

Hochstromspeicherring für Protonen und Ionen

Martin Droba

J.W.Goethe Universität Frankfurt am Main

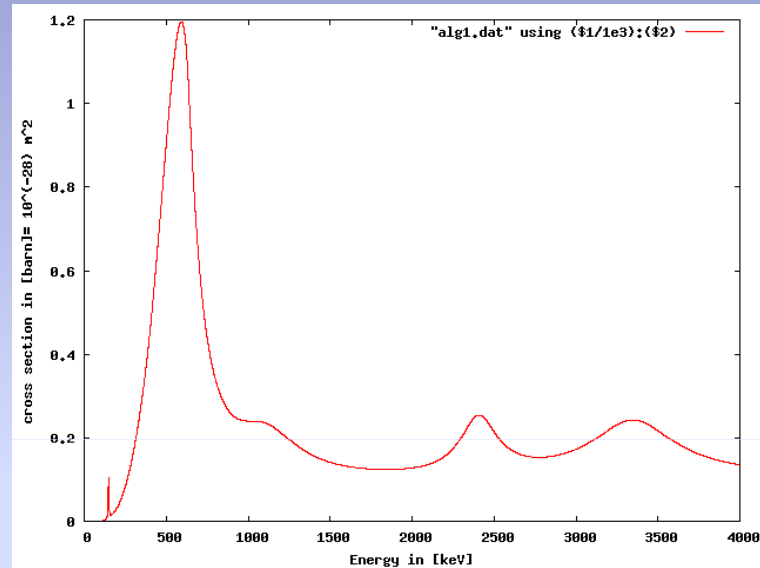
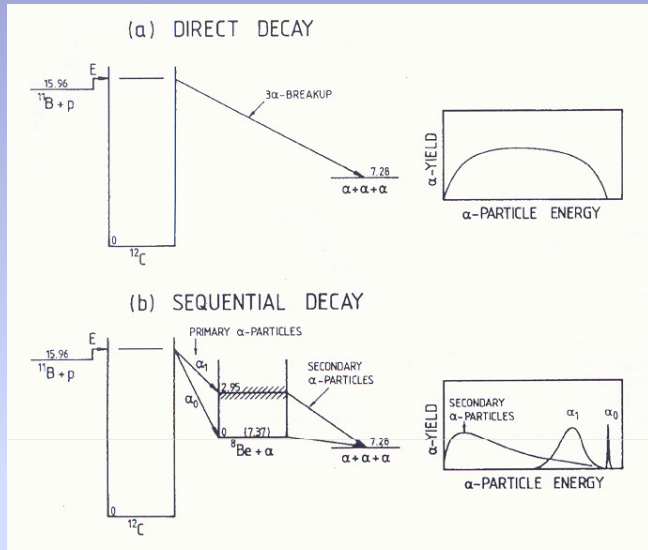
Unter Mitarbeit von: N.Joshi, O. Meusel, K.Schulte, U.Ratzinger

Hochstromspeicherring (MSR)

- Speicherringe mit longitudinalem Magnetfeld
- Multi-Ionisationsprozesse von leichten Atomen bei Wechselwirkung mit intensiven niederenergetischen Protonstrahlen ($W \sim 150$ keV)
- Raumladungskompensation – Restgaselektronen
Elektronenstrahl
- Strahlkühlung, Kristalline-Strahlen
- Fusionsquerschnitte
- Mehrteilchenreaktionen – Multispezies
- Sekundärteilchenspeicherung



$^{11}\text{B} + \text{p}$ Reaction



Fusionsreaktion

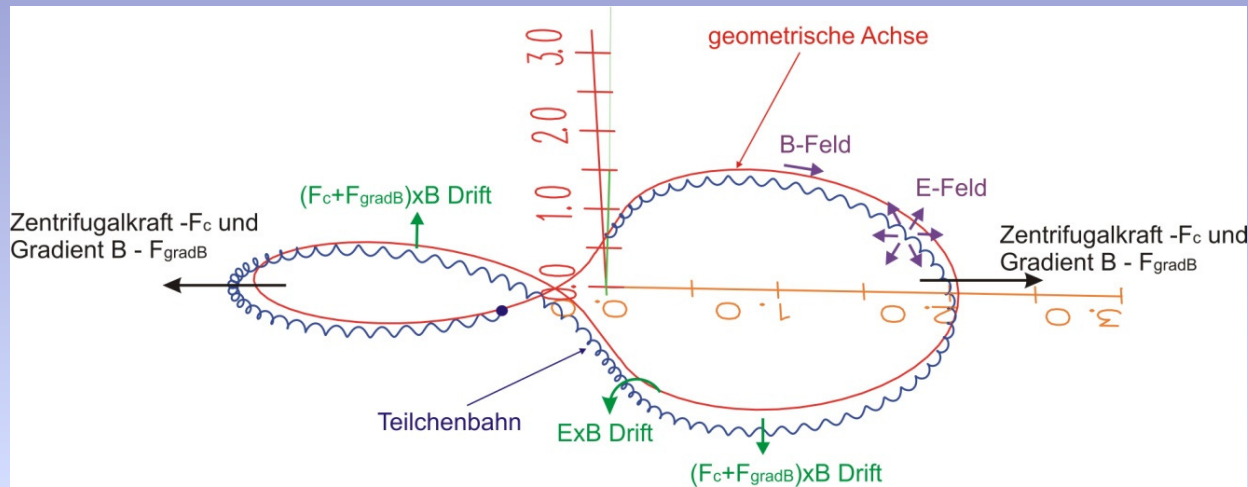


$$\text{Reaktionsquerschnitt } \sigma_{\text{max}} \sim 10^{-28} \text{ m}^2$$

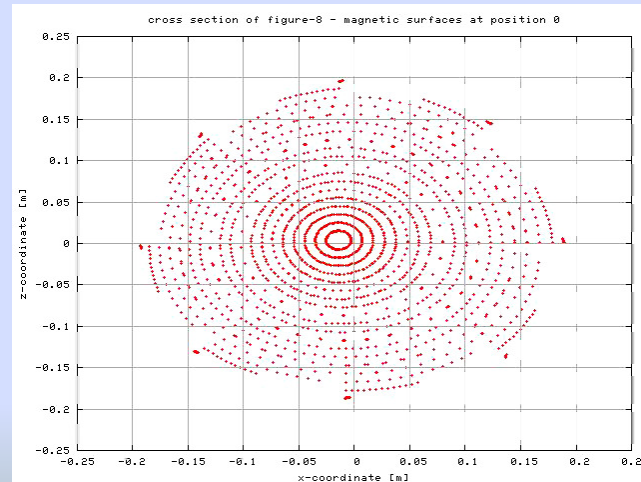
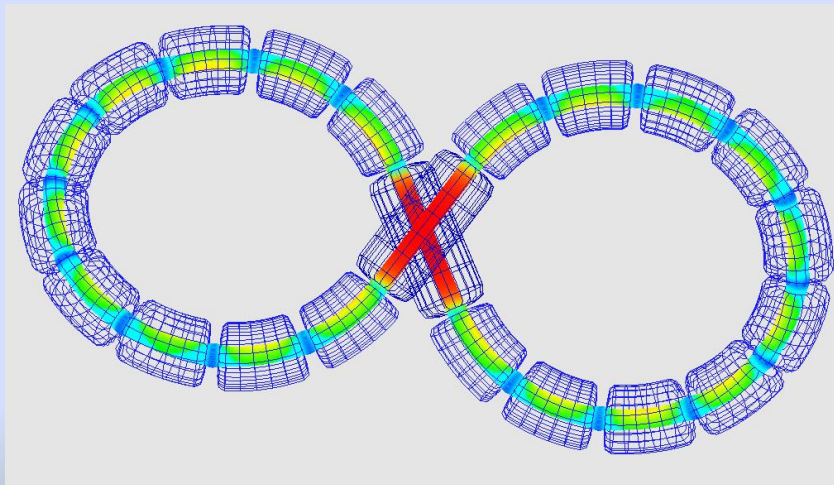
Relaxationsprozesse – Strahl zur NNP



Figure-8 Hochstromspeicherring



- ⌊ R ~ 1m
- ⌊ r ~ 0.15m
- ⌊ L ~ 10m
- ⌊ 22 Segmente
- ⌊ h ~ 1m
- ⌊ B ~ 5T
- ⌊ I ~ 10A



Zyklotronfrequenz ω_c [s^{-1}] @5T	$4.8 \cdot 10^8$
Brillouin-limit n_B [m^{-3}]	$6.6 \cdot 10^{16}$
Strahlradius a [m]	>0.02
Debye-Länge [m]	$3 \cdot 10^{-4}$
ExB Rotationsfrequenz [s]	$5.2 \cdot 10^{-10}$
UHV ($n \sim 10^{12} m^{-3} \sim 4 \cdot 10^{-11} hPa$) Stoßfrequenz τ_c [s]	12.5
NNP Einschusszeit in toroidalen Magnetfeldern (Crooks 1994)	$\tau \approx \tau_c \cdot (R/\lambda_D)^2$
NNP Einschusszeiten auf magnetischen Flächen (Pedersen 2003)	$\tau \approx \tau_c \cdot (a/\lambda_D)^4$



Simulationsprogramme

- **Magnetfeld – Biot-Savart solver**
(Predictor-Corrector method, Field-line integration –1D information)
- **Frequenzdekomposition – FFT (1D => 2D)**
- **Generierung von numerischen Gitter – in Clebsch-Koordinaten**
 $\psi \in \langle 0, 1 \rangle, \theta \in \langle 0, 2\pi \rangle, \xi \in \langle 0, 2\pi \rangle$
- **Poissongleichung (PIC – Particle in cell)**
- **Bewegungsgleichungen in Guiding-center-Koordinaten**

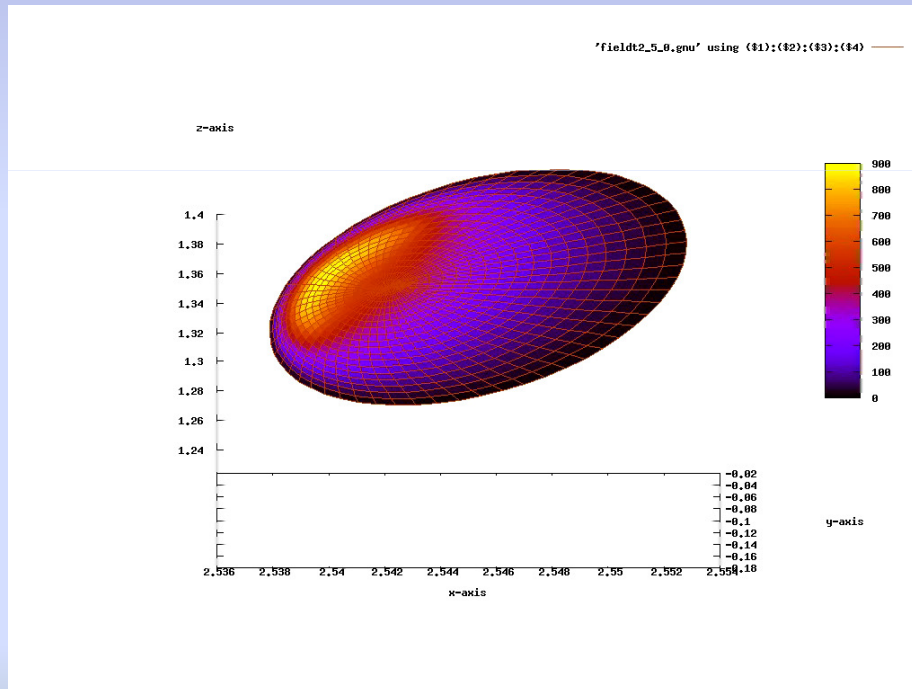
Parallele Rechnercluster CSC (Centre for Scientific Computing)

Bis zu 60 Prozessoren, 10Mio Makroteilchen

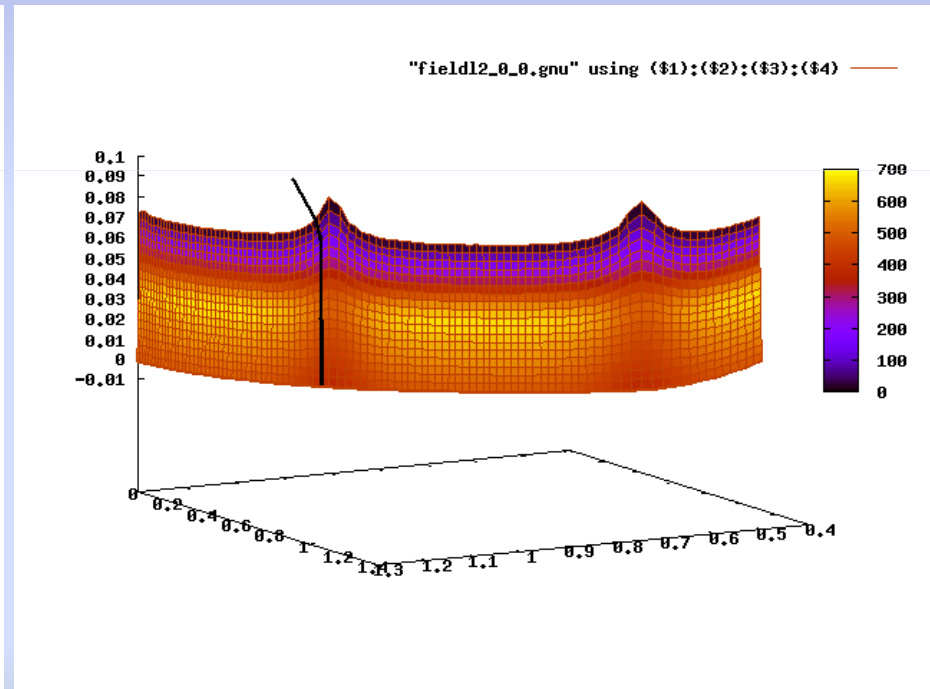


Beispiel – Ladungsverteilung

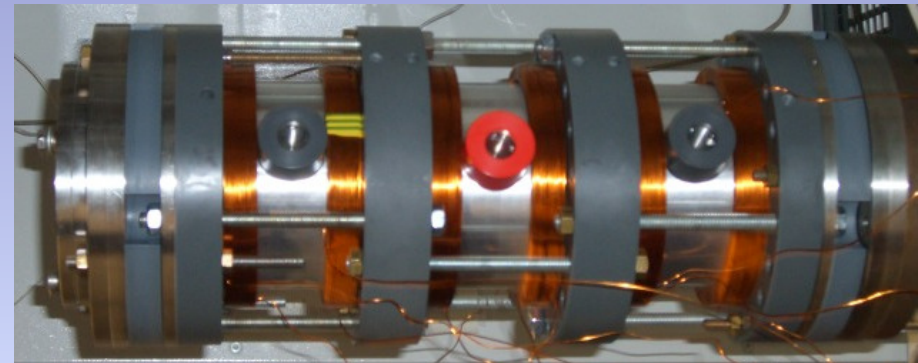
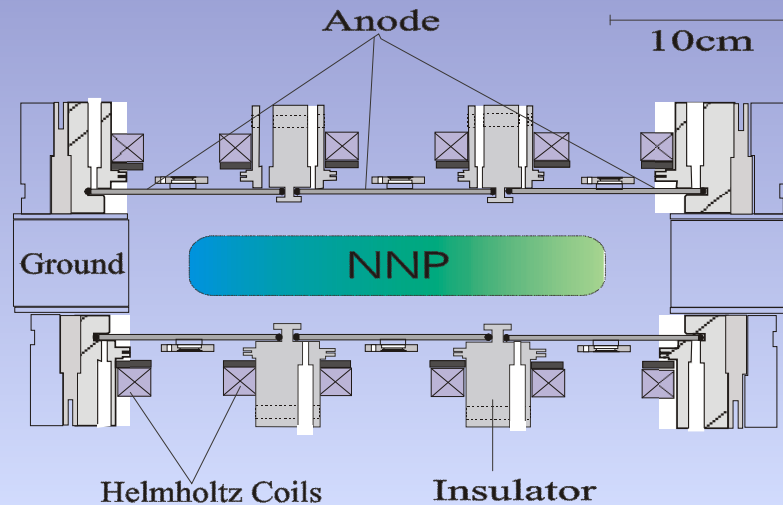
Potenzial in
der θ, ψ -Fläche, $\xi = \text{const}$



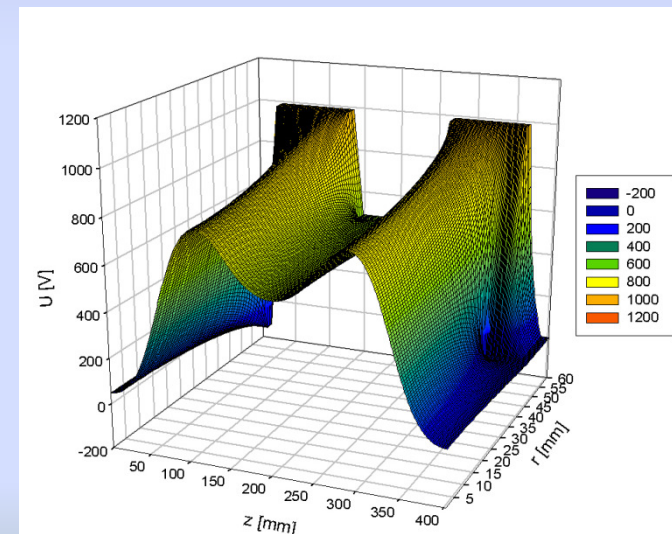
Potenzial entlang
der ξ, ψ -Koordinate, $\theta = \text{const}$



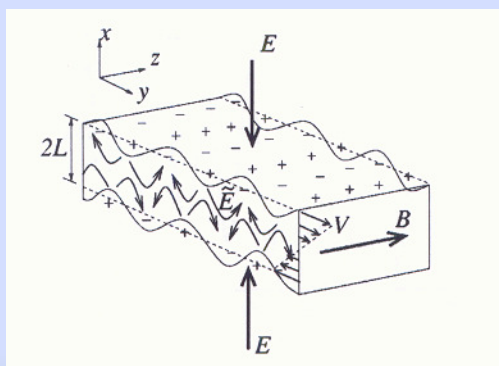
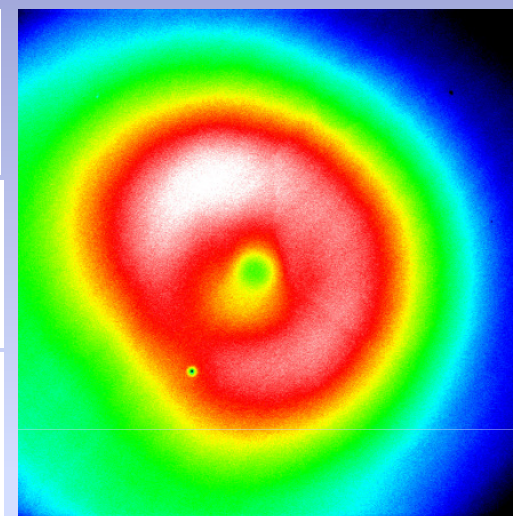
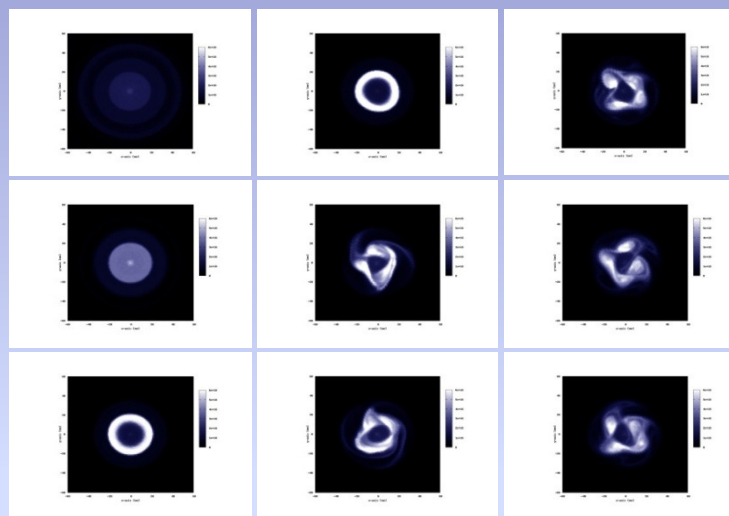
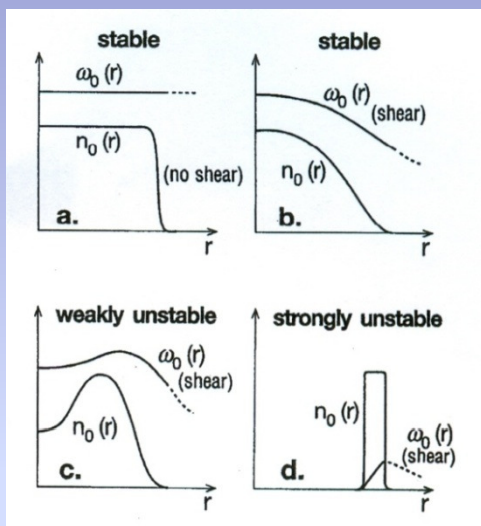
Konstruktion der Gabor Linse



- **3 Elektroden** und
- **3 Helmholtzspulen Paare** zur Erzeugung von Feldgradienten/Temperaturgradienten
- **Schauglas** Einblick auch in der longitudinalen Ebene

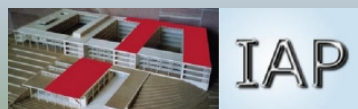


Diocotron Instabilität - ExB

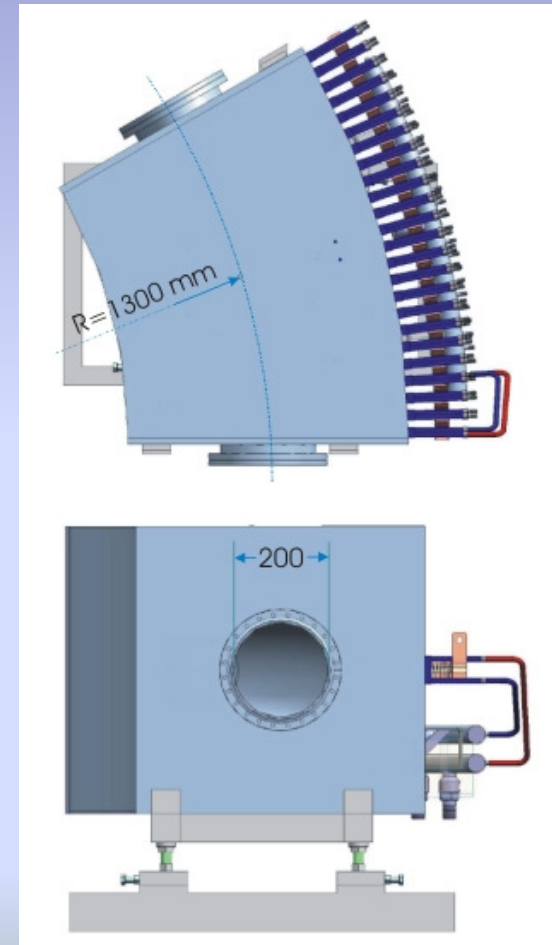
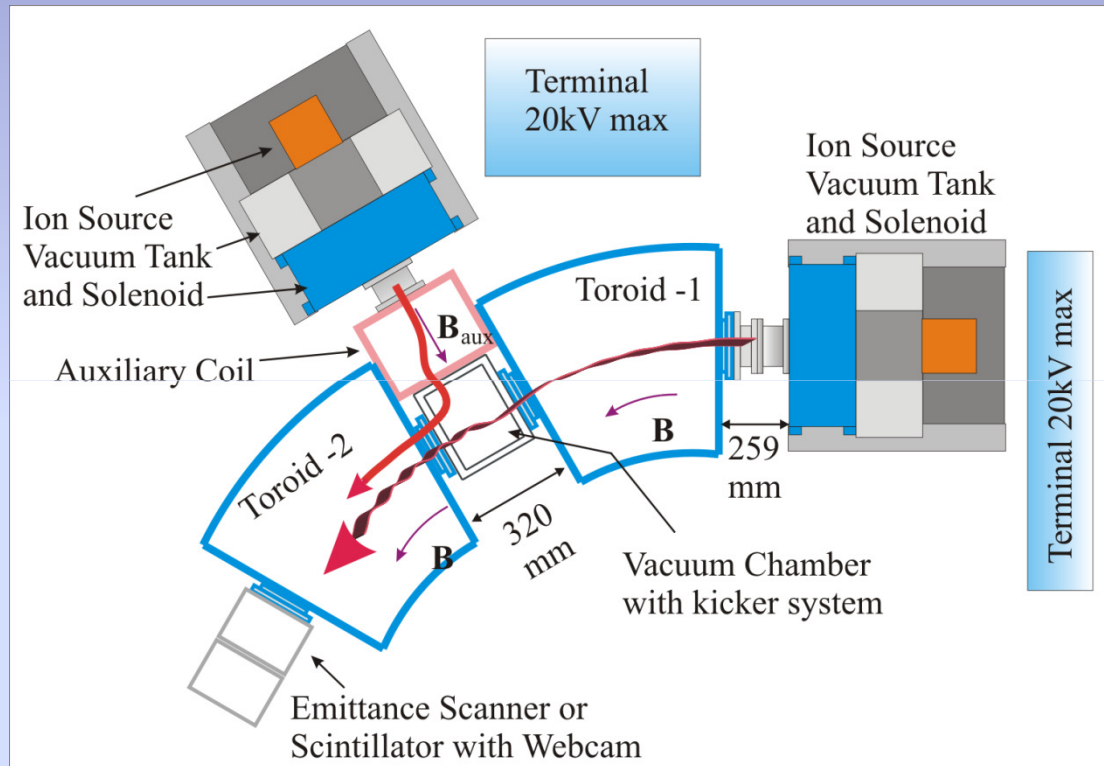


Simulation – Gabor-Linse
 Dargestellte ist die in z-Richtung integrierte Dichteverteilung
 Multiteilchen auf 36 Prozessoren
 Typische Zeitskalen $\sim 1\mu\text{s}$

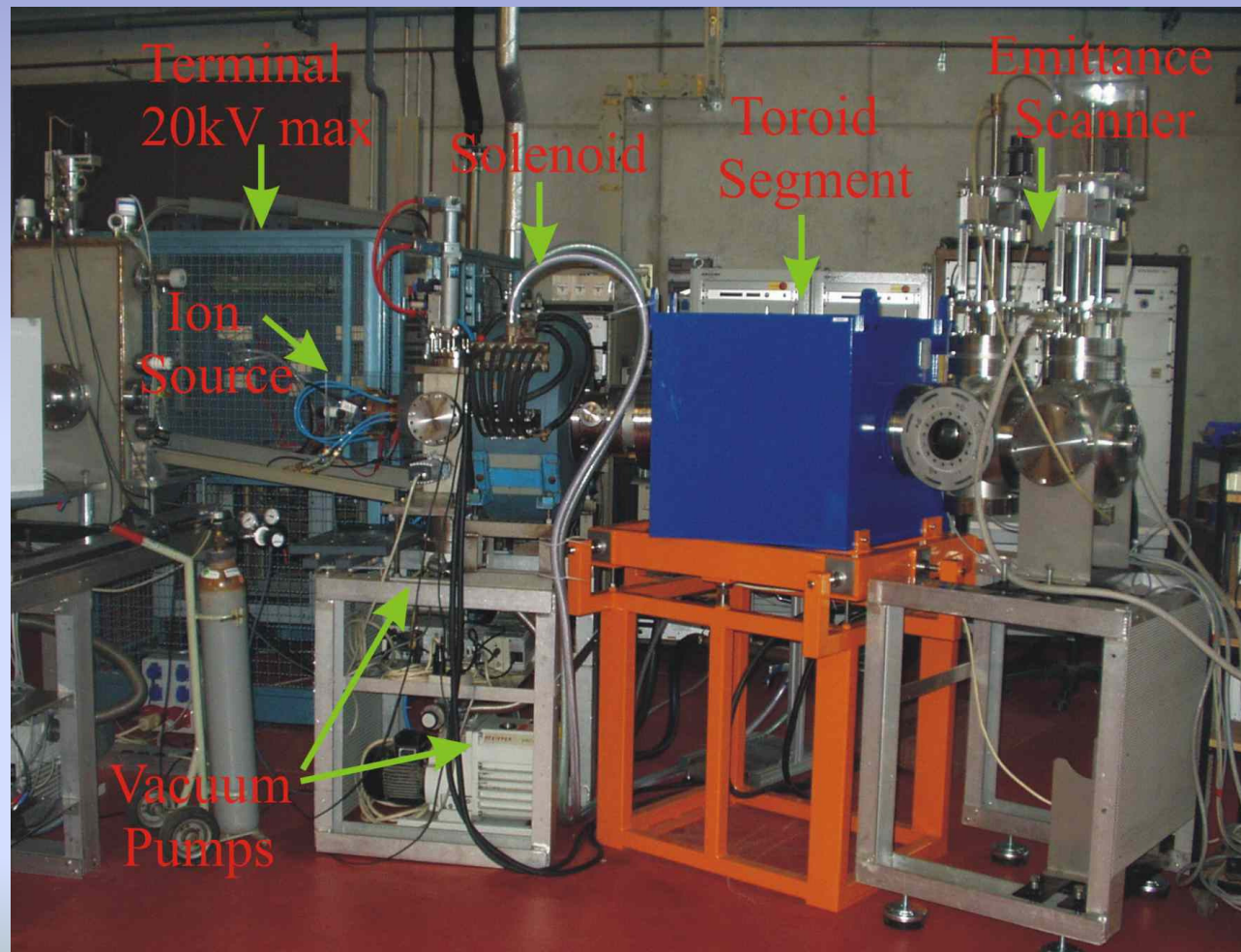
Messung – Gabor-Linse
 Mit CCD-Kamera
 aufgenommene Leuchtstärke
 einer eingeschlossener NNP



Injektionsexperiment



Toroidale Strahltransport



Ausblick

- Raumladungskompensation im torodialen Strahltransport
- Untersuchung von Strahlinstabilitäten
- Injektionsexperiment
- Evaluation von Simulationsprogrammen
- Weiterentwicklung von NNP-Diagnose

