



**Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald**

**Institut für Physik**

**Wi55en lockt.**  
550 Jahre Universität Greifswald

# **Zeit- und orts aufgelöste optische Emissionsspektroskopie an atomarem Sauerstoff in einer kapazitiv gekoppelten RF- Entladung**

TR  24  
complex plasmas

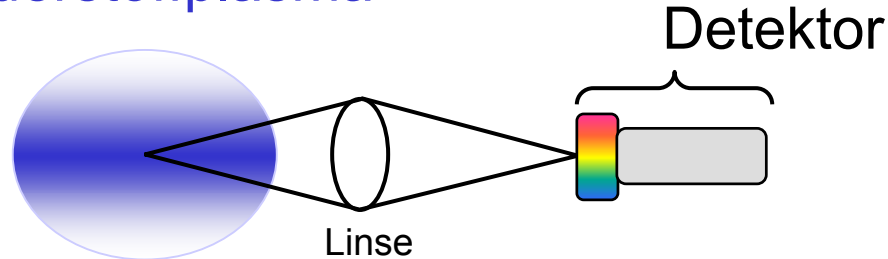
K. Dittmann, B. Krames und J. Meichsner

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Physik, Domstr. 10a, 17489 Greifswald

# Einleitung

- Optische Emissionsspektroskopie

Sauerstoffplasma



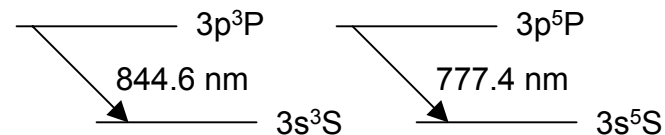
➡ Direkte Aussagen nur über angeregte Zustände

- Atomarer Sauerstoff

➡ Wichtiger Reaktionspartner für viele Volumen- und Oberflächenreaktionen

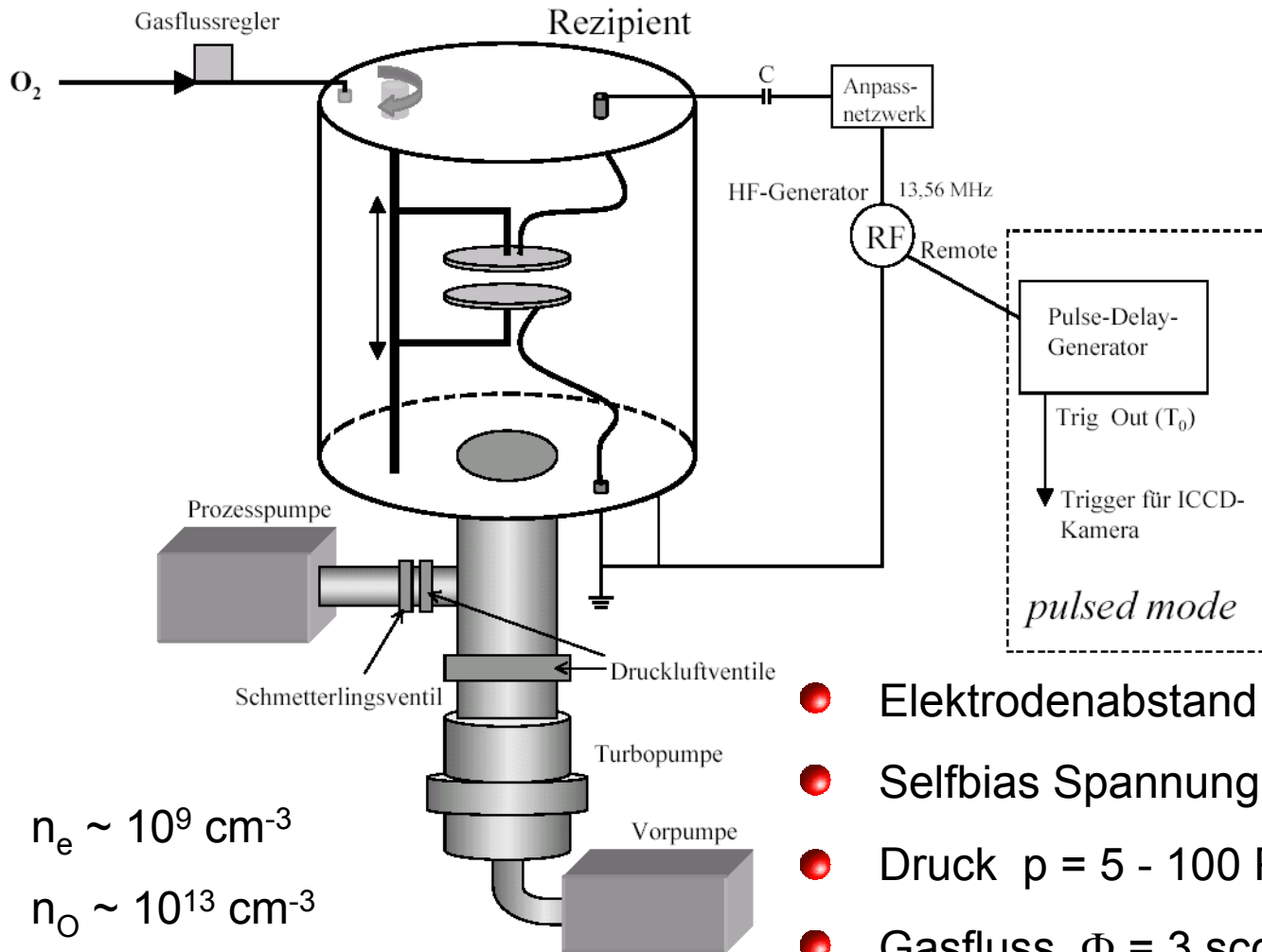
➡ Kenntnisse über Erzeugung, Vernichtung, Dichteverteilung und **Anregungsprozesse** von O sind wichtig

Emission – atomarer Sauerstoff



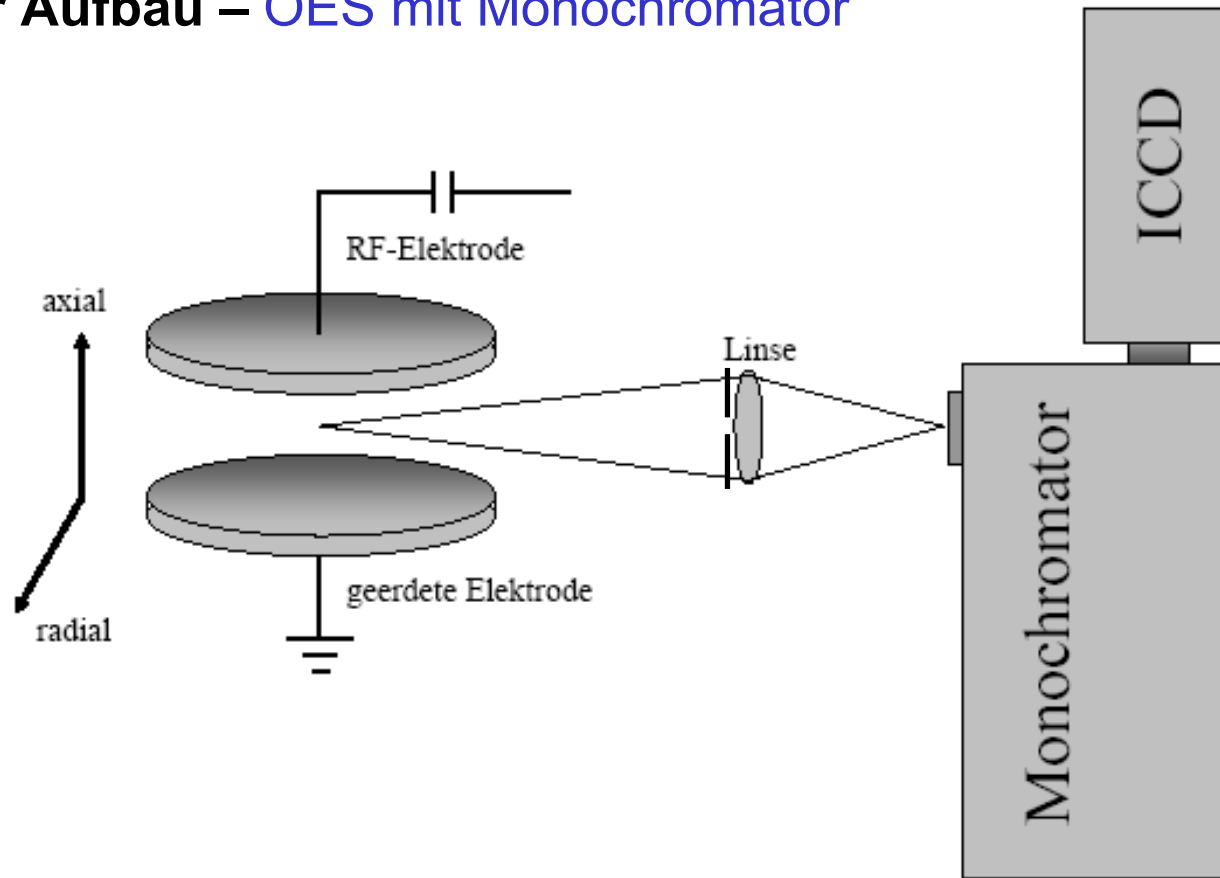
# Experimenteller Aufbau

## Entladung – asymmetrische kapazitiv gekoppelte RF-Entladung



# Experimenteller Aufbau

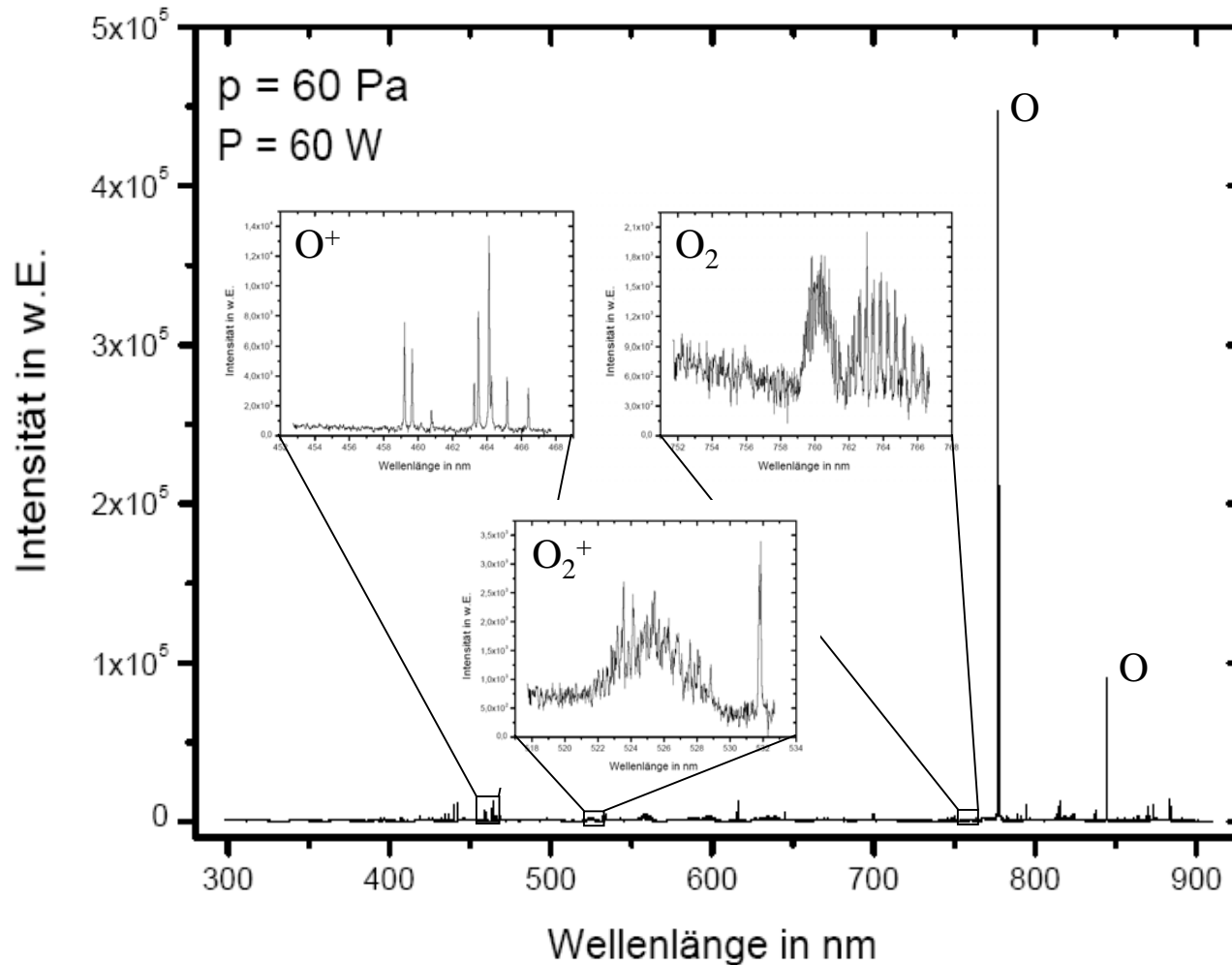
## Optischer Aufbau – OES mit Monochromator



- Spektral aufgelöste Messung der optischen Emission
- Axiale Ortsauflösung bei direkter Abbildung auf Eingangsspalt

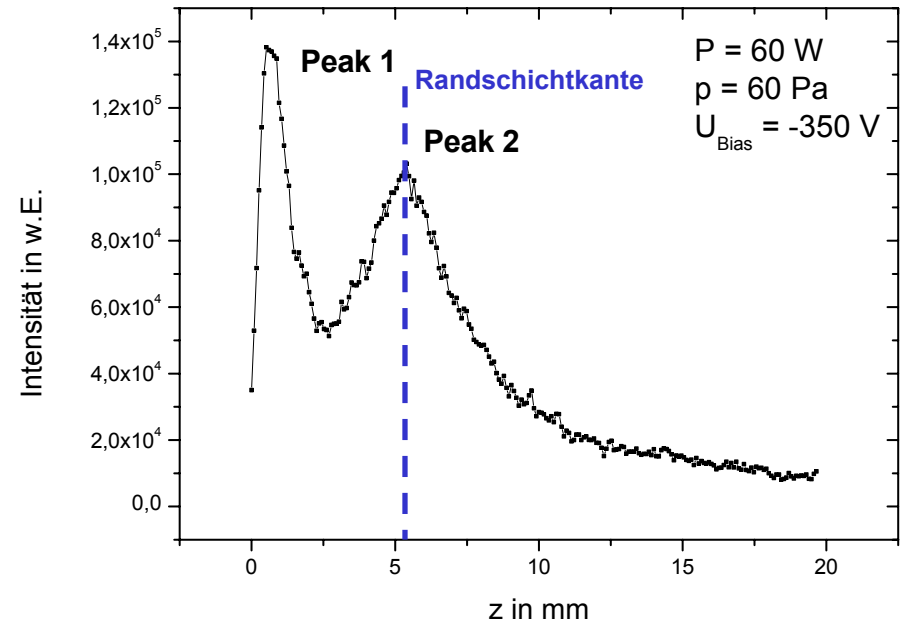
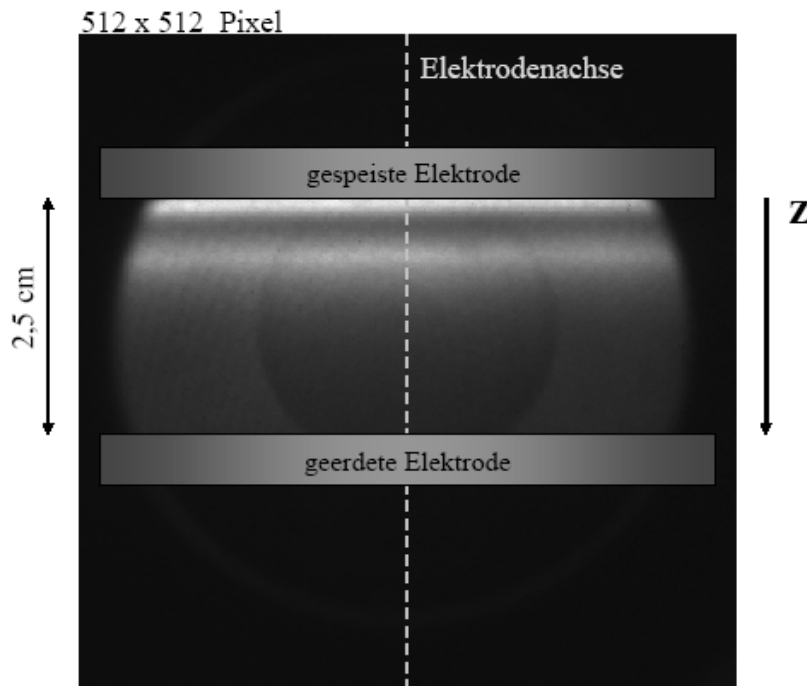
# OES an atomarem Sauerstoff - zeitgemittelt

## Übersichtsspektrum



# OES an atomarem Sauerstoff - zeitgemittelt

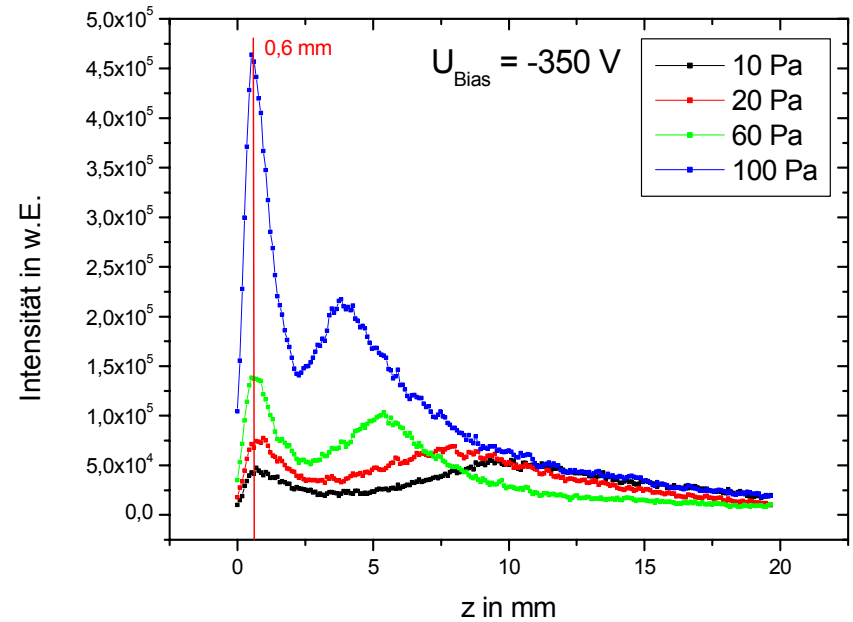
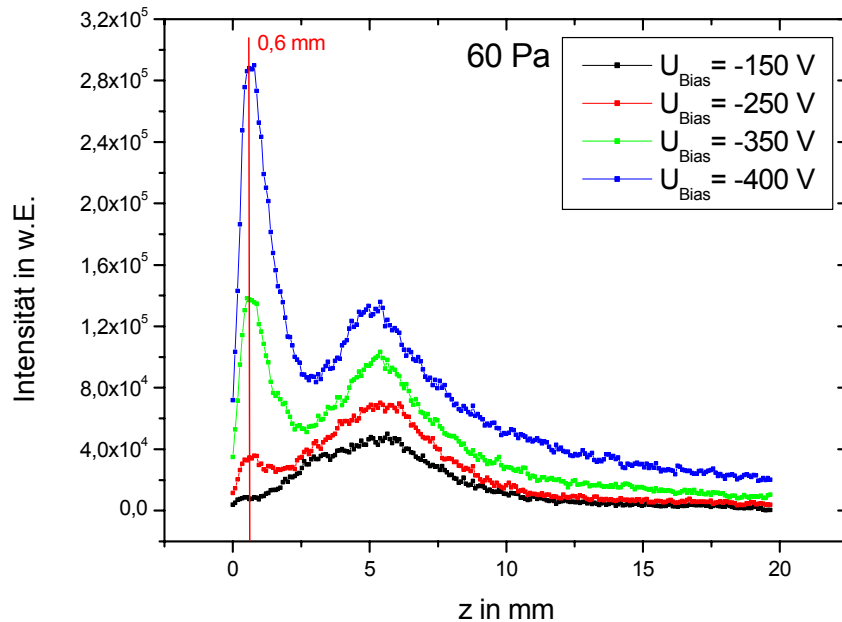
## Emission bei 844 nm – Axialer Emissionsintensitätsverlauf



- Emission hauptsächlich in zwei Bereichen
  - ➔ Anregung von O ( $\tau_0 \sim 30 \text{ ns}$ ) vorwiegend im Plasmagrenzschichtbereich an der gespeisten Elektrode und den angrenzenden Bereich des Bulkplasmas

# OES an atomarem Sauerstoff - zeitgemittelt

## Axiale Intensitätsprofile (844 nm) – Druck- und Selfbiasabhängigkeit



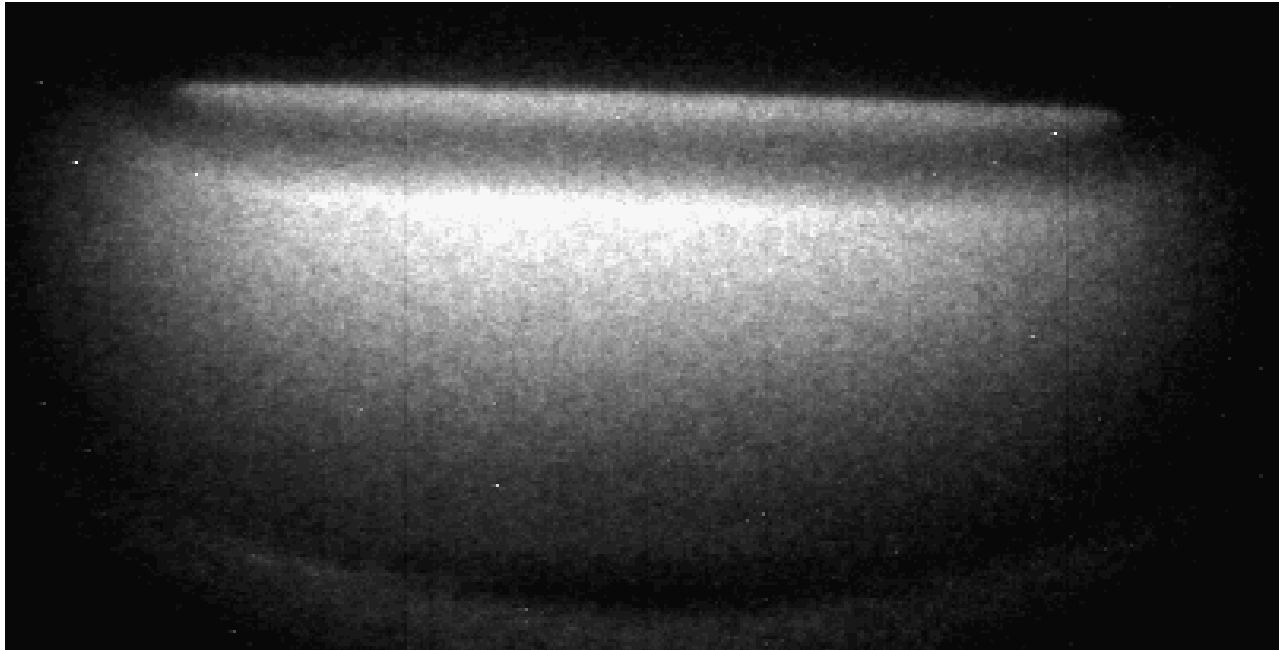
- Intensität von Peak1 nimmt mit  $U_{\text{Bias}}$  und Druck stärker zu als Intensität von Peak2
- Anregung in Peak1 besitzt Schwellwert bei ca.  $U_{\text{Bias}} \approx -100 \text{ V}$
- Peak2 wandert mit sinkendem Druck in Richtung Bulkplasma

➡ Randschichtdicke ist druckabhängig  $d_s \sim p^{-1/4} \dots p^{-1/2}$

# OES an atomarem Sauerstoff

---

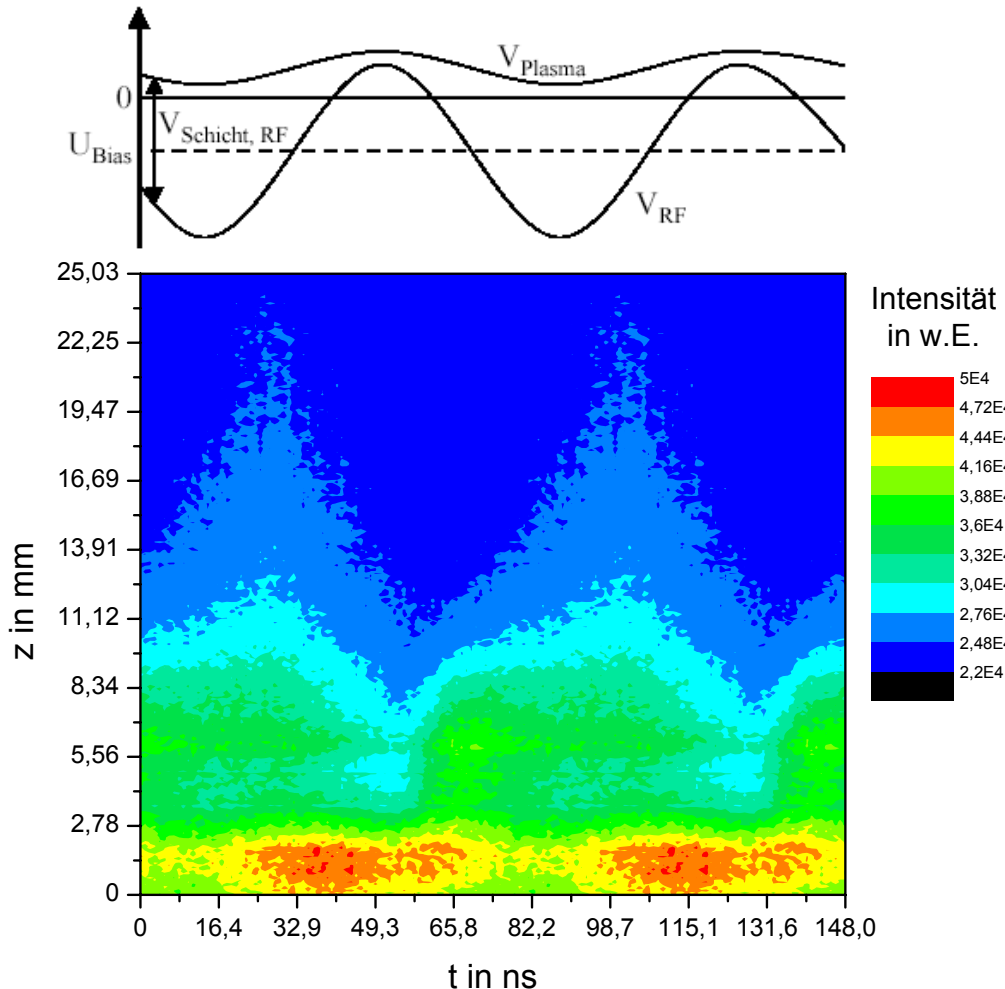
**Axiale Intensitätsprofile (777 nm) – RF-phasenaufgelöst ( $T_{RF} = 73,75$  ns)**



B. Krames

# OES an atomarem Sauerstoff

## Axiale Intensitätsprofile (777 nm) – RF-phasenaufgelöst ( $T_{RF} = 73,75$ ns)



● Starke zeitliche Modulation der Emission von Peak2 mit RF-Phase

➔ Anregung durch Elektronen

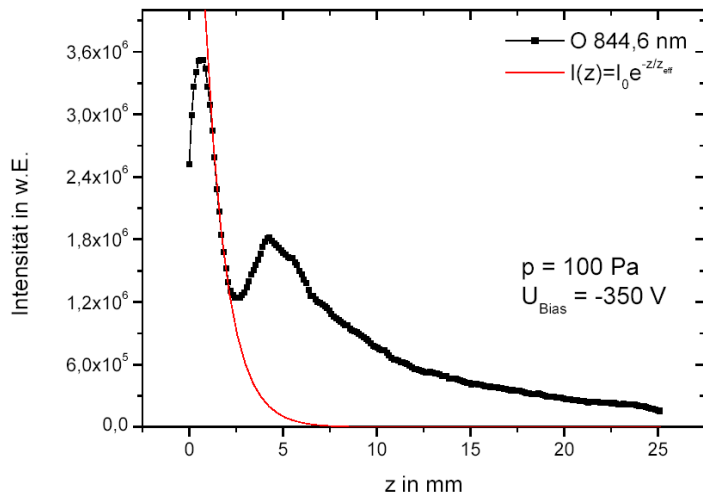
● Emission in Peak1 zeigt nur schwache Modulation mit RF-Phase

● Deutlicher Unterschied zu Peak2

➔ Dominierender Anregungsprozess nicht durch Elektronen

# OES an atomarem Sauerstoff

## Axiale Intensitätsprofile – Anregung an der gespeisten Elektrode



● Exponentieller Abfall

➔ Anregung an der Elektrode  $I = I_0 e^{-t/\tau}$

➔ Schwerteilchenstoßanregung  $I = I_0 e^{-z/\lambda}$

$$I = I_0 e^{-t/\tau} e^{-z/\lambda} = I_0 e^{-z/z_{\text{eff}}} \quad \text{mit} \quad 1/z_{\text{eff}} = 1/v\tau + 1/\lambda$$

● Mit  $\lambda = 1/N\sigma$  und  $N = p/k_B T$

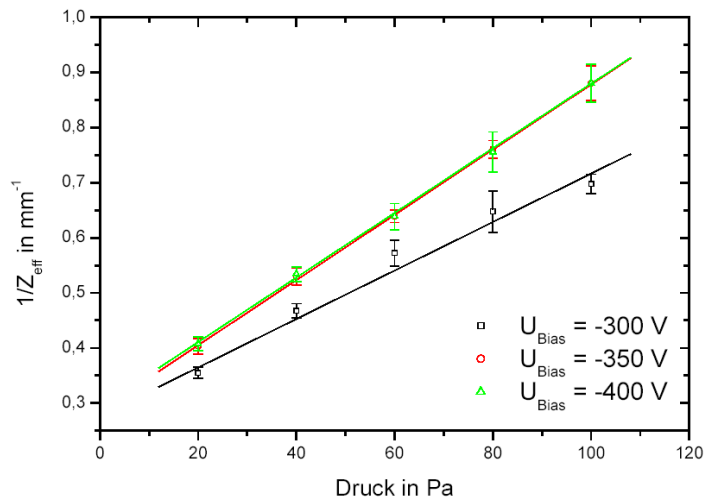
➔  $1/z_{\text{eff}} = 1/v\tau + (\sigma/k_B T)p$

●  $1/z_{\text{eff}}$  hängt linear vom Druck ab

➔ totaler Querschnitt  $\sigma = 2,8 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$   
( $T = 350 \text{ K}$ )

● Energetisches Teilchen von der Elektrode

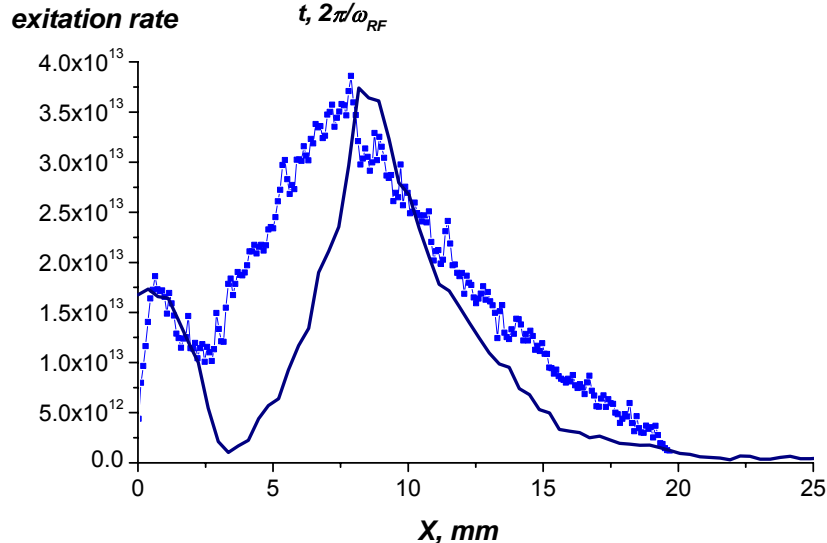
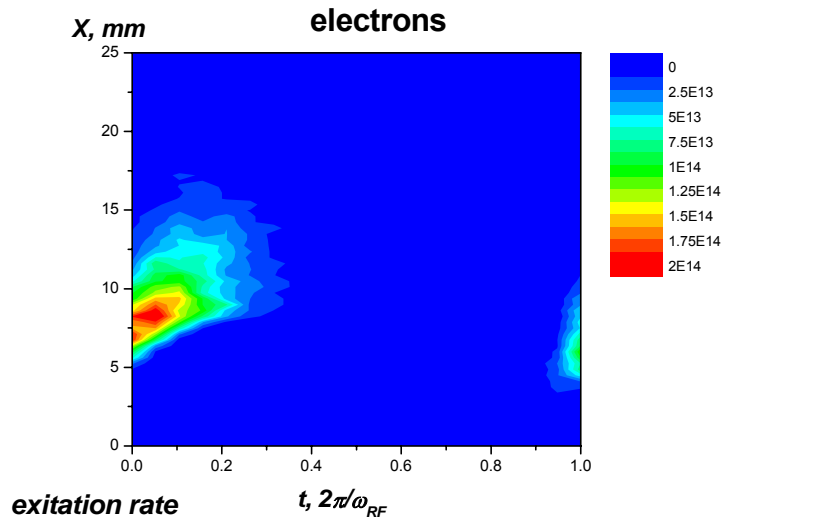
➔ entsprechend lange Lebensdauer  $\tau \sim \mu\text{s}$



# OES an atomarem Sauerstoff – Vergleich mit PIC-Simulation

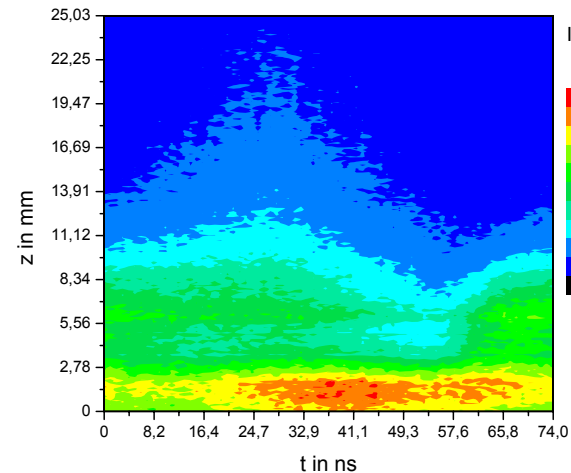
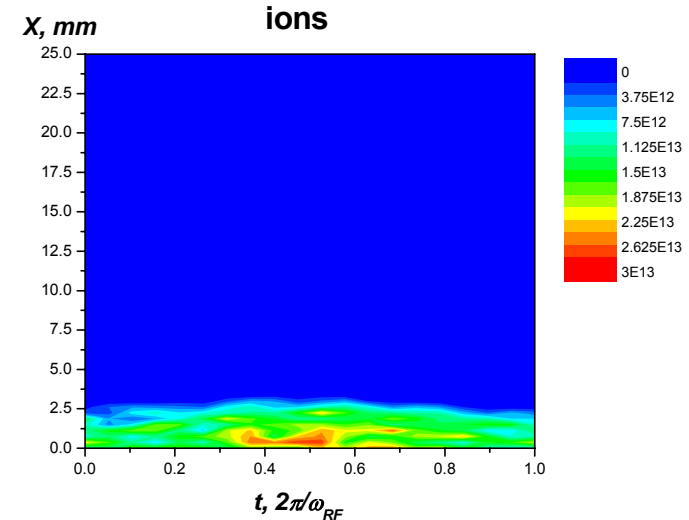
R. Schneider et al., Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Teilinstitut Greifswald

## Elektronenstoß-Anregungsrate



## Ionenstoß-Anregungsrate ( $O_2^+$ )

konstanter Wirkungsquerschnitt von  $10^{-17} \text{ cm}^2$  mit Schwellwert bei 100 eV  $O_2^+ + O \rightarrow O^* + \dots$



# Zusammenfassung

---

- Übersichtsspektrum → Emission von O wie erwartet bei 777,4 und 844,6 nm am stärksten
- Zeit- und axial orts aufgelöste Emissionsintensitätsprofile des atomaren Sauerstoffs
- Selfbiasspannungs- und Druckabhängigkeit der axialen Intensitätsprofile
  - Schwellwert für Anregung an der Elektrode  $U_{\text{Bias}} \approx -100 \text{ V}$
  - Druckabhängigkeit der Randschichtdicke  $d_s \sim p^{-1/4} \dots p^{-1/2}$
- Anregungsmechanismen des atomaren Sauerstoffs
  - Peak2: Elektronenstoßanregung
  - Peak1: Schwerteilchenstoßanregung
- Bestimmung eines totalen Querschnitts für den Schwerteilchenstoß an der gespeisten Elektrode  $\sigma = 2,8 * 10^{-16} \text{ cm}^2$  (T = 350 K)

# Ende

---



Wi55en lockt.  
550 Jahre Universität Greifswald

# Danke

TR  24  
complex plasmas