

# Langmuirsondenmessungen im partikelbildenden CCRF-Plasma



**E. von Wahl<sup>1</sup>, Yerbolat A. Ussenov<sup>2</sup>, T. S. Ramazanov<sup>3</sup>, H. Kersten<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Plasma Technology, IEAP, University of Kiel

<sup>2</sup> National Nanotechnology Laboratory of Open type (NNLOT), Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup> Institute of Experimental and Theoretical Physics (IETP), Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

**XXIV. Erfahrungsaustausch  
Oberflächentechnologie mit Plasma- und Ionenstrahlprozessen  
Mühlleithen 2017**

# Motivation

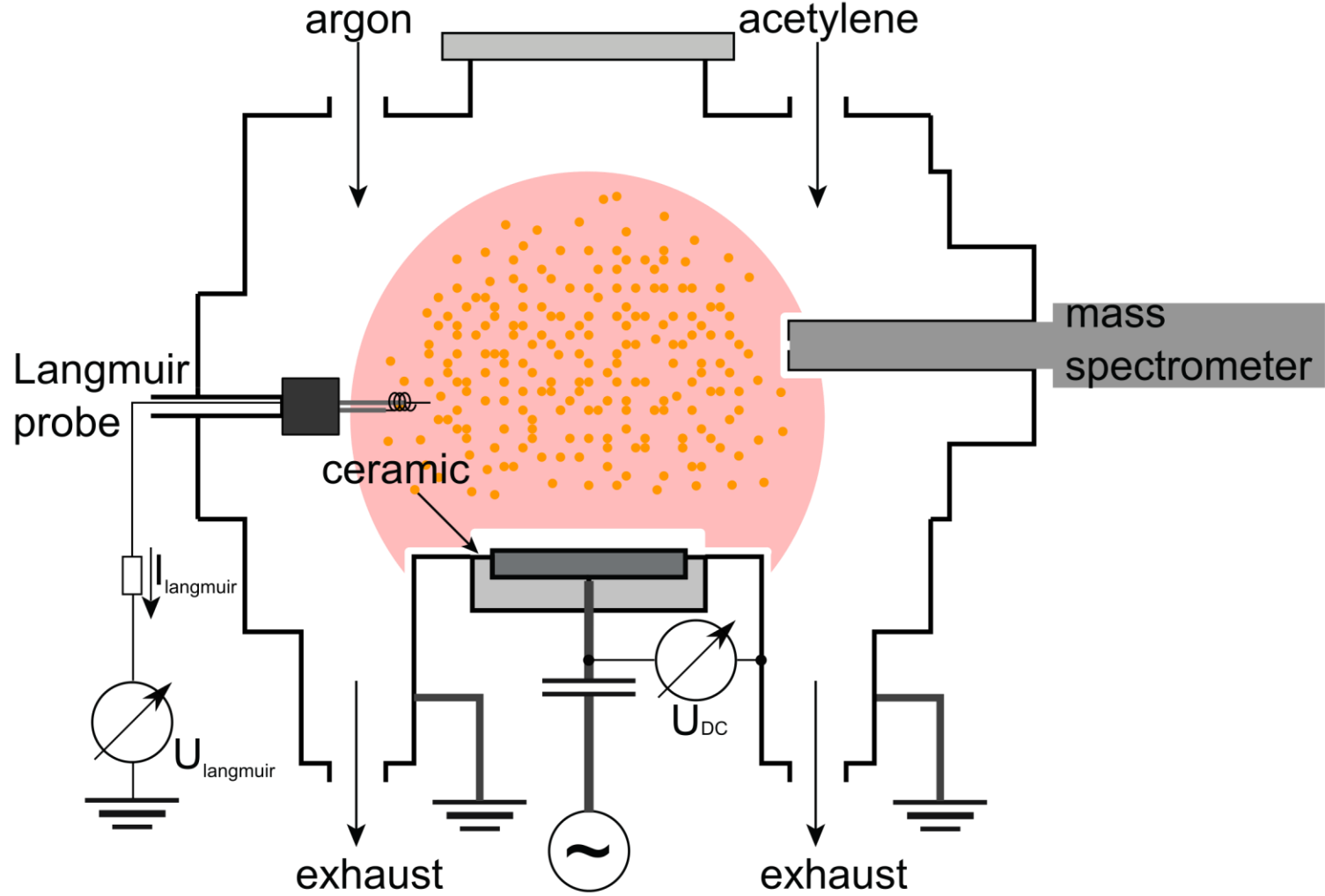
1. Ungewollter Nebeneffekt in vielen PECVD-, Sputter- und Ätzprozessen [Howling *et.al.*, Journal of Applied Physics **75**, 1340 (1994)]  
[Kersten *et.al.*, International Journal of Mass Spectrometry **223–224** (2003) 313–325]
2. Hohes Verhältnis von Oberfläche zu Volumen
3. Kontrollierte Plasmaveränderung induziert durch Anwesenheit von Nanopartikeln [A. M. Hinz *et. al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **48** 0555203 (2015)]
4. Abscheidung auf Oberflächen zur Änderung der Oberflächenrauigkeit und –energie
5. Nanofluide, Nanokomposite

**Modelle existieren, aber experimentelle Untersuchungen sind schwierig!** [Hollenstein, Plasma Phys. Control. Fusion **42**, (2000) R93–R104]

# Inhalt

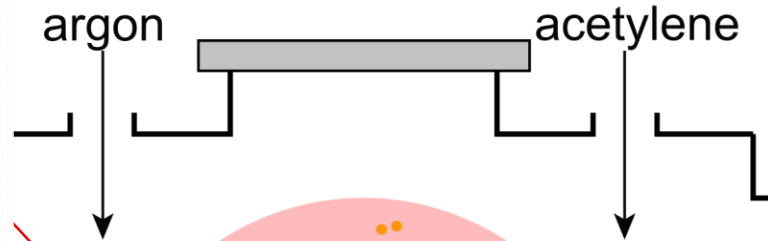
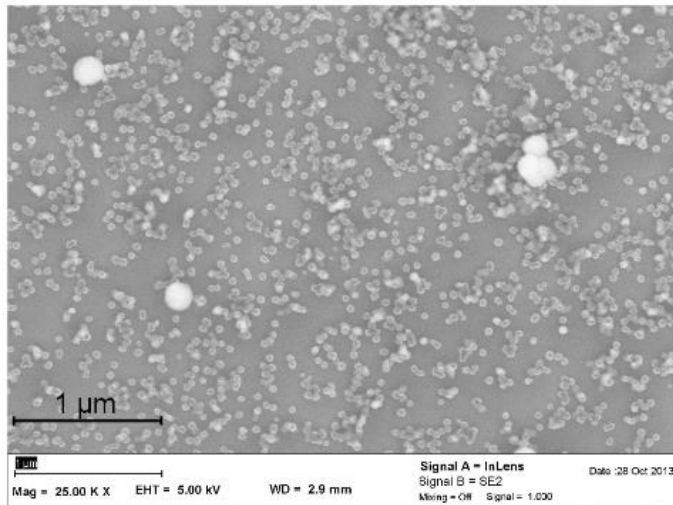
1. Experimenteller Aufbau
2. Die Self-bias Spannung und was bereits gemessen wurde
3. Die Langmuirsonde
4. Ergebnisse
5. Zusammenfassung

# PECVD-Prozess

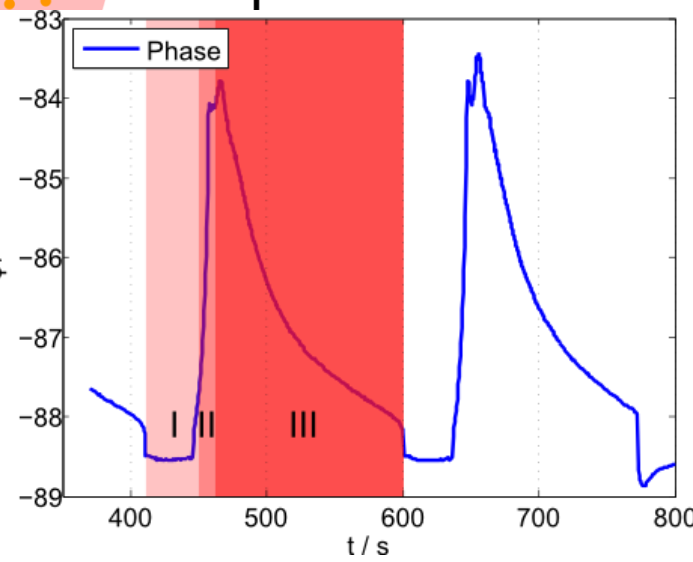
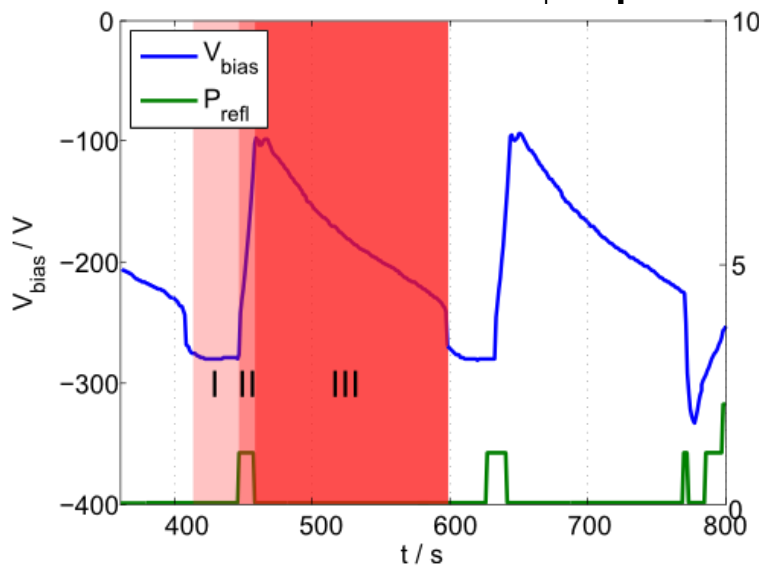
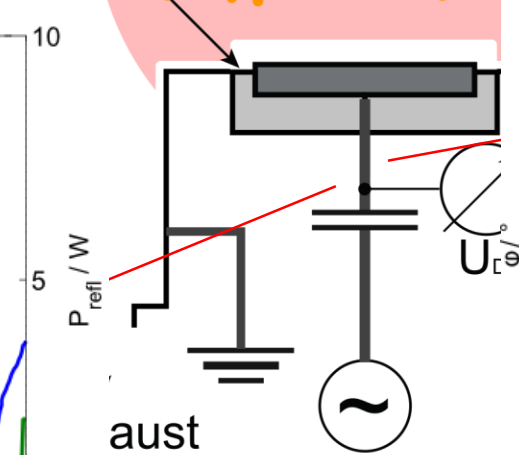
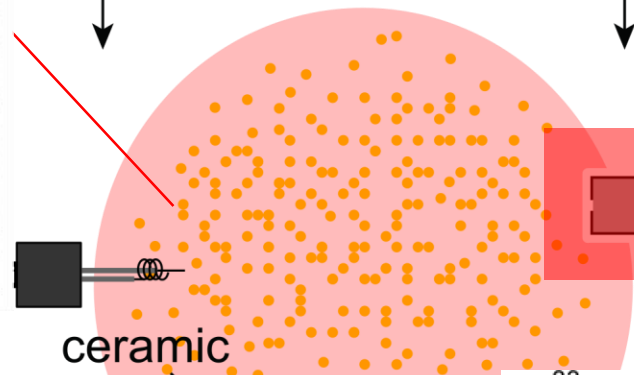


# PECVD-Prozess

[A. M. Hinz et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **48** 0555203 (2015)]



Mühlleithen 2016



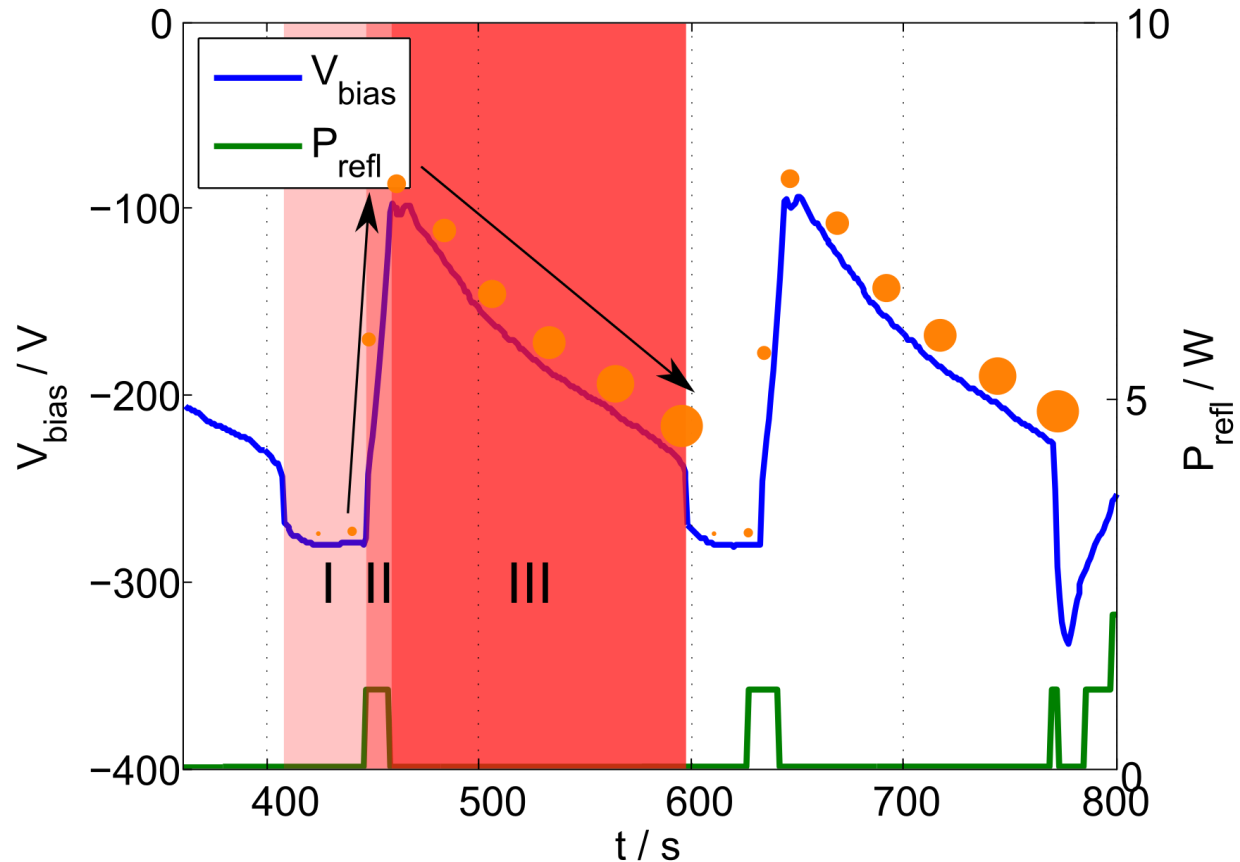
# Parameter für zyklisches Partikelwachstum

## Partikel Synthese

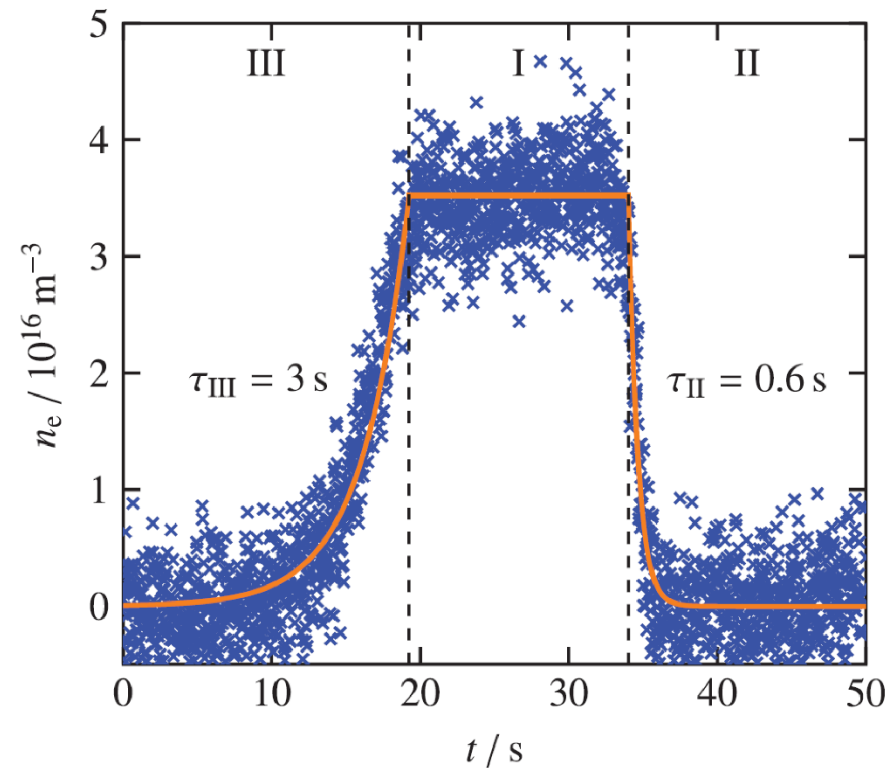
Druck ~ 5...6 Pa  
 Argonfluss 7...8 sccm  
 Acetylenfluss 0.5 ... 1.2 sccm  
 HF-Frequenz 13.56 MHz  
 HF-Leistung 9 W

→ durchschnittliche Wachstumsdauer:  
 166 ± 20 s

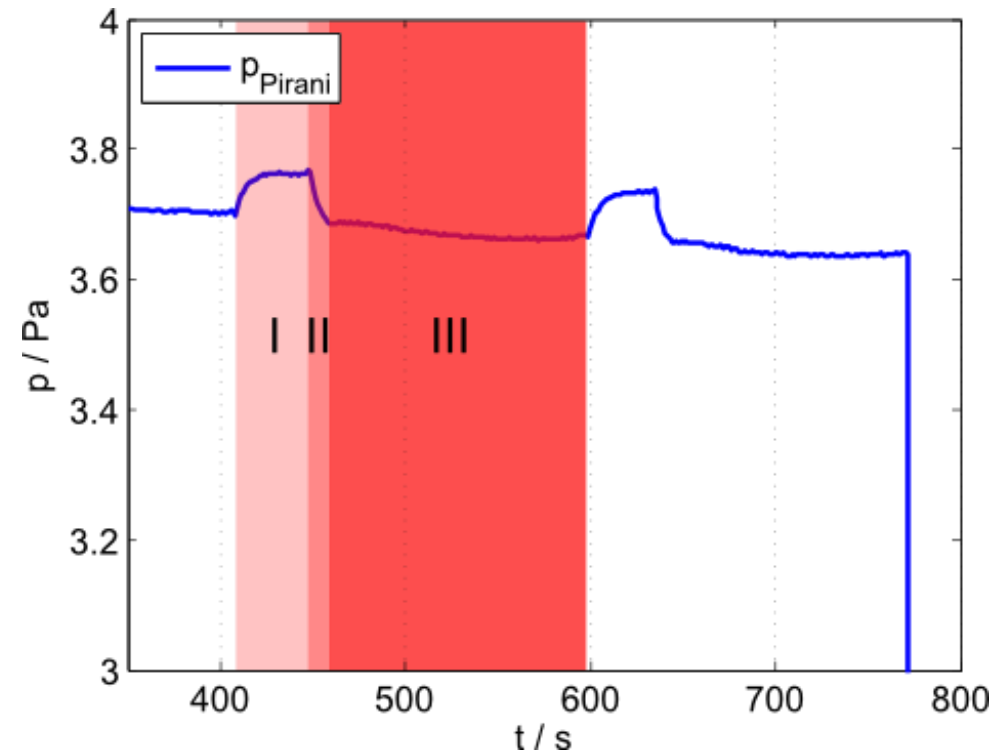
Phase I: 20-40 nm  
 Phase II: 40-50 nm  
 Phase III: 50-140 nm



# Phase I



[Th. Wegener *et. al.*, Appl. Phys. Lett. **108**, 063108 (2016)]



[A. M. Hinz *et. al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **48** 0555203 (2015)]

## Vermutung

Phase I:

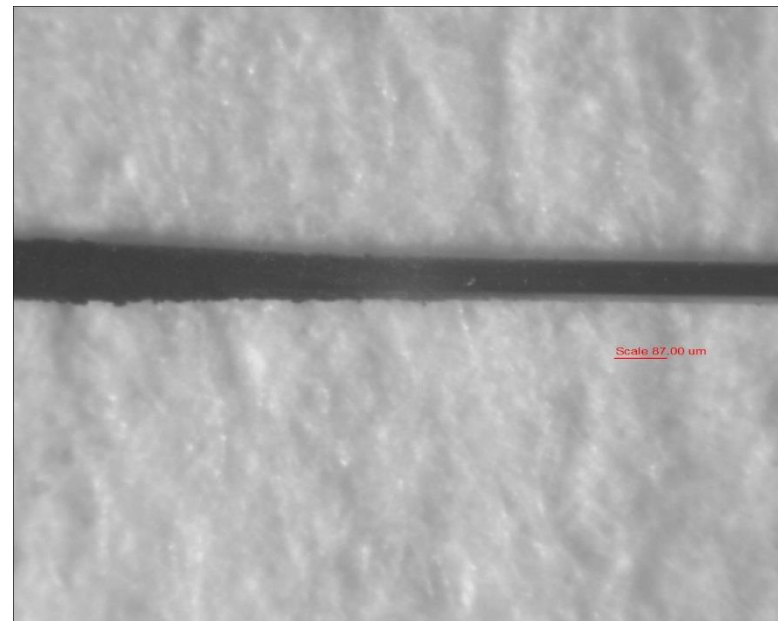
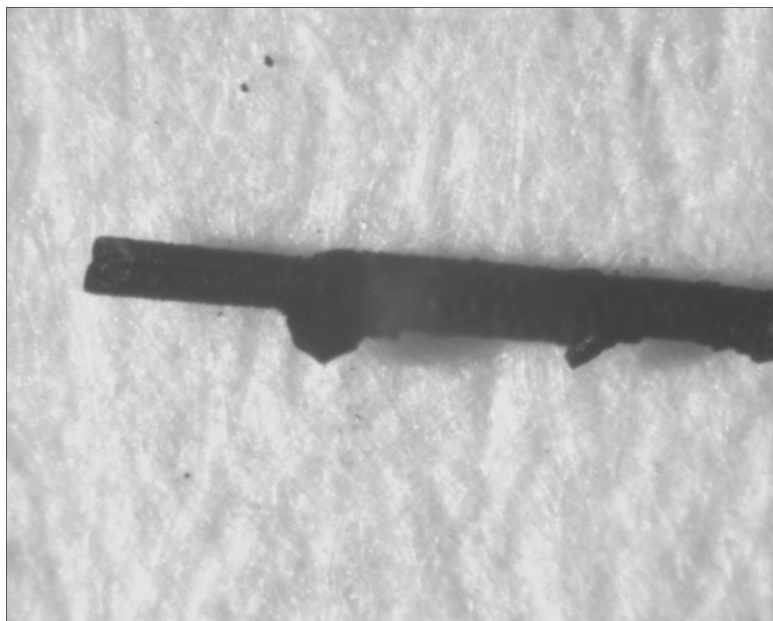
Nukleation und Koagulation

Partikelladung oder -dichte zu gering, um  $n_e$  und  $T_e$  zu beeinflussen

Phase II und III:

Wachstum durch Beschichtung, Partikel geladen

# Das Dreckproblem



Verfälschung des Elektronenstromes!  
Die Schichten sind elektrisch isolierend!





# Die Idee

- Problematik ist auch aus anderen Plasmapolimerisationsprozessen bekannt (Silan) [Selwyn *et.al.*, Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films 7, 2758 (1989)]
- Bekannte Idee für staubige Plasmen [Klindworth *et.al.*, Review of Scientific Instruments 78, 033502 (2007)]

- Dust plasma frequency:

[N. Bilik *et. al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **48**, 105204 (2015)]

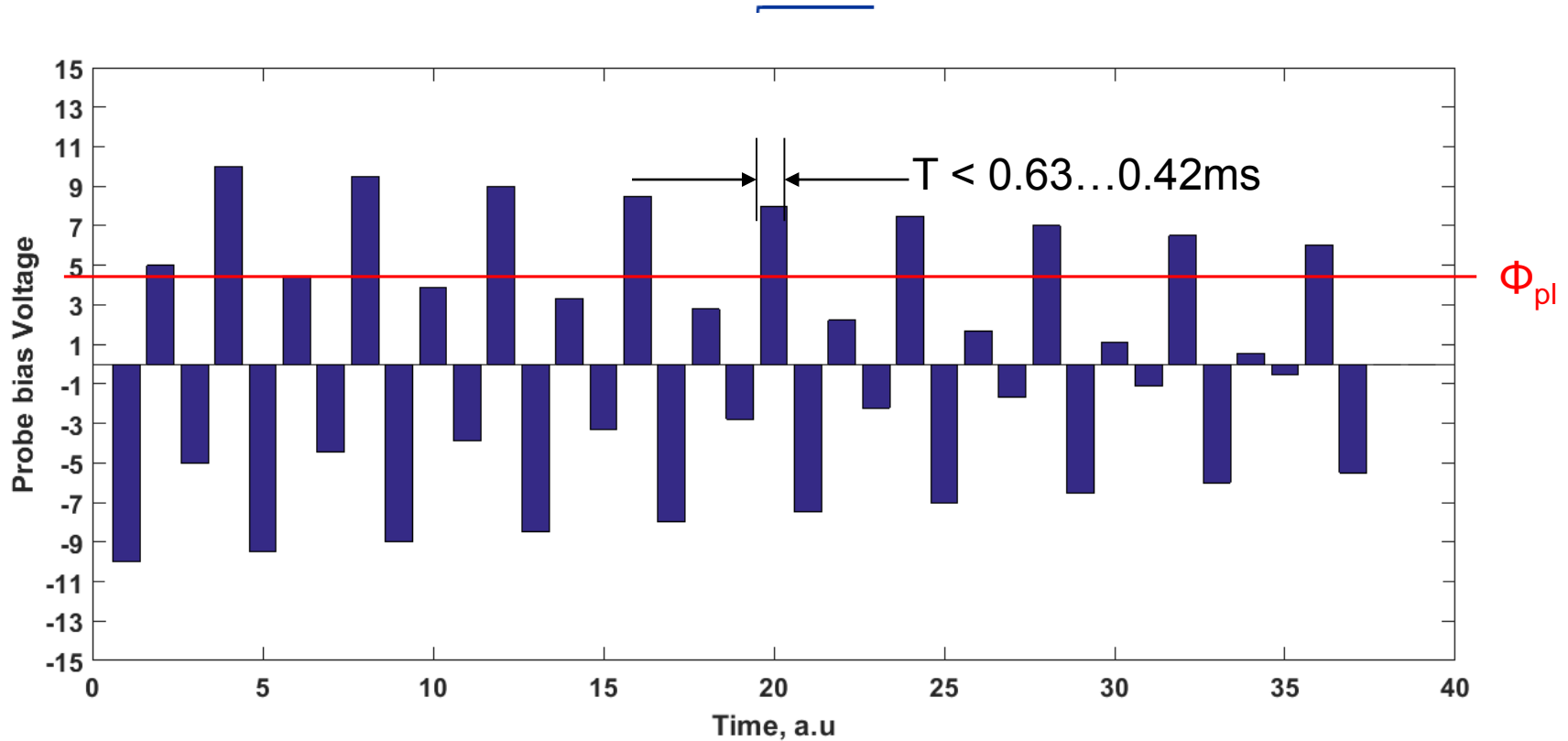
$$\omega_{pd} = \sqrt{\frac{q_d^2 n_d}{\epsilon_0 m_d}} \approx 10 \dots 15 \text{kHz} \ll \omega_{pi}$$

$$\tau_{pd} = \frac{2\pi}{\omega_{pd}} \approx 0.63 \dots 0.42 \text{ms}$$

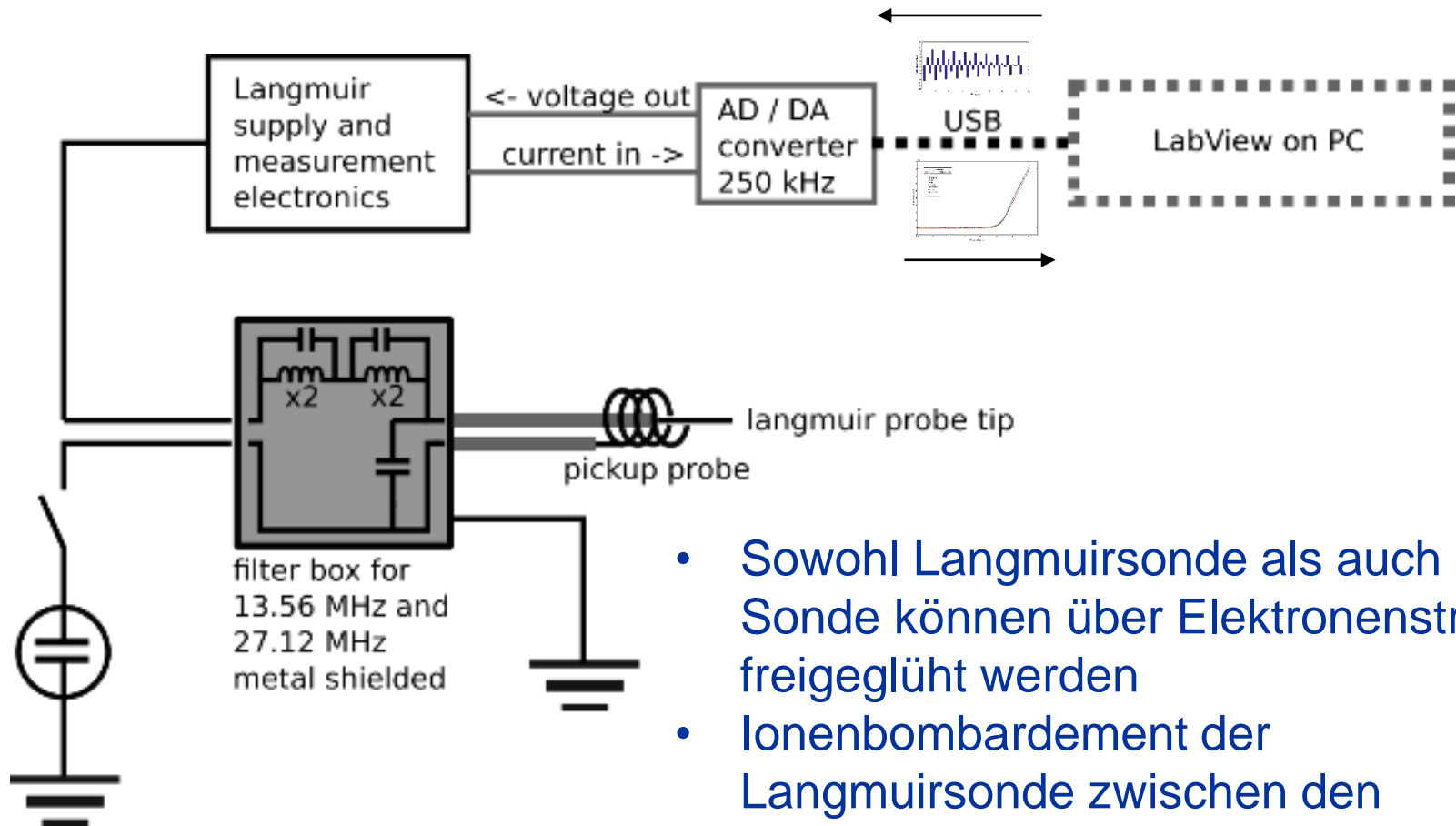
$T < 0.63 \dots 0.42 \text{ms}$

# Die Idee

- Problematik ist auch aus anderen Plasmapolimerisationsprozessen bekannt (Silan) [Selwyn *et.al.*, Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films 7, 2758 (1989)]
- Bekannte Idee für staubige Plasmen [Klindworth *et.al.*, Review of Scientific Instruments 78, 033502 (2007)]

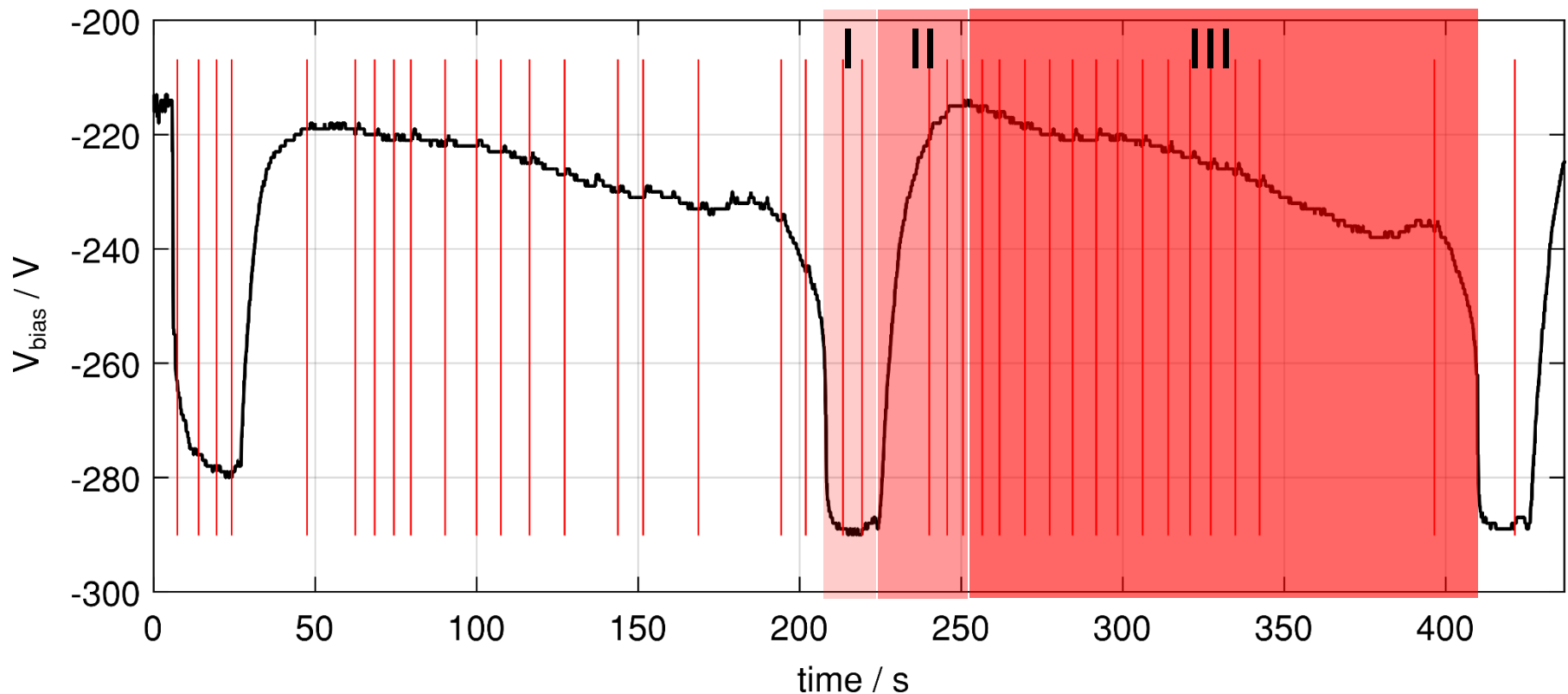


# Die Langmuirsonde



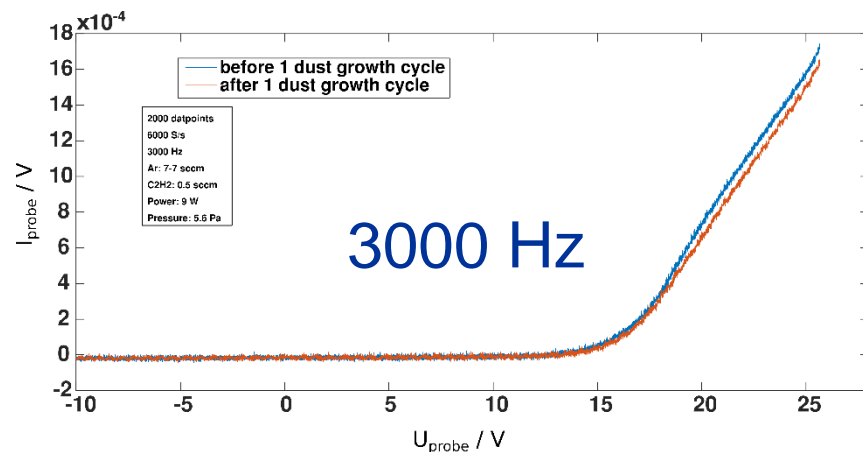
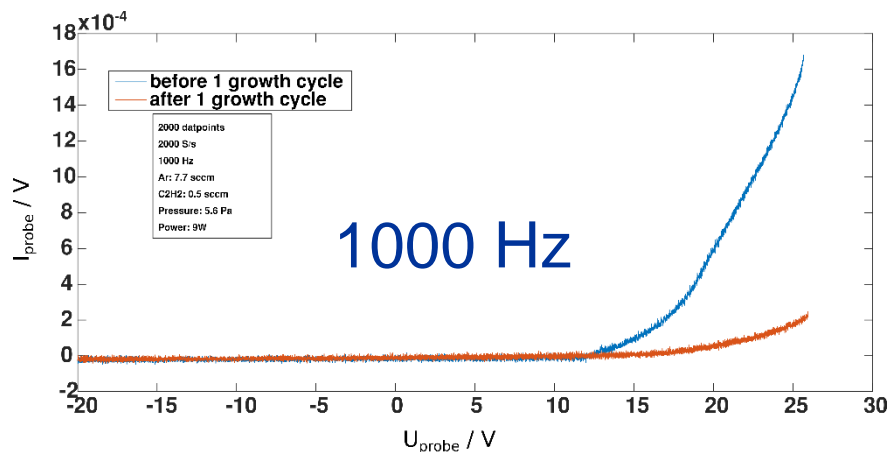
- Sowohl Langmuirsonde als auch Pickup Sonde können über Elektronenstrom freigeleuchtet werden
- Ionenbombardement der Langmuirsonde zwischen den Messungen
- Pro Datenpunkt (I und V) mind. 2 Messungen (I) möglich

# Die Messungen

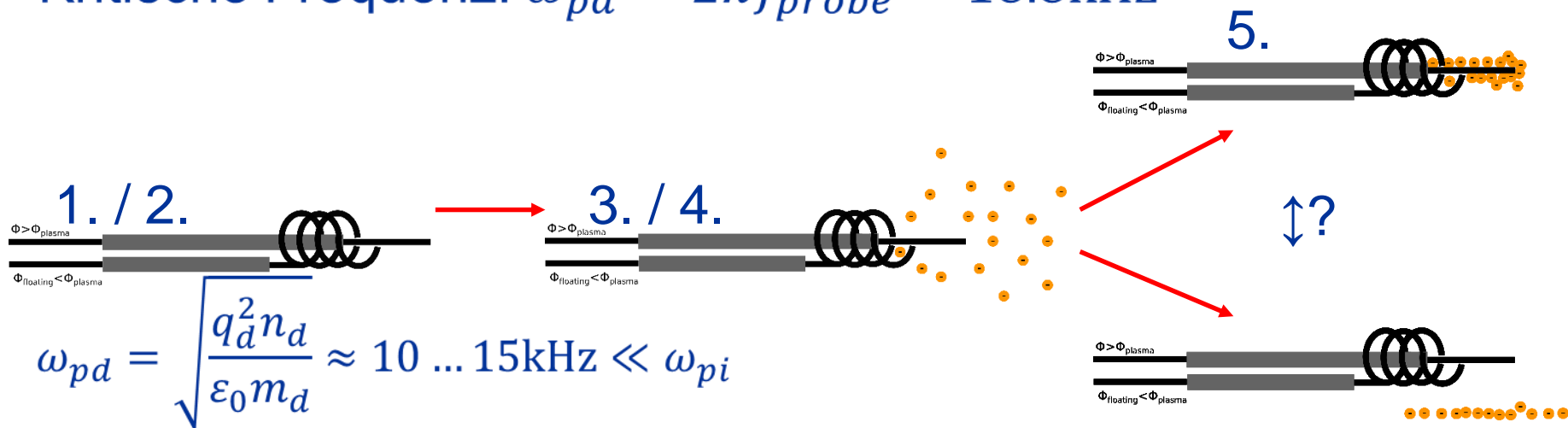


- Wiederholte Messungen während des gesamten Wachstumszyklusses
- Dauer pro Messung 400...800 ms (schnelle Messung gegen Verdrecken)

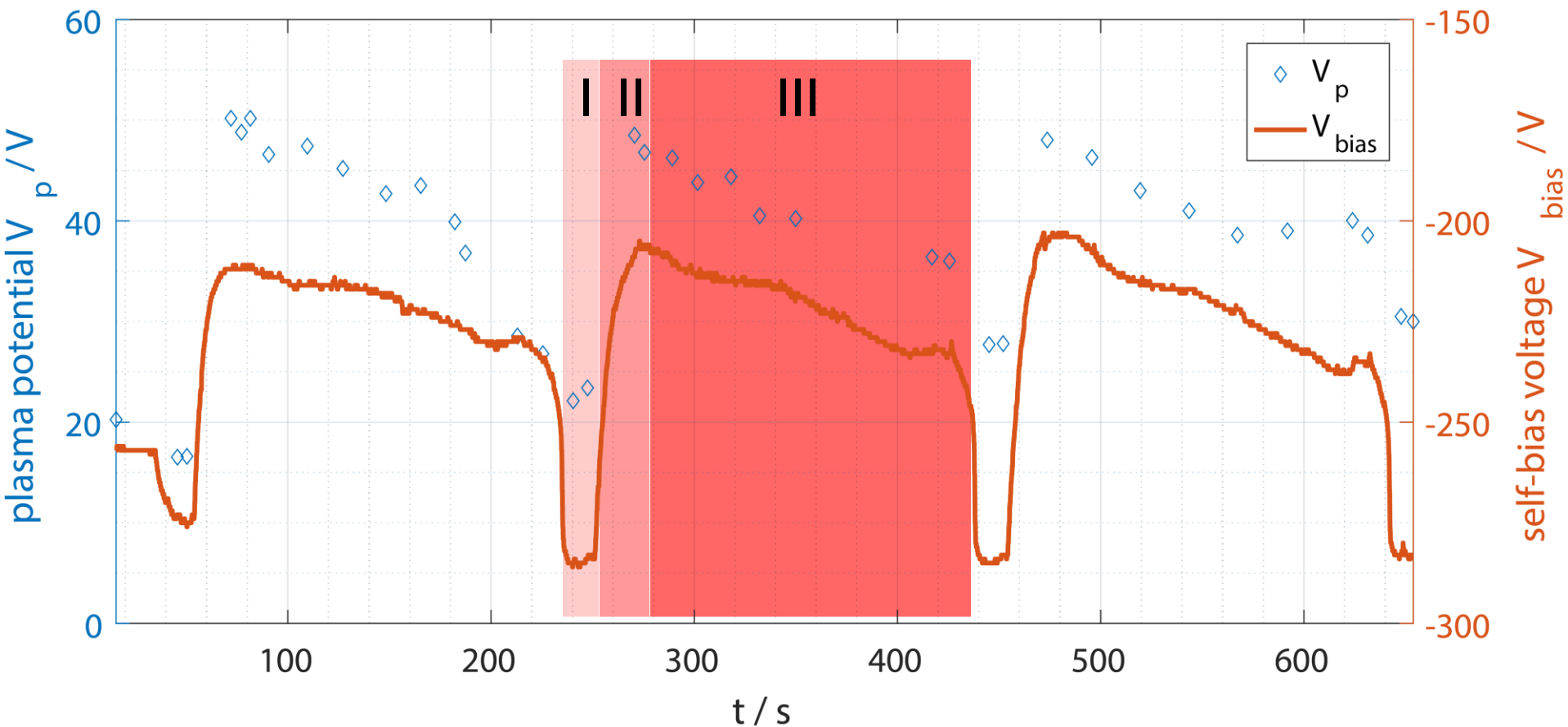
# Die Staub Plasma Frequenz - Funktionstest



Kritische Frequenz:  $\omega_{pd} = 2\pi f_{probe} = 18.8\text{kHz}$

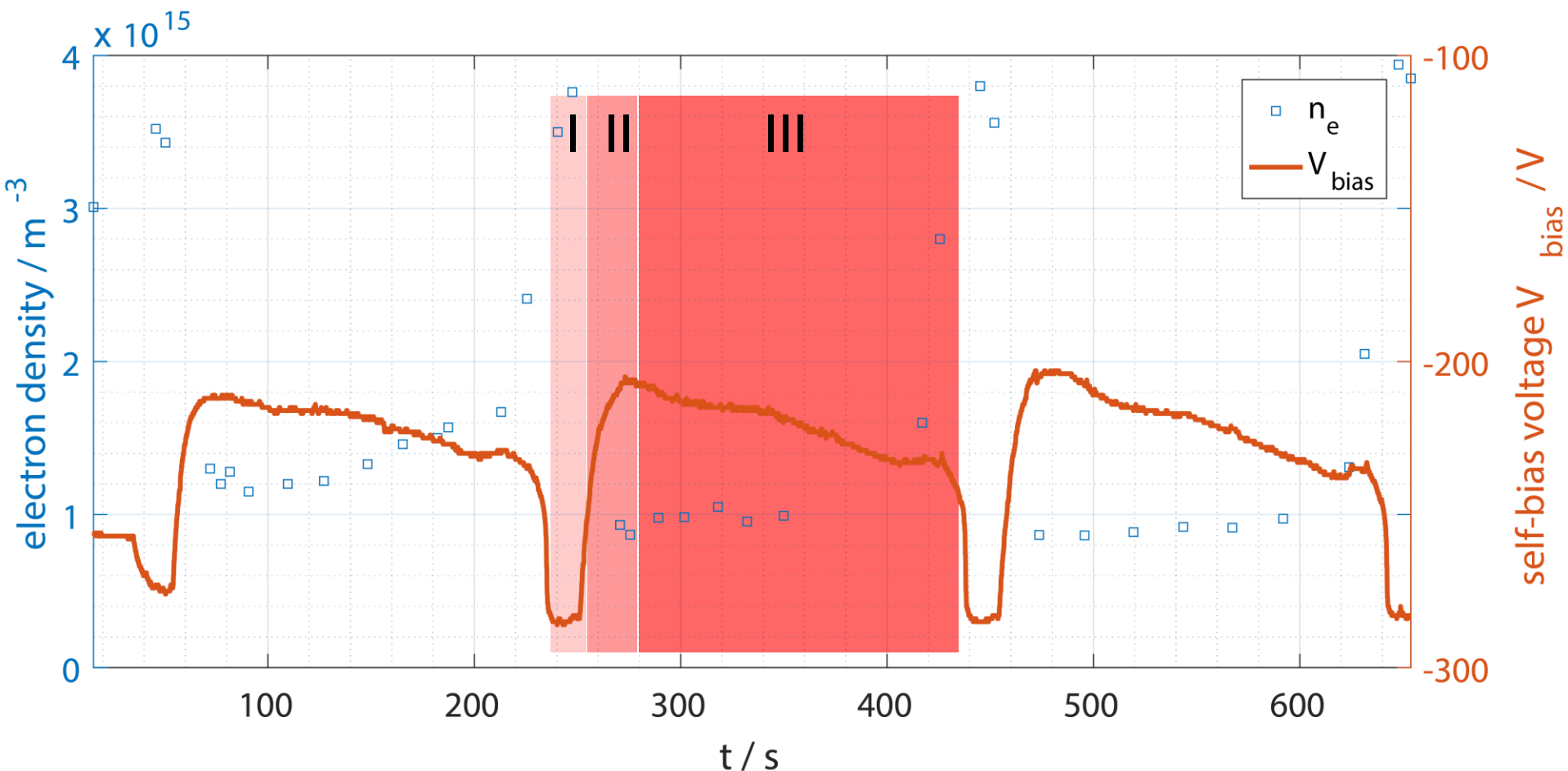


# Ergebnisse - Plasmapotential



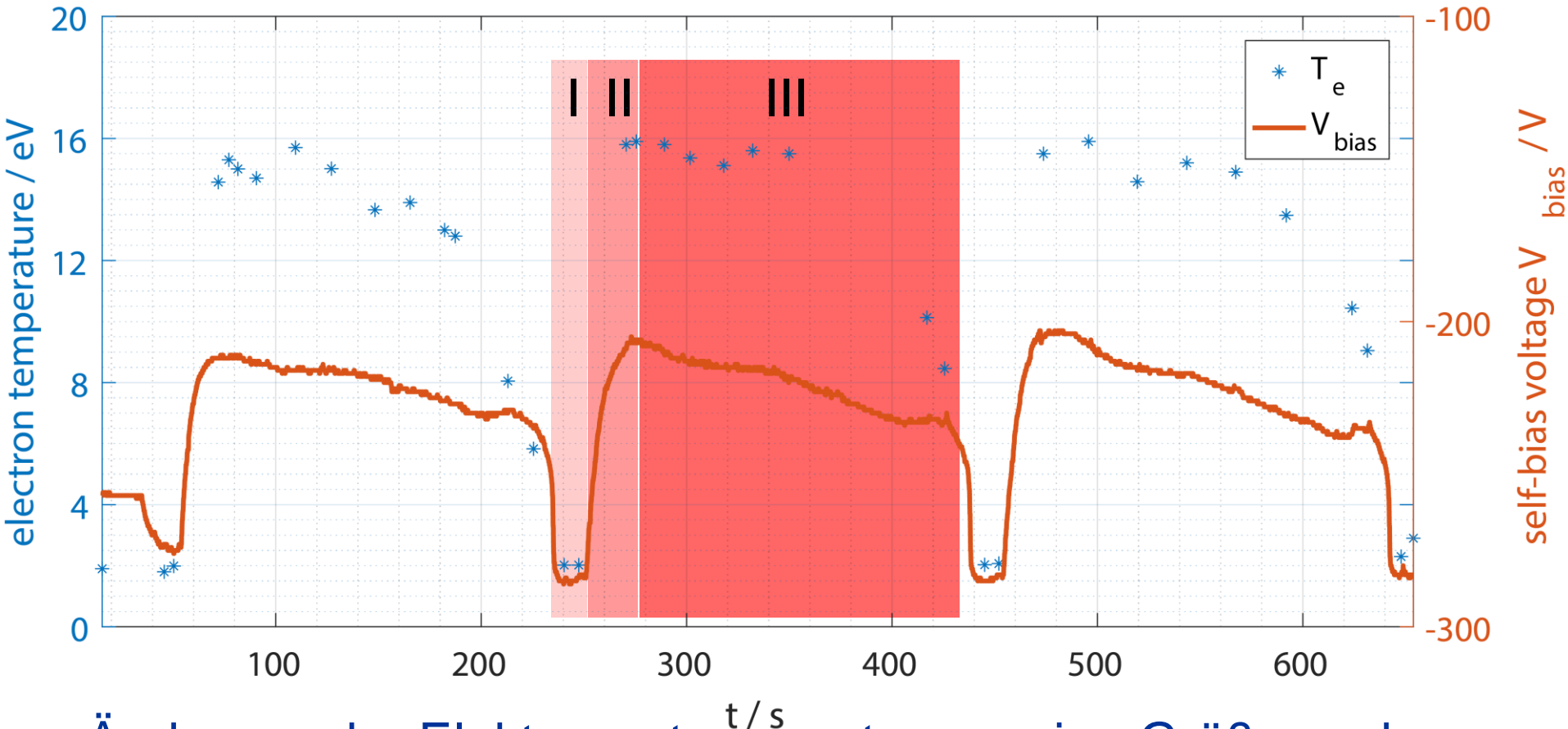
Änderung des Plasmapotentials um Faktor 2

# Ergebnisse - Elektronendichte



Änderung der Elektronendichte um Faktor 4  
 In Silan: [Hollenstein *et al.*, J.Vac.Sci.Technol. **A14**(1996), 535]

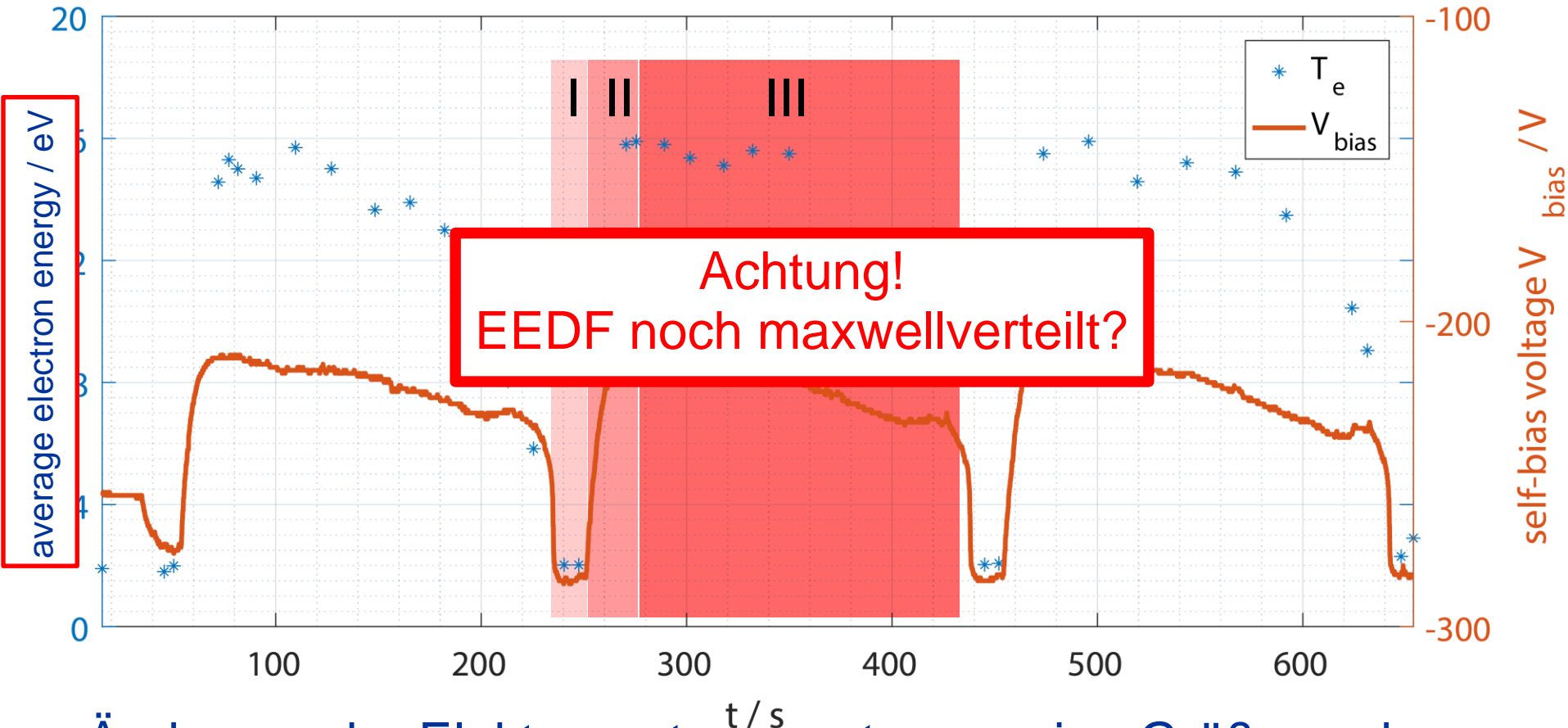
# Ergebnisse - Elektronentemperatur



Änderung der Elektronentemperatur um eine Größenordnung  
 In HMDSO gleicher Trend: [V. Garofano, APL **107**, 183104 (2015)]



# Ergebnisse - Elektronentemperatur

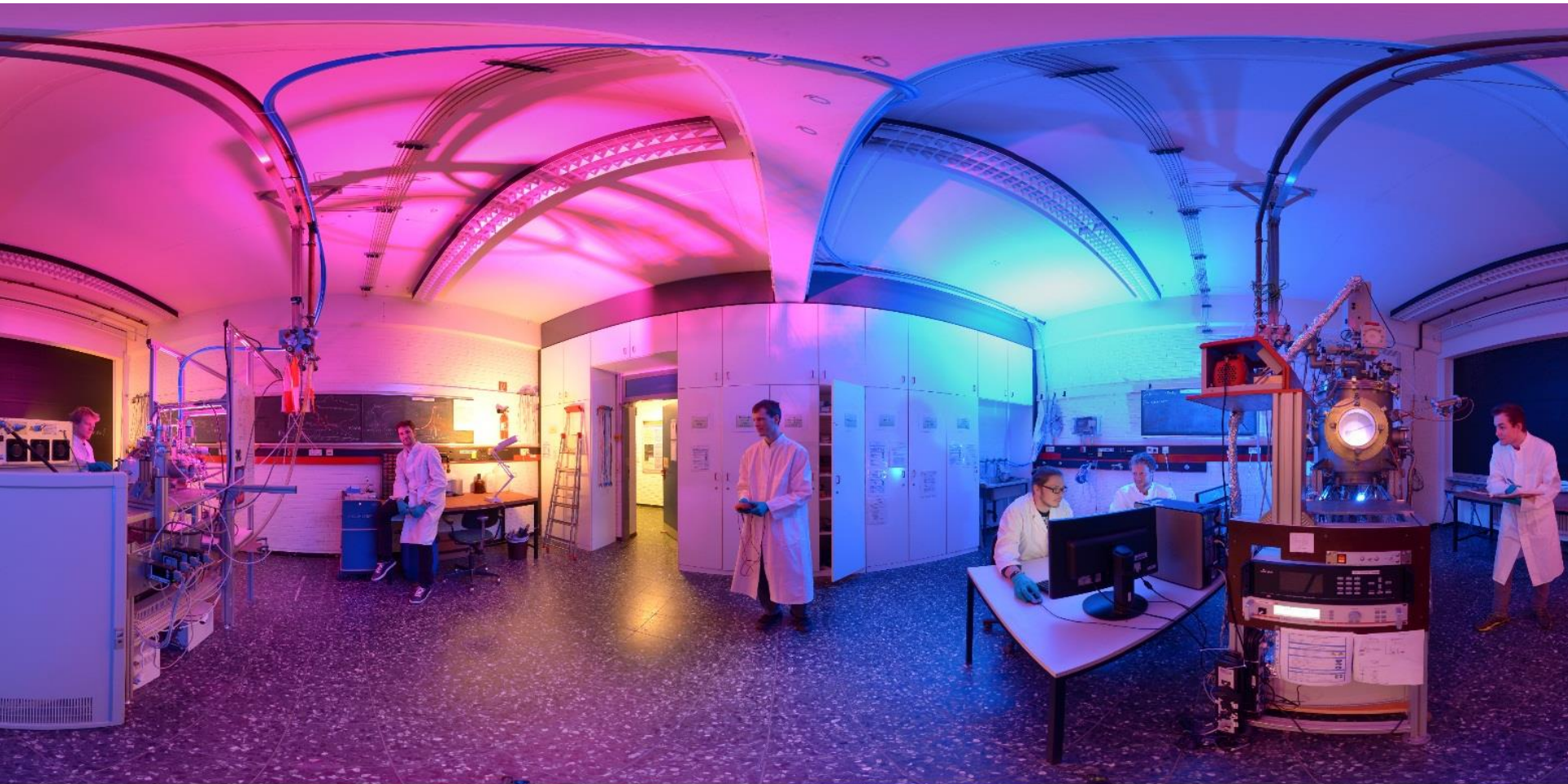


Änderung der Elektronentemperatur um eine Größenordnung  
 In HMDSO gleicher Trend: [V. Garofano, APL **107**, 183104 (2015)]

## Zusammenfassung und Outlook

1. Langmuirmessung mit hoher Strom-Steuer-Frequenz realisiert
2. Literaturwert für Partikel-Plasmafrequenz bestätigt
3. Starke Veränderungen in  $n_e$ ,  $T_e$ ,  $V_p$  in Anwesenheit von Nanostaub messbar
4. Verbesserte Messungen zum Bestimmen der EEDF
5. Messung an verschiedenen Orten im Plasma

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Atom- und Plasmaphysik: LA250 & ATILA