



Technische  
Hochschule  
Wildau [FH]  
*Technical University  
of Applied Sciences*

# Verteidigung Bachelorarbeit

## Tests und Simulationen zur Plasmazelle bei PITZ

Vorbereitungen zur Inbetriebnahme der Plasmazelle und Simulationen zur Streuung des Elektronenstrahls in der Plasmazelle

- 1. Motivation**
- 2. Zielstellung**
- 3. Aufbau der Plasmazelle**
- 4. Konstruktion des Drahtgeflechts**
- 5. Heizversuche an der Plasmazelle**
- 6. Streuung von Elektronen an Elektronenfenstern**
- 7. Zusammenfassung**

# 1. Motivation



- Erprobungen für Experimentalaufbau am CERN für Plasmabeschleunigung (AWAKE-Experiment)
- Ermöglichen von Beschleunigungsraten im Bereich von 1TeV/m mit Plasmabeschleunigung möglich
- maximale Beschleunigungsraten herkömmlicher Beschleuniger:  
100MeV/m → Faktor 10000
- Konstruktion einer Plasmazelle zur Plasmabeschleunigung nach Prinzip der Selbstmodulation
- vor Einsatz der Zelle für Experimente zur Plasmabeschleunigung sind eine genaue Charakterisierung und Tests an der Anlage nötig

### I. Entwurf für eine Anordnung von Drahtgeflecht zum Auskleiden der Plasmazelle

### II. Heizversuche an der Plasmazelle

- > Charakterisierung des Heizverhaltens der Plasmazelle
- > Aufnahme eines Temperaturprofils entlang der Strahlröhre

### III. Monte-Carlo-Simulationen zum Streuverhalten eines Elektronenstrahls an dünnen Folien

- > Simulationen mit verschiedenen Materialien und verschiedenen Foliendicken zur Bestimmung der durch die Folien hervorgerufenen Strahldivergenz (**maximal 0,2mrad**)
- > Vergleich der Simulationsergebnisse und der Ergebnisse der Formel mit Messwerten

# 3. Aufbau der Plasmazelle

## Gesamtaufbau

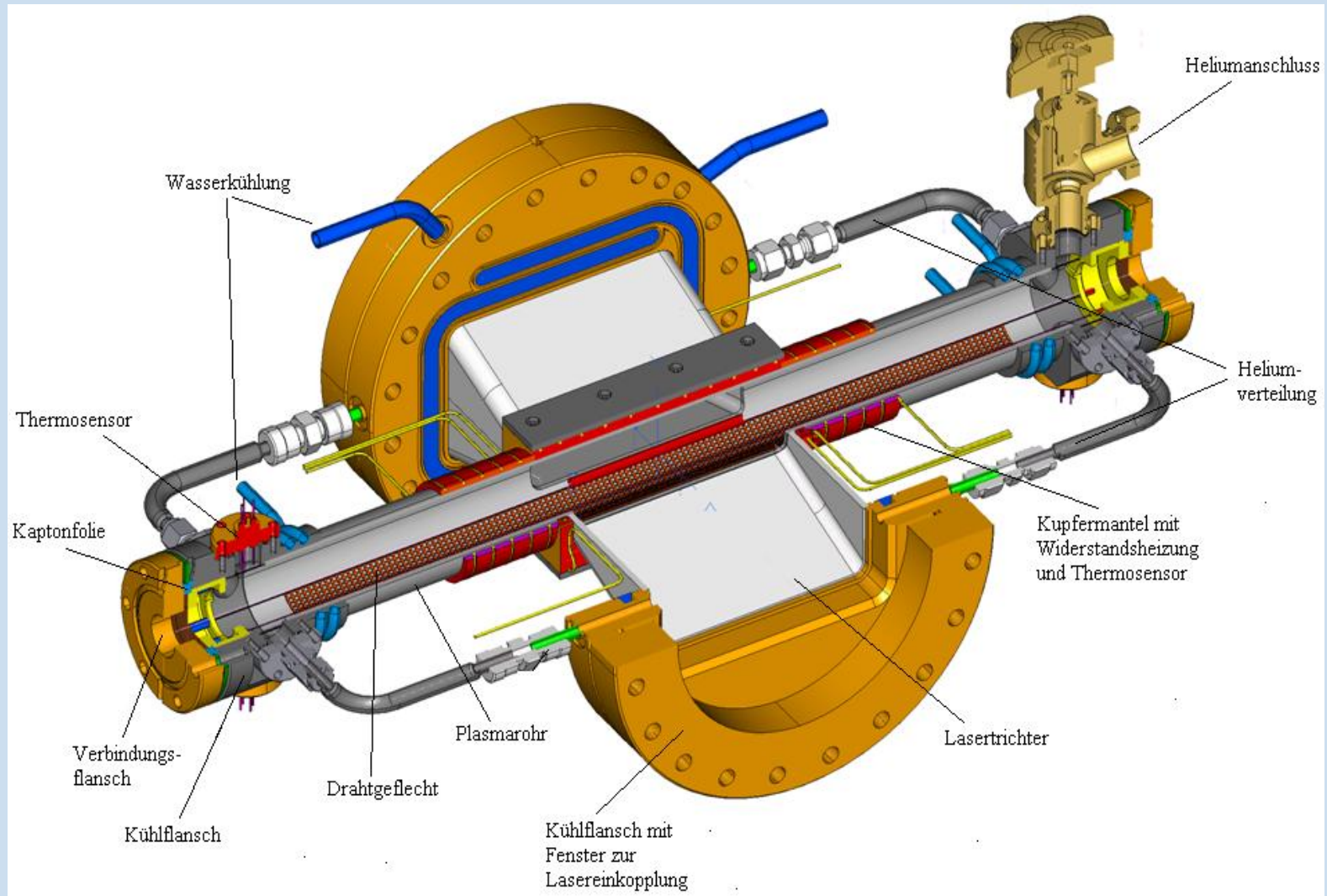


Abb. 1 Modell der PIZ Plasmazelle

# 3. Aufbau der Plasmazelle

## Heizung der Plasmazelle

### Bestandteile:

- zwei Kupferformteile (30cm Länge)
- zwei Paare von Heizdrähten

### Anordnung:

- Formteile oben und unten im mittleren Bereich an Kammerwand
- erstes Paar der Heizdrähte spulenförmig links und rechts um Formteile
- zweites Paar der Heizdrähte mäanderförmig oben und an die Formteile

### Parameter der Heizdrähte:

Typ	max. Temperatur [°C]	max. Leistung [W]	max. Spannung [V]
I	800	160	40
II	800	210	40

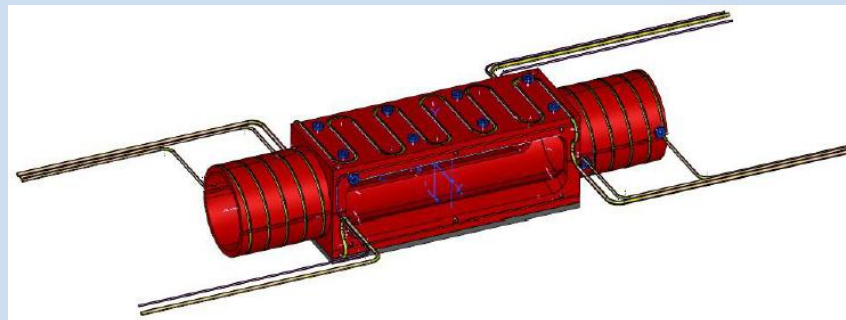


Abb. 2 Heizdrahtanordnung mit Kupferformteilen

# 4. Konstruktion des Drahtgeflechts

### Bestandteile:

- ein Teil zur Auskleidung der Strahlröhre mit Aussparungen für die Trichteröffnungen (obere Abb.)
- vier identische Teile zur Auskleidung der Trichter (untere Abb.)

### Vorteil:

- einfaches Einpassen in die Plasmazelle

### Nachteil:

- kein geschlossenes Drahtgeflecht an den Übergängen von den Trichtern zur Strahlröhre
- Aufwölbung der Trichterauskleidung

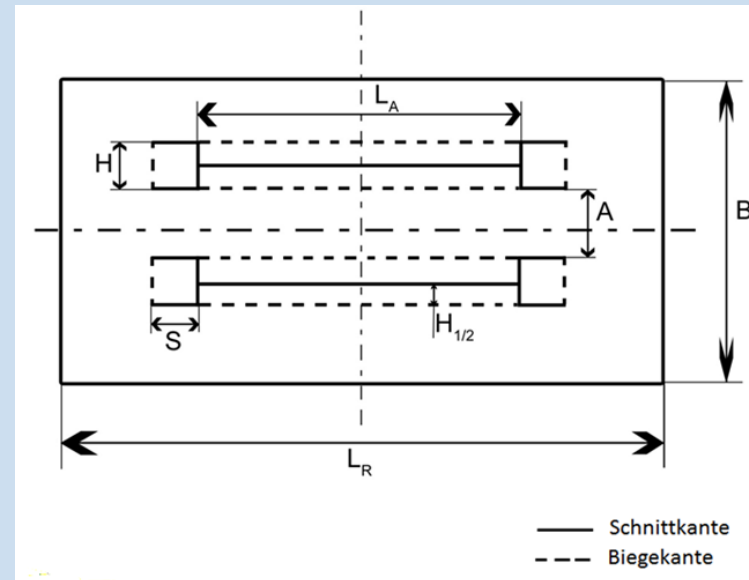


Abb. 3 Auskleidung der Strahlröhre (Skizze)

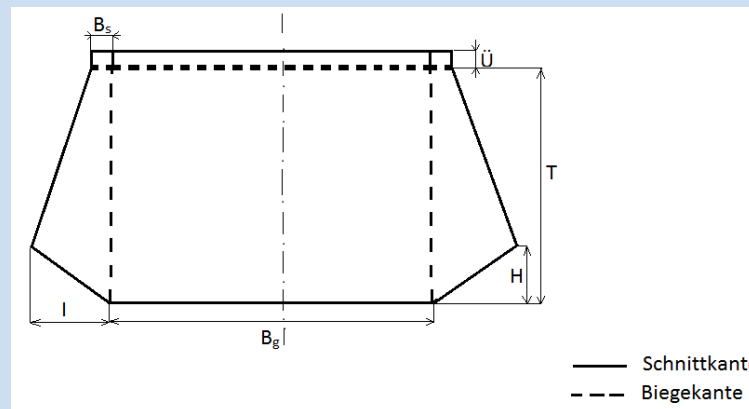


Abb. 4 Trichterauskleidung (Skizze)

# 5. Heizversuche an der Plasmazelle

## Heizkurve

- Temperatur an allen Heizelementen zu jedem Zeitpunkt nahe zu gleich
- maximale Heizrate  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$
- Regelung der Heizelemente nur über manuelle Drehregler möglich  
→ kleinste Heizstufen  $1\text{W} \pm 0,3\text{W}$
- durchschnittliche Heizrate  $\text{ca. } 18^{\circ}\text{C}/\text{h} \rightarrow 0,3^{\circ}\text{C}/\text{min}$

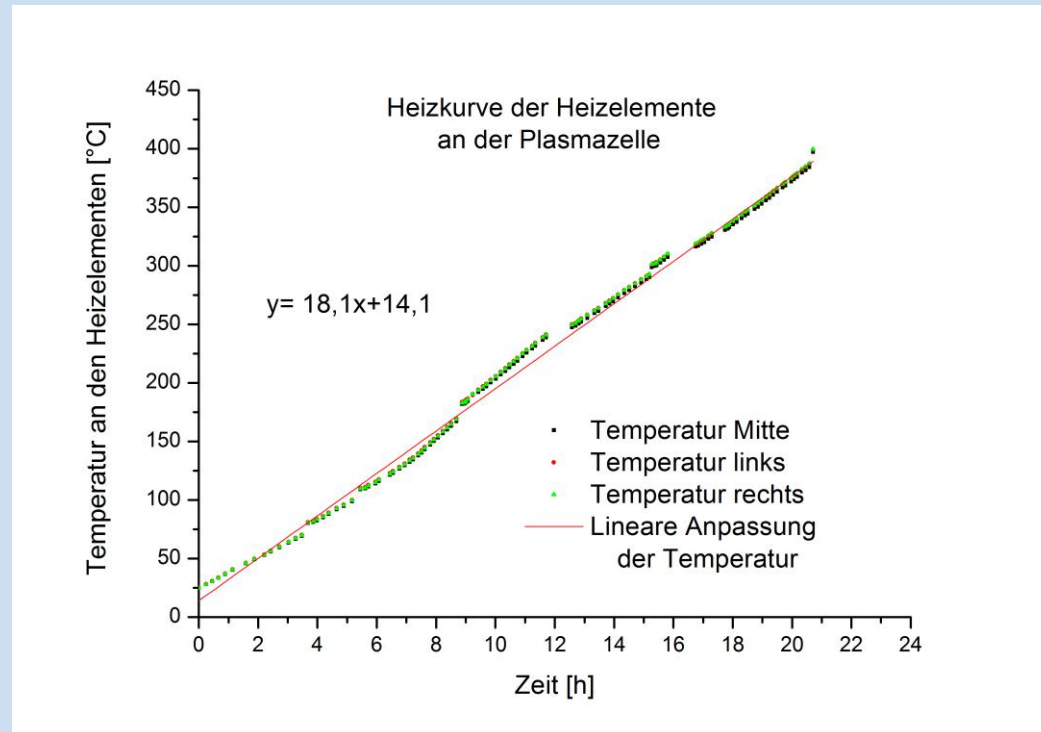


Abb. 5 Heizkurve der Plasmazelle

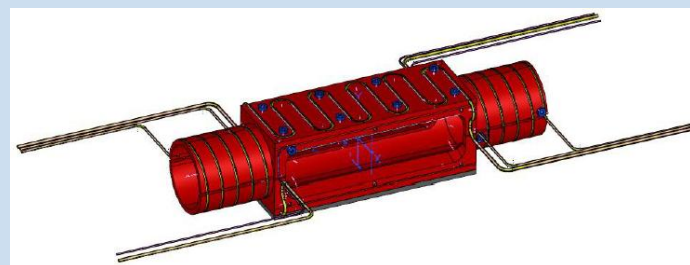


Abb. 2 Heizdrahtanordnung mit Kupferformteilen



# 5. Heizversuche an der Plasmazelle

## Vergleich der Innentemperatur mit Temperatur an den Heizelementen

- massive Wärmeverluste von den Heizelementen zum Inneren der Strahlröhre (ca. 40%)
  - für 700°C im Inneren der Anlage 1200°C an den Heizelementen
- Problem:
  - maximale Betriebstemperatur 800°C
- **Fazit:** Wärmetransport optimieren

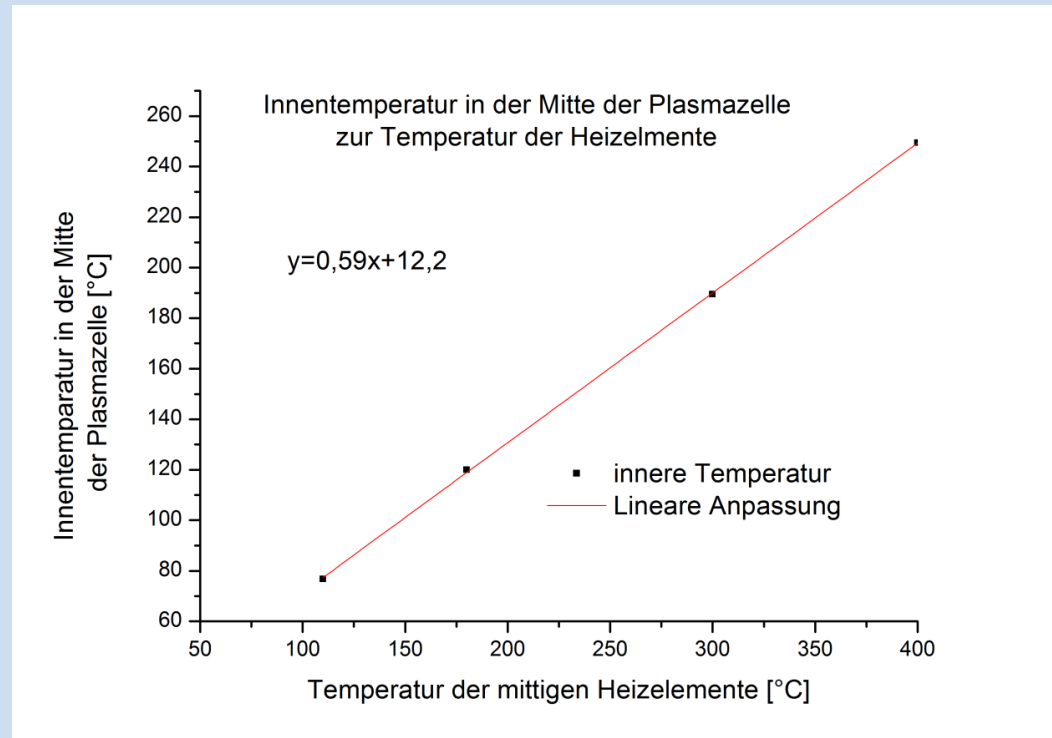


Abb. 6 Vergleich der Temperaturen im Inneren der Zelle und an den Heizdrähten

# 5. Heizversuche an der Plasmazelle

## Temperatur der Heizelemente zur Heizleistung

- Temperatur an allen Heizdrähten bei allen angelegten Leistungen nahezu gleich
- logarithmische Anpassung  
 $y = a - b \cdot \ln(x + c)$
- benötigte Leistung für 1200°C an den Heizdrähten:  
ca. 300W pro Heizdraht
- Problem:  
maximale Leistung der Heizdrähte: 210W bzw. 160W
- **Fazit:** auch hier Bedarf an Optimierung

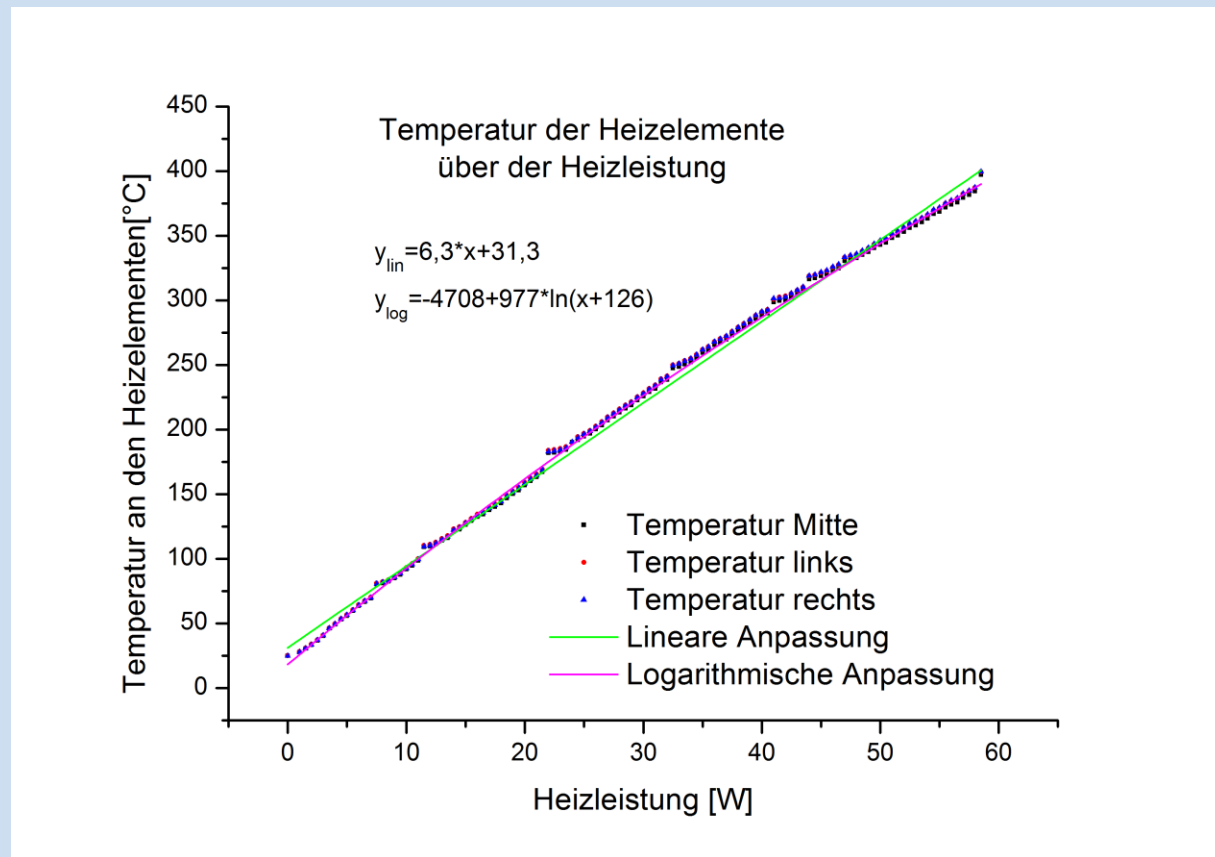


Abb. 7 Temperatur der Heizdrähte über der Heizleistung

# 5. Heizversuche an der Plasmazelle

## Temperaturprofil entlang der Strahlröhre

### - Idealfall:

- > Temperatur in Li-Zone nahezu homogen (von 20-30cm)
- > steiler Temperaturgradient in He-Zone
- > Umgebungstemperatur an den äußersten Positionen

### - Realität:

- > Temperatur in Li-Zone von 20-30cm homogen
- > steiler Temperaturgradient in He-Zonen vorhanden
- > keine Annäherung an die Umgebungstemperatur an einem Ende

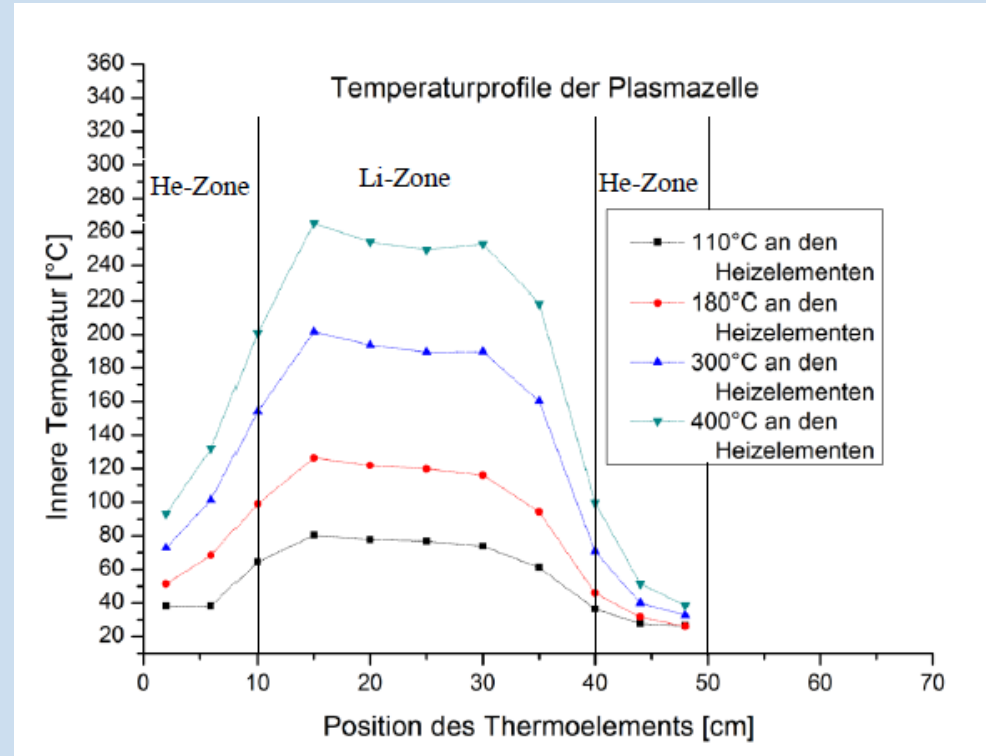


Abb. 8 Temperaturprofil entlang des Strahlungsrohrs inklusive Zoneneinteilung

# 6. Streuung von Elektronen an Elektronenfenstern

## Detaillierte Betrachtung geeigneter Materialien

### - Materialien:

Beryllium, Kohlenstoff, Kapton, Mylar, Polyethylen, Polypropylen

### - Foliendicke:

zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 10  $\mu\text{m}$

- stärkste Streuung bei Kohlenstoff  
(max. 2,7  $\mu\text{m}$  für  $\theta \leq 0,2 \text{ mrad}$ )

- nahezu identisches Verhalten bei Mylar und Kapton  
(max. 3,1  $\mu\text{m}$  für  $\theta \leq 0,2 \text{ mrad}$ )

- bestes Streuverhalten bei Polypropylen  
(max. 6,2  $\mu\text{m}$  für  $\theta \leq 0,2 \text{ mrad}$ )

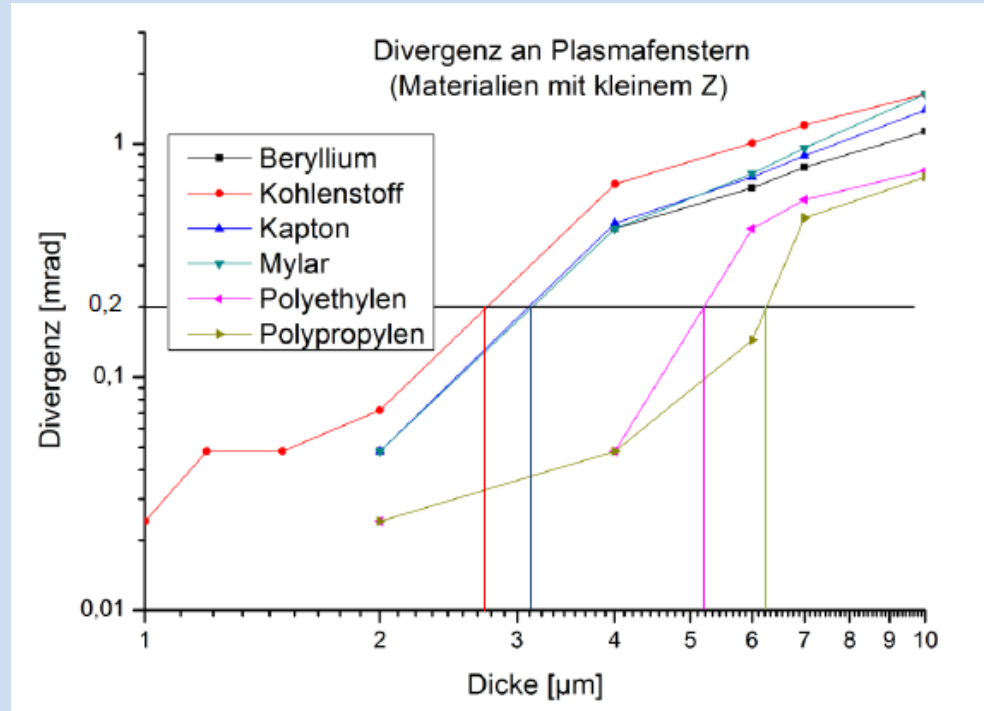


Abb. 9 Simulationsergebnisse zur Divergenz (Materialien mit kleinem Z)

**Fazit:** Polypropylen ist in diesem Zusammenhang das geeignetste der untersuchten Materialien.

# 6. Streuung von Elektronen an Elektronenfenstern

## Vergleich von Simulationen und Berechnungen mit Messwerten

- Aufnahme von Messpunkten mit 50 $\mu\text{m}$  dicken Kaptonfolie und 6 $\mu\text{m}$  dicken Mylarfolie
- Ergebnisse der Formel in beiden Fällen weit vom Messwert entfernt
- Simulationsergebnisse entsprechen eher der Realität oder sind annähernd identisch
- **Fazit:**  
Monte-Carlo-Code basierende Simulationen sind das bessere Werkzeug zur Vorhersage von Streuprozessen an dünnen Folien.

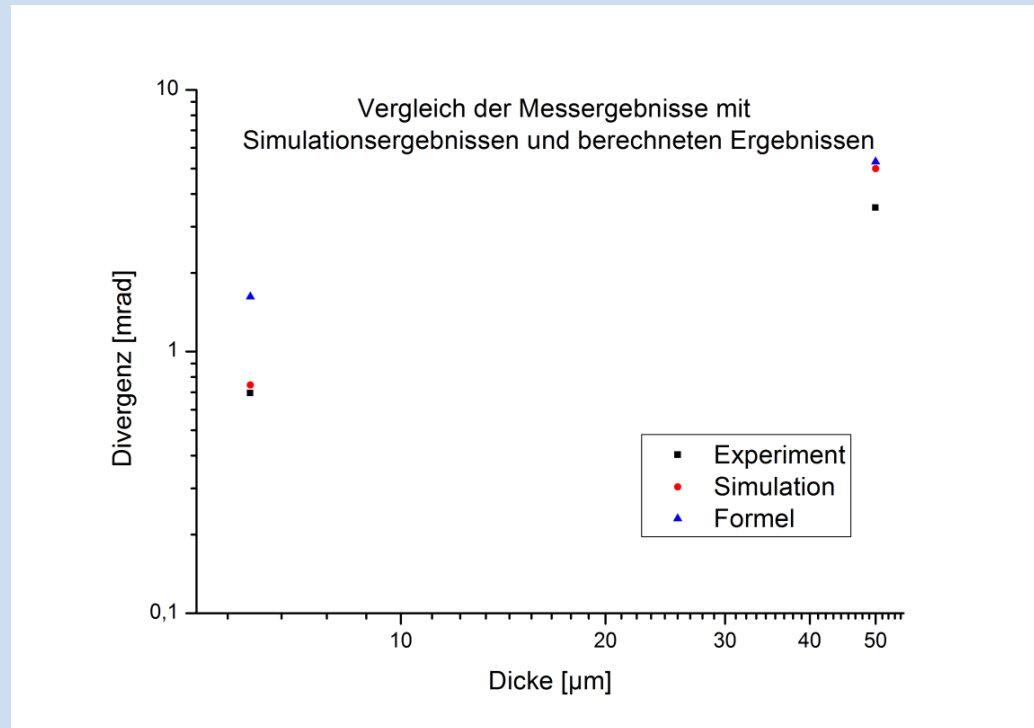


Abb. 10 Vergleich der Messergebnisse mit Simulationsergebnissen und berechneten Ergebnissen

## I. Entwurf für eine Anordnung von Drahtgeflecht zum Auskleiden der Plasmazelle

- > Entwicklung eines umsetzbaren Entwurfs zur Auskleidung der Plasmazelle mit Drahtgeflecht
- > Überprüfung der Funktionalität im Experiment noch erforderlich

## II. Heizversuche an der Plasmazelle:

- > Charakterisierung des Heizverhaltens und Aufnahme eines Temperaturprofils entlang der Strahlröhre
- > Optimierungsarbeiten:
  - Wärmetransport von den Heizelementen ins Innere verbessern (aktuell 40% Verlust)
    - > Betriebsparameter der Heizdrähte für aktuelle Situation unterdimensioniert
  - Erschließung der Ursache für erhöhte Temperatur in He-Zone

## III. Monte-Carlo-Simulationen zum Streuverhalten eines Elektronenstrahls an dünnen Folien

- > Polypropylen von untersuchten Materialien unter Betrachtung untersuchter Aspekte am geeignetsten
- > bessere Eignung von Monte-Carlo-Simulationen zur Vorhersage von Streuungen bei dünnen Folien