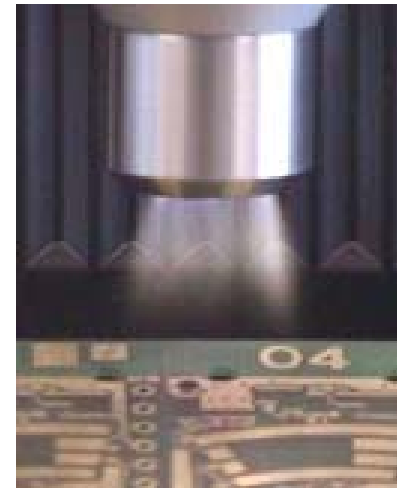


# Räumlich und zeitlich aufgelöste Spektroskopie an reaktiven Strahlplasmen bei Atmosphärendruck



D. Pasedag, H.-E. Wagner, R. Brandenburg, K. Kozlov, P. Michel  
E.-M.-Arndt-Universität Greifswald  
Institut für Physik

**Mühlleithen am 02. März 2003**

# Gliederung

- ◆ Motivation

- ◆ Experimenteller Aufbau

- ◆ Ausgewählte Ergebnisse

  - Übersichtsspektren im aktiven Plasma und Plasmastrahl

    - Zeitaufgelöste Messungen

    - Bestimmung der Rotationstemperatur

    - O-Atomkonzentration

- ◆ Zusammenfassung und Ausblick

# Strahlplasmen

Oberflächenbearbeitung:  
Plasmastift - Brno



Oberflächenaktivierung  
und Reinigung: IFAM Bremen



Plasmasprühen:  
TU Ilmenau



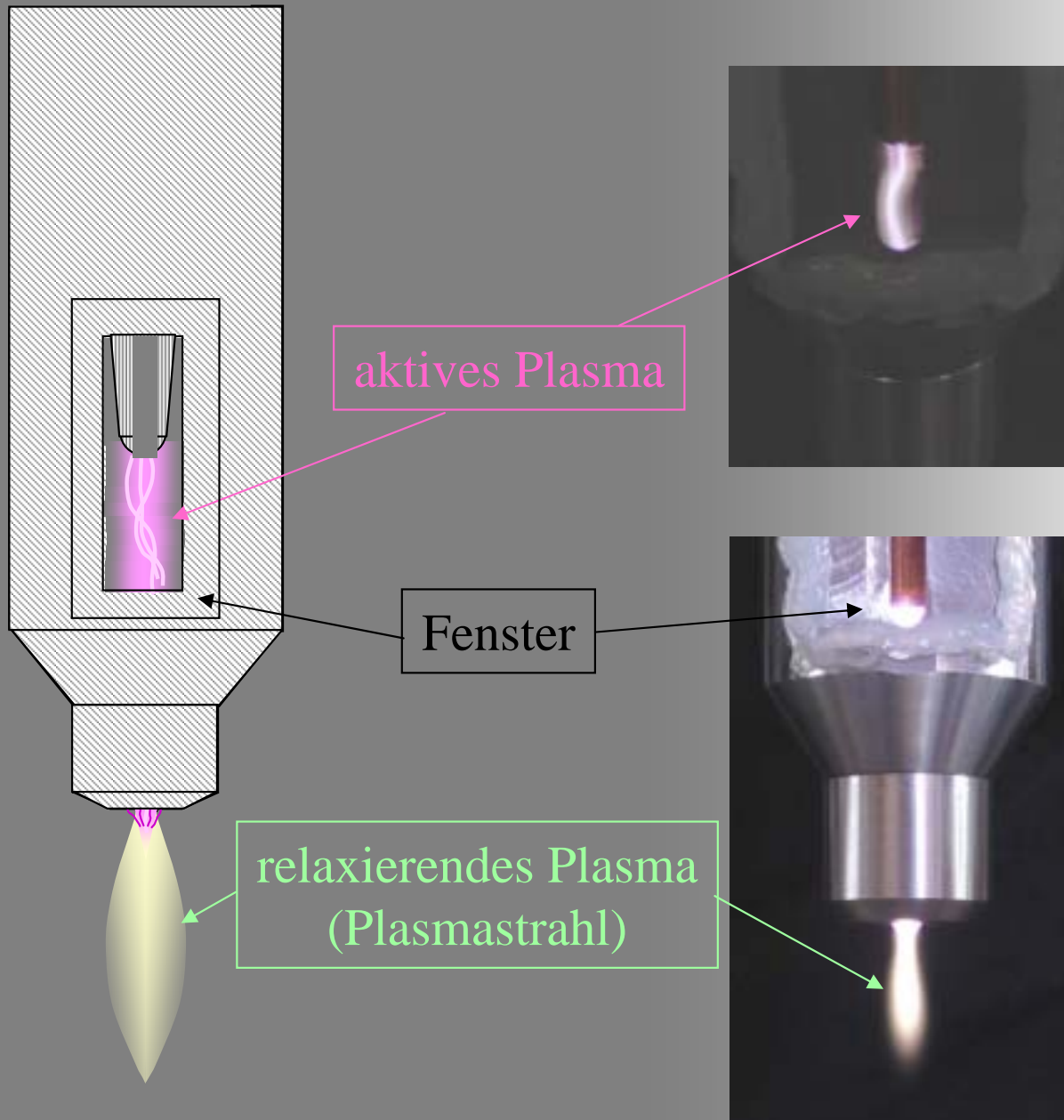
Plasmaätzen:  
IOM Leipzig



Plasmaschneiden



# Der untersuchte Plasmastrahl



## Spannungsversorgung:

- $U = 8 \dots 16 \text{ kV}_{pp}$
- $f = 12,5 \dots 16,7 \text{ kHz}$

## Gasversorgung:

- Kompressorluft
- synthetische Luft
- Stickstoff
- Gasgemisch  $\text{N}_2 + \text{NO}$
- Durchflußrate  
 $D = 23 \text{ sl/min}$

heißes Plasma:  
„Gliding Arc“

# Untersuchungen im Überblick

## Optisch:

- Aufnahme axial aufgelöster Übersichtsspektren
- Messung der räumzeitlichen Intensitätsentwicklung ausgewählter Spektrallinien

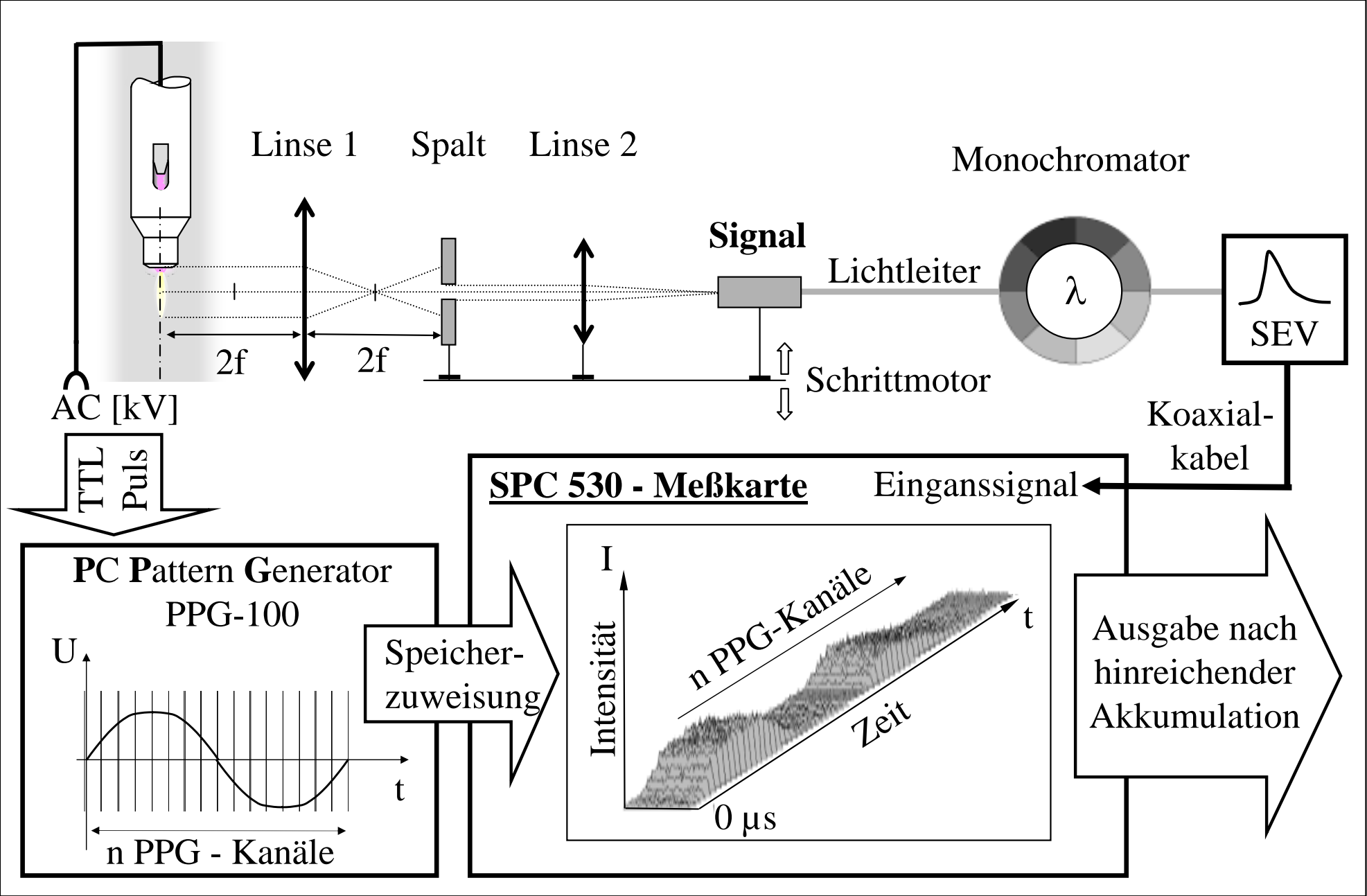
## Elektrisch:

- oszillographische Messung von Strom, Spannung und Frequenz

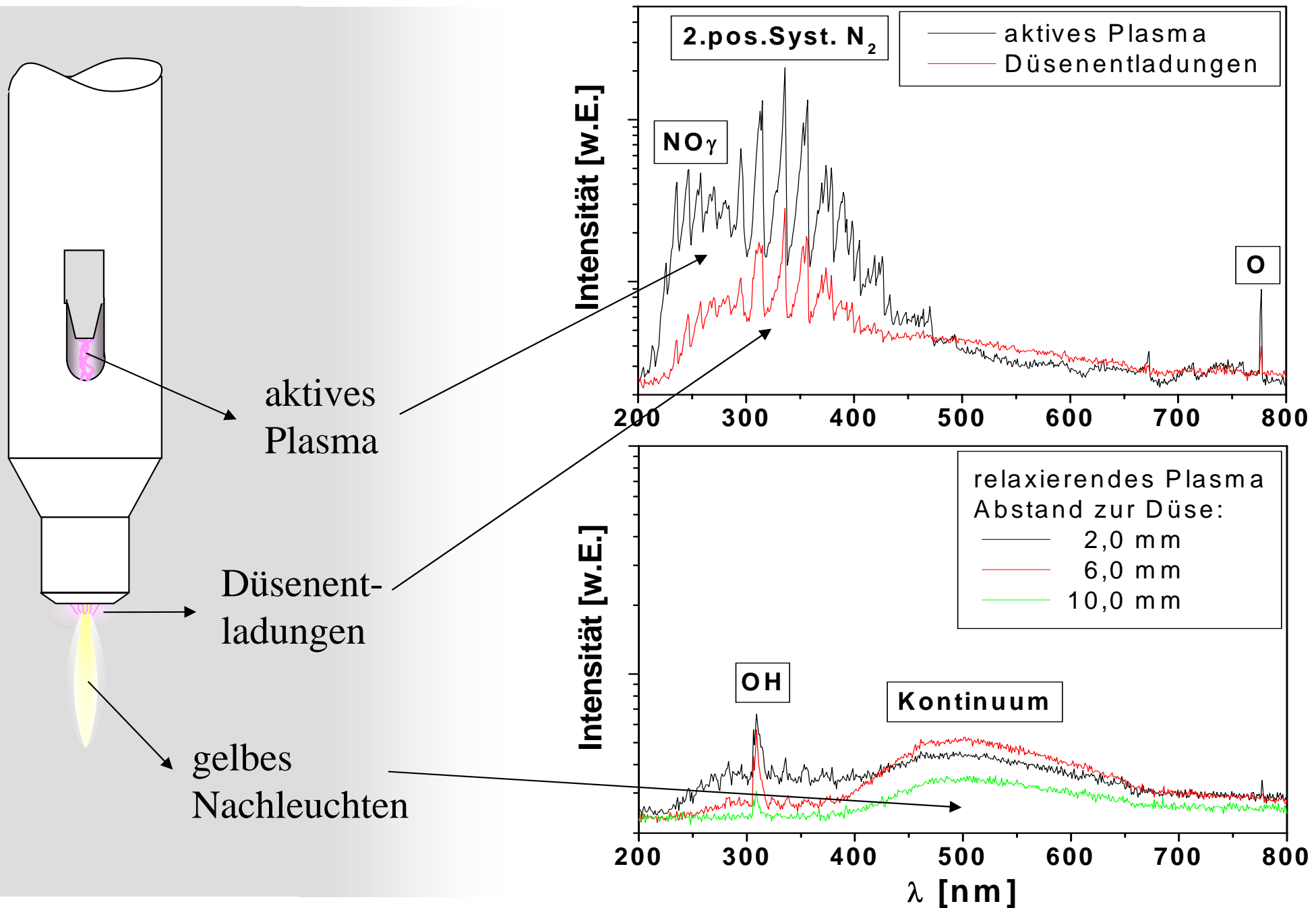
## Gaschromatographisch:

- Bestimmung der Zusammensetzung der aus dem Strahl tretenden Gase

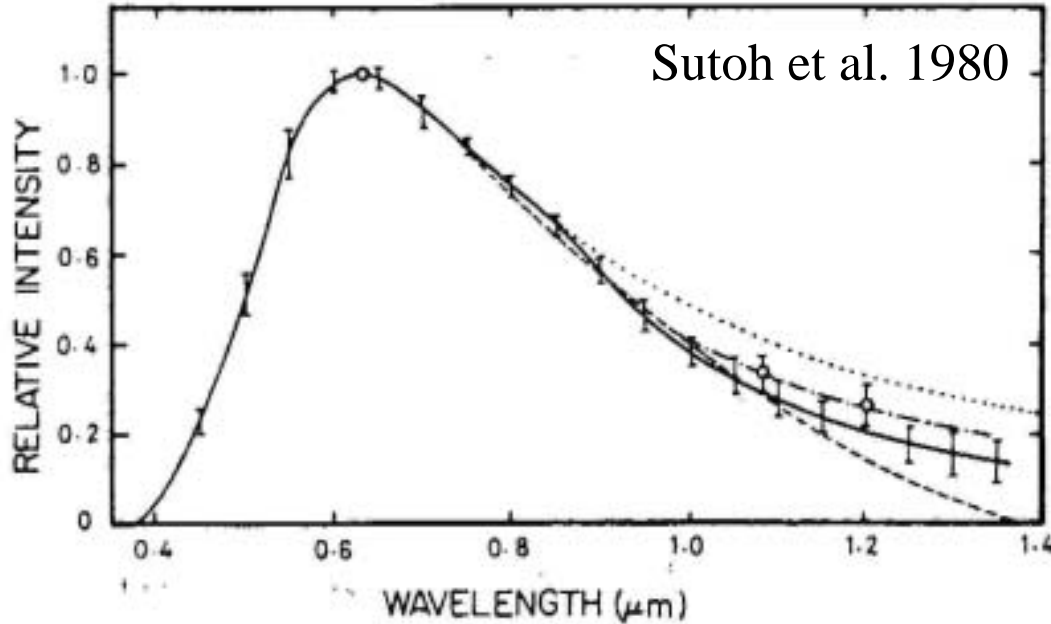
# Spektroskopischer Aufbau



# Übersichtsspektren in Luft



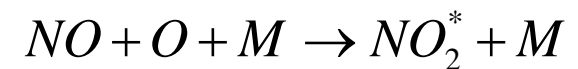
# Identifikation des gelben Nachleuchtens



## Vergleich des Kontinuums mit Messungen aus der Literatur:

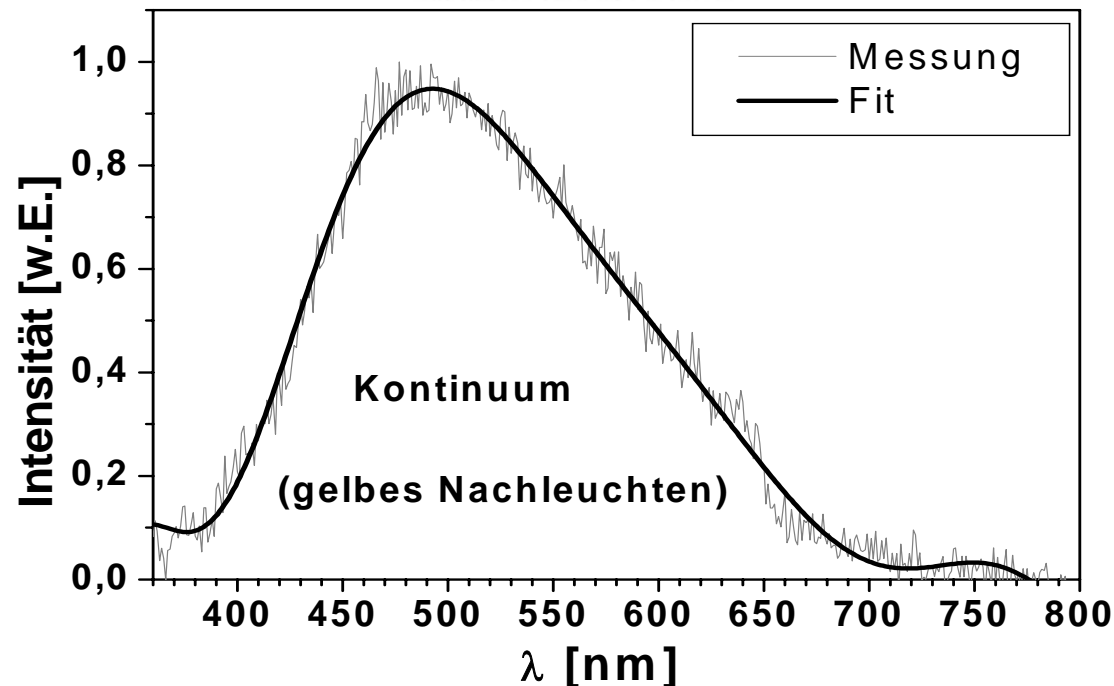
- gleicher Spektralbereich
- gleiche Auftrittsenergien

⇒ identische Reaktionen:



⇒ gelbes Nachleuchten  $\equiv$   
 $NO_2^*$  - Kontinuum

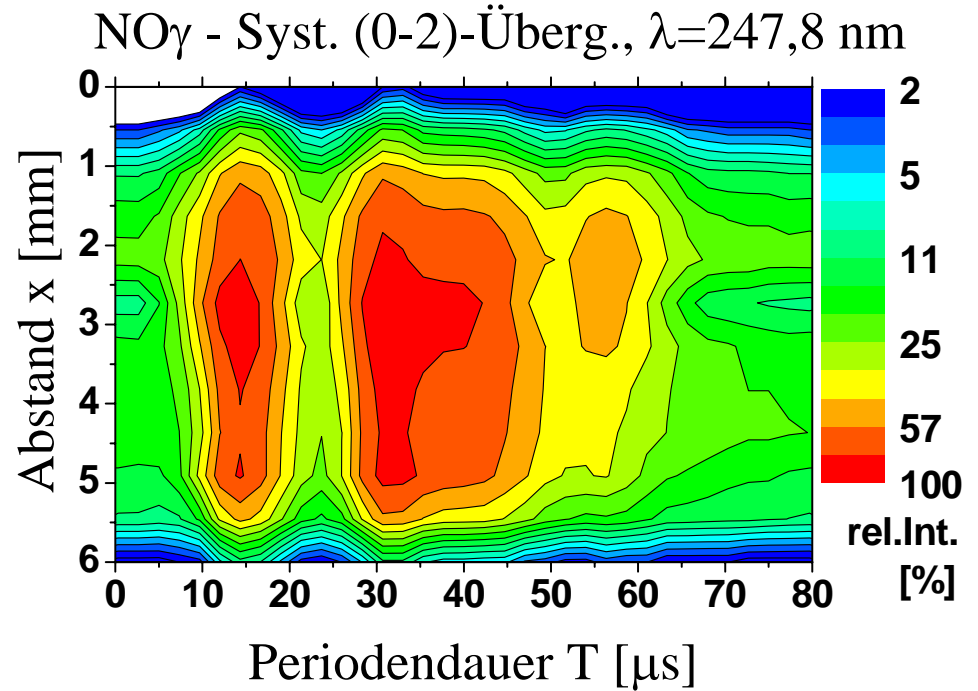
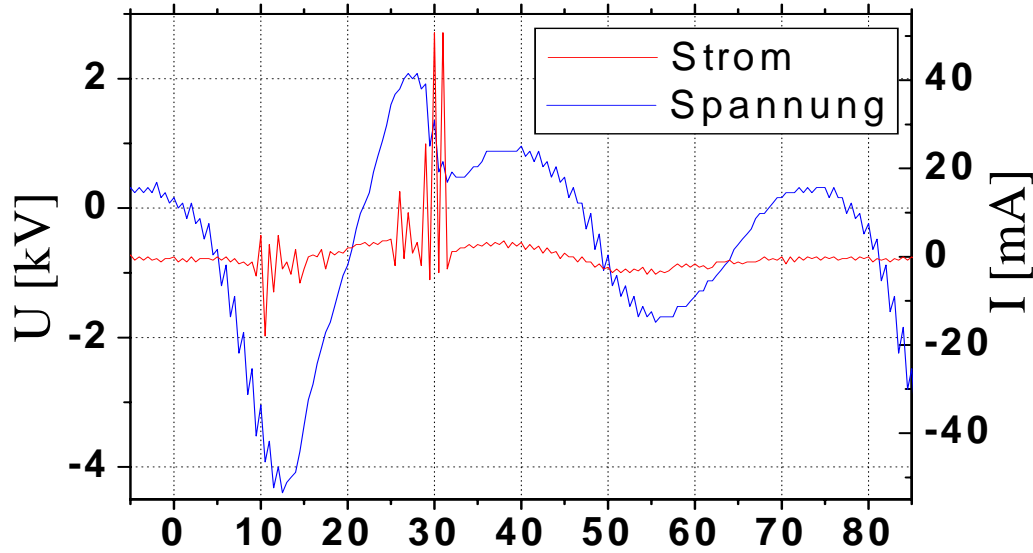
⇒ **Indikator für O-Atome**



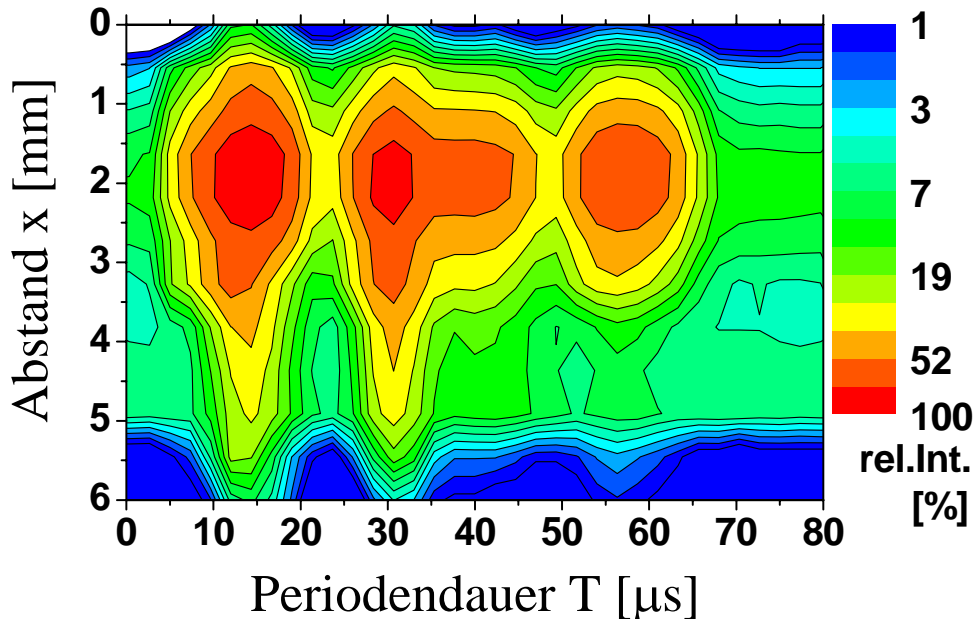
# Räumlich und zeitlich aufgelöste Spektren

(aktives Plasma in Luft)

Strom- und Spannungssignal



2.pos.Syst. N $_2$  (0-0)-Überg.,  $\lambda=337,1$  nm



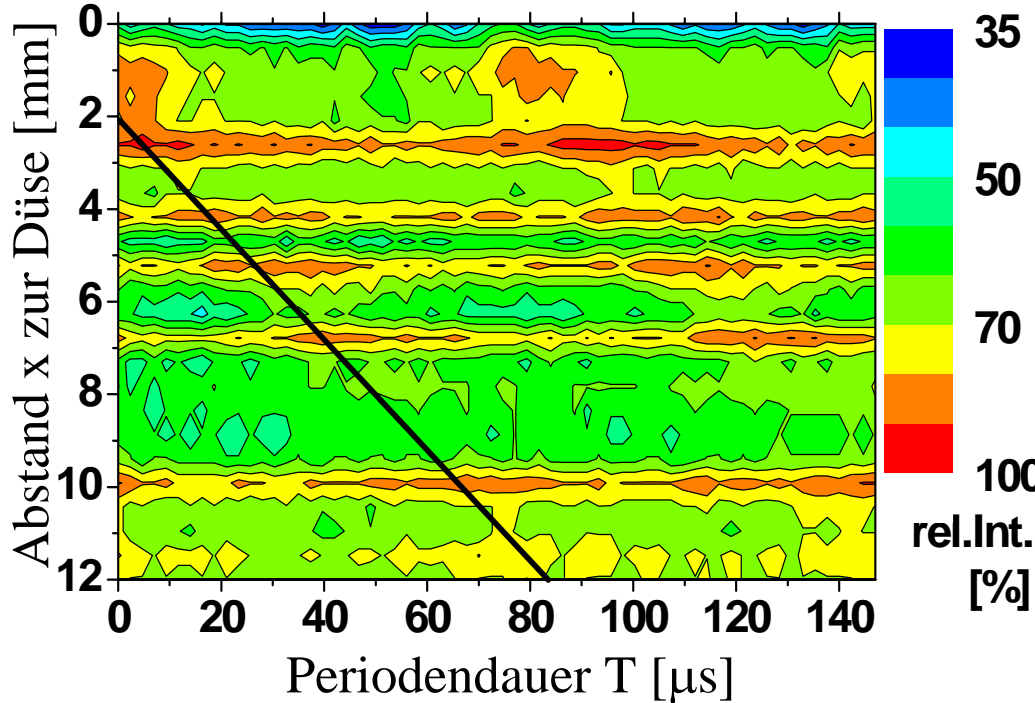
$\Rightarrow$  ausgeprägter nichtthermischer Prozeß  
( $kT_e$ : N $_2$ :  $\approx 11$  eV; NO:  $\approx 5,5$  eV)

$\Rightarrow$  Anregung von NO ist ein Folgeprozeß  
der N $_2$ -Anregung

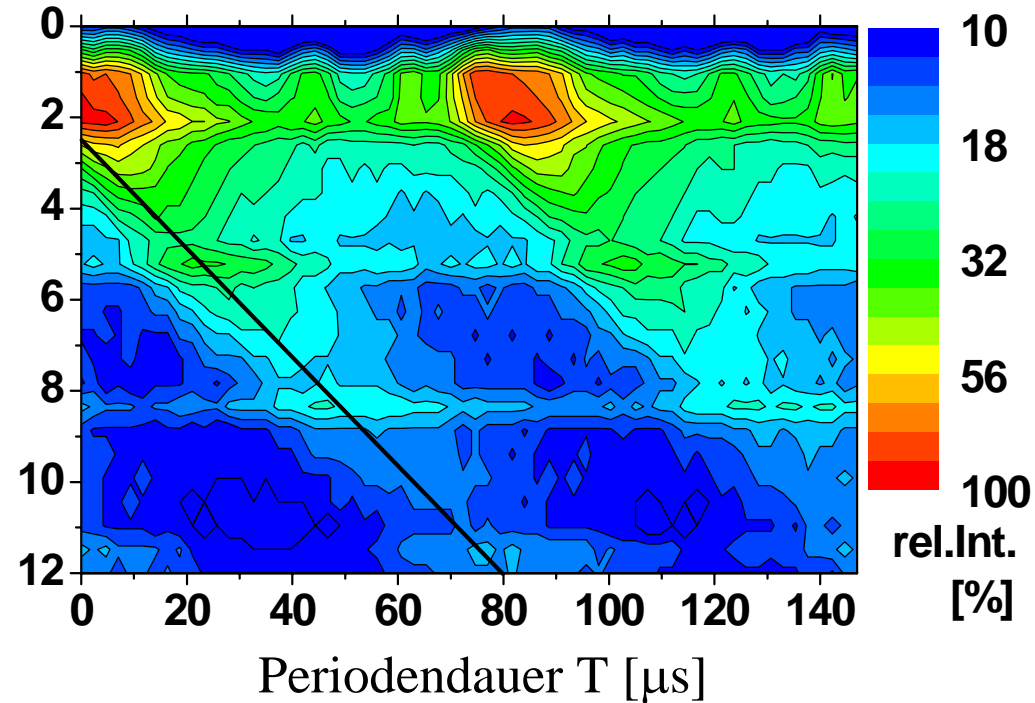
# Räumlich und zeitlich aufgelöste Spektren

(relaxierendes Plasma in Luft)

NO<sub>2</sub>\* Kontinuum,  $\lambda=500$  nm



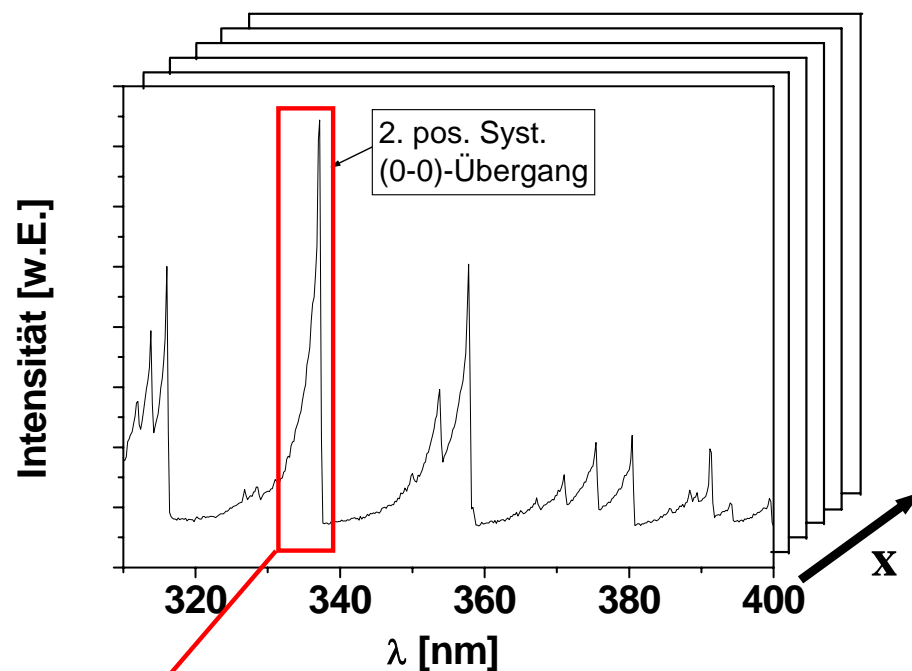
OH - Linie,  $\lambda=309,8$  nm



$$\Delta x = 9,5 \text{ mm (Ordinate)} / \Delta T = 80 \text{ } \mu\text{s (Abszisse)}$$
$$= \text{Ausströmgeschwindigkeit: } v = 120 \text{ ms}^{-1}$$

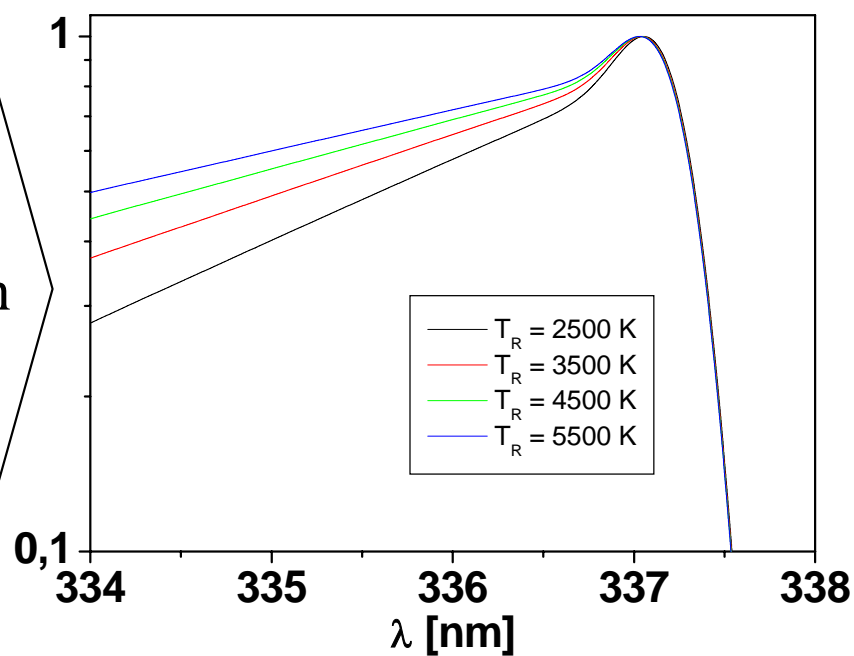
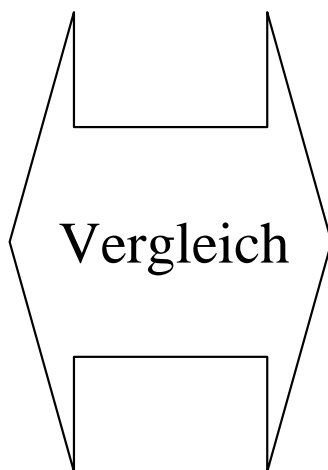
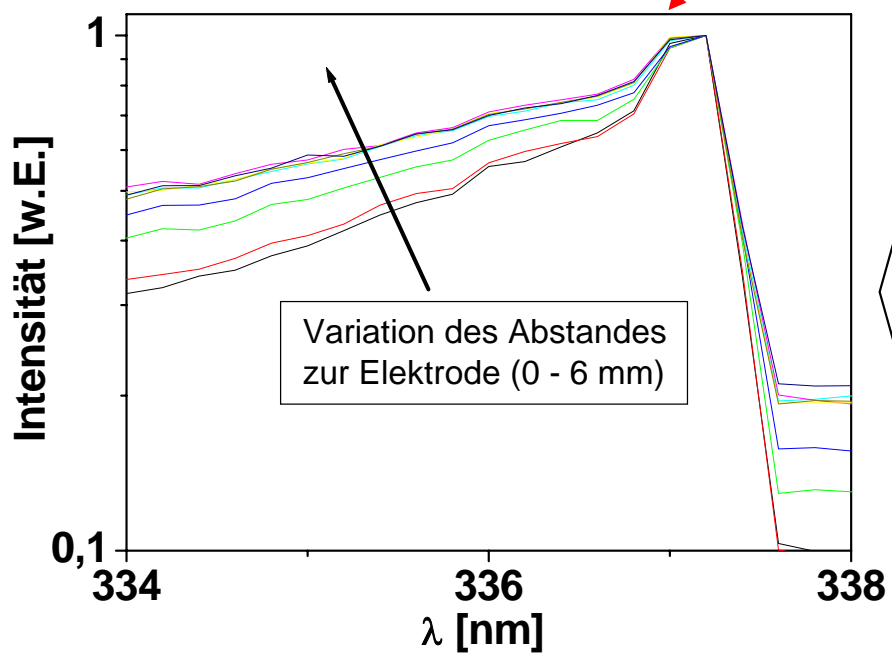
⇒ in Übereinstimmung mit Abschätzung der Strömungsgeschwindigkeit nach der Kontinuitätsgleichung bei  $T = 1100$  K

# Rotationstemperatur

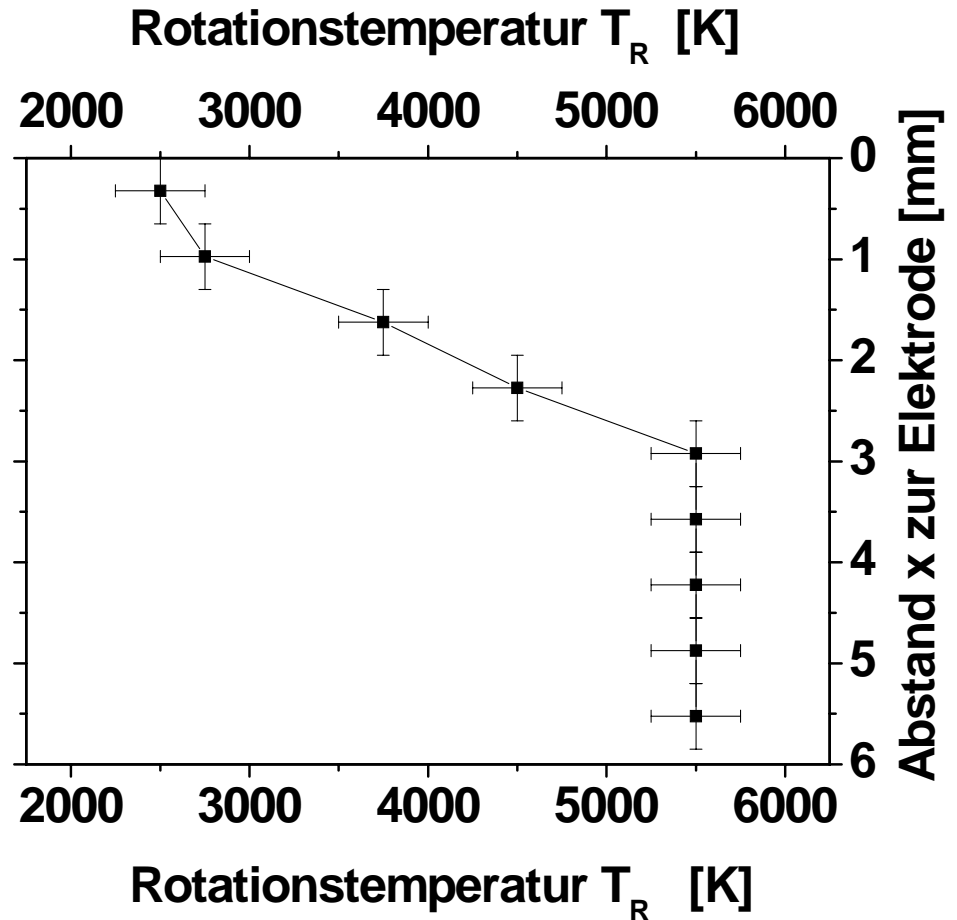
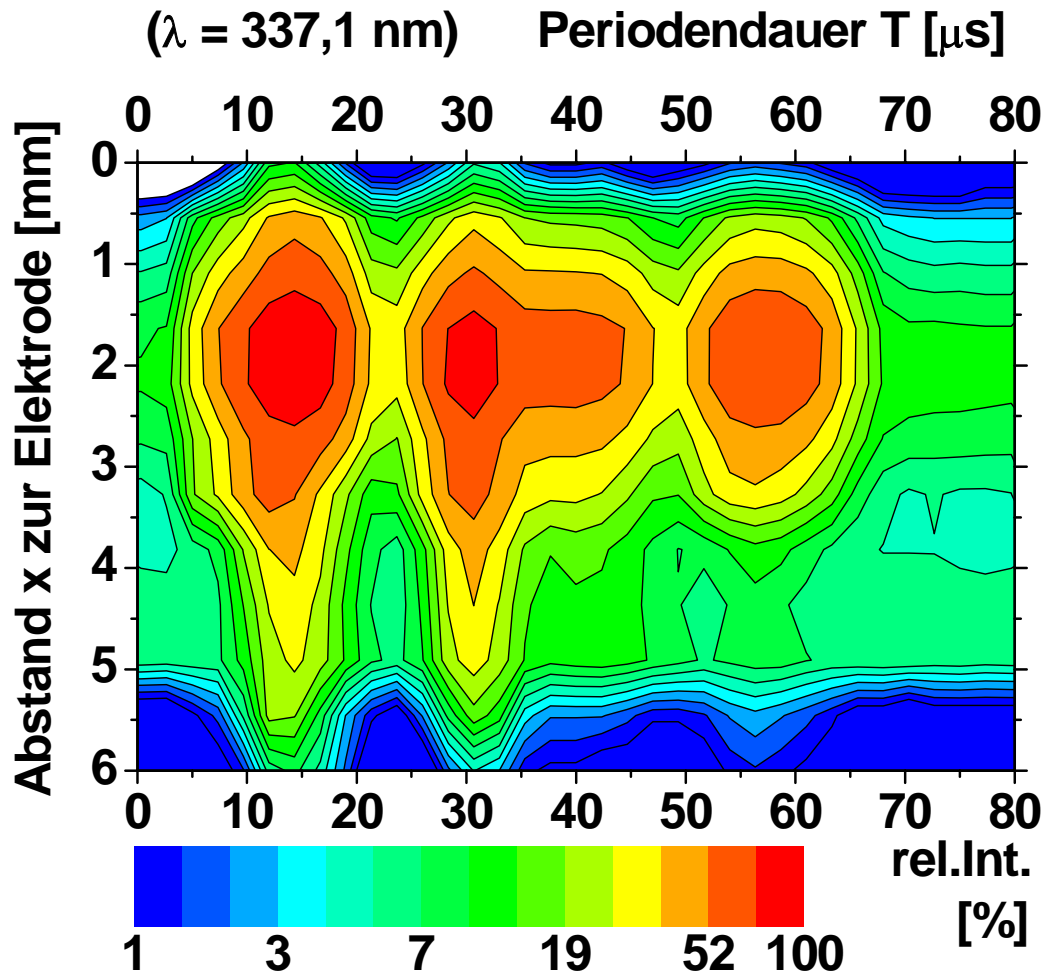


gemessenes Spektrum

berechnetes Spektrum



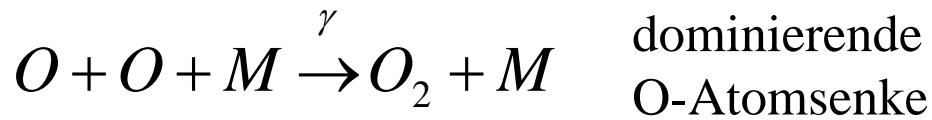
# Entwicklung der Rotationstemperatur



$T_R = 2500 \dots 5500 \text{ K } (\pm 250 \text{ K})$

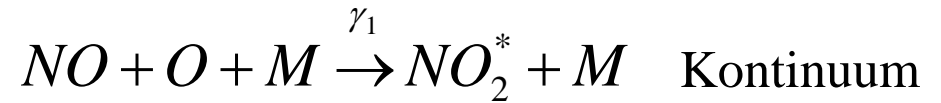
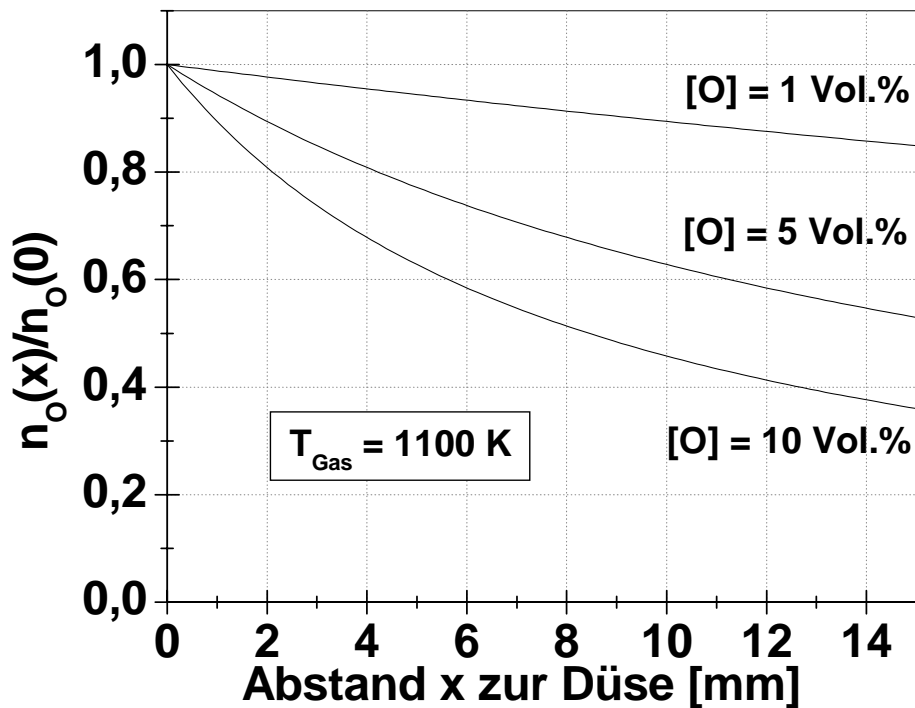
Relation:  $T_{\text{Gas}} \leq T_R \leq T_v \leq T_e$

# Konzentration der O-Atome



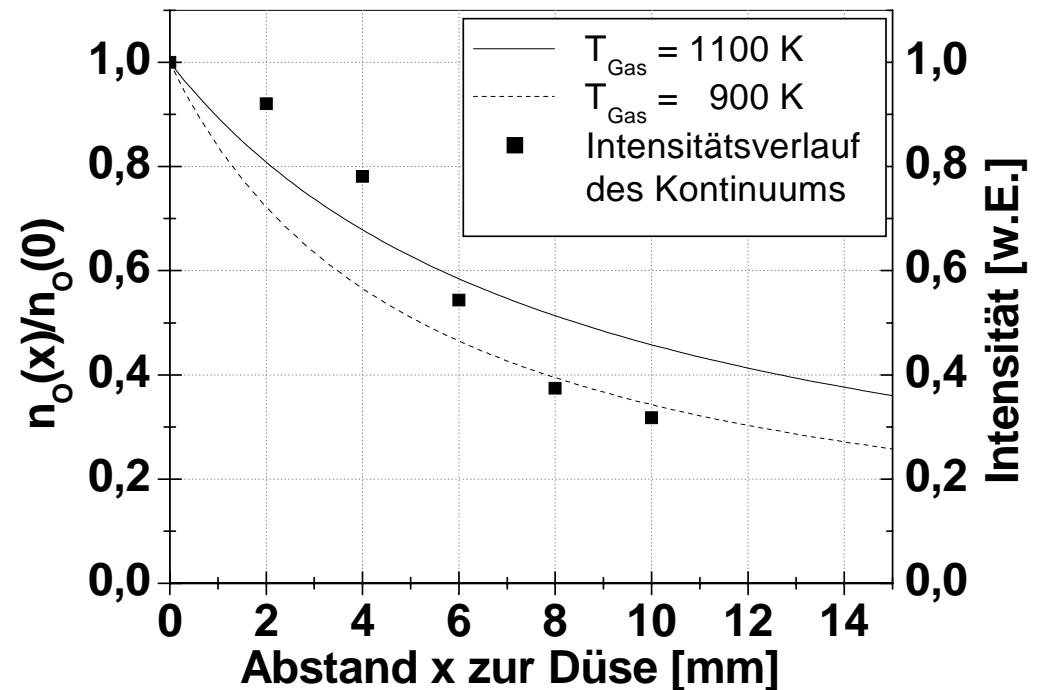
$$\frac{dn_o}{dt} = -2\gamma \cdot n_o^2 n \quad \frac{n_o(x)}{n_o(0)} = \frac{1}{1 + \alpha \cdot x}$$

mit  $\alpha \propto \frac{n_o(0)}{T_{Gas}^{1,4}}$



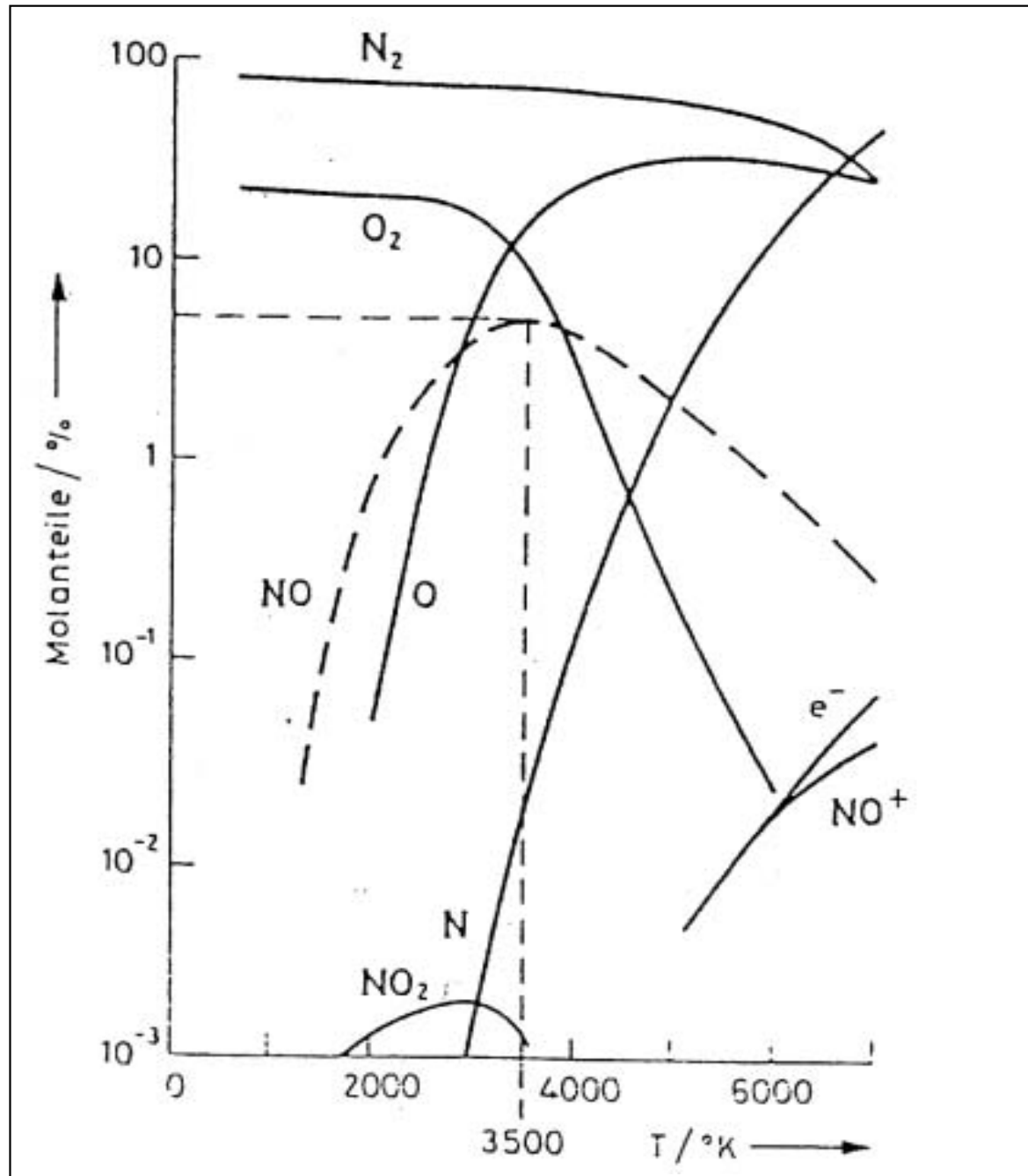
$$I \propto \gamma_1 [O][NO][M]$$

$$I \propto [O] \quad \text{für } [NO][M] = \text{konst.}$$



⇒ Anfangskonzentration der O-Atome  $[O] \leq 10$  Vol.%

# Thermisches Dissoziationsgleichgewicht



aus H. Dorst  
„Plasmachemie“

# Reaktionen im Plasmastrahl

O

N

NO

N<sub>2</sub>(A)

O-Atom-Quelle: ■

N-Atom-Quelle: ■

NO-Quelle: ■

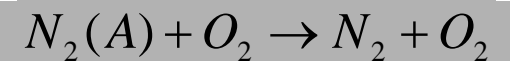
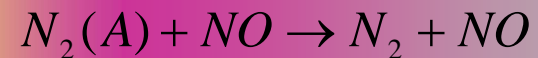
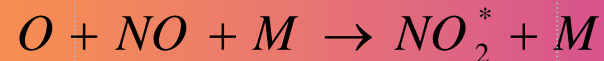
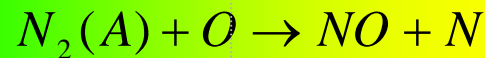
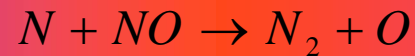
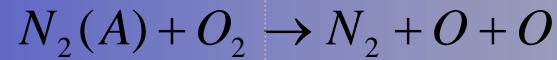
N<sub>2</sub>(A)-Quelle:

O-Atom-Senke: ■

N-Atom-Senke: ■

NO-Senke: ■

N<sub>2</sub>(A)-Senke:



# Zusammenfassung und Ausblick

- ◆ aktives Plasma:
  - nichtthermisches, heißes Plasma („Gliding Arc“)  
( $T_R = 2500 \dots 5500 \text{ K}$ ;  $T_e \approx 10^5 \text{ K}$ )
  - intermittierender Ablauf von Anregungs- und Dissoziationsprozessen
- ◆ relaxierendes Plasma:
  - von  $I(t)$  entkoppelte Rekombinationsprozesse im Plasmastrahl
  - „gelbes Nachleuchten“: Indikator für O-Atome
  - Ausströmen des Strahls mit  $v = 120 \text{ ms}^{-1}$  bei  $D=23 \text{ sl/min}$  und einer Gastemperatur von  $1100 \text{ K}$
  - O-Atome:  $[O] \leq 10 \text{ Vol.}\%$  (thermischer Anteil)
- ◆ Vorhaben:
  - Untersuchung der Wechselwirkung des Plasmastrahls mit einer Modellsubstratoberfläche
  - Definierte Beimischung von Wasser und Sauerstoff zur Erzeugung reaktiver Spezies (OH, O)