




# **METHODE ZUR BESTIMMUNG DER STRAHLDIVERGENZ VON IONENQUELLEN UND ELEKTRISCHEN TRIEBWERKEN**

F. Scholze, C. Eichhorn, C. Bundesmann, D. Spemann  
IOM Leipzig



**XXIV. Erfahrungsaustausch „Oberflächentechnologien mit  
Plasma- und Ionenstrahlprozessen“**

7. – 9. März 2016, Mühlleithen

# Inhalt

- /// Motivation
- /// Divergenzwinkels – Kriterien, Definition
- /// Messanordnung
- /// Exemplarische Ergebnisse
- /// Zusammenfassung

# Motivation

## 1. Diagnostik

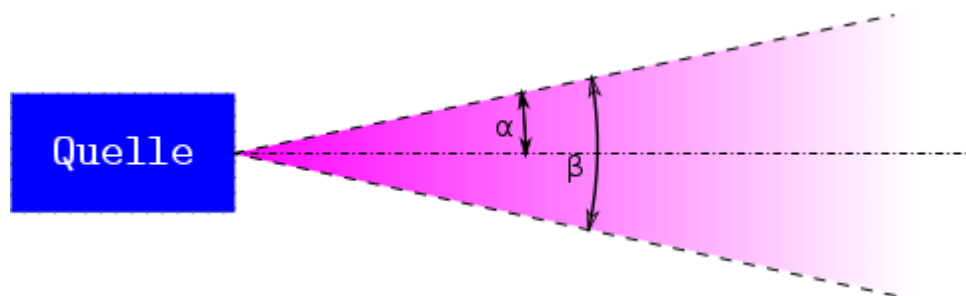
- Spezies : Massenspektrometer
- Energie der extrahierten Ionen : ESMS, RPA, ExB ...  $\rightarrow E_i$
- Extrahierter Ionenstrom : direkte oder indirekte Messung  $\rightarrow I_{\text{beam}}$
- Stromdichte : Faraday-Sonde  $\rightarrow j_{\text{max}}$ , oder  $j(x,y)$
- Divergenz des Strahles : Beschreibung / Definition ??

## 2. Nachweis, Spezifikation für Triebwerk

# Divergenzwinkel

## Kriterien

- Winkel bzgl. Mittelachse oder Gesamtwinkel (Divergenzwinkel  $\delta = \alpha$  oder  $\delta = \beta = 2\alpha$ )
- Stromdichte
- Gesamtstrom
- Teil des Strahls



### 1. Ionenstrahlprozesse :

- Homogene Bearbeitung (z.B. 95%  $j_{\max}$ )
- Strukturierung (z.B. Gauss-Form 50%  $j_{\max}$  oder 50%  $I_{\text{beam}}$ )
- Kontamination von Nichttargetmaterial (z.B. 5% von  $I_{\text{beam}}$ )

### 2. Triebwerk :

- Beschuss von Satellitenkomponenten (Solarpanel, Antennen, Sensoren ... z.B. 1%  $I_{\text{beam}}$ )
- Schubvektor, -verlust ( $T \sim I_{\text{beam}} * \cos(\alpha)$ )

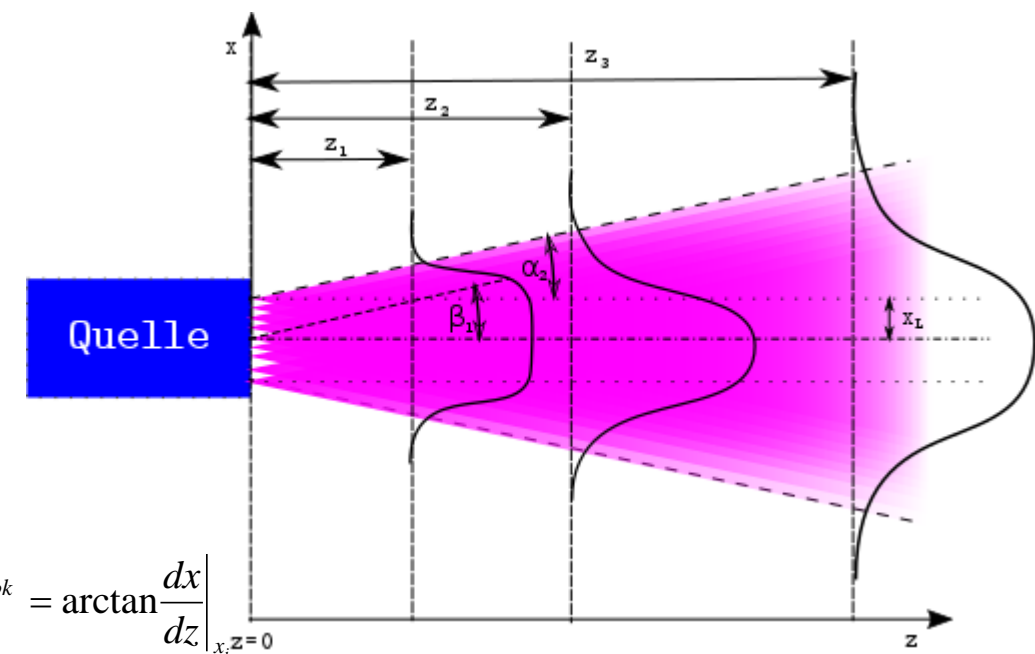


## Reale Ionenquelle / Triebwerk

- /// keine Punktquelle
- /// Ionenextraktion durch Multiapertur-Gittersystem
- /// Überlagerung von Beamlets (extrahierte Ionen pro Loch)
- /// Stromdichteverteilung der Beamlets ist ortsabhängig (nichthomogene Plasmadichteverteilung)
- /// Anzahl der überlagerten Beamlets ist ortsabhängig
- /// Form der Stromdichteverteilung ändert sich mit Abstand

Zu klärende Punkte :

- /// Winkel bzgl. Achse oder Linie
- /// Lokale oder mittlerer Winkel
- /// Verteilung rotationssymmetrisch?
- /// Bestimmung des Winkels (bzgl. Extraktionsfläche oder differentiell)

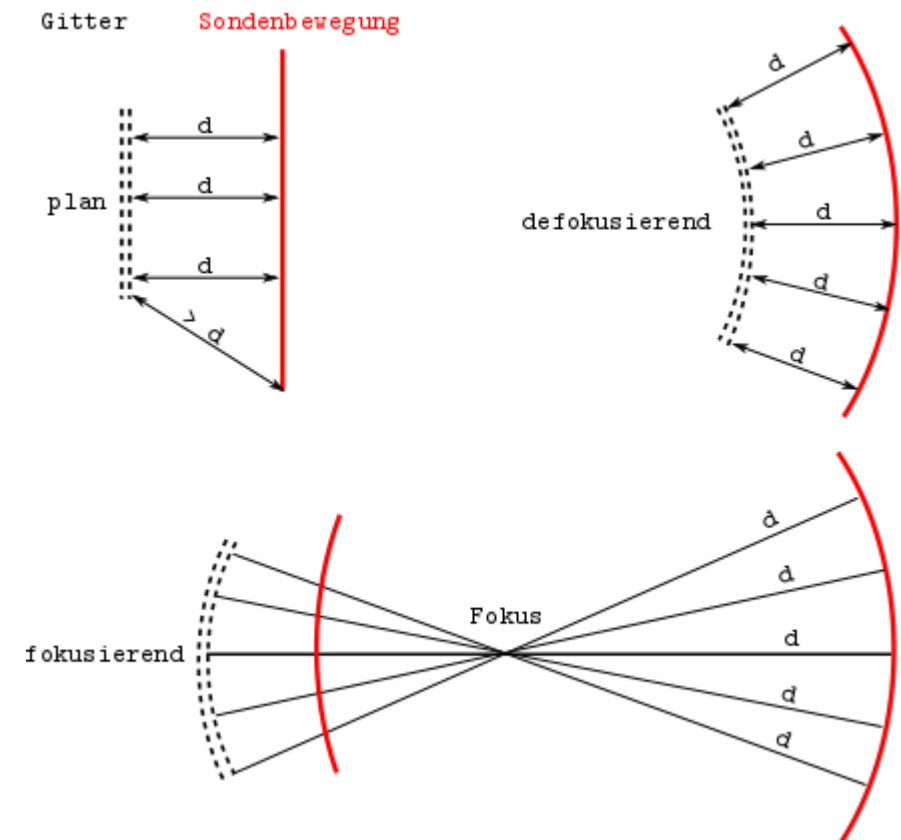


$$\alpha_i = \arctan\left(\frac{x_i - x_l}{z_i}\right) \quad \alpha_i^{lok} = \arctan\left.\frac{dx}{dz}\right|_{x_i, z=0}$$

$$\delta = 2\alpha(z) \neq 2\beta(z) \quad \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3$$

# Mögliche Messanordnungen

- /// Messung der Stromdichteverteilung
- /// Angepasst an Gitterform (plan, kugelförmig (de-/fokussierend), zylindrisch) oder Target-Substratform
- /// 1D, 2D oder 3D
- /// Abstand Extraktion – Sonde = konstant (Beamlet vergleichbar, Anzahl Beamlet gleich)
  - /// Gewölbt (konkav, konvex) → kreisförmige Bewegung, Drehpunkt im Gitterfokus
  - /// Planes Gitter → lineare Bewegung der Sonde
- /// Abstand variiert → Korrektur der Werte



# Messsystem



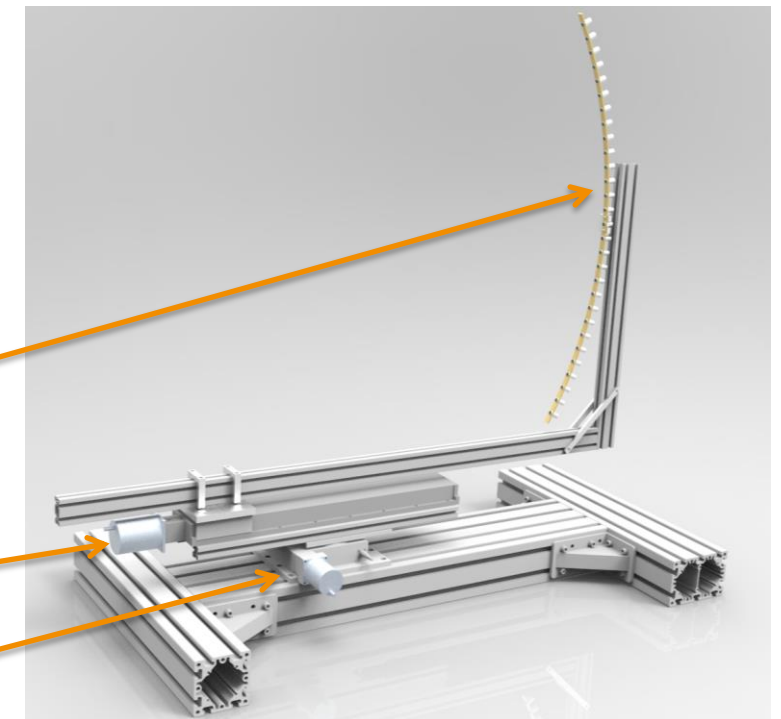
# Aufbau des Messsystems

## Kriterien und Randbedingungen

- Keine Beeinflussung des extrahierten Strahl
- Schnelle Datenerfassung
- Erfassung des gesamten Ionenstrahl
- Betrieb mit Neutralisator
- Gewölbtes Gittersystem

## Design für Vermessung von Gittertriebwerken

- Identische Faraday-Sonden
- Anordnung auf vertikalem Bogen
- Bogen wird horizontal geschwenkt (Drehtisch)
- Drehpunkt im Gitterfokus
- Abstand kann variiert werden (Lineartisch)
- Bogengröße und Schwenkbereich an Vakuumkammer angepasst



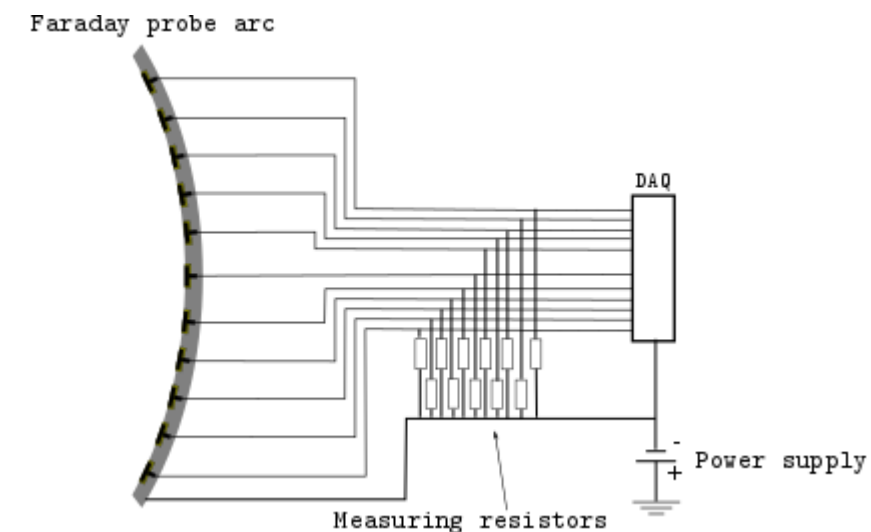
# Datenerfassung und Elektrische Beschaltung

## Datenerfassung

- Positionssynchrone, kontinuierliche Messung der Stromdichte
- Hohe Abtastrate (kHz-Bereich)
- Quasi gleichzeitige Erfassung von Position und Stromdichte für alle Sonden
- Auflösung : horizontal (bestimmt durch Abtastrate, Winkelgeschwindigkeit), vertikal (fest, Sondenanordnung)

## Beschaltung

- Sondenbogen elektrisch isoliert, einstellbare Vorspannung
- Negative Biasspannung (keine Elektronen)
- Messwiderstand, Spannungsabfall  $< 1V$



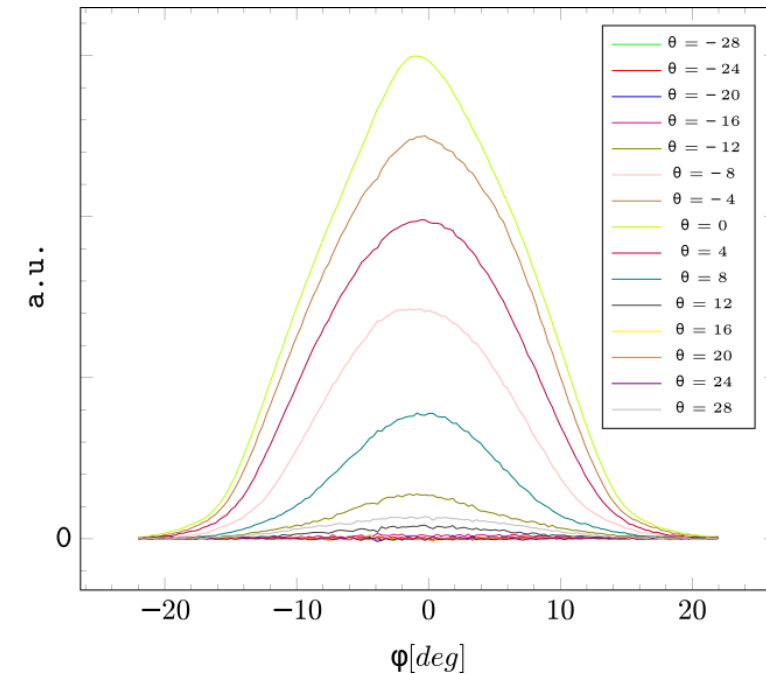
# Stromdichte

## Messung

- ▮ Datenerfassung bzgl Drehwinkel  $\varphi$
- ▮ Messung in mehreren Abständen

## Ergebnisse

- ▮ Symmetrische Verteilung
- ▮ Zentrale Stromdichte ( $\Theta = 0^\circ$ ) am größten
- ▮ Stromdichte fällt sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung ab
- ▮ Gesamter Strahl erfasst (am Rand  $j = 0$ )



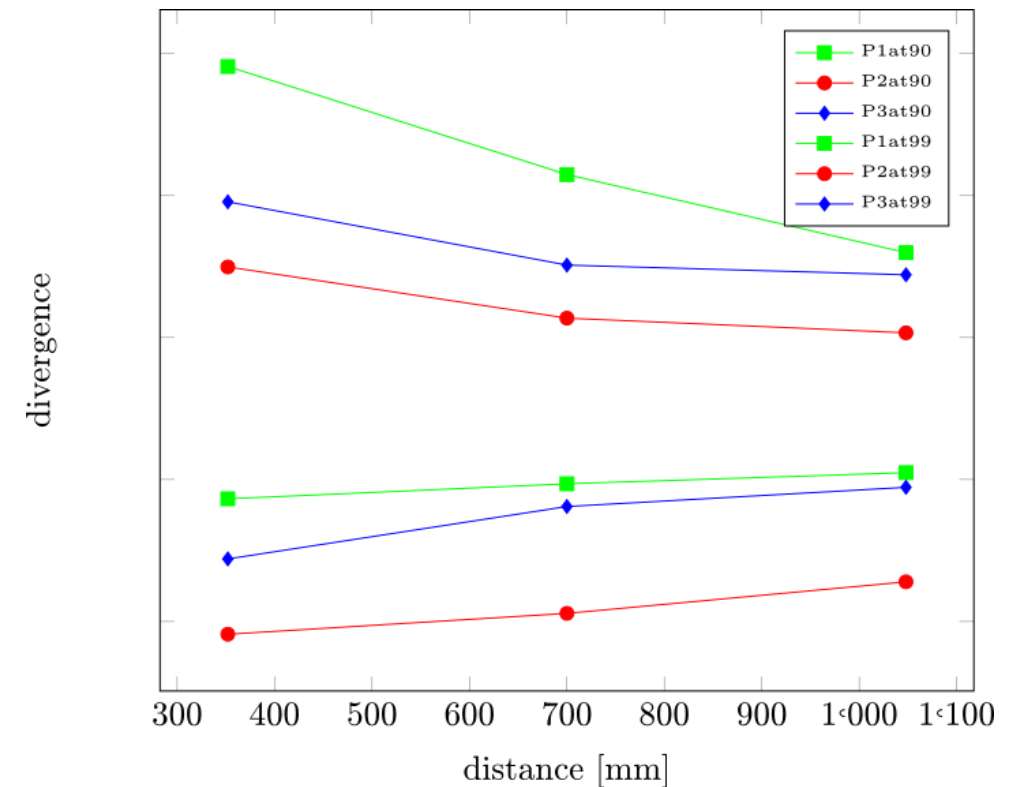
# Divergenzwinkel

## Kriterium

- Winkel bzgl. Lochkreisrand
- 90% und 99% von  $I_{\text{beam}}$

## Ergebnisse

- Abhängig von Triebwerksparametern
- Winkel für 90% < Winkel für 99%
- steigt mit Abstand bei z.B. 90%  $I_{\text{Beam}}$
- fällt mit Abstand bei z.B. 99%  $I_{\text{Beam}}$



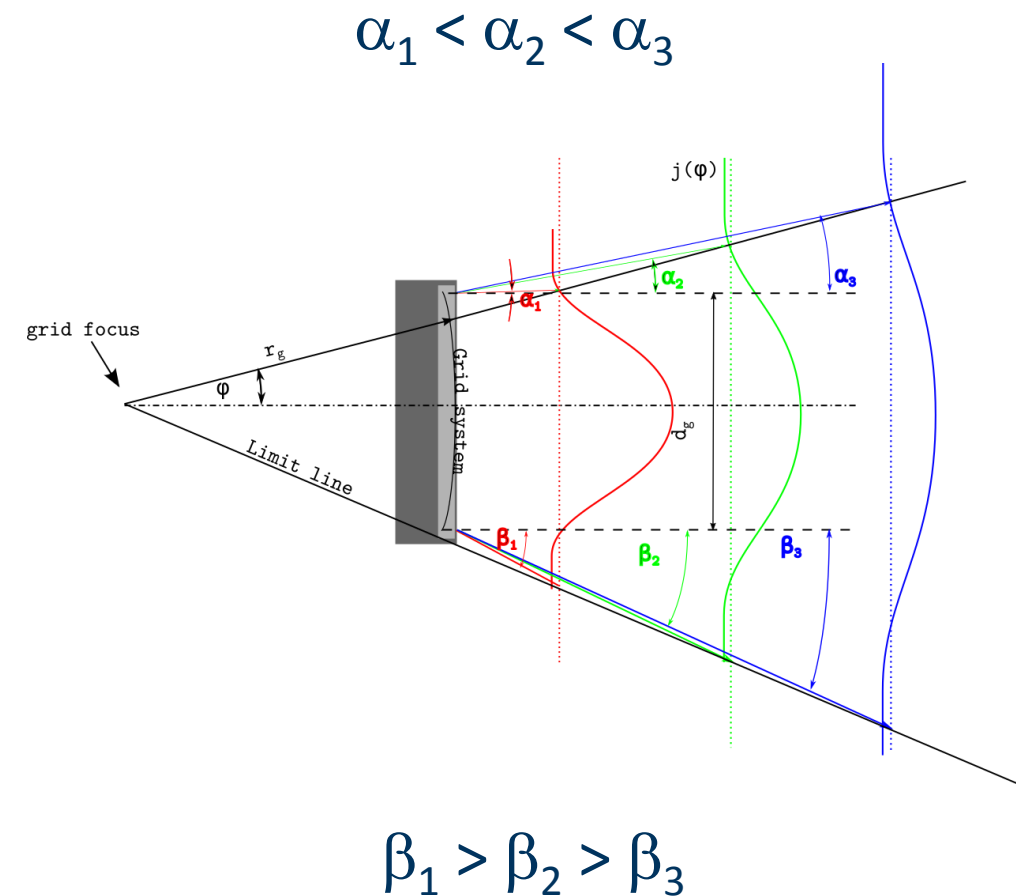
# Divergenzwinkelabhängigkeit

## Kriterium

- Winkel bzgl. Lochkreisrand
- 90% und 99% von  $I_{\text{beam}}$

## Ergebnisse

- Grenzlinie innerhalb des Lochkreisdurchmesser  $\rightarrow$  Winkel steigt
- Außerhalb  $\rightarrow$  Winkel fällt





## Weitere Möglichkeiten

### Gesamtstrom

- Integration der Verteilung
- Integral in unterschiedlichen Abständen → Umladungsprozesse  
Ion - Neutrale

### Schubvektor

- Richtungsänderung über Zeit
- Unterschiede zwischen verschiedenen Schüben
- Verhalten während der Einstellung des thermischen Gleichgewichtes

## Zusammenfassung

- /// Keine etablierte Definition des Divergenzwinkels
- /// Je nach Anwendung sind Anforderungen zu definieren (Abstand, Randbedingung, Bezugspunkt/Achse )
- /// Beispiel : Design für Divergenzwinkelmessung an einem Gittertriebwerk
- /// Winkel ist abhängig von
  - /// Abstand
  - /// Kriterium für Divergenzwinkel
  - /// Betriebsparametern
- /// Effekte erklärbar durch Beamletüberlagerung
- /// Verbesserung der Winkelauflösung
  - /// Anzahl der Sonden erhöhen
  - /// Drehung der Quelle um Mittelachse → Einzelsonde, größere Messzeit

## Danksagung

### Konstruktion und Fertigung

- /// Ronny Woyciechowski
- /// Marco Müller
- /// IOM Werkstatt

### Finanzierung

- /// Airbus Safran Launchers

The Airbus logo, consisting of the word "AIRBUS" in white capital letters on a dark blue rectangular background.

Ihnen für die Aufmerksamkeit