

# Optimierte Entladungsspulengeometrie für Radiofrequenz-Ionentriebwerke und induktiv-gekoppelte Ionenquellen

J. Simon, N. Wolf und U. Probst

*AG RaumfahrtElektronik, Technische Hochschule Mittelhessen*



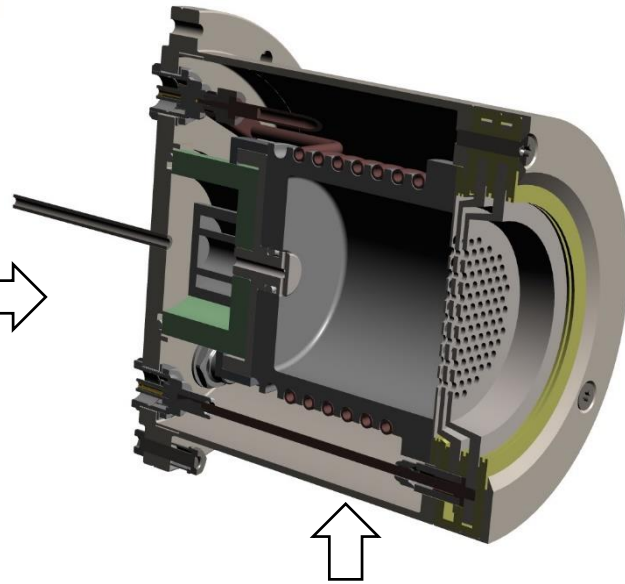
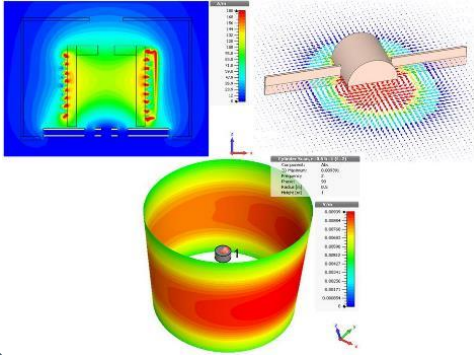
Mittwoch, der 8. März 2017

gefördert durch

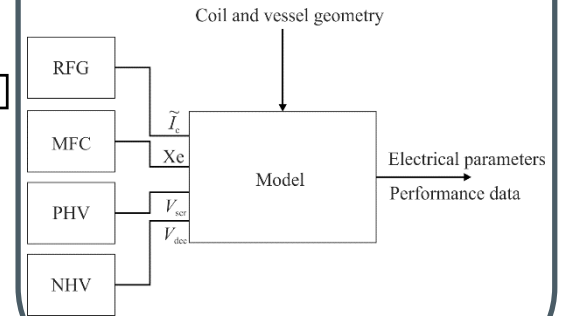


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

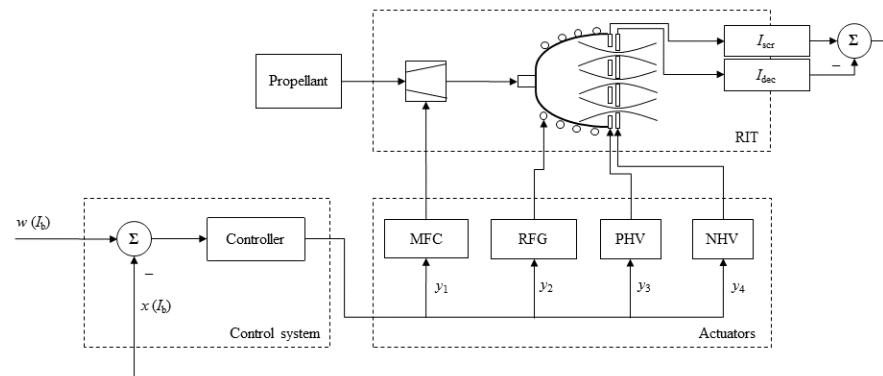
## Elektromagnetische Verträglichkeit



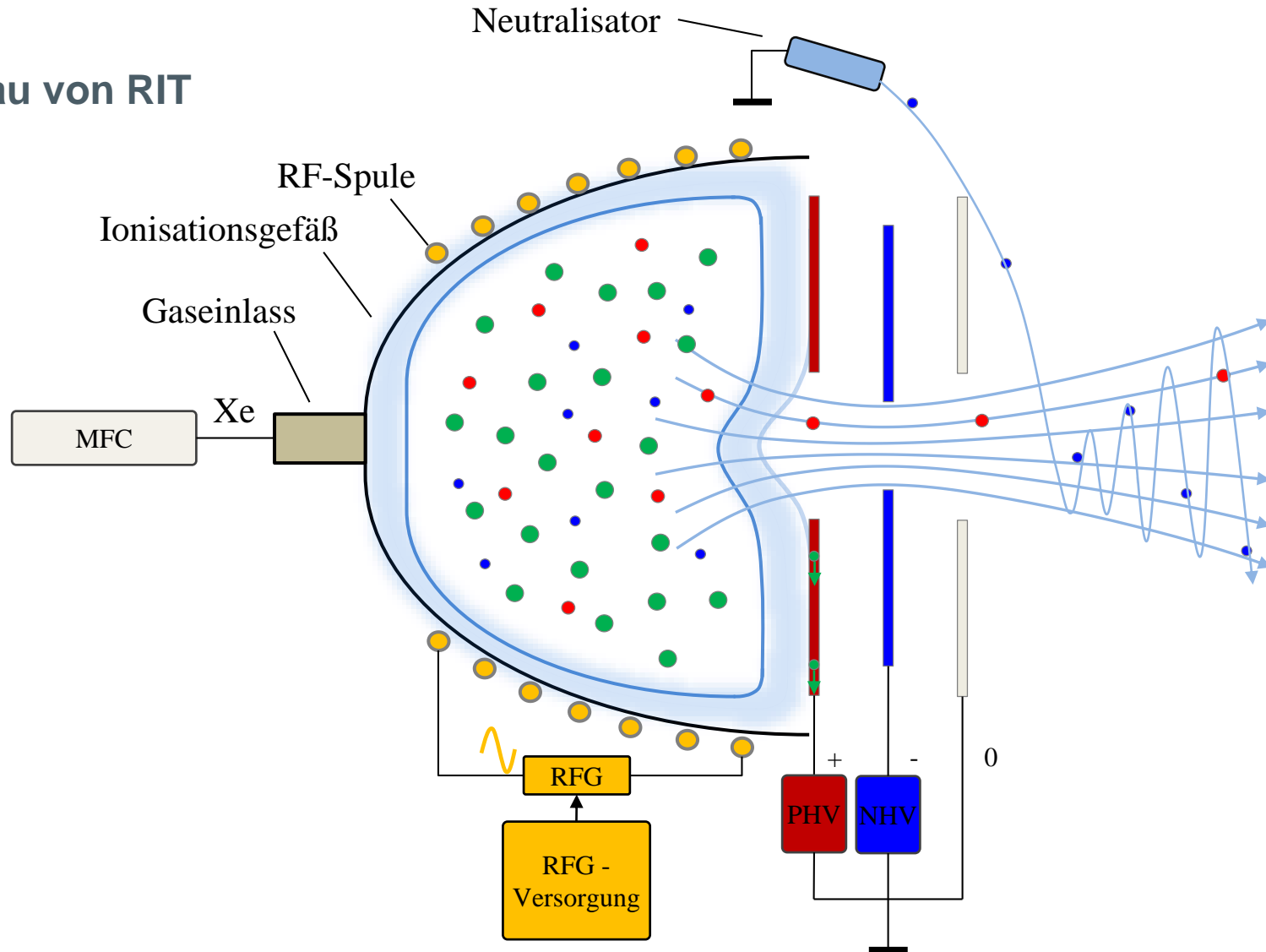
## Numerische Modellierung



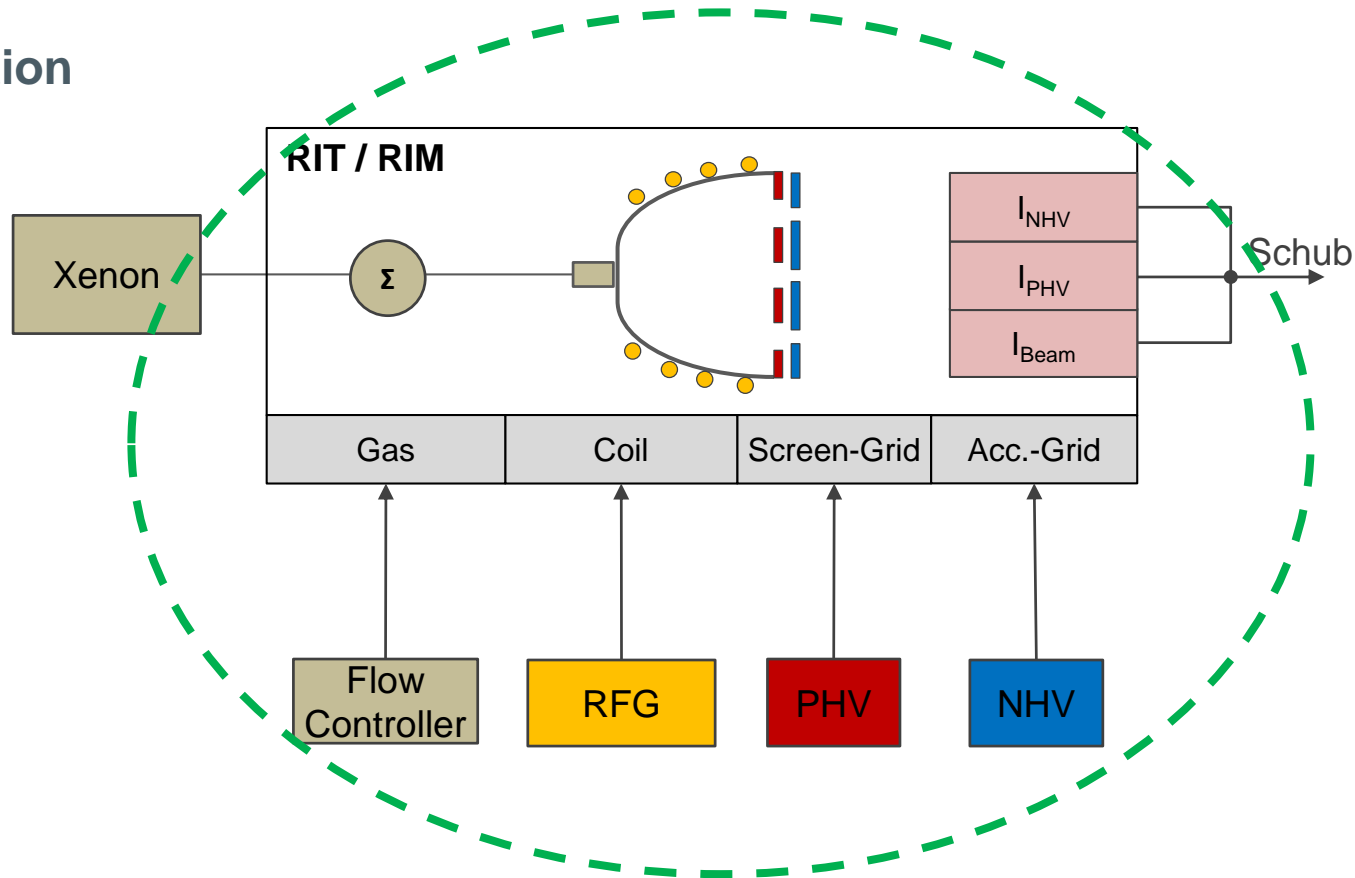
## Regelungstechnik / Elektronikentwicklung



## Aufbau von RIT

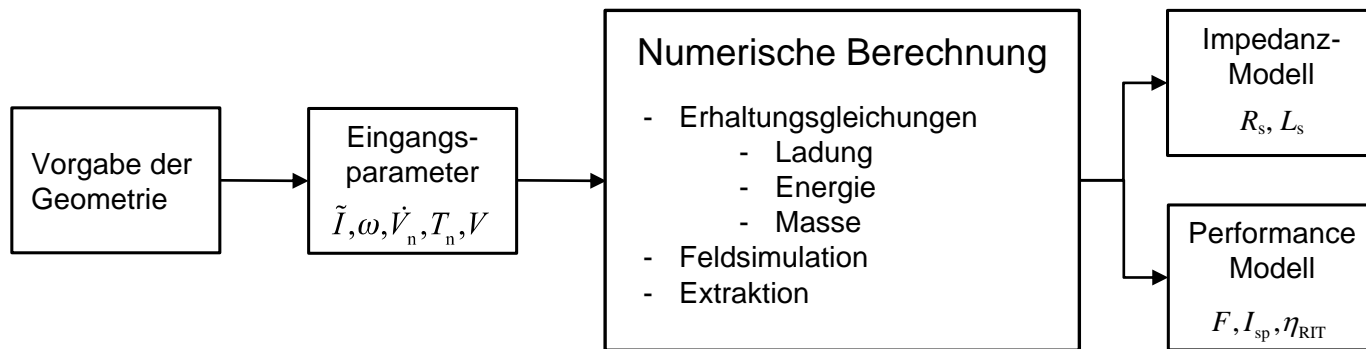
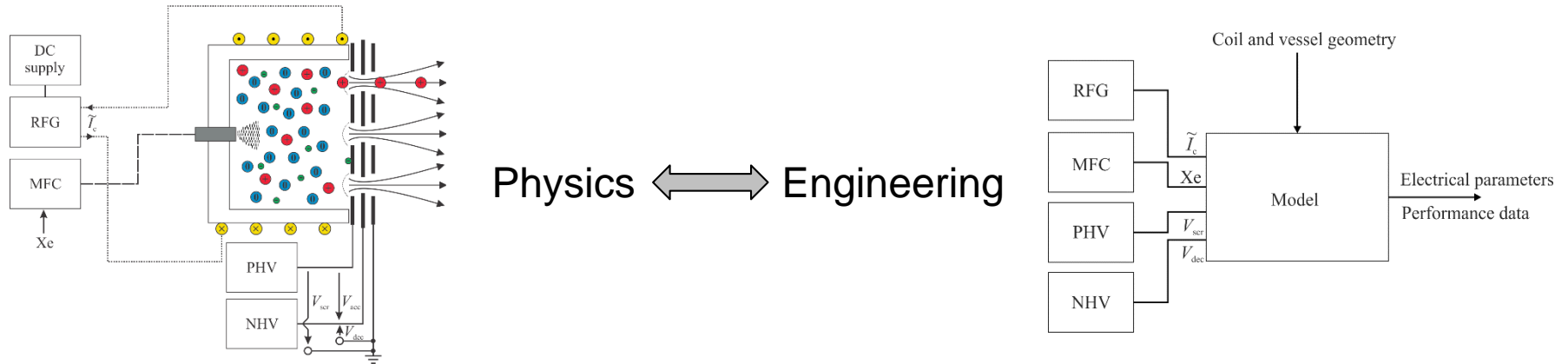


## Motivation



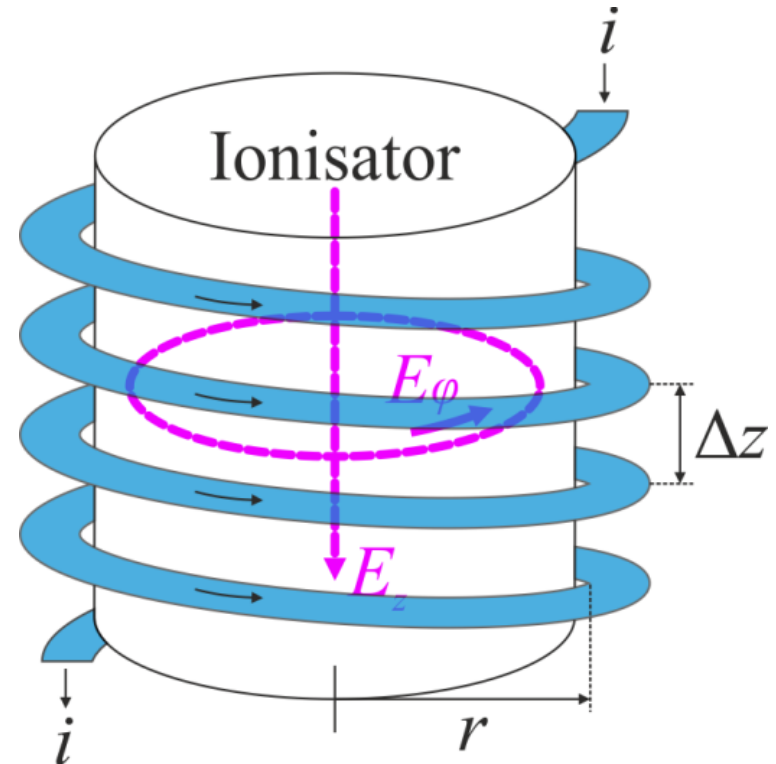
- Effiziente Versorgung und Regelung von Radiofrequenz-Ionentriebwerken & -quellen

# Numerische Triebwerksmodellierung



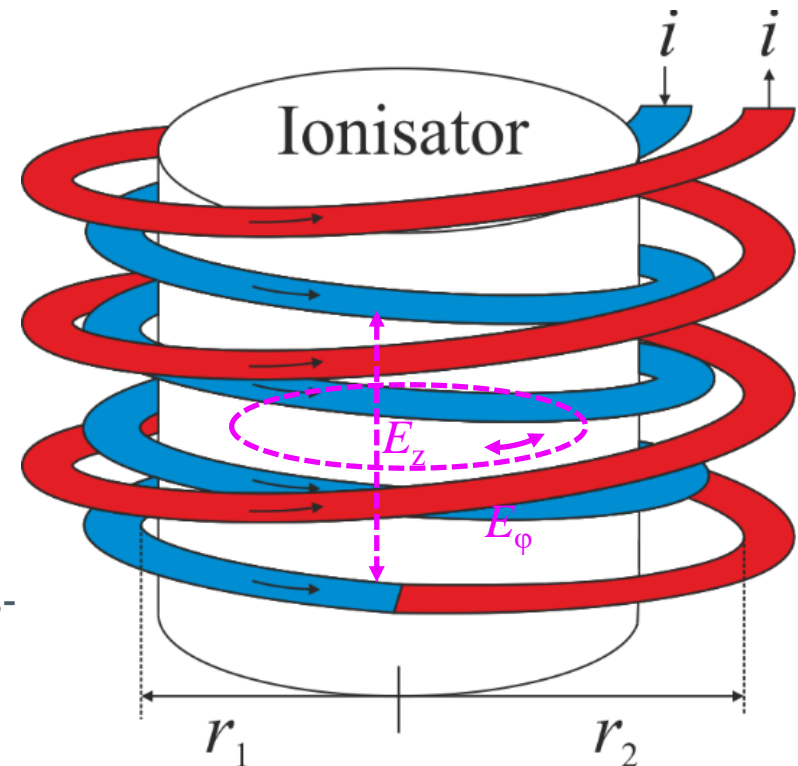
## Konventionelle Entladungsspulengeometrie

- Zylindrisches Entladungsgefäß
- Für Ionisation gewünscht:  
Azimutales elektrisches Feld  $E_\varphi$
- Verlustbringende Komponente:  
Axiales elektrisches Feld  $E_z$ 
  - Elektronen gehen an Stirnflächen verloren
  - Abhängig von Spulensteigung  $\Delta z$



## Optimierte Entladungsspulengeometrie

- Gegenläufig bifilar-gewickelte Spule
  - Unerwünschte axiale Feldkomponente wird nahezu vollständig kompensiert
  - Minimierung der Wandverluste
  - Effizientere Plasmaheizung
  - Stromreduktion durch Erhöhung der Windungszahl
  - Verringerung von Stromwärmeverluste in Generator-, Zuleitung- und Entladungsspule

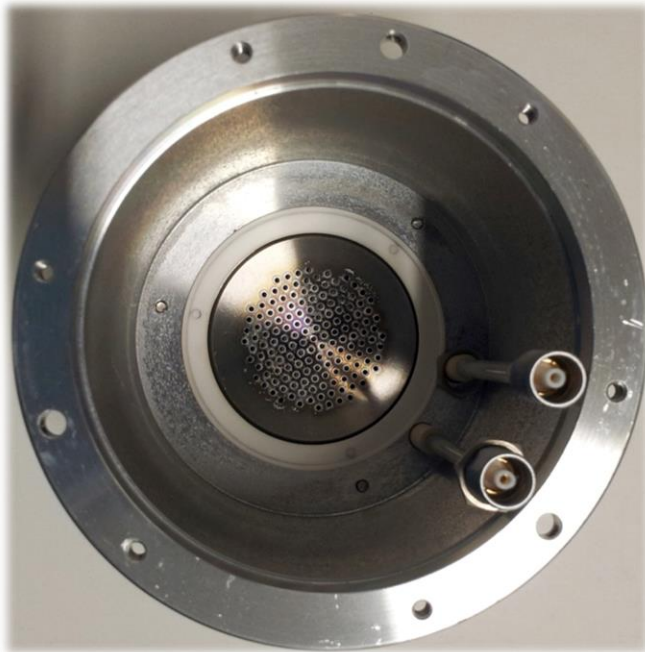


Vorhergesagte Effizienzsteigerung durch Simulationsmodell: ca. 10 % @ RIM-4

Patent angemeldet: Chris Volkmar, Ubbo Ricklefs, EP15185774.5, *Europäisches Patentamt*, 2015



## Aufbau RIM-4 Triebwerk



Gehäuse mit Extraktionssystem



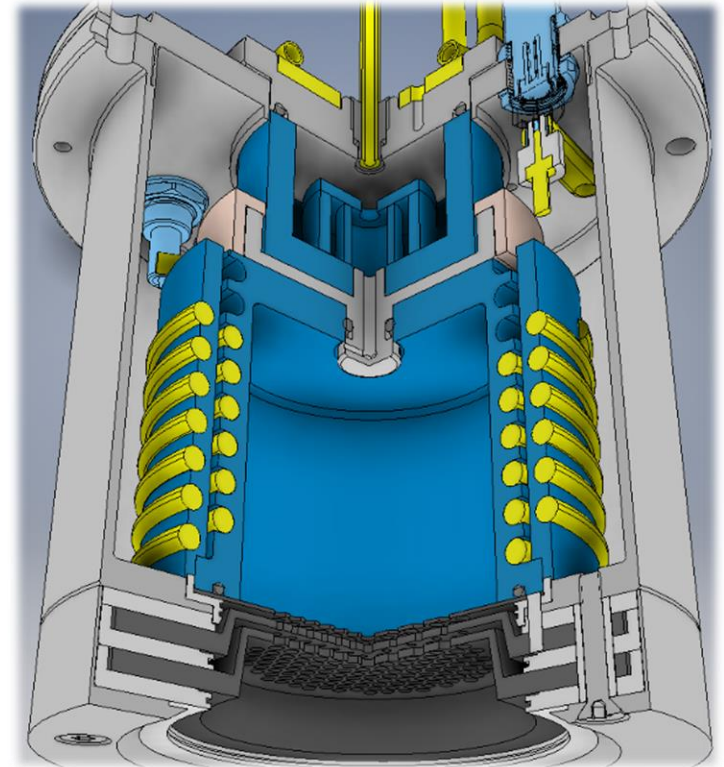
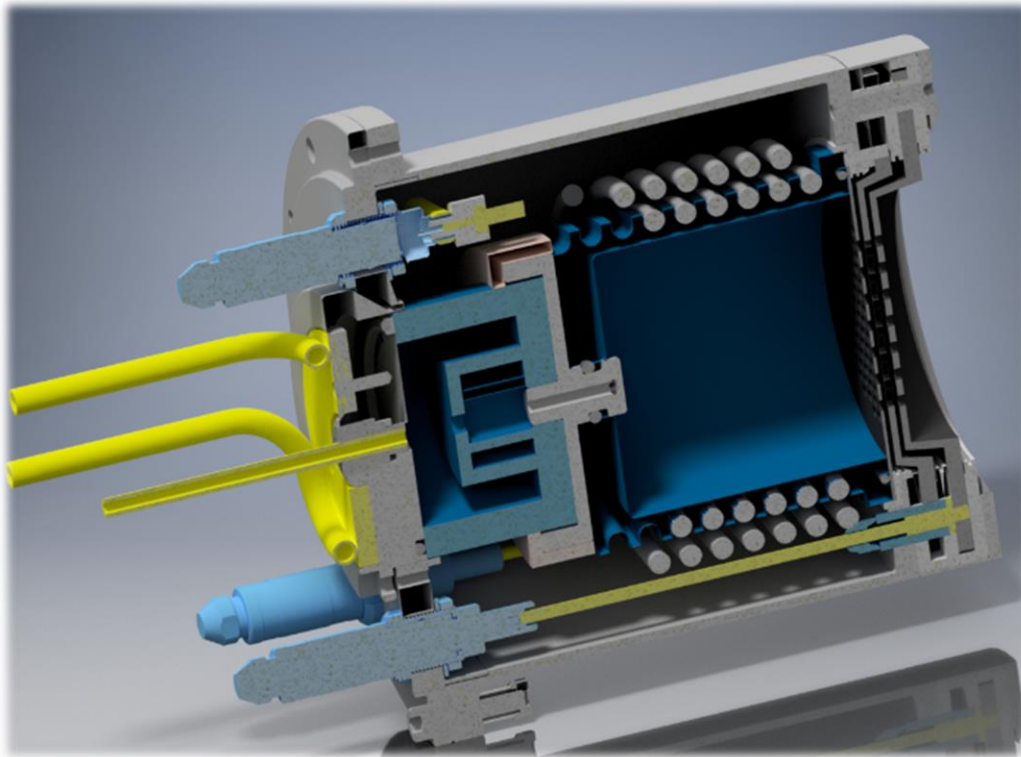
Gehäuse

Entladungsgefäß  
mit Spule



## Aufbau der optimierten Entladungspule

- Modifikation des RIM-4 Triebwerks



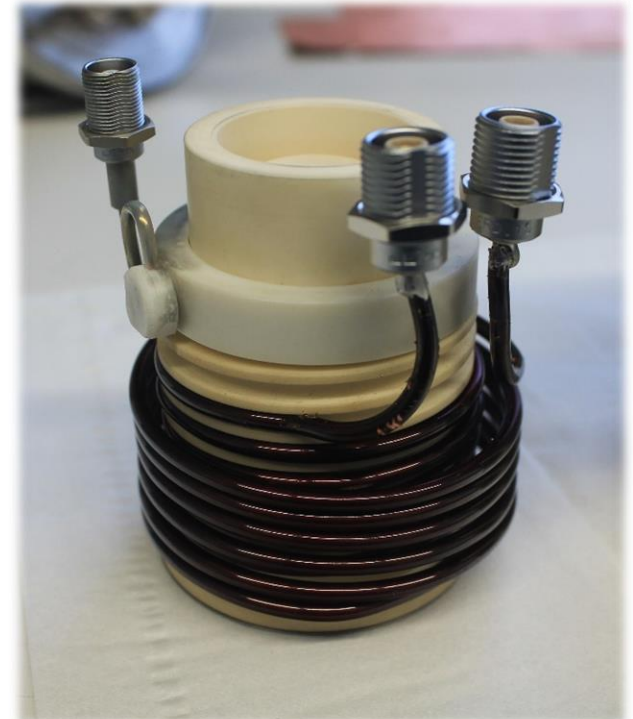
## Aufbau der optimierten Entladungsspule



Aufbau konventionelles RIM-4

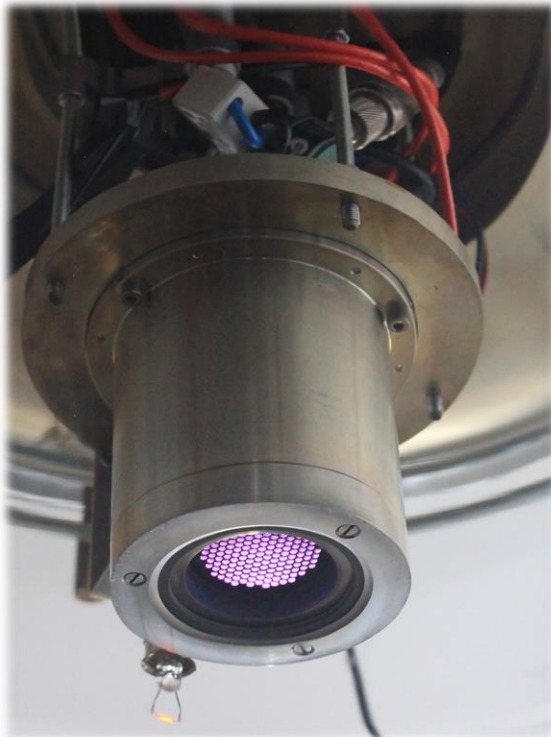


Wickelkörper für  
Bifilarspule (3D-Druck)

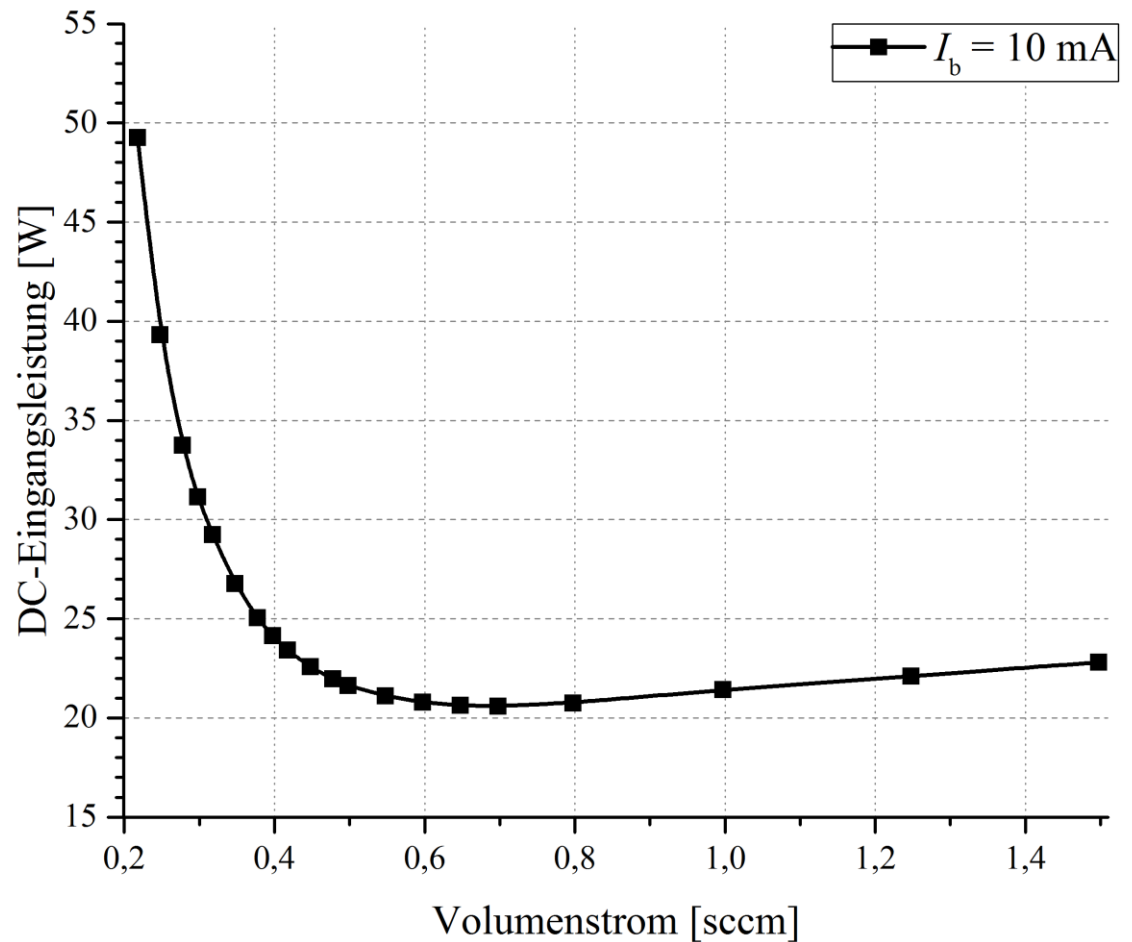


Aufbau modifiziertes RIM-4

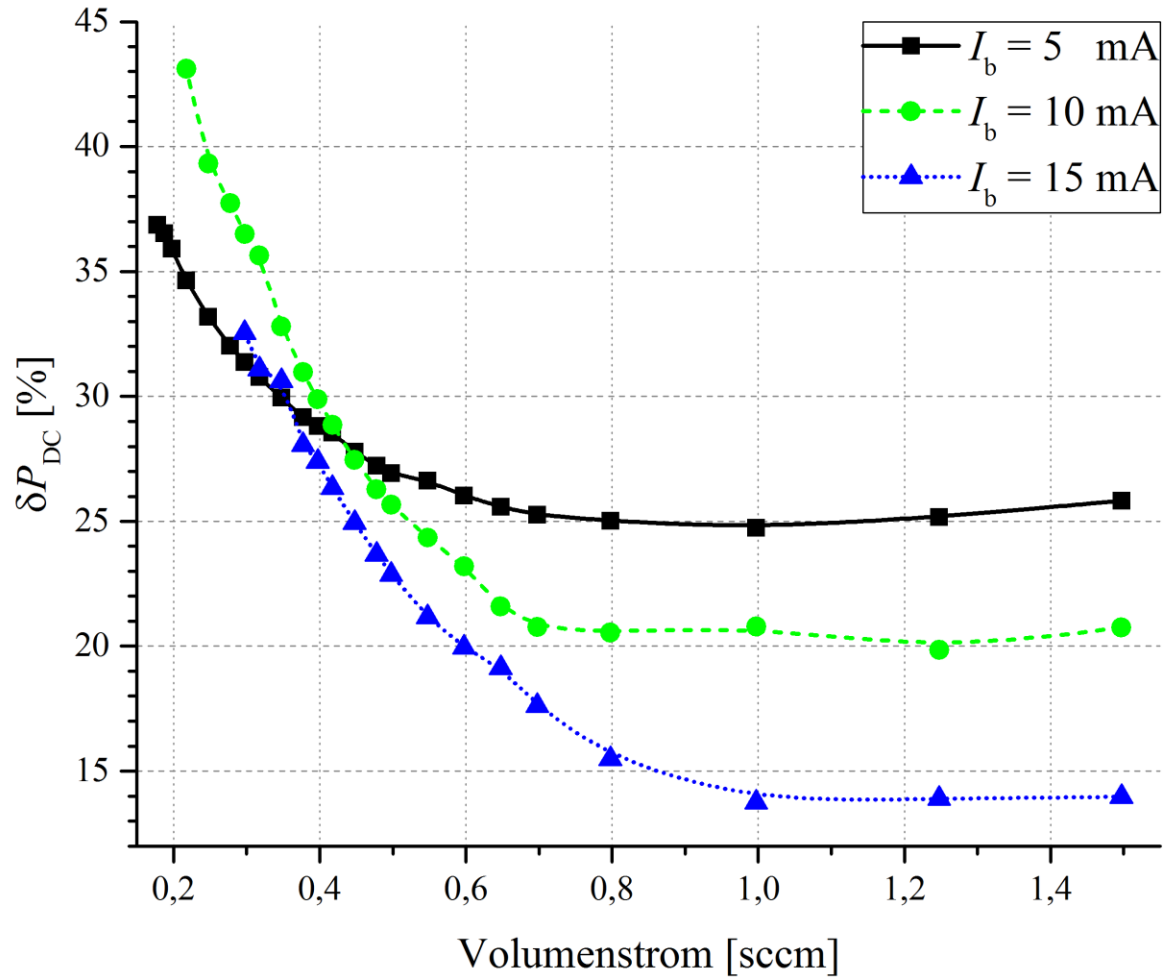
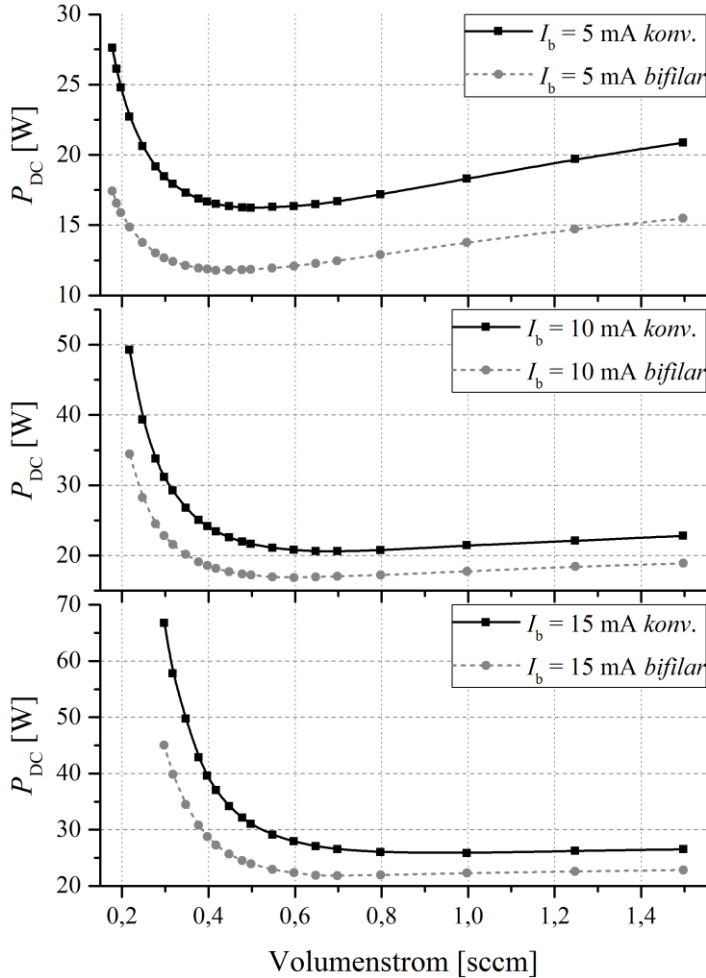
## Experimentelle Verifikation – Performance Mapping



RIM-4 im Betrieb

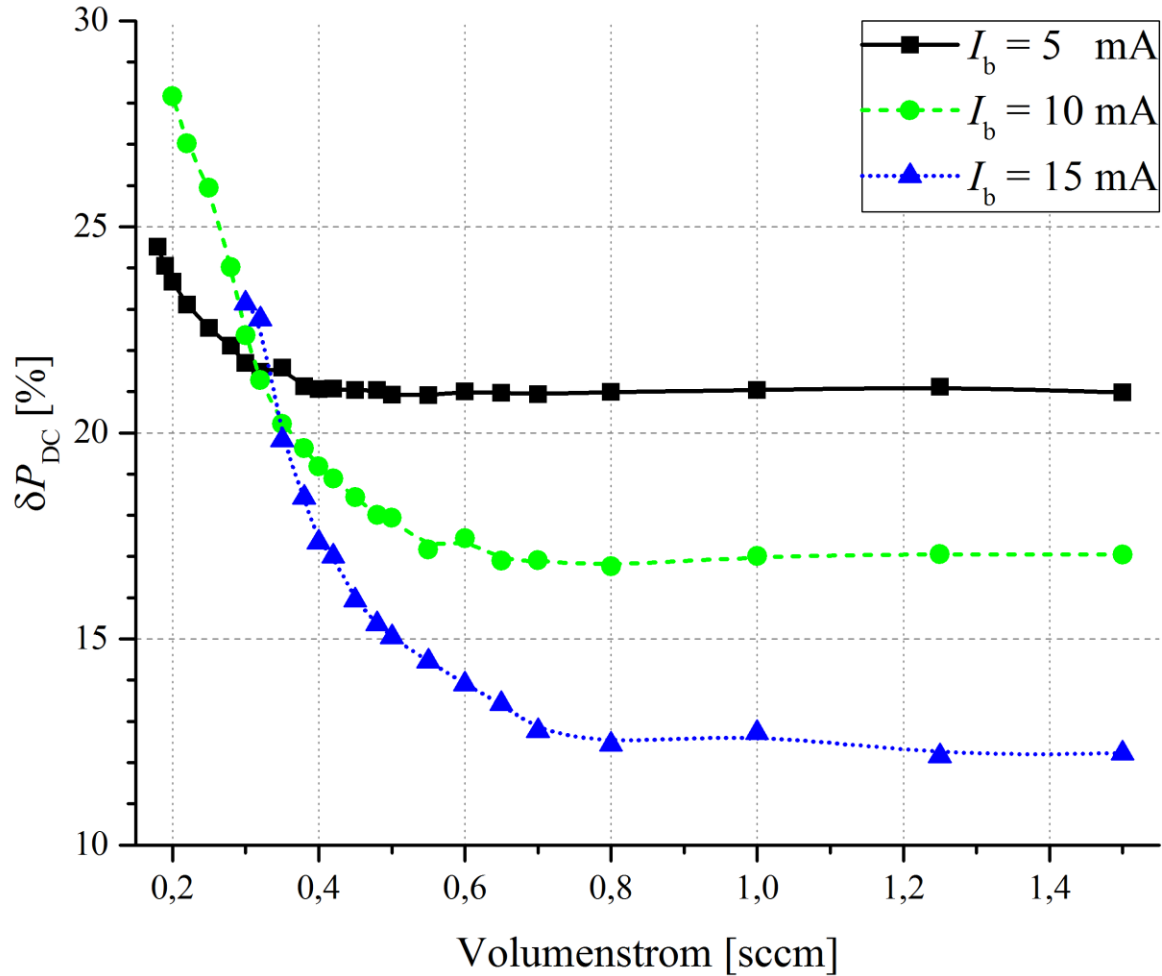
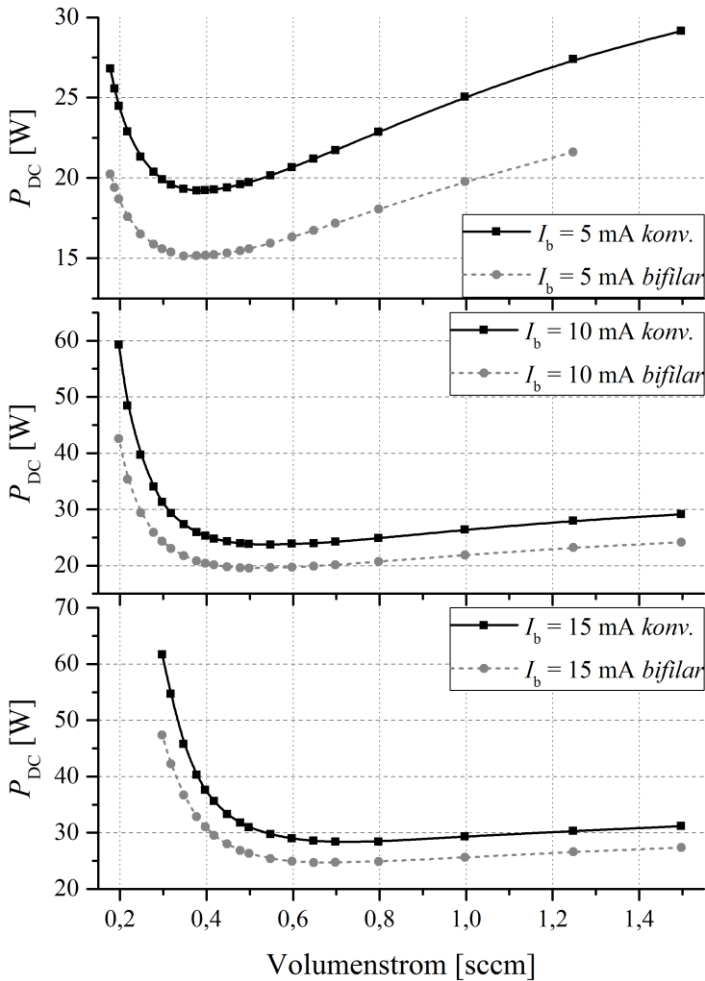


## Vergleich Konventionell ↔ Bifilar – 2 MHz

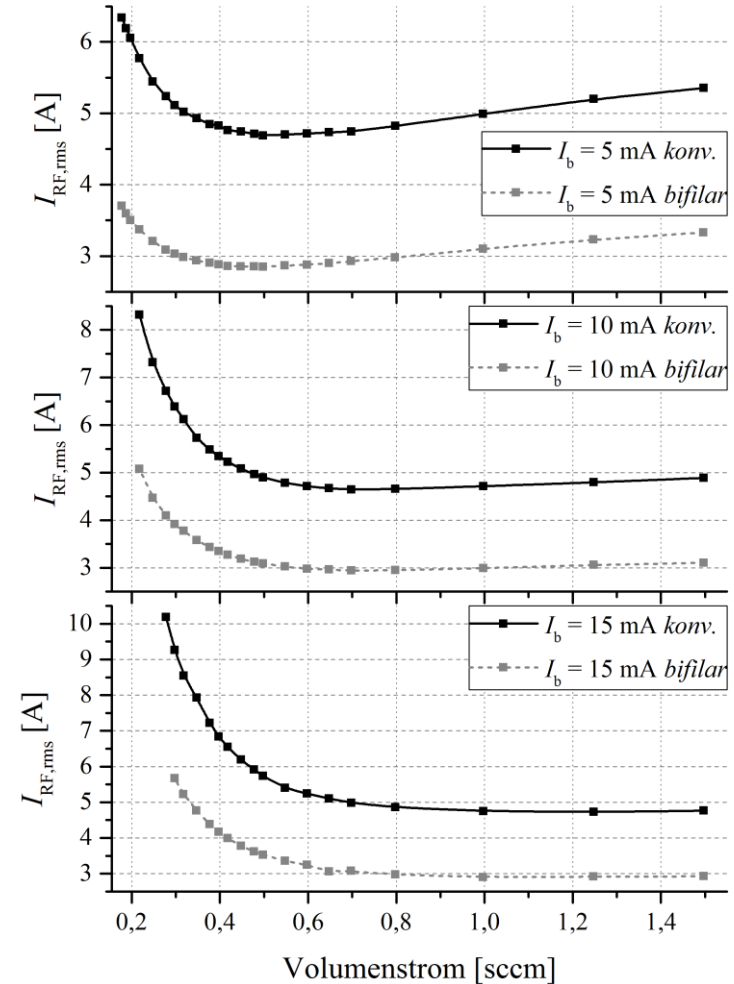
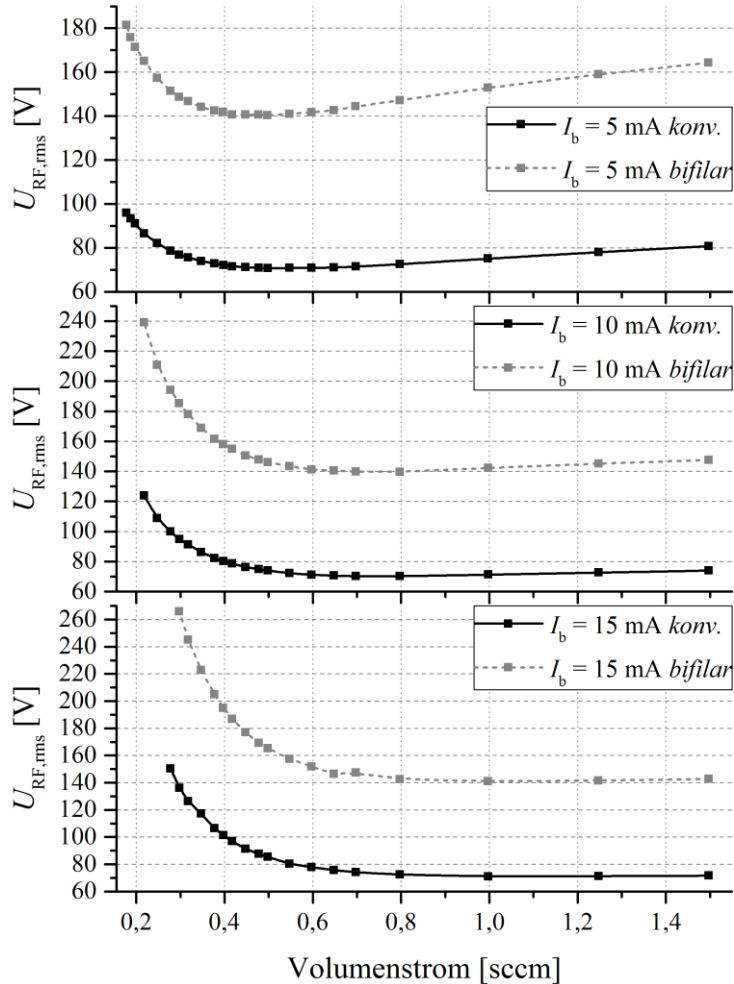




## Vergleich Konventionell ↔ Bifilar – 1,5 MHz



## Vergleich Konventionell ↔ Bifilar – 2 MHz





## Fazit

- Signifikante Effizienzsteigerung in allen untersuchten Arbeitspunkten durch:
  - I. Axialfeldkompensation
  - II. Stromminimierung
    - Verringerte Abstrahlung
    - Geringere Verluste in RF-Generator + Zuleitung
    - Erhöhte Isolationsfestigkeit erforderlich

## Ausblick

- Trennung der Effekte durch Axialfeldkompensation und durch Erhöhung der Windungszahl
- Übertragung auf größere Triebwerke (RIT-10)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!