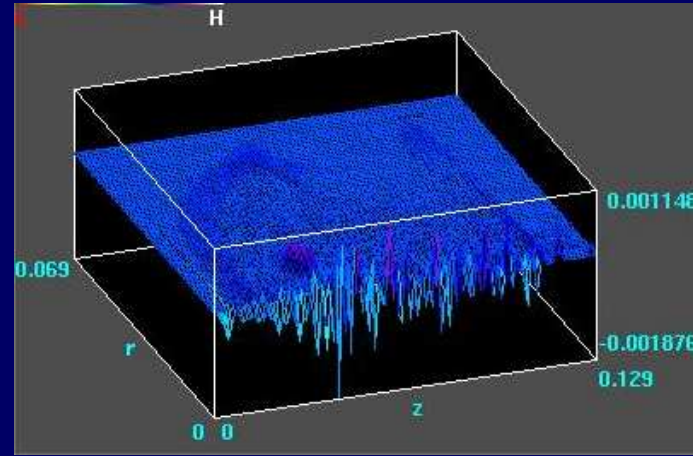
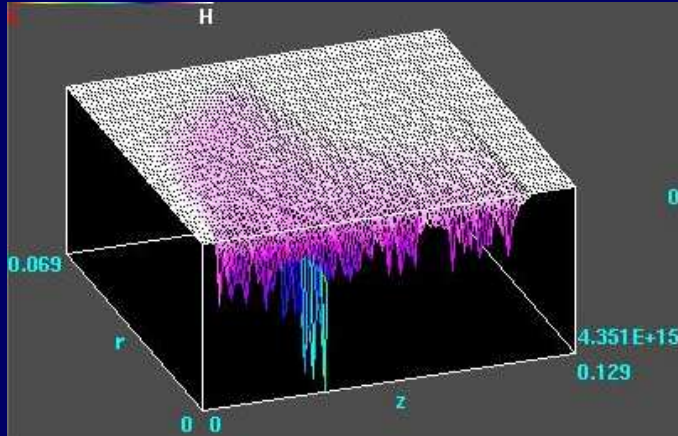
$t = 4.92877e-07$ s



Diagnostik I

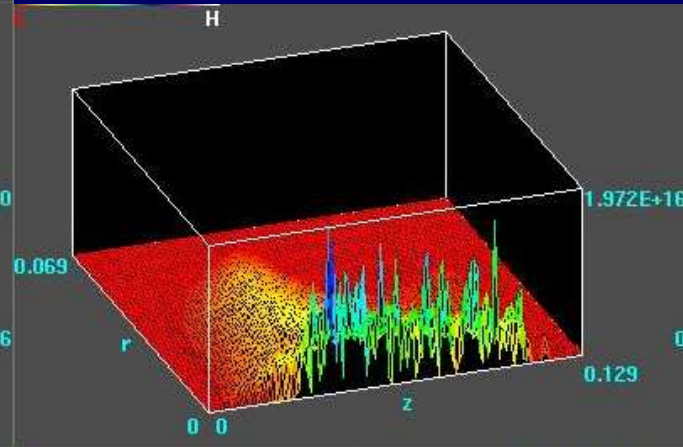
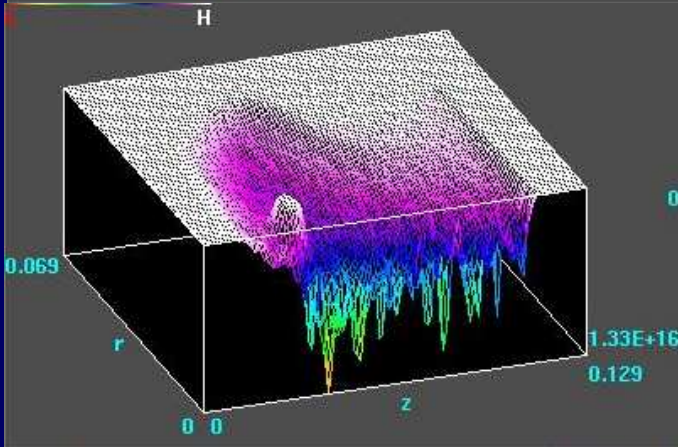
Ladungsträgerdichte $\rho = en_{\text{Ar}^+} - en_e = 0$

n_{e^-}



ρ

$n_{s.e^-}$



n_{Ar^+}

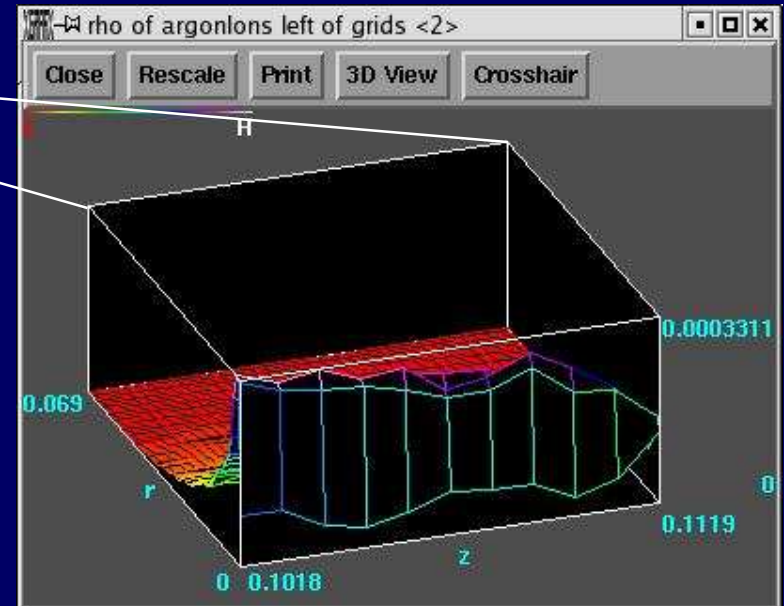
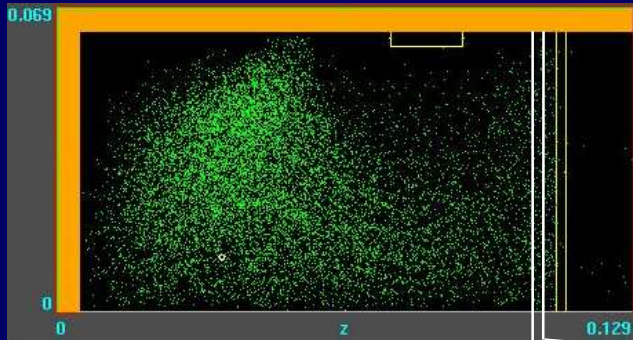
ISQ120DC-19

$t = 6.10001 \times 10^{-7} \text{ s}$



Diagnostik II

Ionenladungsdichte vor dem Schirmgitter



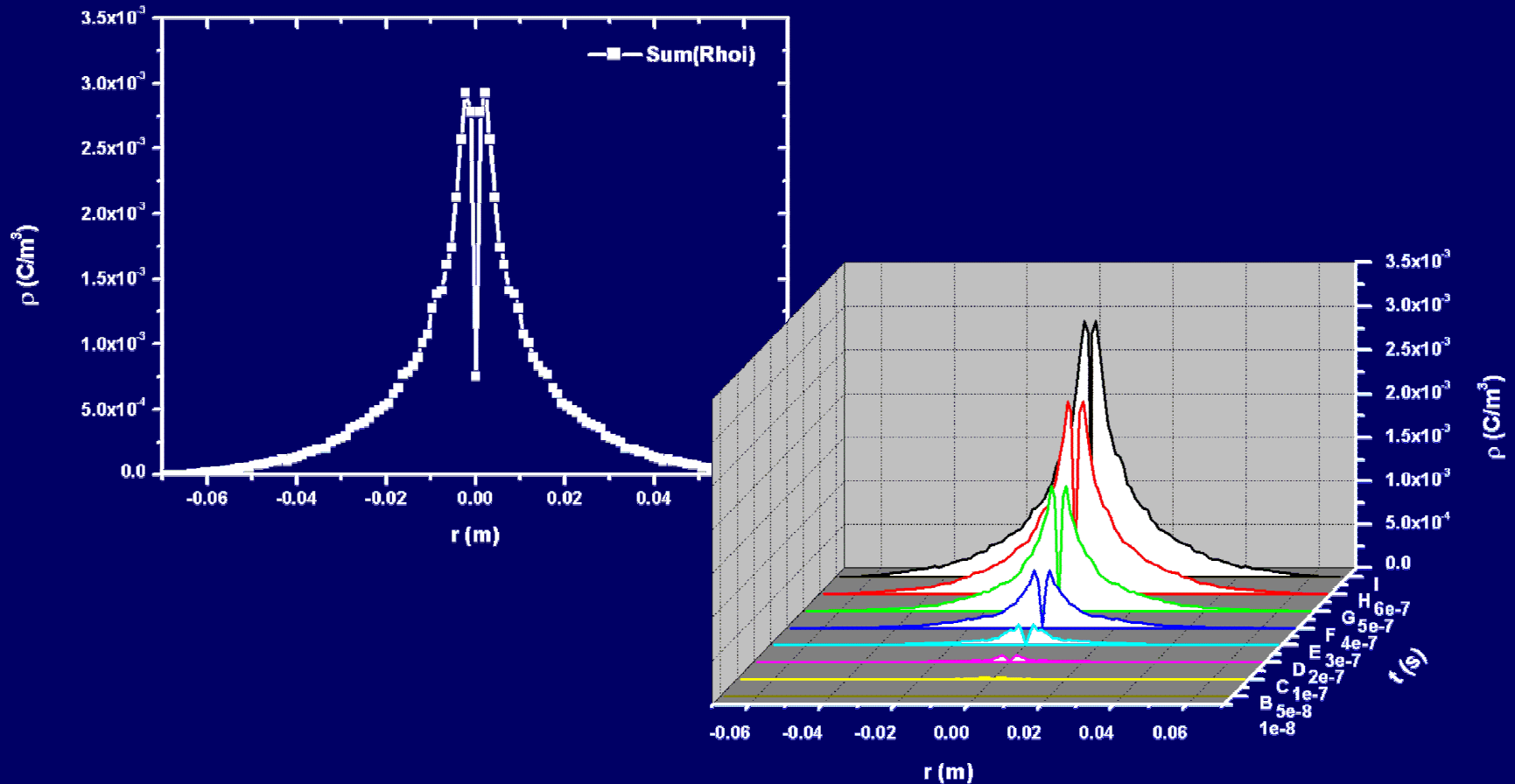
$t = 6.10001e-07$ s

ISQ120DC-19



Diagnostik III

Ionenladungsdichte vor dem Schirmgitter



ISQ120DC-19

$t = 6.10001e-07$ s

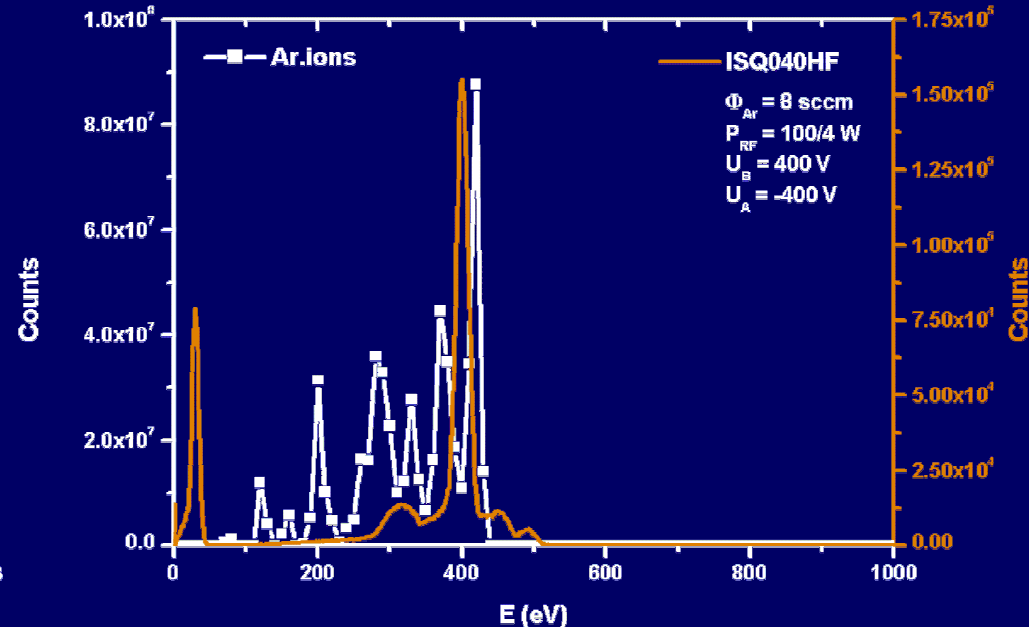
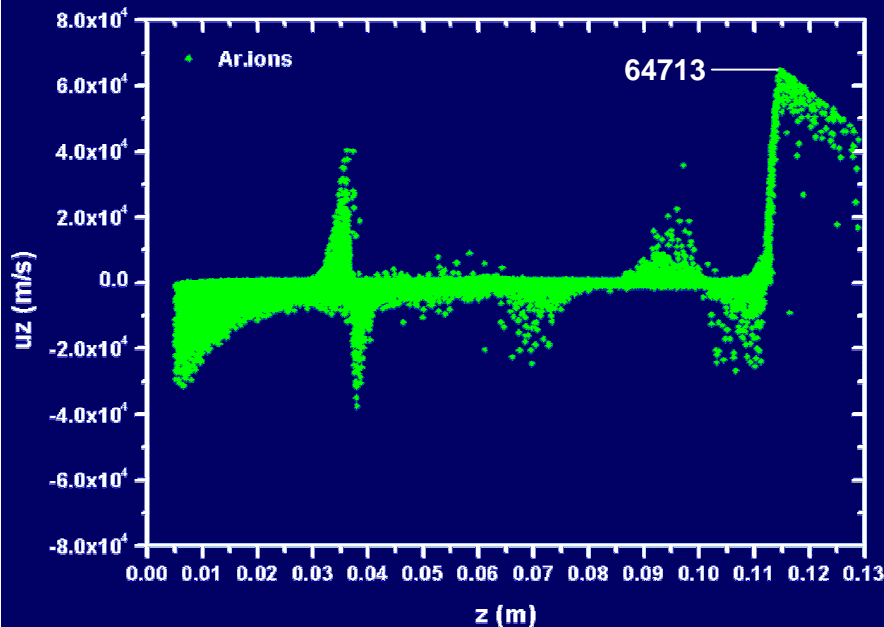


Diagnostik IV

Ionenergieverteilung am Target

$$eU = m_{\text{Ar}^+} v_{\text{Ar}^+}^2 / 2 \quad \text{mit } U = U_d + |U_a| = 420 \text{ V} + 470 \text{ V}$$

$$\rightarrow v_{\text{Ar}^+} = (2eU/m_{\text{Ar}^+})^{1/2} = 65567 \text{ m/s}$$



ISQ120DC-21



$t = 7.32e-07 \text{ s}$

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

ISQ-Modell inklusive:

- ☺ Magnetfeld
- ☹ Katode
- ☺ Wechselwirkung mit Gas
- ☹ Extraktion
- ☹ Raumladungskompensation

liefert:

- Plasma mit
- Randschicht
 - Quasineutralität
 - inhomogener Verteilung

Ausblick

- ISQ mit ECR- und HF-Anregung, experimentelle Validierung
- Zusammenarbeit mit Uni-Rechenzentrum (Rechenzeit)

Dank an **DFG** für die Förderung (FOR 365)

