

# Simulation eines HF-PBN mit PIC

Frank Scholze, Michael Tartz, Horst Neumann

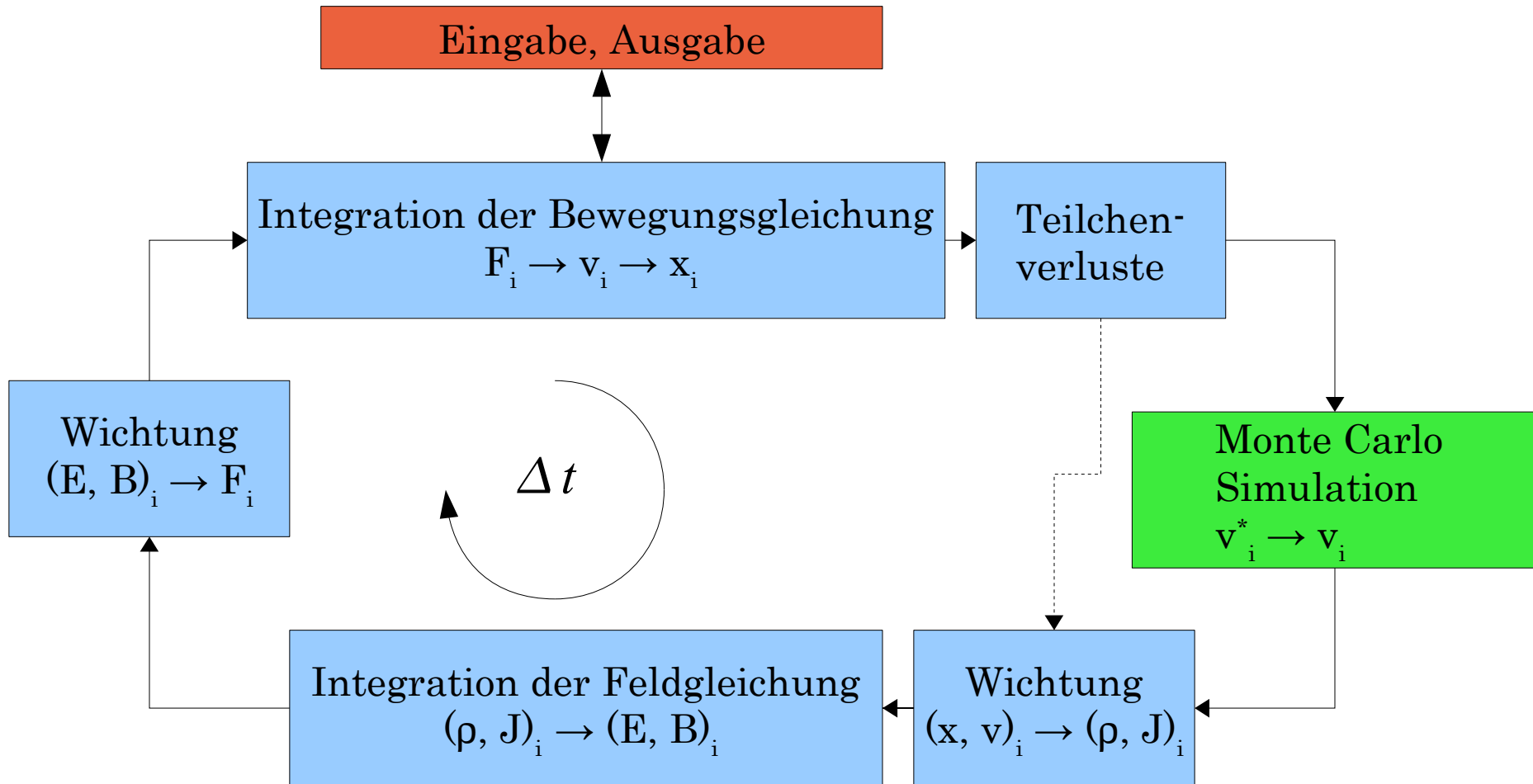
Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V.; Permoserstr.15; 04318 Leipzig



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
FKZ : 50 JR 0643

- Particle-in-Cell Methode
- XOOPIC
- PBN-Modell
- Ergebnisse

# Particle in Cell – Methode <sup>1</sup>



/1/ C.K. Birdsall, A.B. Langdon „Plasma Physics via Computer Simulation“

# Leap – Frog - Verfahren

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$$

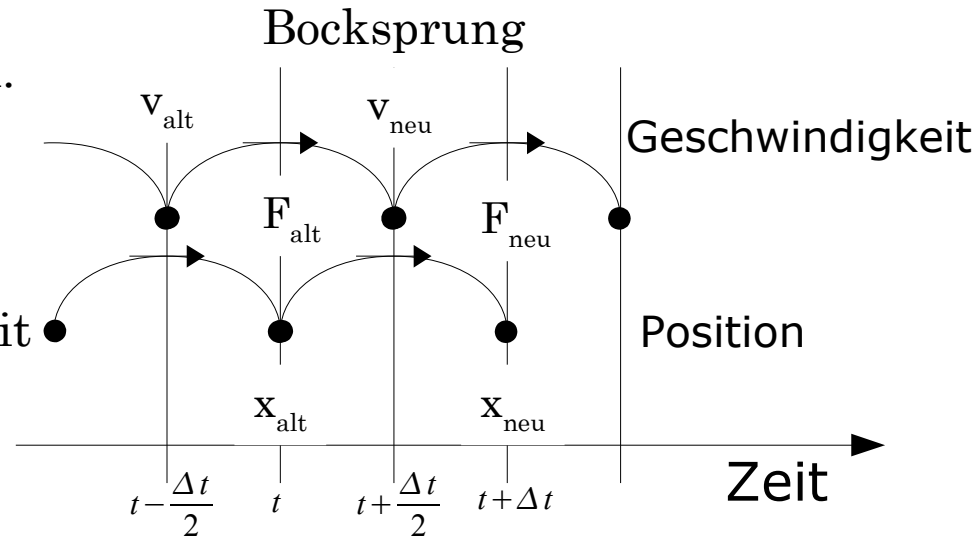
$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{v}$$

Finite Differenzen Gleichung

$$m \frac{v_{neu} - v_{alt}}{\Delta t} = F_{alt}$$

$$\frac{x_{neu} - x_{alt}}{\Delta t} = v_{neu}$$

- Einfache Methode der numerischen Integration gewöhnlicher Differentialgl.
- Zeitinvariant : zeigt zu jeder Zeit das gleiche Verhalten (Energie, Impuls, ...)
- Berechnet Position und Geschwindigkeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten



## Koordinatensystem

- kartesisch
- Zylinder

## 2d3v Code

- 2-dimensional (x,y oder r,z)
- Geschwindigkeit ( x,y,z oder r,z,phi)

## Felder

- elektrostatisch
- elektromagnetisch

## Randbedingungen

- Leiter
- Dielektrikum
- Teilchenemitter
- Sekundäremitter

## Diagnostik

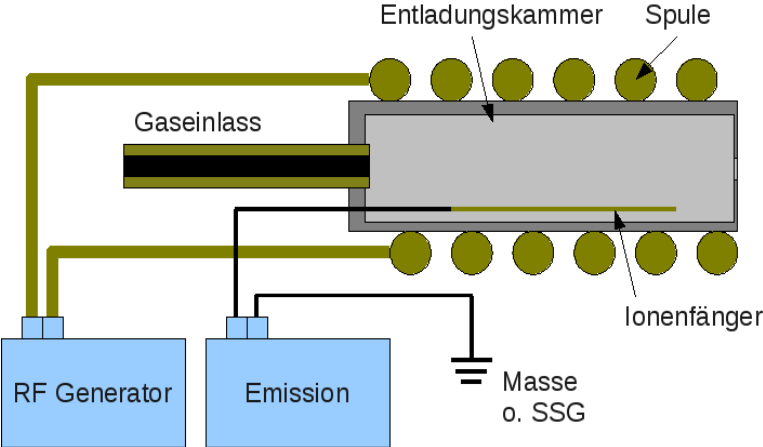
- Teilchenverteilung
- Geschwindigkeitskomponenten
- E- und B-Feldverteilung
- Potenziale, Pointing-Vektor
- Energie des Systems

## Monte Carlo Simulation

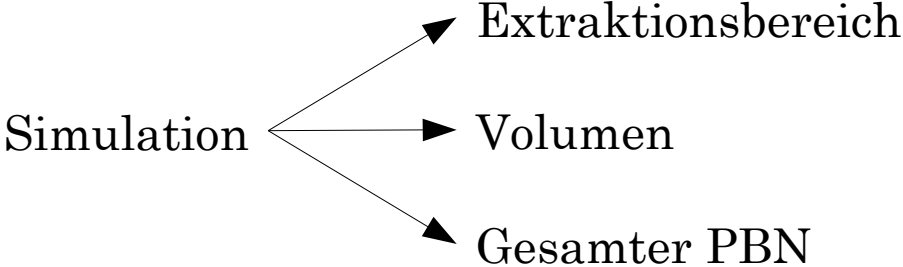
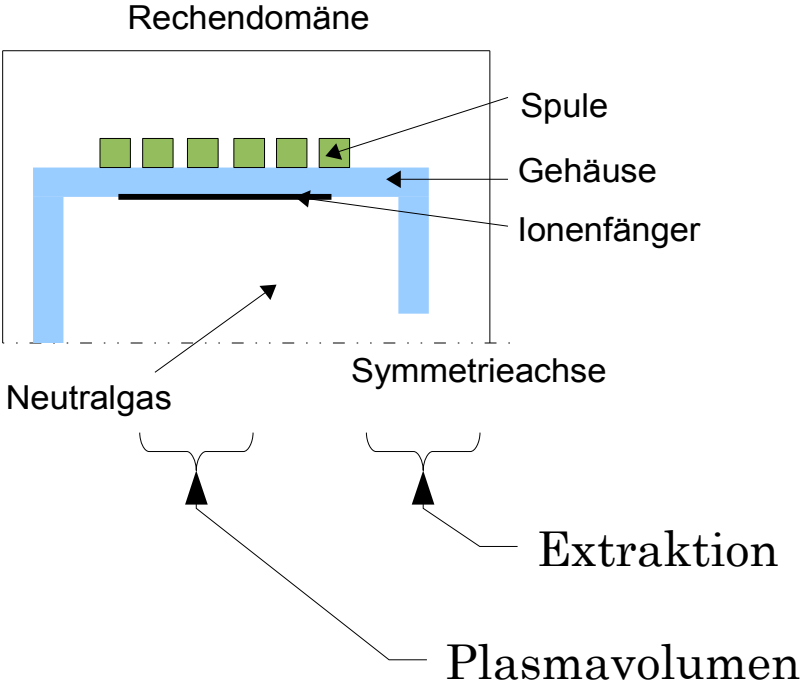
- Anregung
- Ionisation
- Elastische Stöße
  
- Quelltext vorhanden →  
Benutzerspezifisch erweiterbar
- Wechselwirkungsquerschnitte  
(Ar, He, H, Xe, Ne, Li) ...
- MPI - Parallelisierung

# PBN-Modell

## Aufbauprinzip

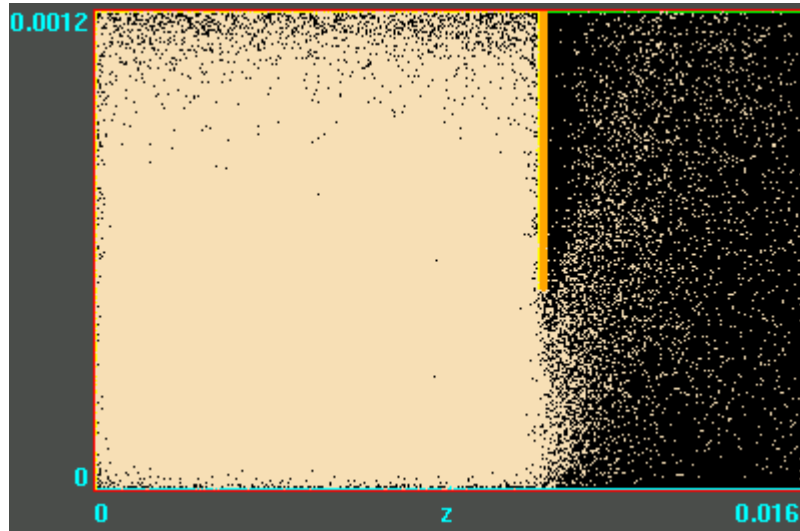


## PIC - Modell

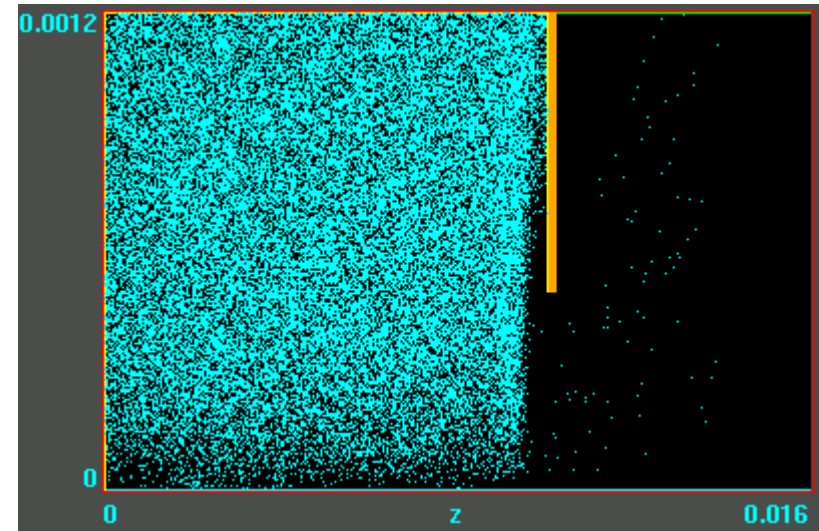


# Extraktion

Elektronenverteilung



Ionenverteilung



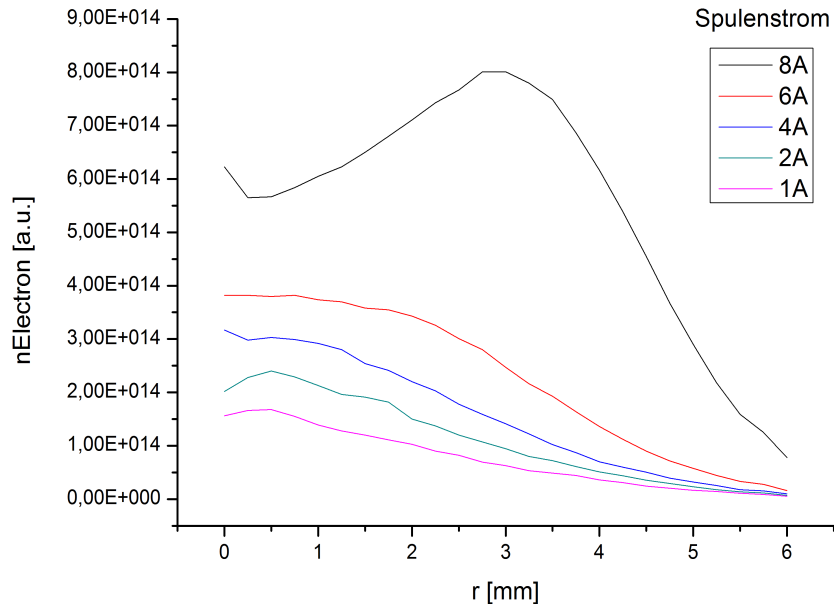
- Extraktion der Elektronen nur im Lochbereich
- Geschwindigkeit mit starker radialer Komponente
- Plasmarandschichtausbildung
- Bildung von Ionen durch extrahierte Elektronen
- Ionen fliegen in den Neutralisator
- Elektronenemissionsstrom von Ionenstrom überlagert

# PBN-Plasma im Volumen

## Variation des Spulenstromes

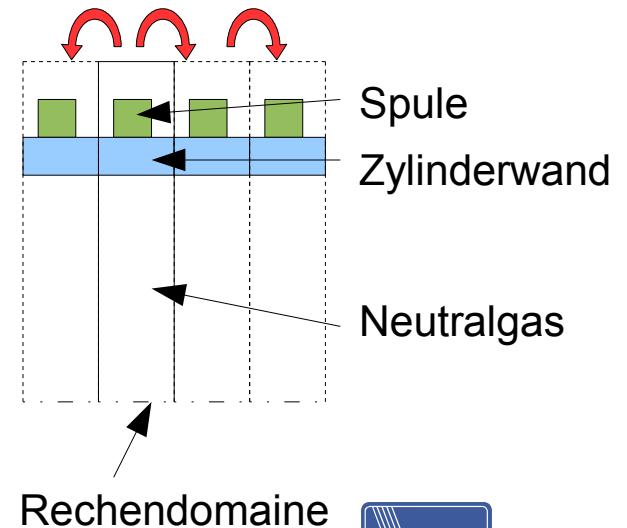
→ mit zunehmendem Strom :

- Plasmadichte steigt an
- Dichtemaximum wandert von Mittelachse radial nach Aussen



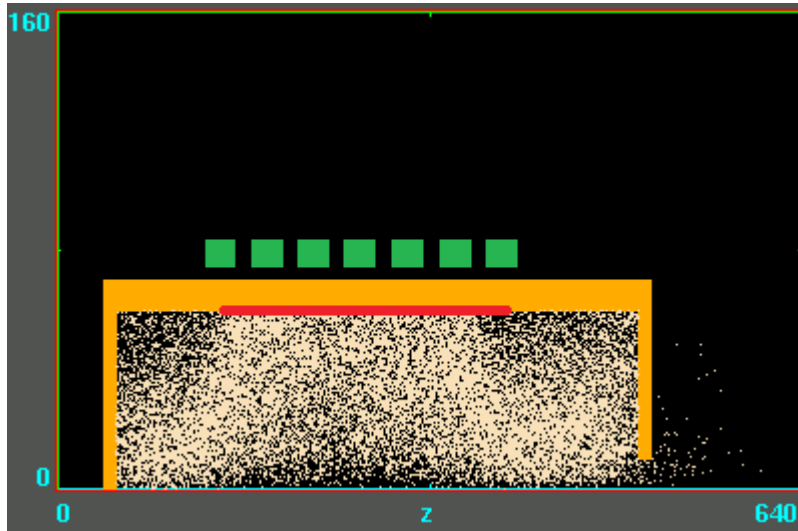
## Modell

- Entfernung der Ränder in axialer Richtung
- Periodische Randbedingungen

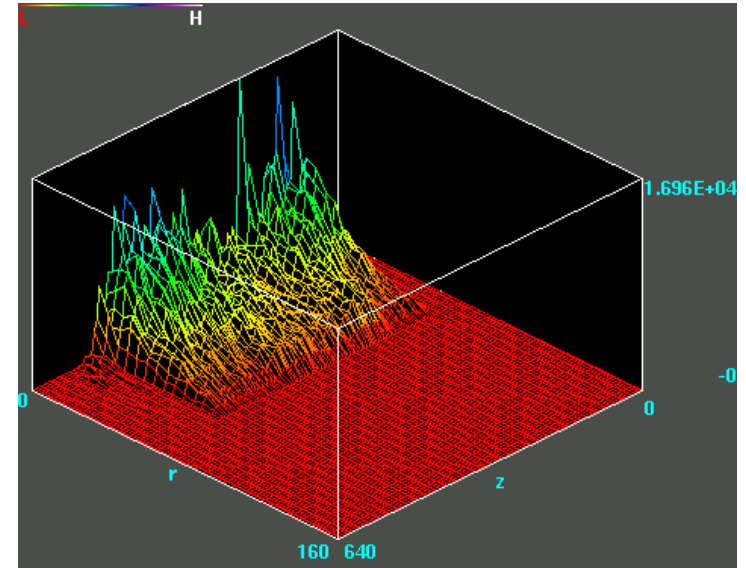


# PBN - komplett

## Elektronenverteilung



## Dichte

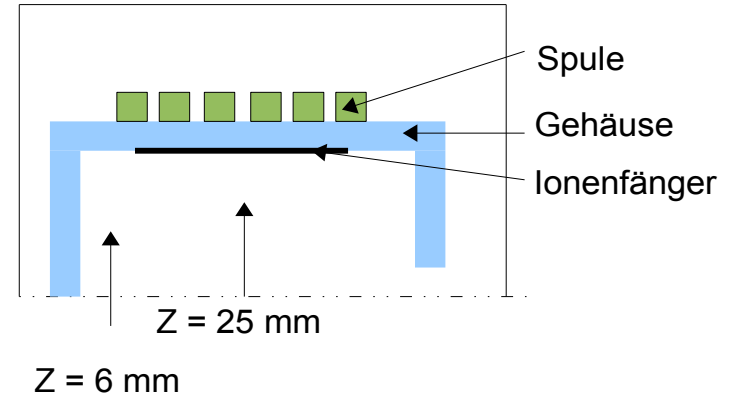
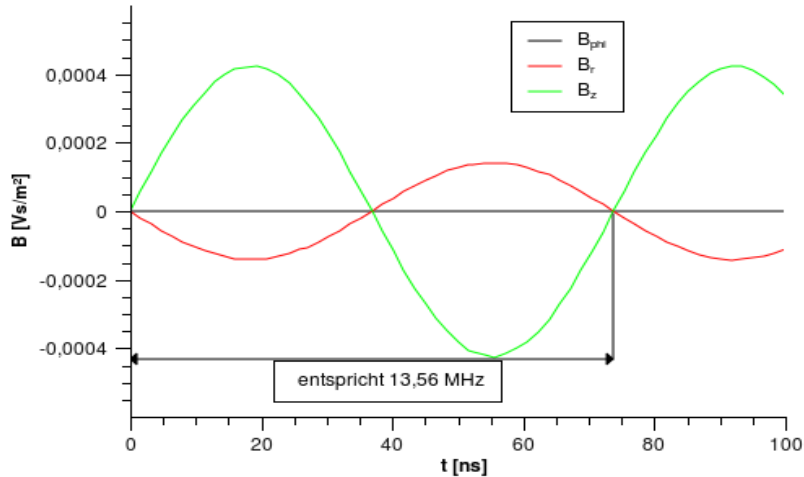


- Maximale Dichte am Rand des Plasmaankers
- Radialer Abfall

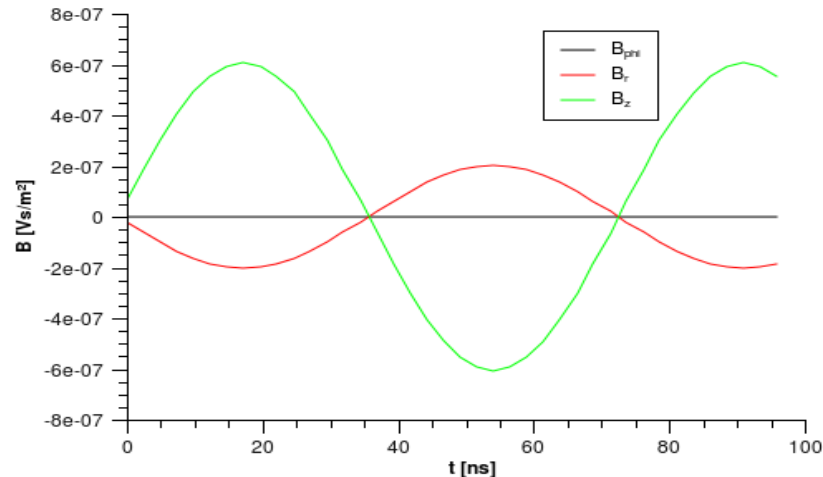
Maßeinheiten (Skalierung)  
Länge : x 0,1mm  
Dichte : x  $10^{12} \text{ m}^3$

# PBN- B-Feldverteilung

B-Feld z=6,09mm (Simulation o05)

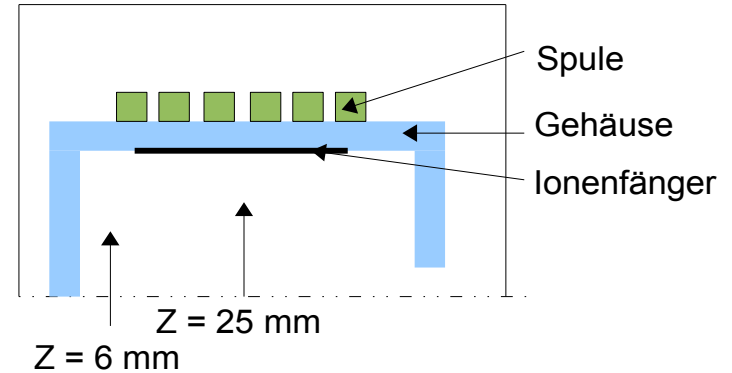
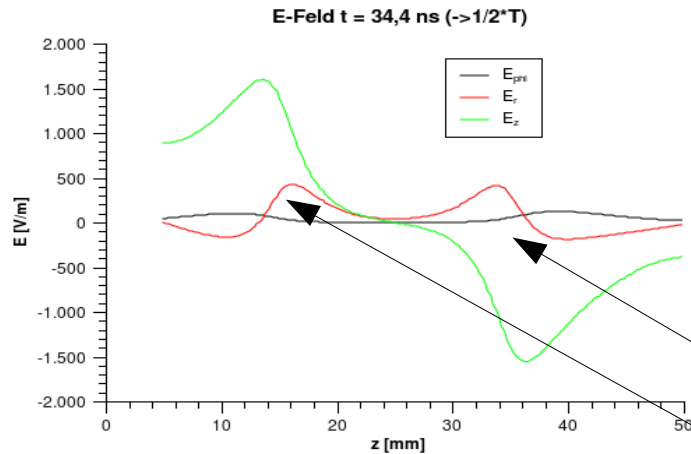


B-Feld z=25,1mm (Simulation o03)

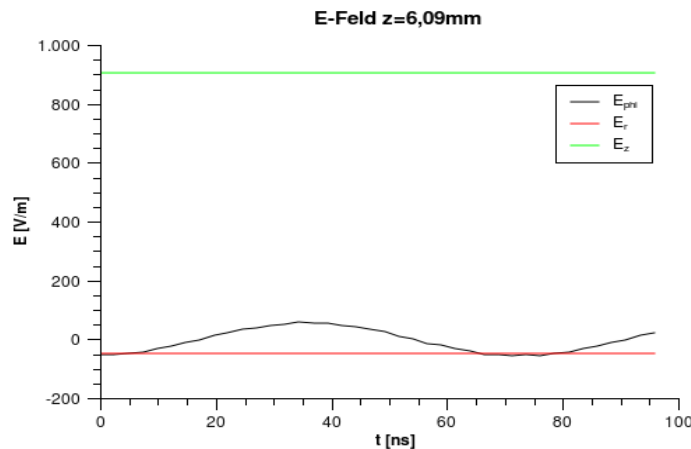


- $B_{\phi}$  – Komponente = 0 (ideale Spule)
- B-Feld in Randbereich um Größenordnungen höher als in der Mitte
- B-Feld der Teilchenströme geringer als B-Feld der Spule (Rauschen)

# PBN- E-Feldverteilung



Größte Feldstärke am Rand des Plasmaankers



$I_{\text{spule}} = 1 \text{ A}$  : E-Feld wird durch Gleichspannung dominiert  
Größere  $I_{\text{spule}}$   $\rightarrow$  gleiche Größenordnung

# Zusammenfassung + Ausblick

---

- ✓ RF-PBN mittels XOOPIC moduliert
- ✓ Teilung in einzelne Domänen zur effizienteren Berechnung
- ✓ Elektronenextraktion stets mit Ionisation verbunden
- ✓ Plasmadichte am Rand des Plasmaankers am höchsten
  
- Nutzung neuester Compiler-Versionen
- Parallelisierung mittels MPI
- Erweiterung der Wechselwirkungsprozesse