RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES VON VERSCHIEBUNGS- UND LEITUNGSSTROMDICHTE AUF RESONANZ-EFFEKTE IN HOCHFREQUENZPLASMEN

Sebastian Wilczek[1], Jan Trieschmann[1], Julian Schulze[2], Edmund Schüngel[2], Ralf Peter Brinkmann[1], Zoltan Donkó[3], Aranka Derzsi[3], Ihor Korolov[3] und Thomas Mussenbrock[1]

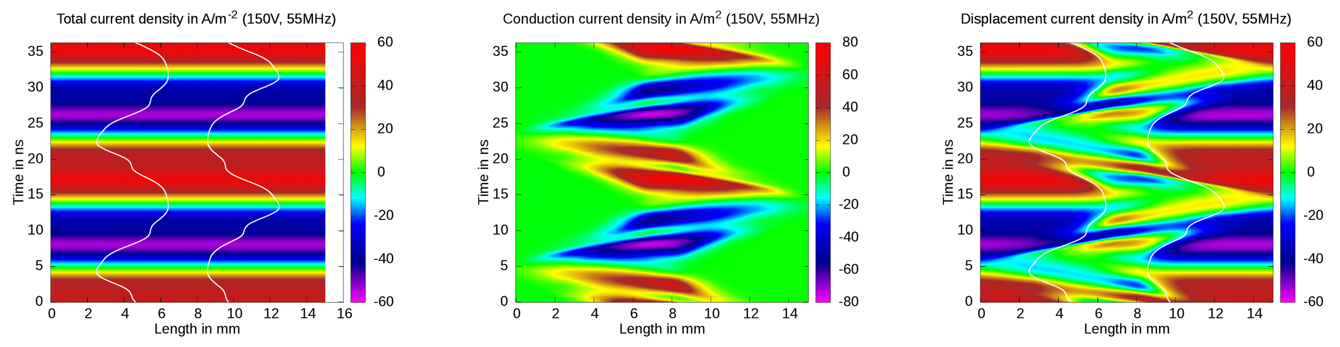
THEORETISCHE TET ELEKTROTECHNIK

[1]Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum
[2]Department of Physics, West Virginia University, Morgantown, USA
[3]Wigner Research Center for Physics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

sebastian.wilczek@rub.de, www.tet.rub.de

Motivation

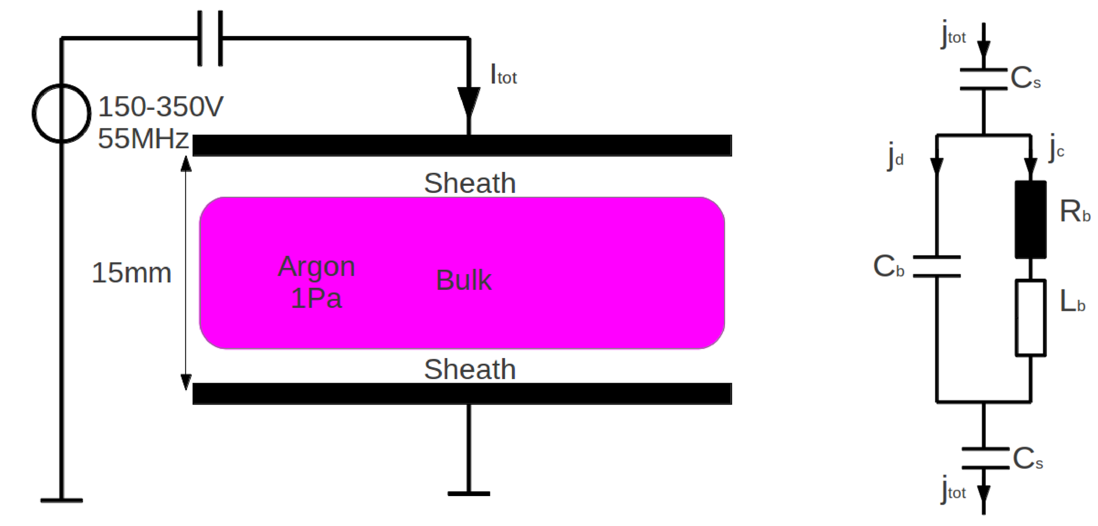
In kapazitiven Hochfrequenzplasmen dominiert typischerweise der Verschiebungsstrom die Randschicht und der Leitungsstrom den Plasmabulk in dem Quasineutralität herrscht. Unter bestimmten Bedingungen kann die Quasineutralität derart gestört werden, dass hohe elektrische Felder im Bulk auftreten. Deren zeitliche Änderungen verursachen einen signifikanten Verschiebungsstrom. Das Wechselspiel zwischen den Stromdichten und dem elektrischen Feld in der Entladung kann so zu Resonanzen führen, welche einen relevanten Einfluss auf die Erzeugung von Beams schneller Elektronen haben.



$$j_{tot}(x,t) = j_c(x,t) + j_d(x,t) = e(\Gamma_i(x,t) - \Gamma_e(x,t)) + \varepsilon_0 \frac{dE(x,t)}{dt}$$

Modell

Um die Dynamik von Elektronen und ihren Bezug auf Resonanzeffekte zu untersuchen, wird eine 1d3v Particle-In-Cell Simulation einer symmetrischen CCP-Entladung durchgeführt[1]. Die dazugehörigen Initialparameter der Simulation sind aus dem Bild unten links abzulesen.



Oben rechts ist das Ersatzschaltbild eines CCPs zu sehen, aus welchem die Grundidee einer Serienresonanz und einer Parallelresonanz hervorgeht.

Fourieranalyse

Stromdichte und elektrisches Feld in Amplituden-Phasen-Notation:

$$E(x,t) = \frac{E_0(x)}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} E_n(x) e^{-i\varphi_{E_n}} e^{in\omega t}$$

$$j_{tot}(x,t) = \frac{j_0(x)}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} j_n(x) e^{-i\varphi_{j_n}} e^{in\omega t}$$

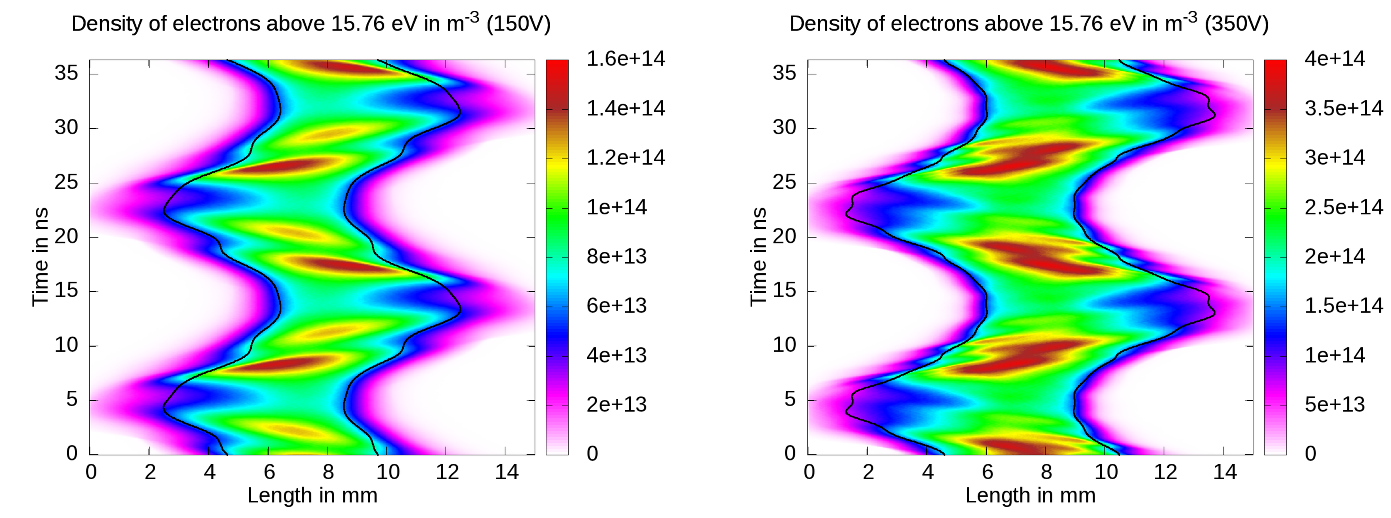
Komplexe Impedanz:

$$\underline{Z_n}(x) = |Z_n(x)| exp\{i\varphi_{Z_n}(x)\} = \frac{|E_n(x)|}{|j_n(x)|} exp\{i\varphi_{j_n}(x) - i\varphi_{E_n}(x)\}$$

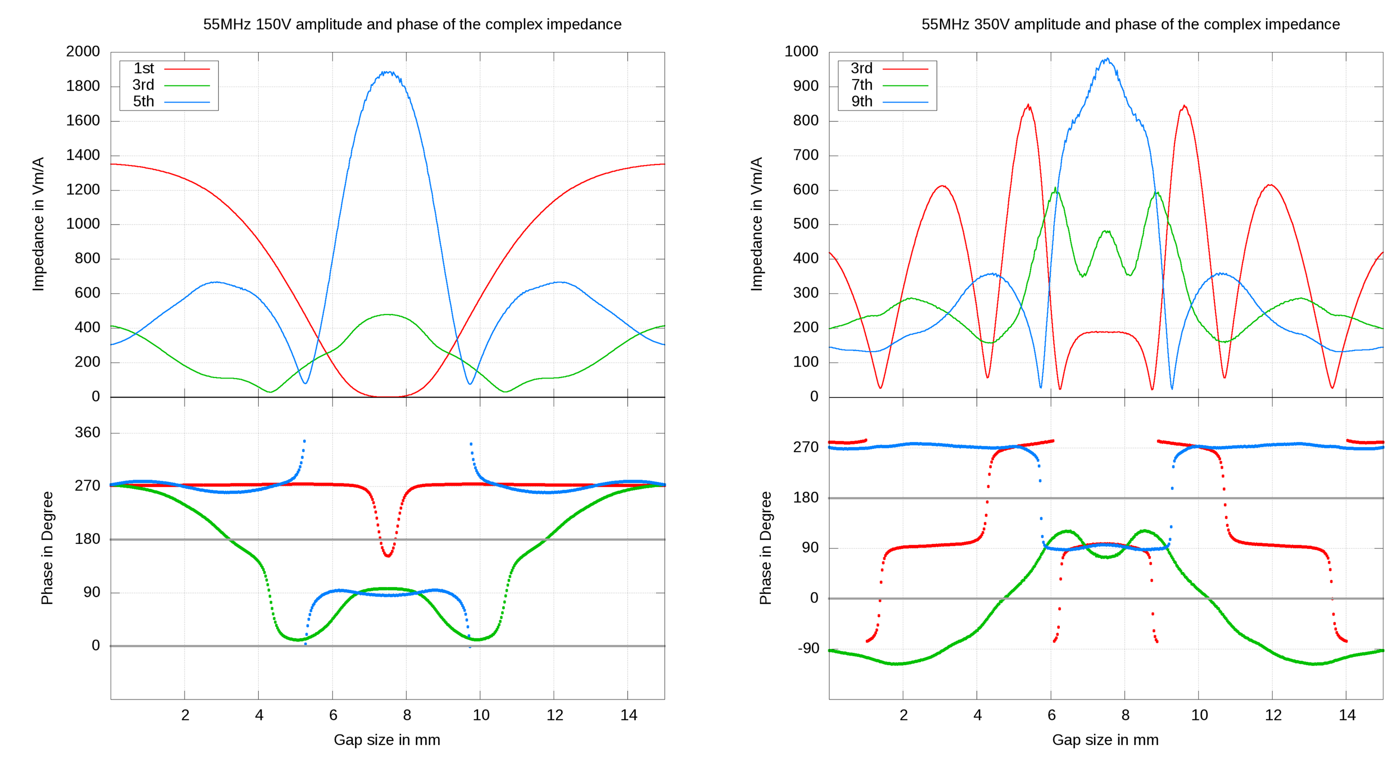
Numerische Ergebnisse

Links 150V und rechts 350V

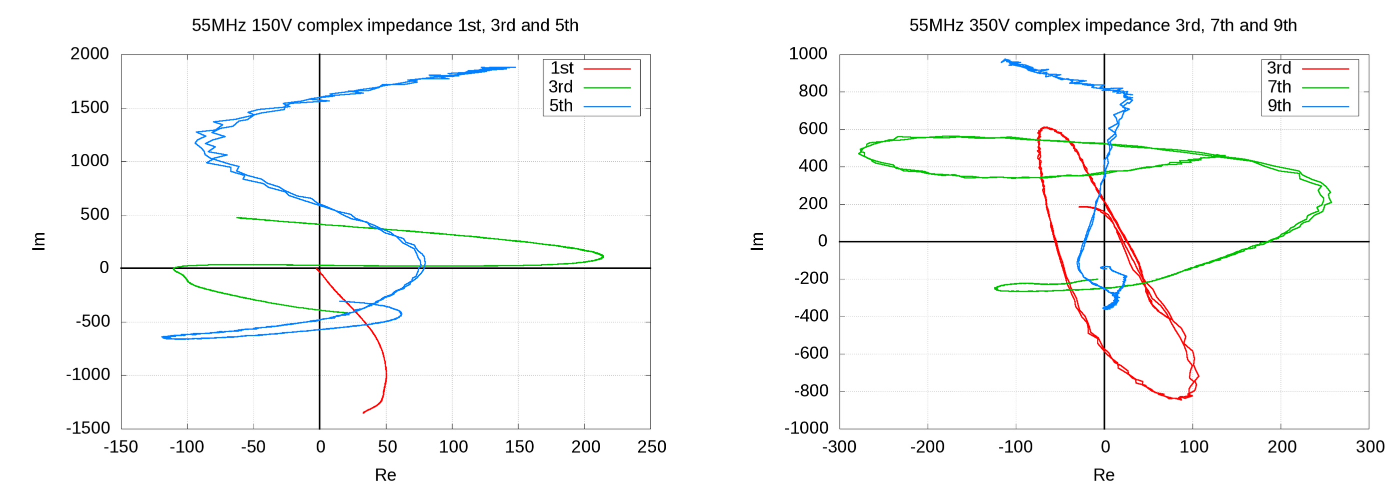
Raum-Zeit-Dynamik der schnellen Elektronen



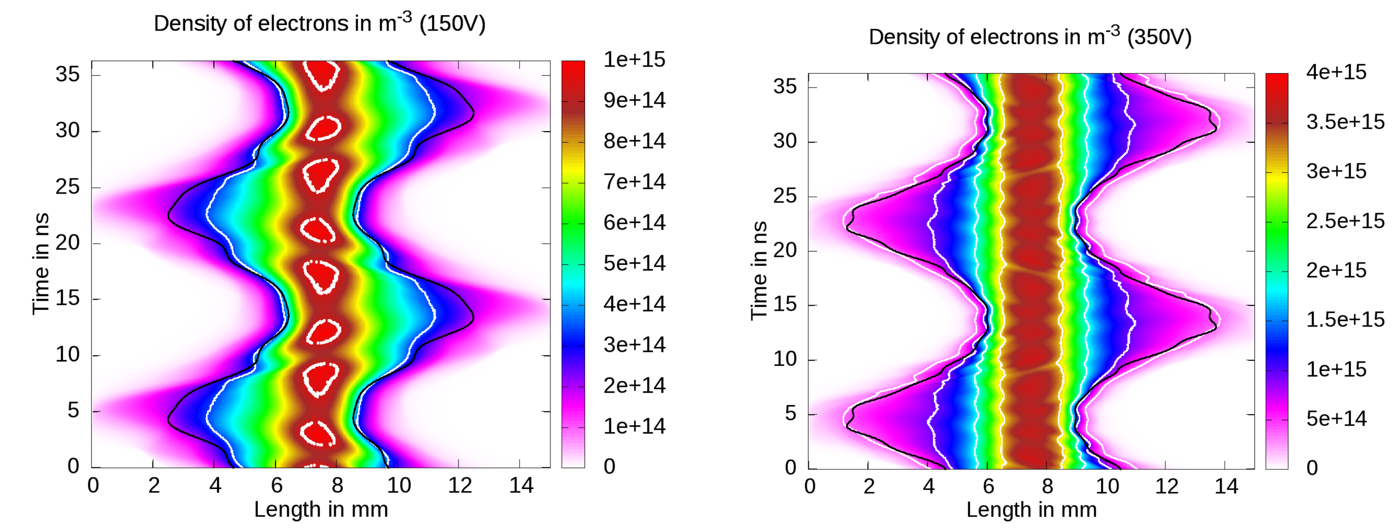
Amplitude (oben) $|Z_n(x)|$ und Phase (unten) $\varphi_{Z_n}(x)$ der Impedanz



Ortskurve der komplexen Impedanz



Raum-Zeit-Dynamik der Elektronen mit $\omega_{pe}(x) = n \cdot \omega_{rf}$ mit $n \in \{3,5,7,9\}$ (weiss)



Referenzen und Danksagung

[1] M.M. Turner et al.,Phys. Plasmas 20, 013507 (2013)

Die Autoren danken der DFG für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Sonderforschungsbereichs TRR 87.