



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

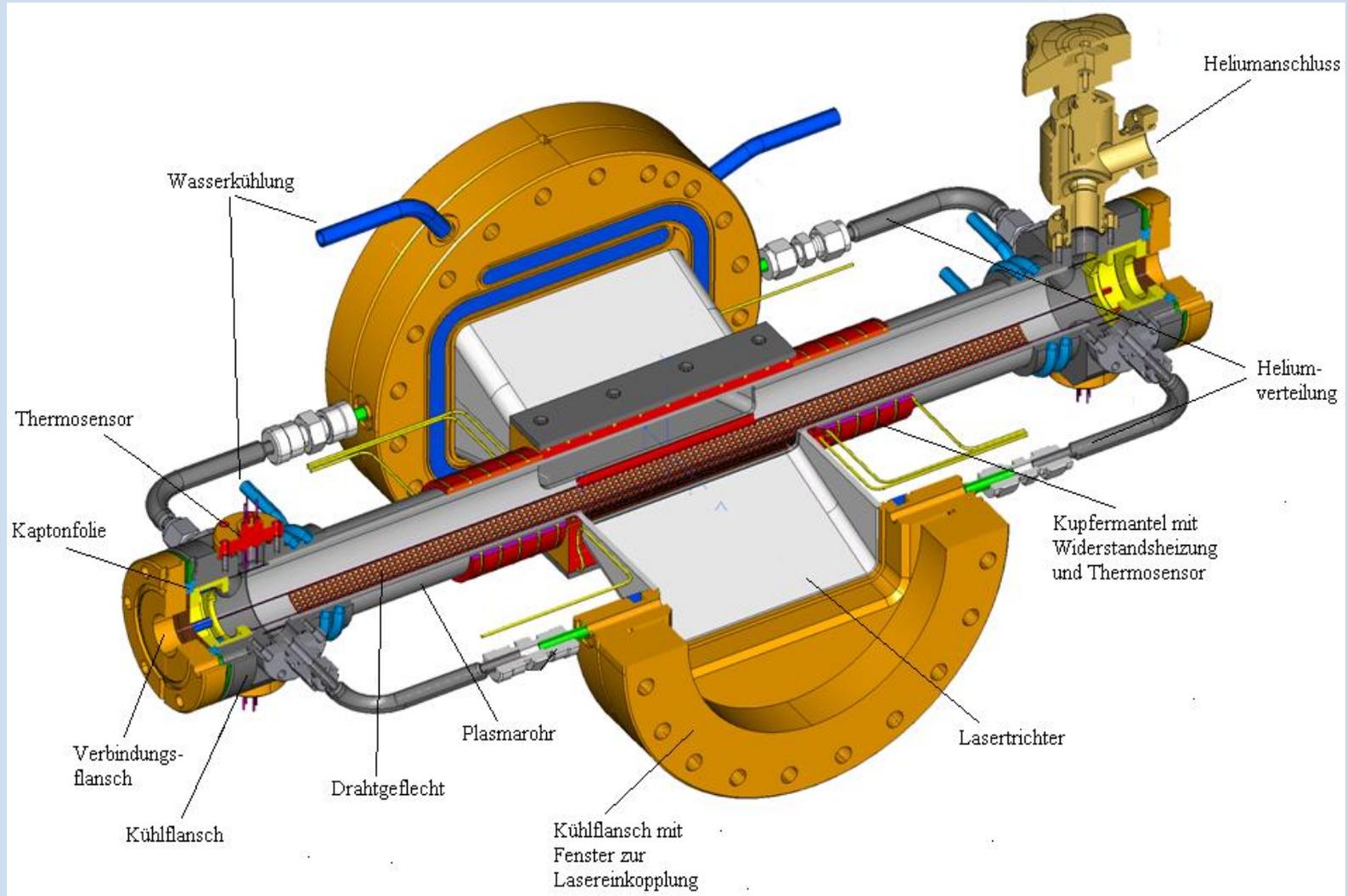


Abb. 1 Modell der PITZ Plasmazelle

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

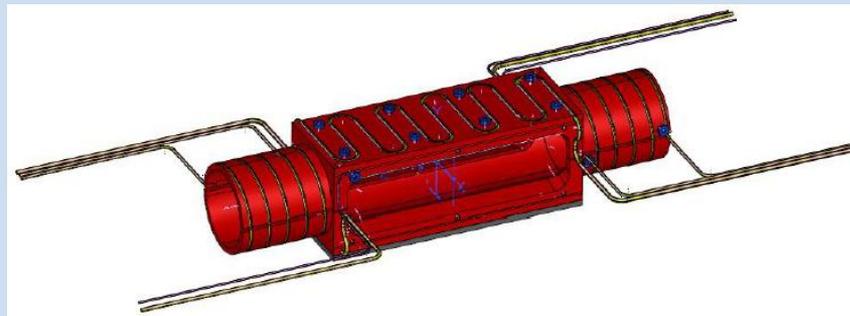


Abb. 2 Heizdrahtanordnung mit Kupferformteilen

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

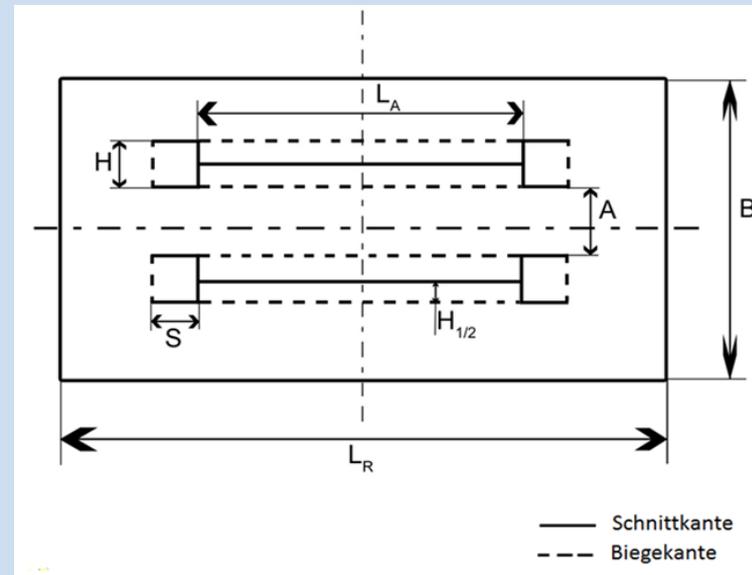


Abb. 3 Auskleidung der Strahlröhre (Skizze)

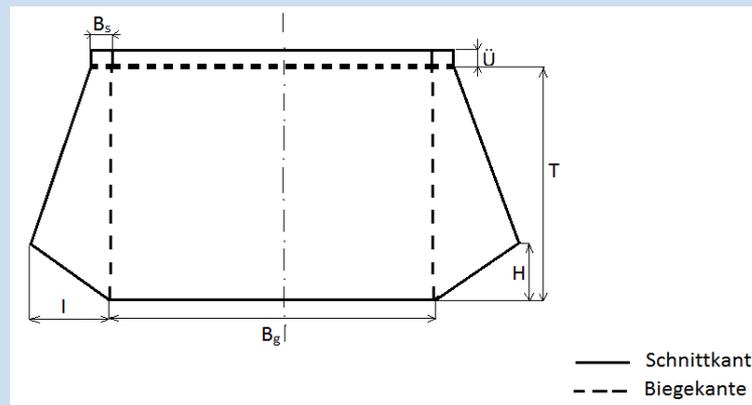


Abb. 4 Trichterauskleidung (Skizze)

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 $\text{ca. } 18^{\circ}\text{C}/\text{h} \rightarrow 0,3^{\circ}\text{C}/\text{min}$

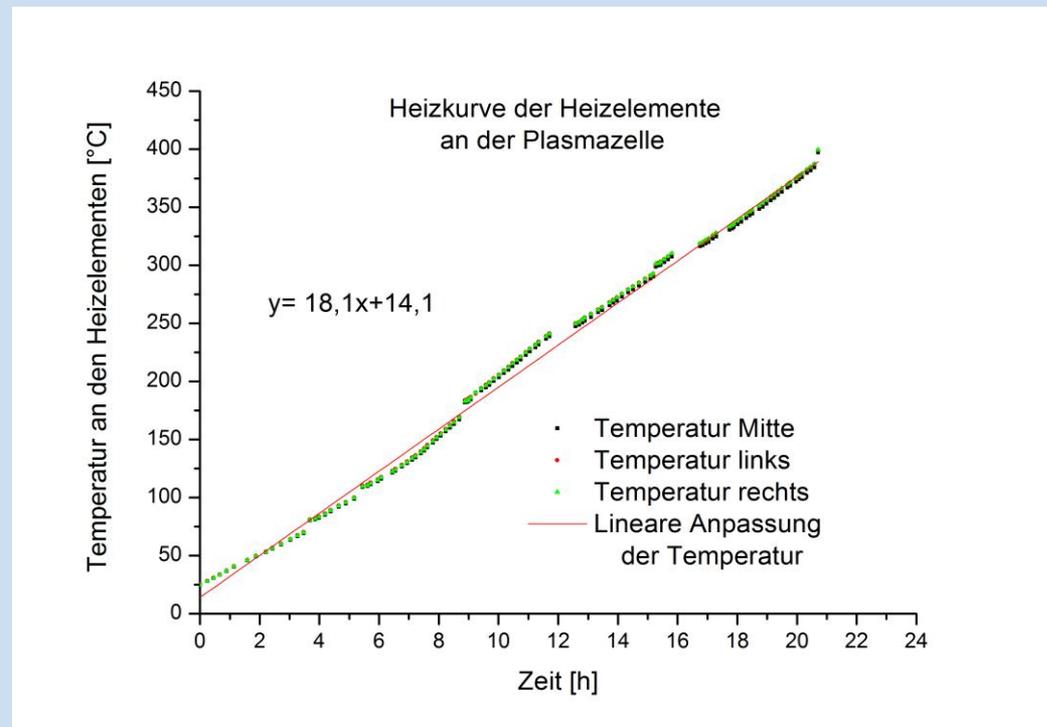


Abb. 5 Heizkurve der Plasmazelle

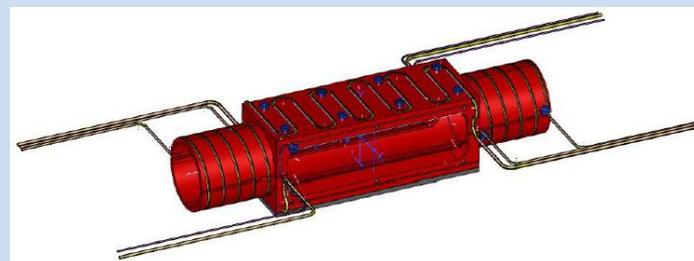


Abb. 2 Heizdrahtanordnung mit Kupferformteilen

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

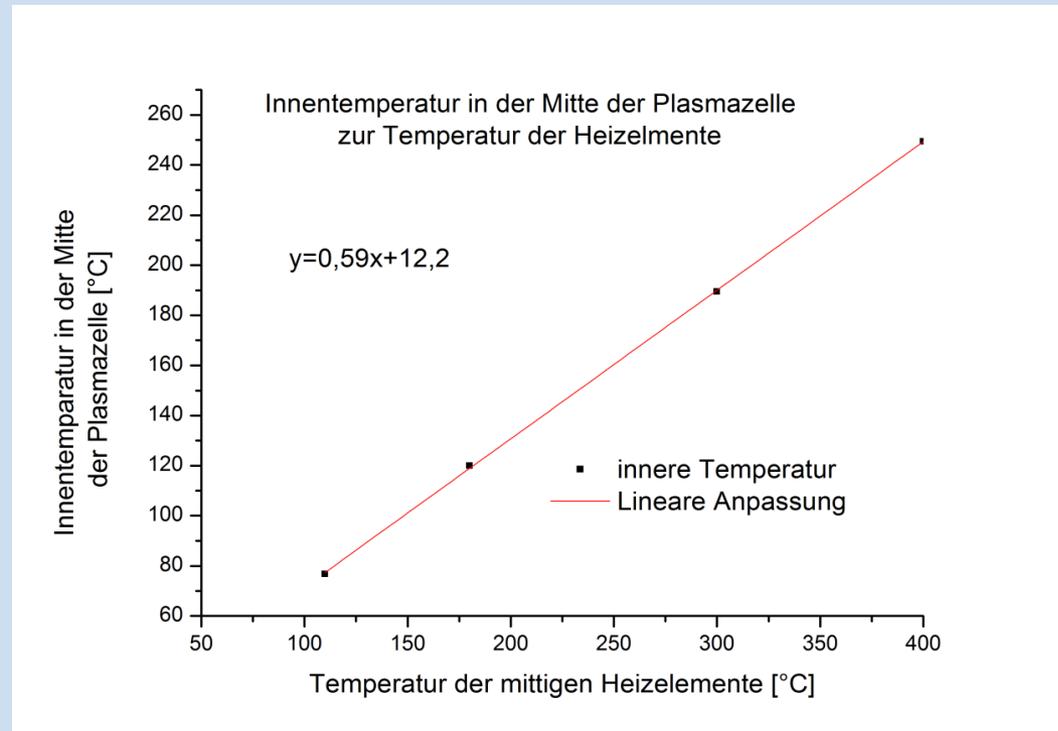


Abb. 6 Vergleich der Temperaturen im Inneren der Zelle und an den Heizdrähten

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

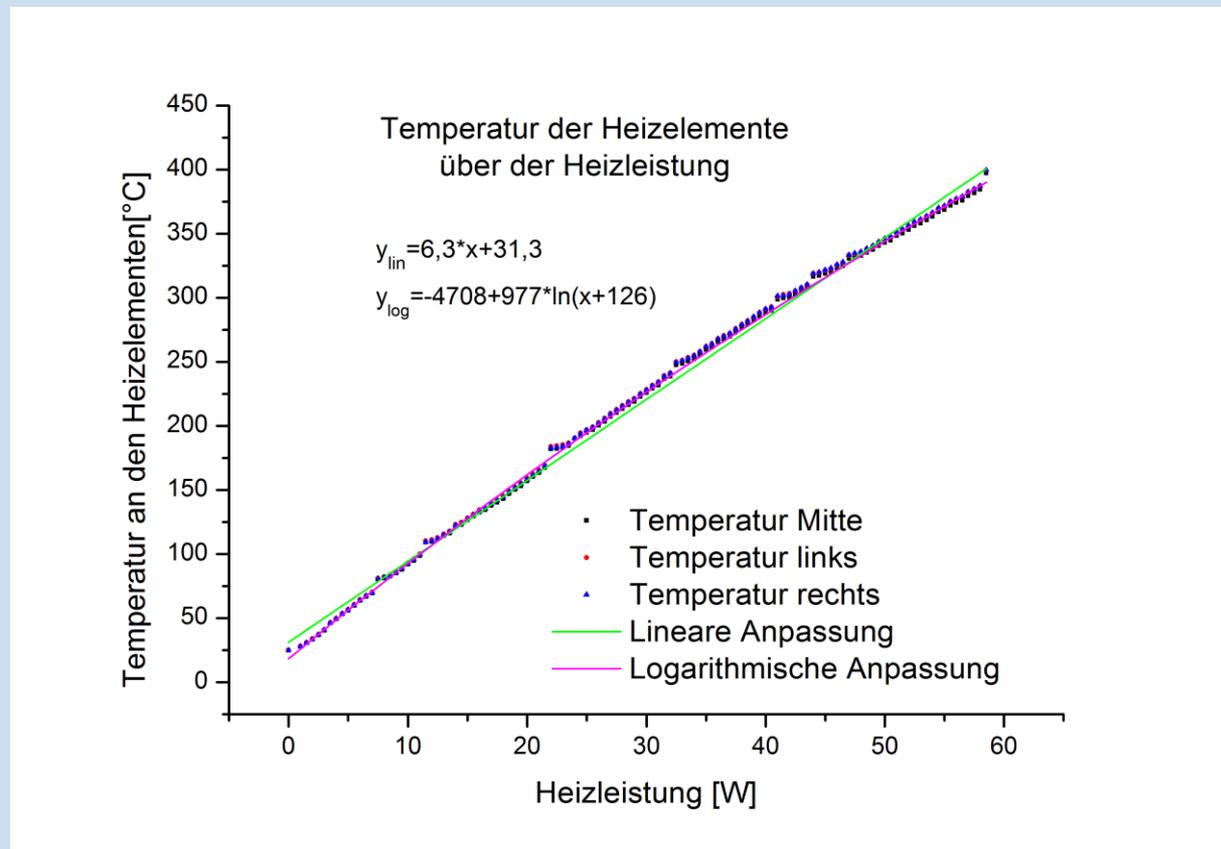


Abb. 7 Temperatur der Heizdrähte über der Heizleistung

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

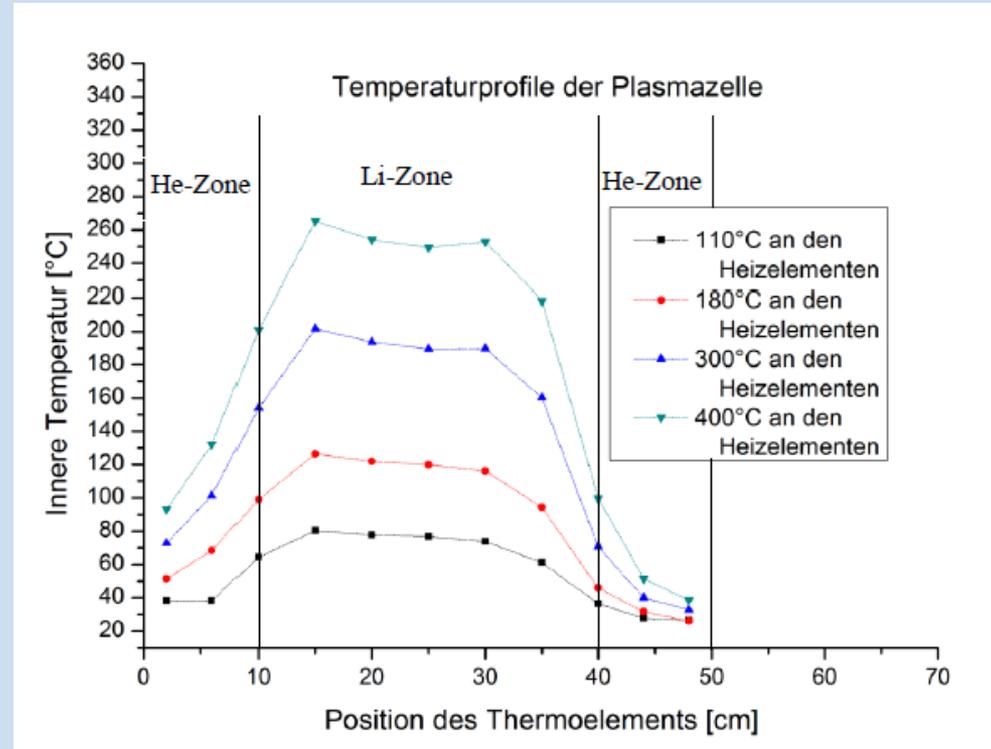


Abb. 8 Temperaturprofil entlang des Strahlungsrohrs inklusive Zoneneinteilung

6. Streuung von Elektronen an Elektronenfenstern

Detaillierte Betrachtung geeigneter Materialien

- Materialien:

Beryllium, Kohlenstoff, Kapton, Mylar, Polyethylen, Polypropylen

- Foliendicke:

zwischen 1 μm und 10 μm

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

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

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

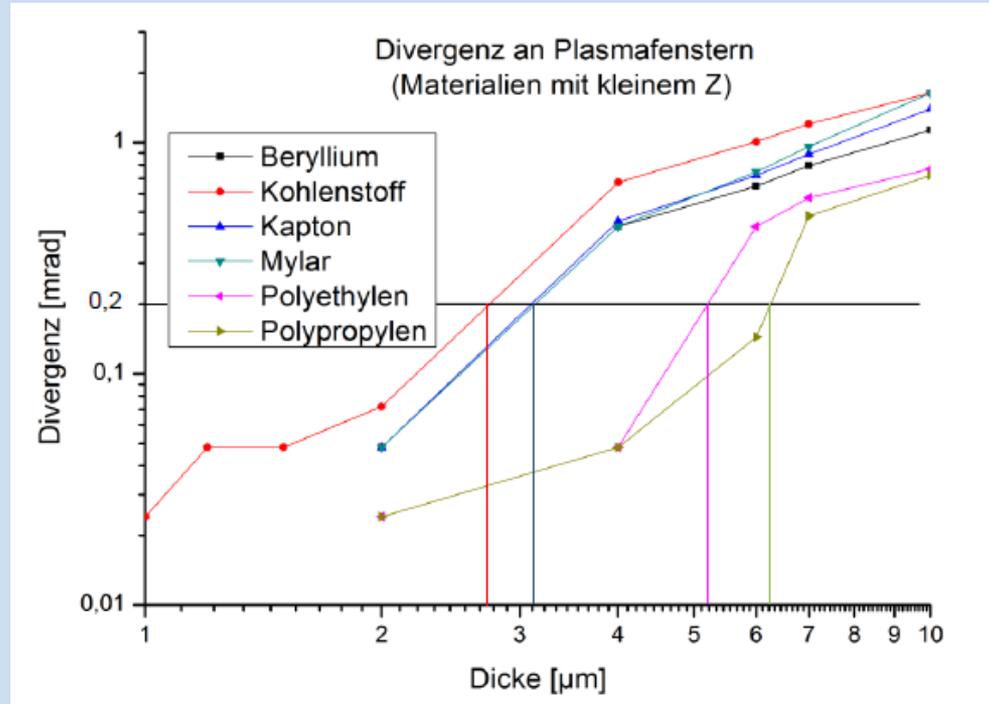


Abb. 9 Simulationsergebnisse zur Divergenz (Materialien mit kleinem Z)

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 μm dicken Kaptonfolie und 6 μm 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.

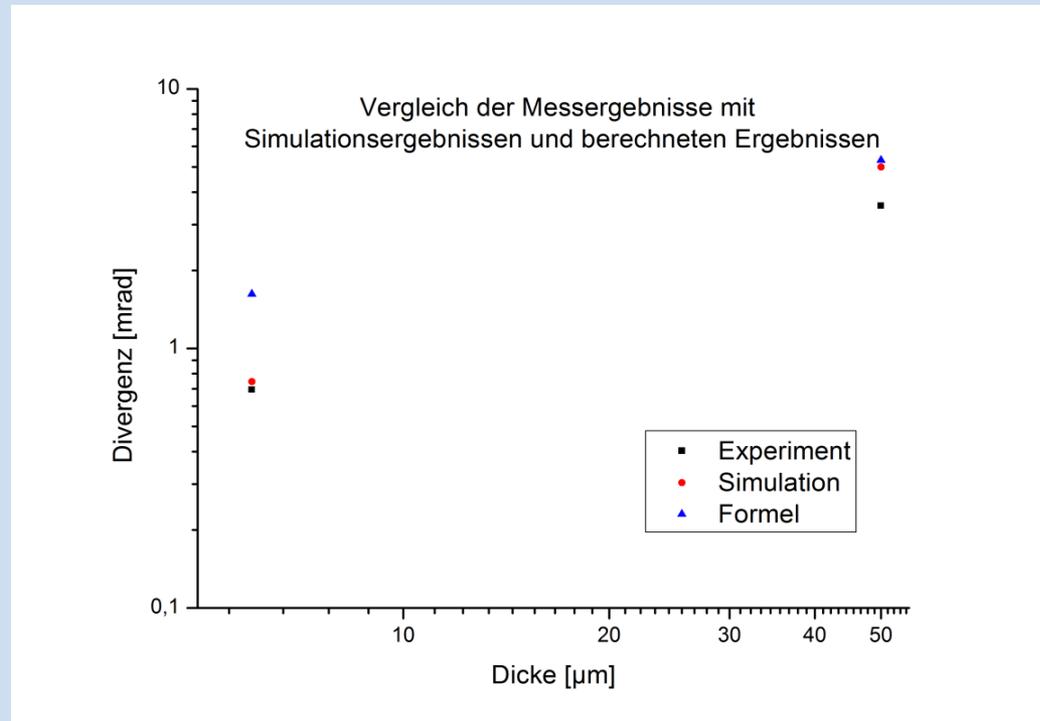


Abb. 10 Vergleich der Messergebnisse mit Simulationsergebnissen und berechneten Ergebnissen

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