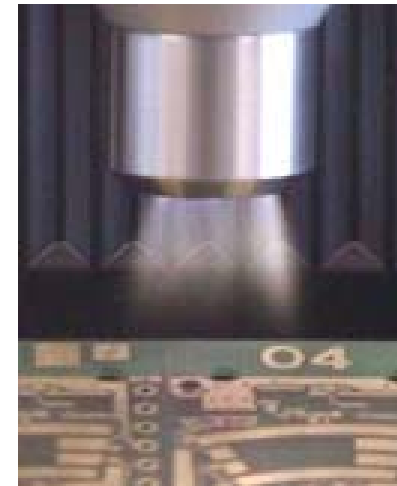


Räumlich und zeitlich aufgelöste Spektroskopie an reaktiven Strahlplasma- men bei Atmosphärendruck



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



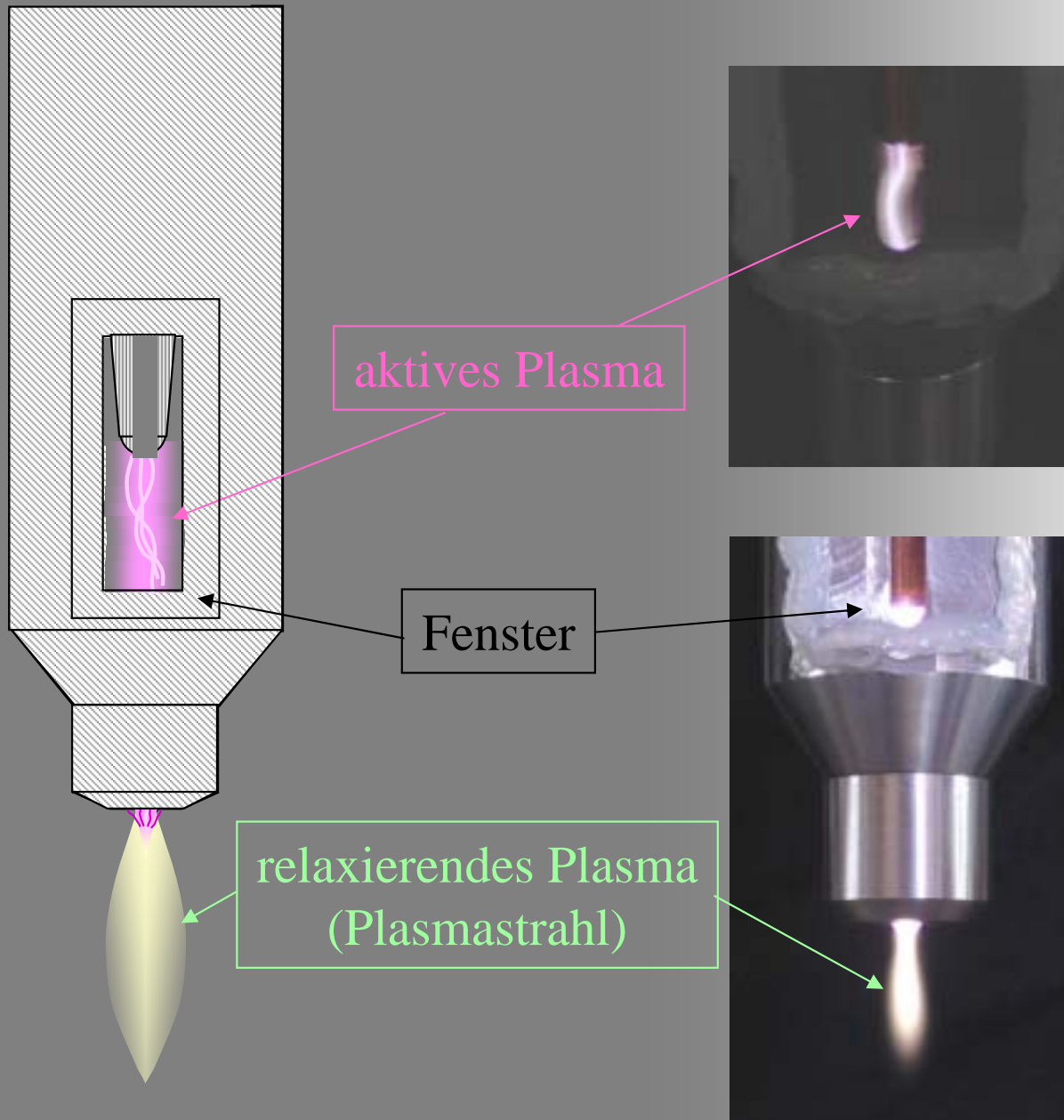
Plasmaätzen:
IOM Leipzig



Plasmaschneiden



Der untersuchte Plasmastrahl



Spannungsversorgung:

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

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

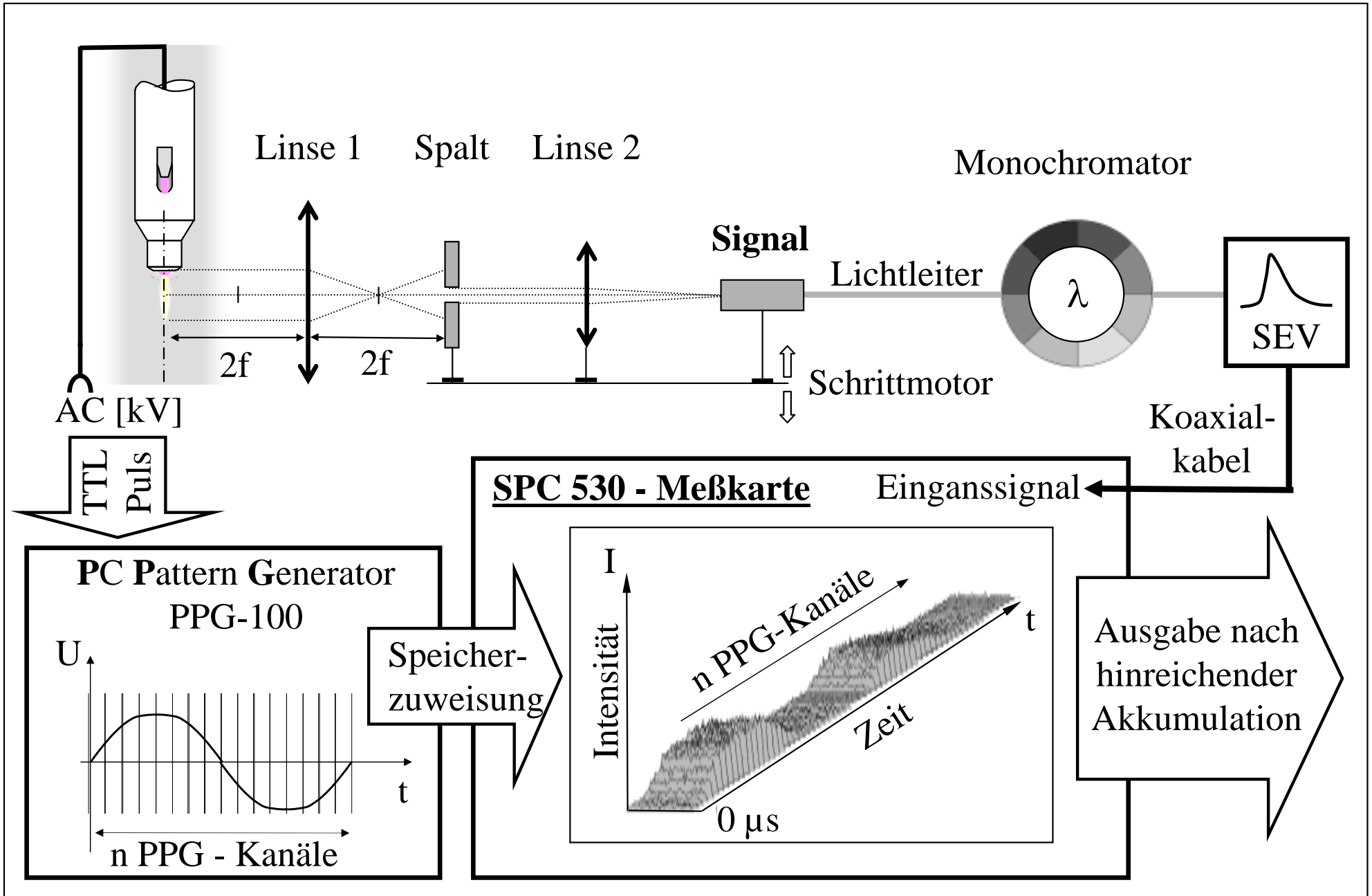
Elektrisch:

- oszillographische Messung von Strom, Spannung und Frequenz

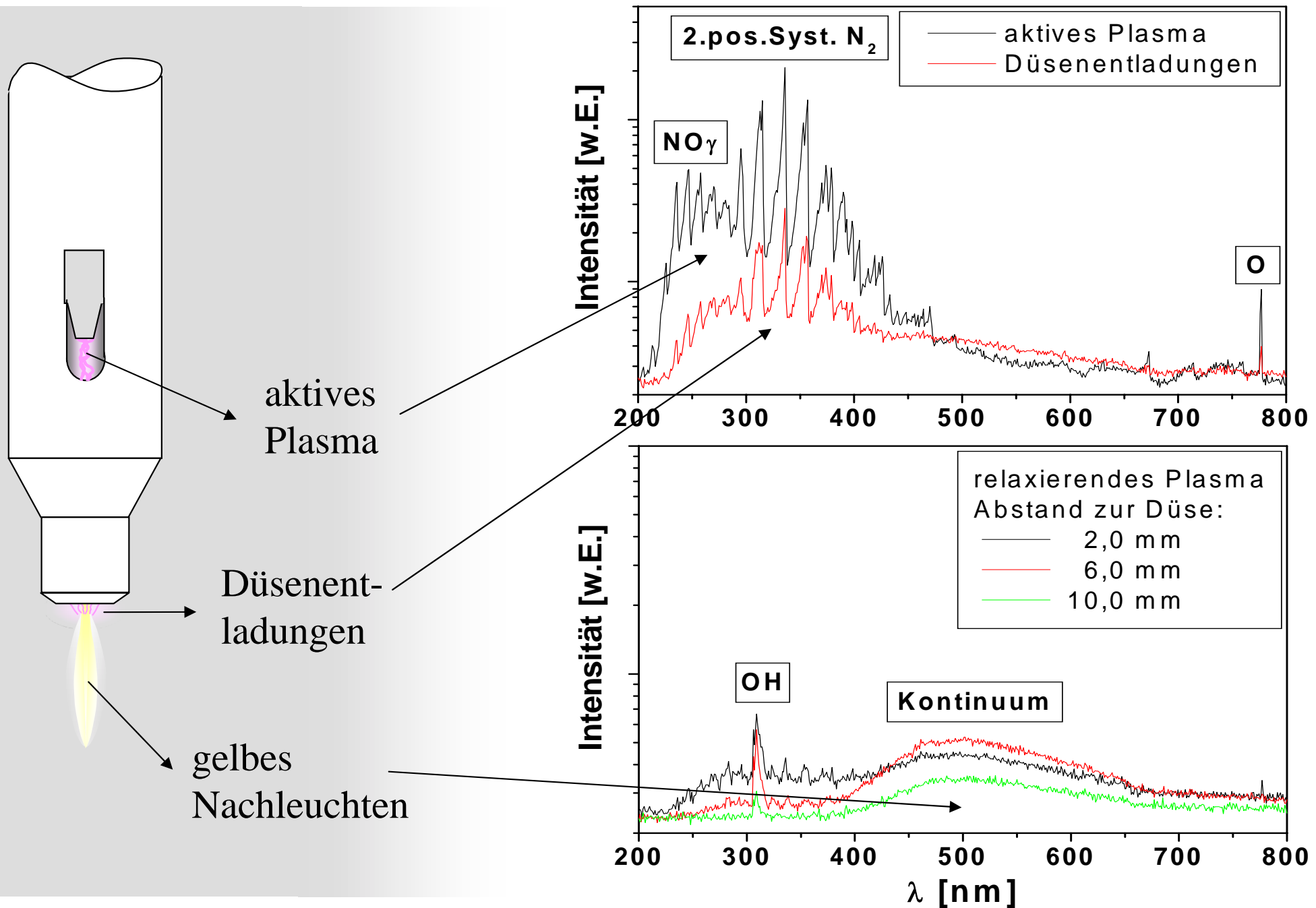
Gaschromatographisch:

- Bestimmung der Zusammensetzung der aus dem Strahl tretenden Gase

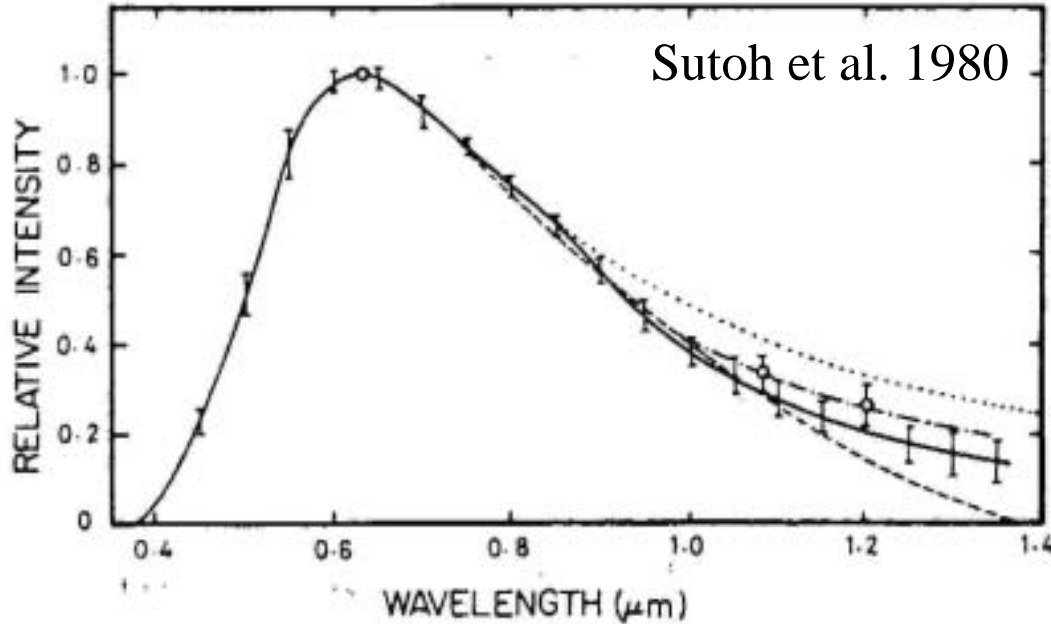
Spektroskopischer Aufbau



Übersichtsspektren in Luft



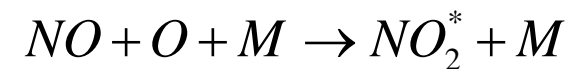
Identifikation des gelben Nachleuchtens



Vergleich des Kontinuums mit Messungen aus der Literatur:

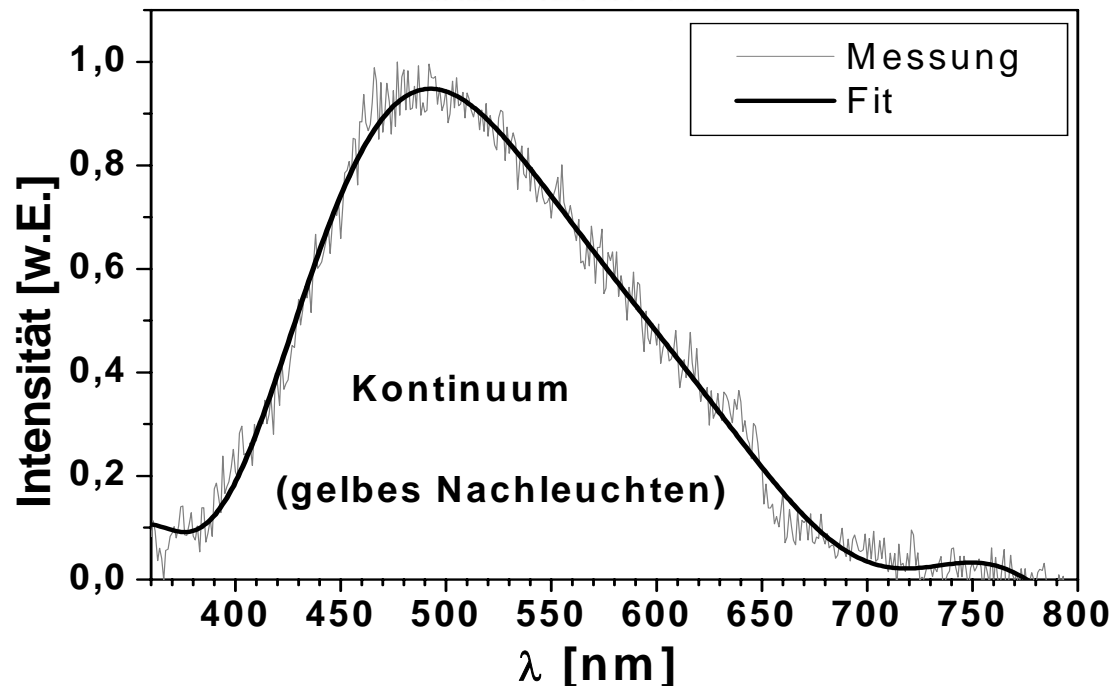
- gleicher Spektralbereich
- gleiche Auftretensenergien

⇒ identische Reaktionen:



⇒ gelbes Nachleuchten \equiv
 NO_2^* - Kontinuum

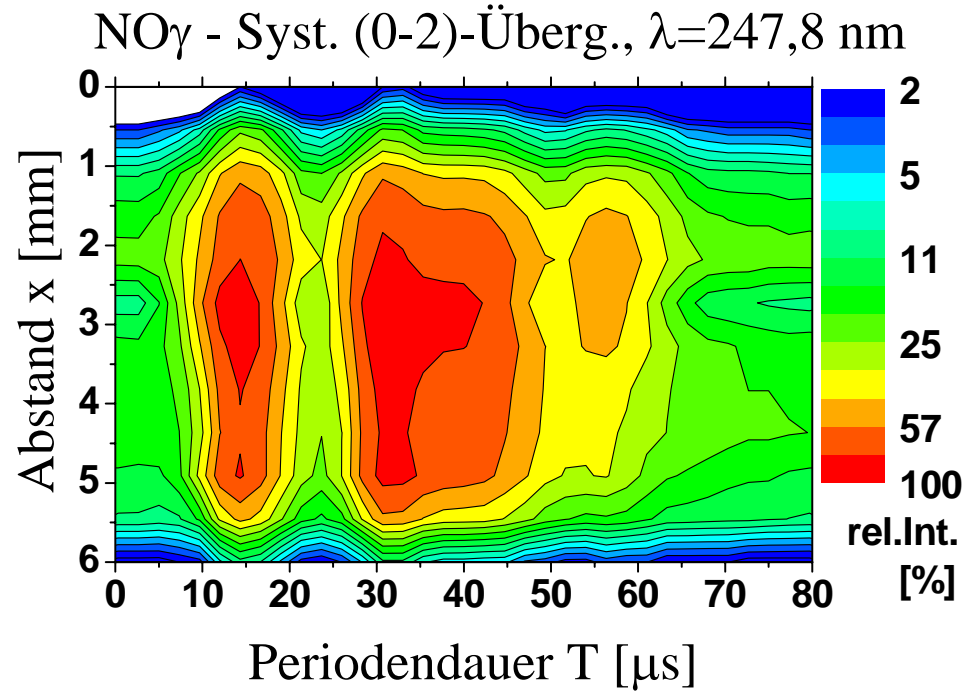
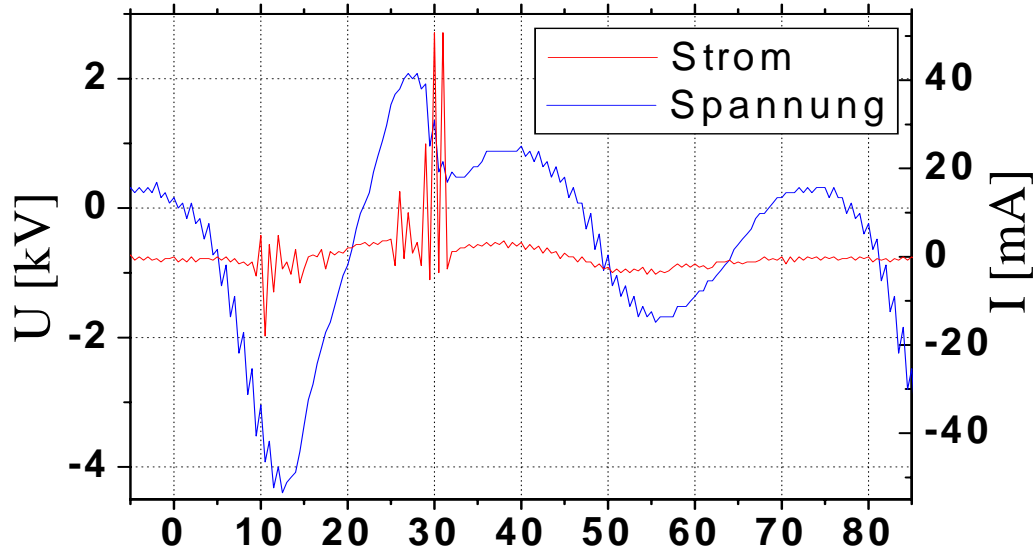
⇒ **Indikator für O-Atome**



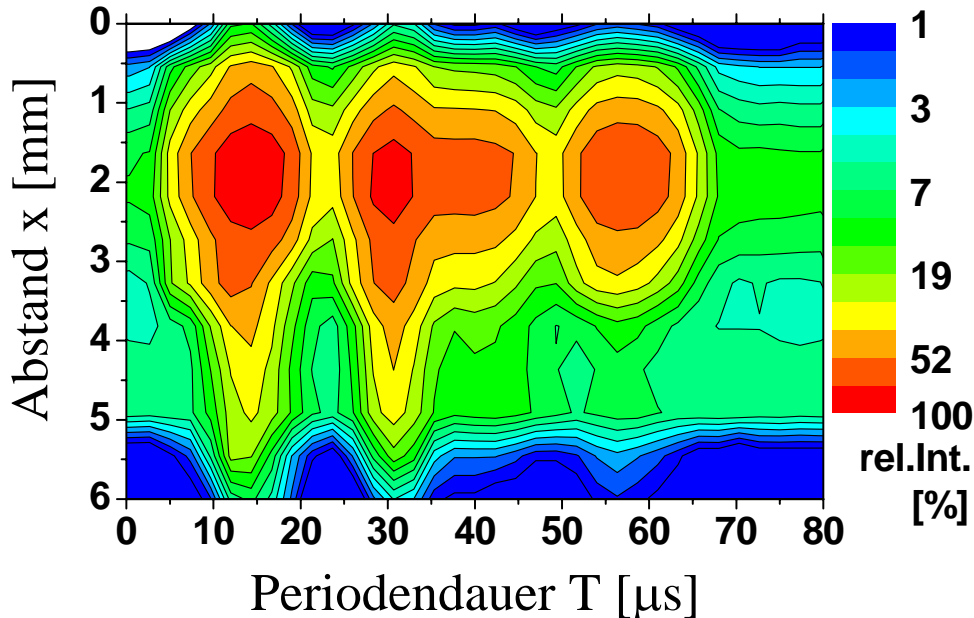
Räumlich und zeitlich aufgelöste Spektren

(aktives Plasma in Luft)

Strom- und Spannungssignal



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



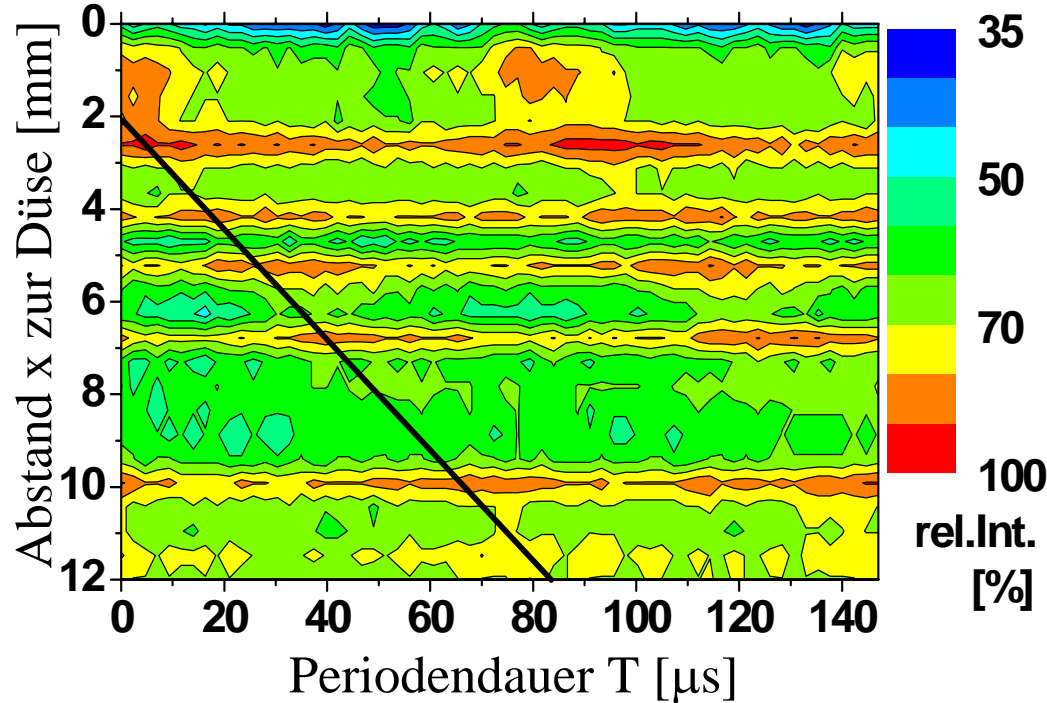
⇒ ausgeprägter nichtthermischer Prozeß
(kT_e : N $_2$: ≈ 11 eV; NO: $\approx 5,5$ eV)

⇒ Anregung von NO ist ein Folgeprozeß
der N $_2$ -Anregung

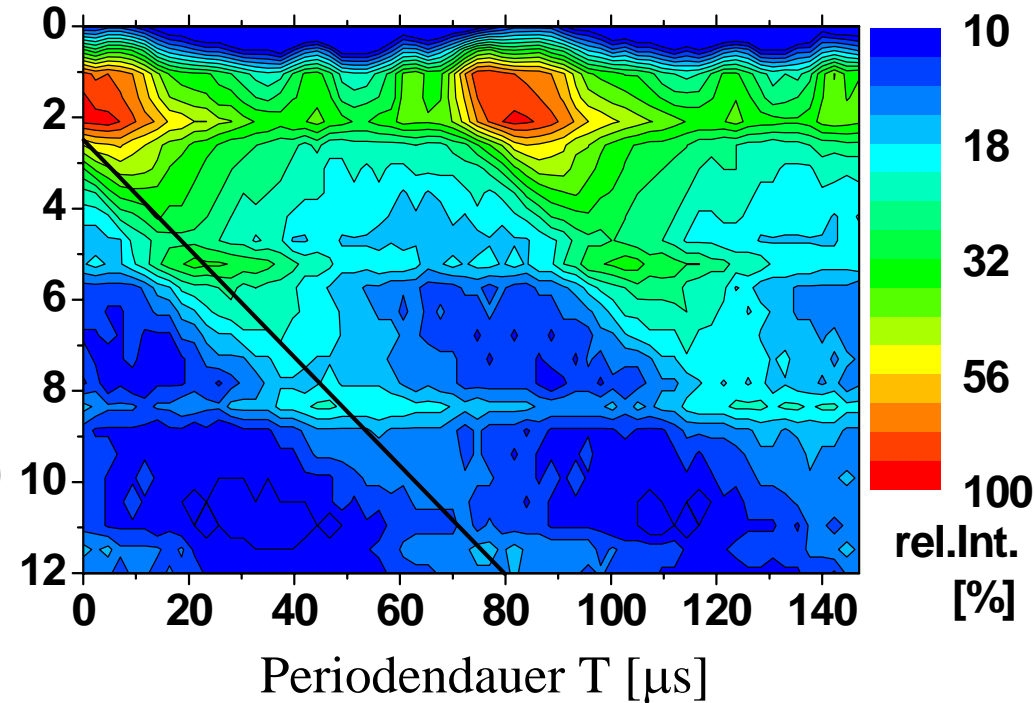
Räumlich und zeitlich aufgelöste Spektren

(relaxierendes Plasma in Luft)

NO₂* Kontinuum, $\lambda=500$ nm



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

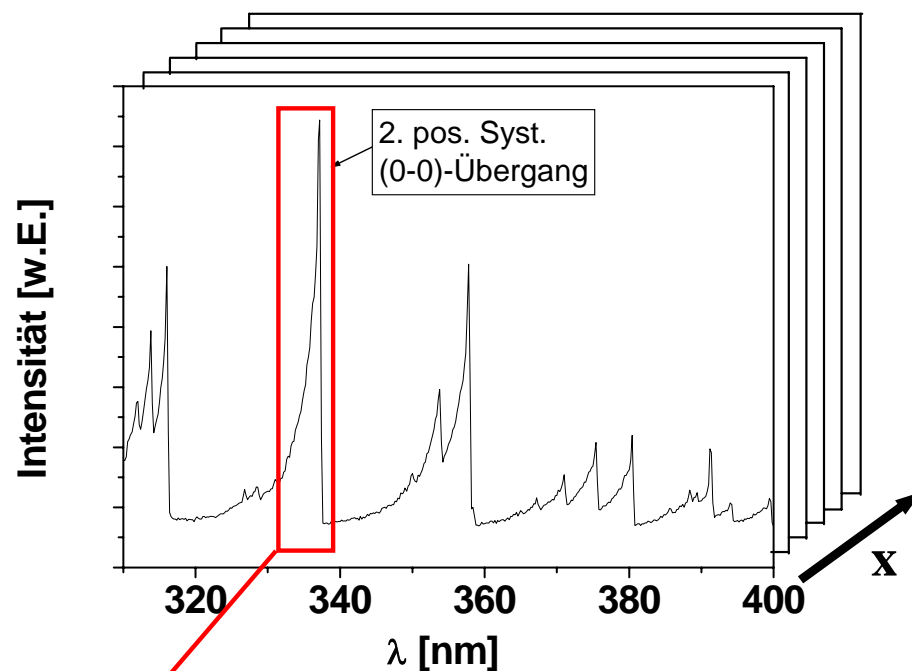


$$\Delta x = 9,5 \text{ mm (Ordinate)} / \Delta T = 80 \text{ } \mu\text{s (Abszisse)}$$

$$= \text{Ausströmgeschwindigkeit: } v = 120 \text{ ms}^{-1}$$

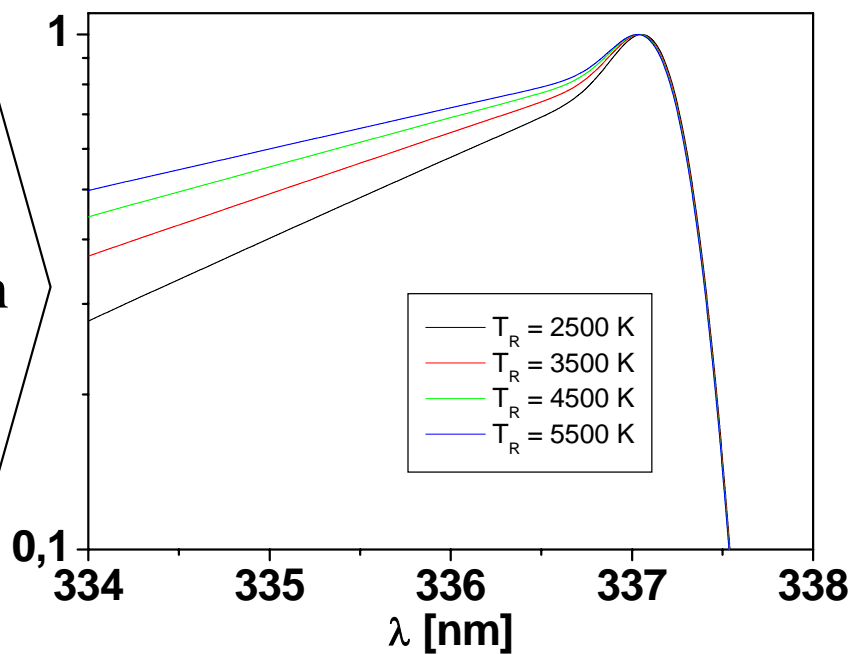
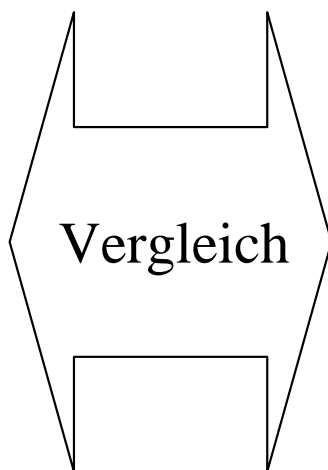
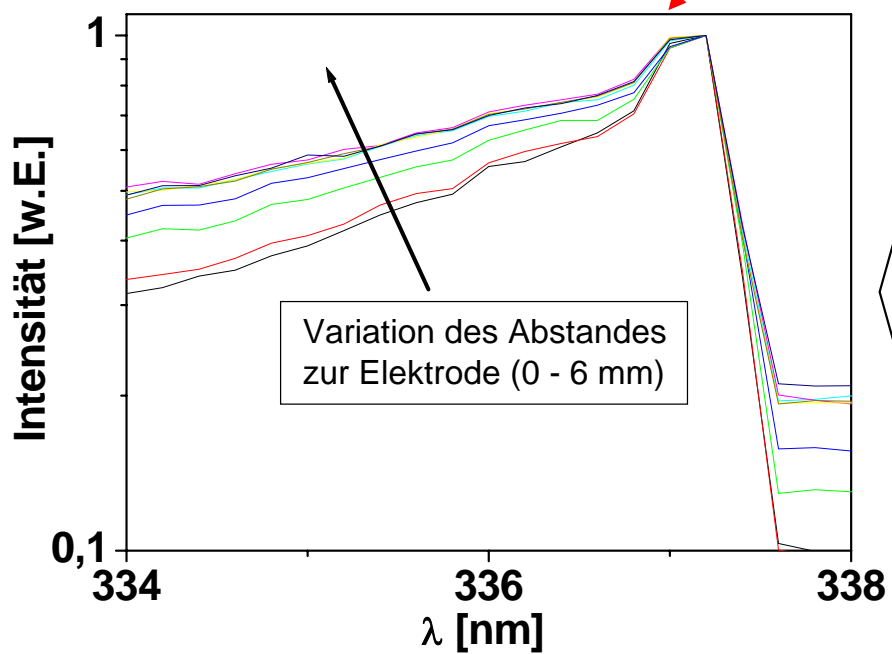
⇒ in Übereinstimmung mit Abschätzung der Strömungsgeschwindigkeit nach der Kontinuitätsgleichung bei $T = 1100$ K

Rotationstemperatur

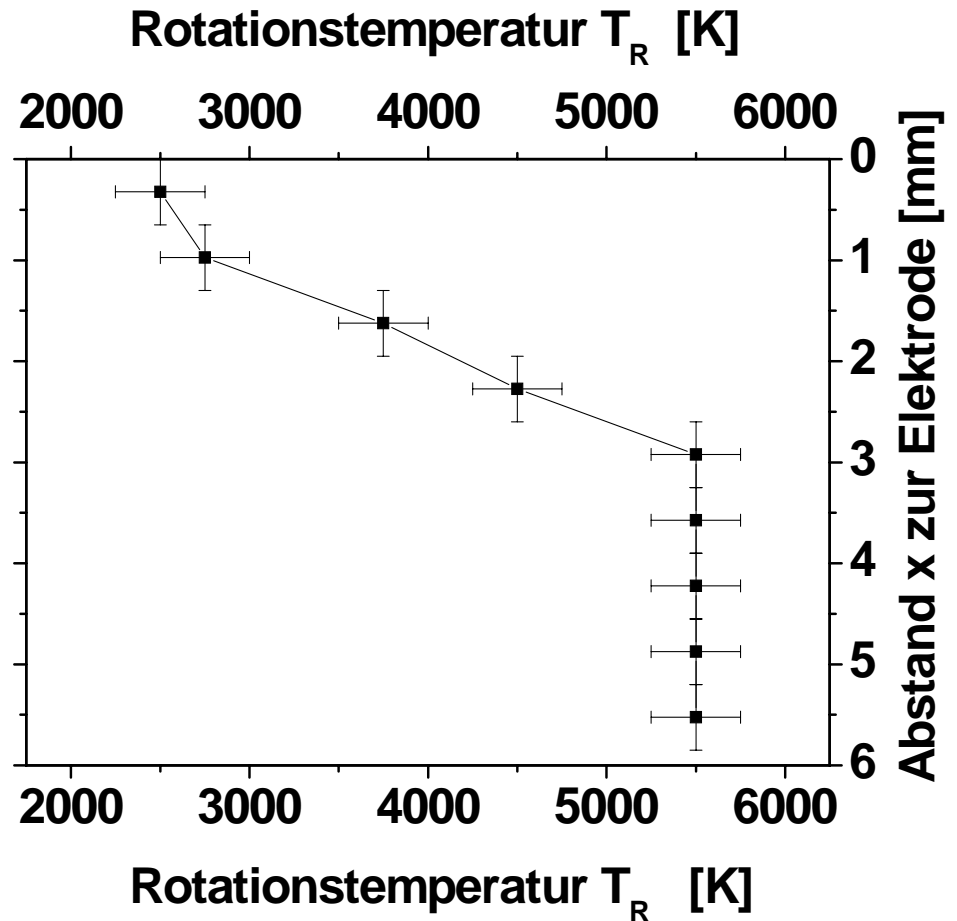
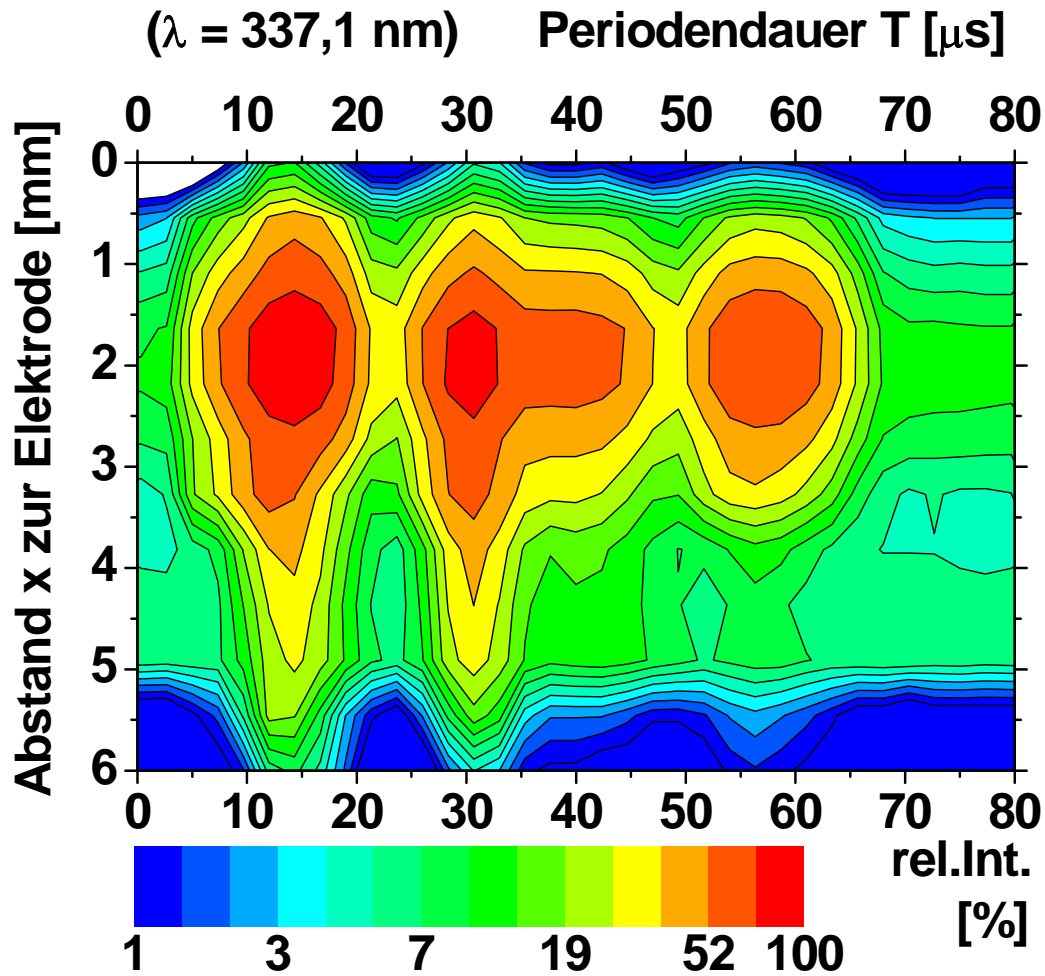


gemessenes Spektrum

berechnetes Spektrum



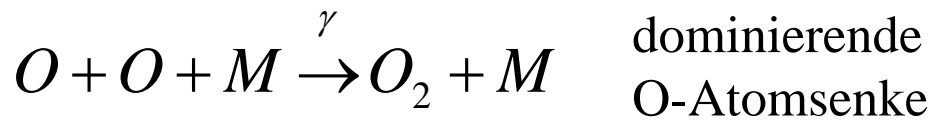
Entwicklung der Rotationstemperatur



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

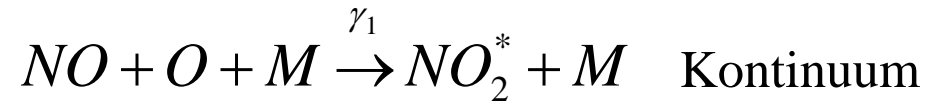
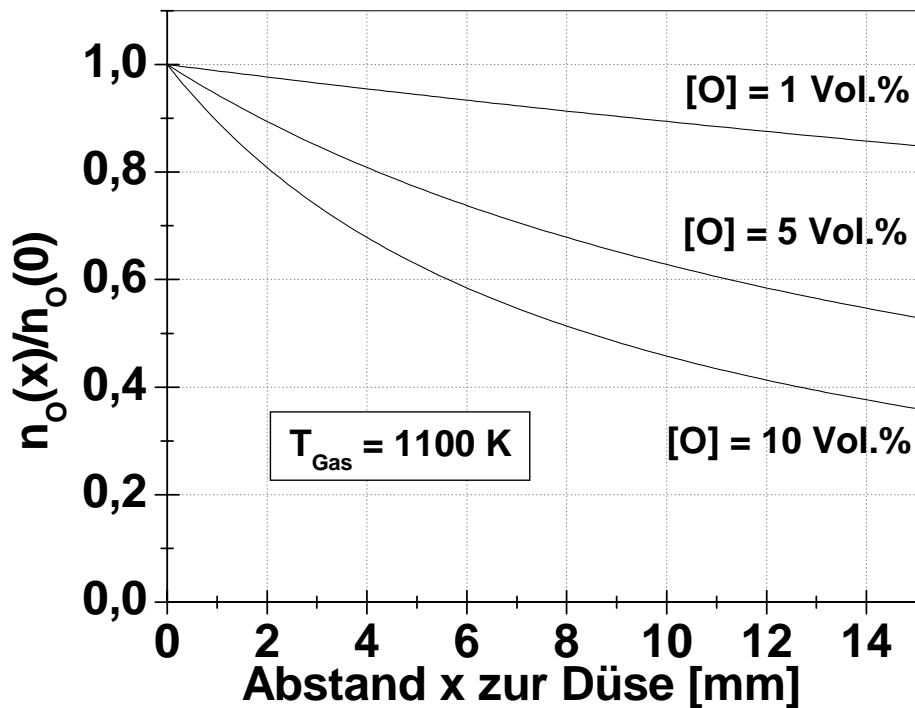
Relation: $T_{\text{Gas}} \leq T_R \leq T_v \leq T_e$

Konzentration der O-Atome



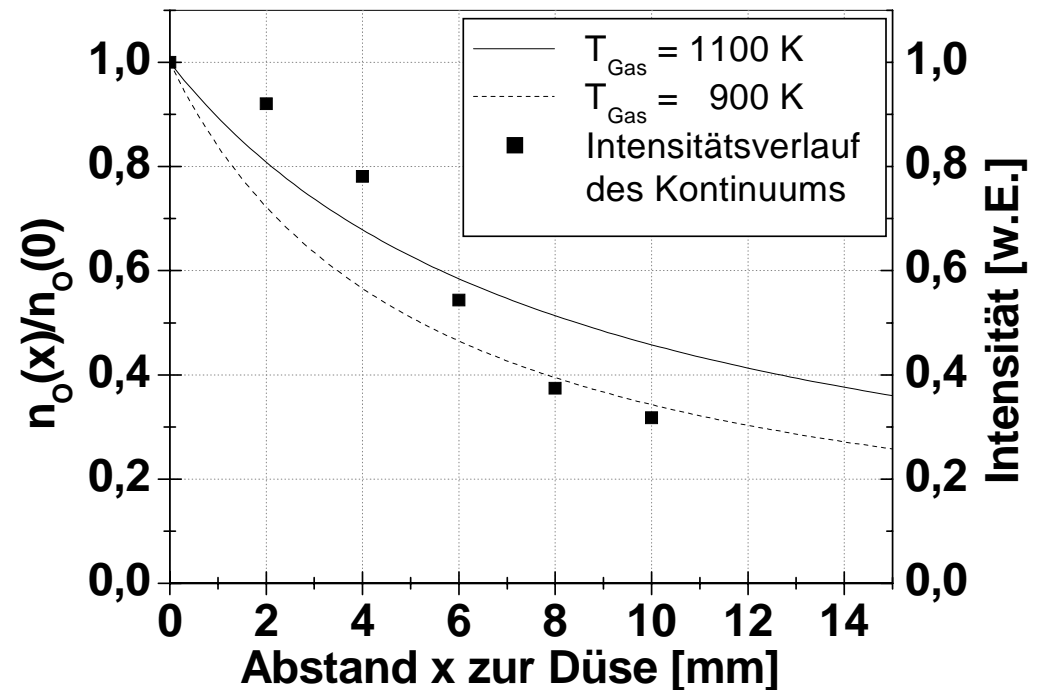
$$\frac{dn_o}{dt} = -2\gamma \cdot n_o^2 n \quad \frac{n_o(x)}{n_o(0)} = \frac{1}{1 + \alpha \cdot x}$$

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



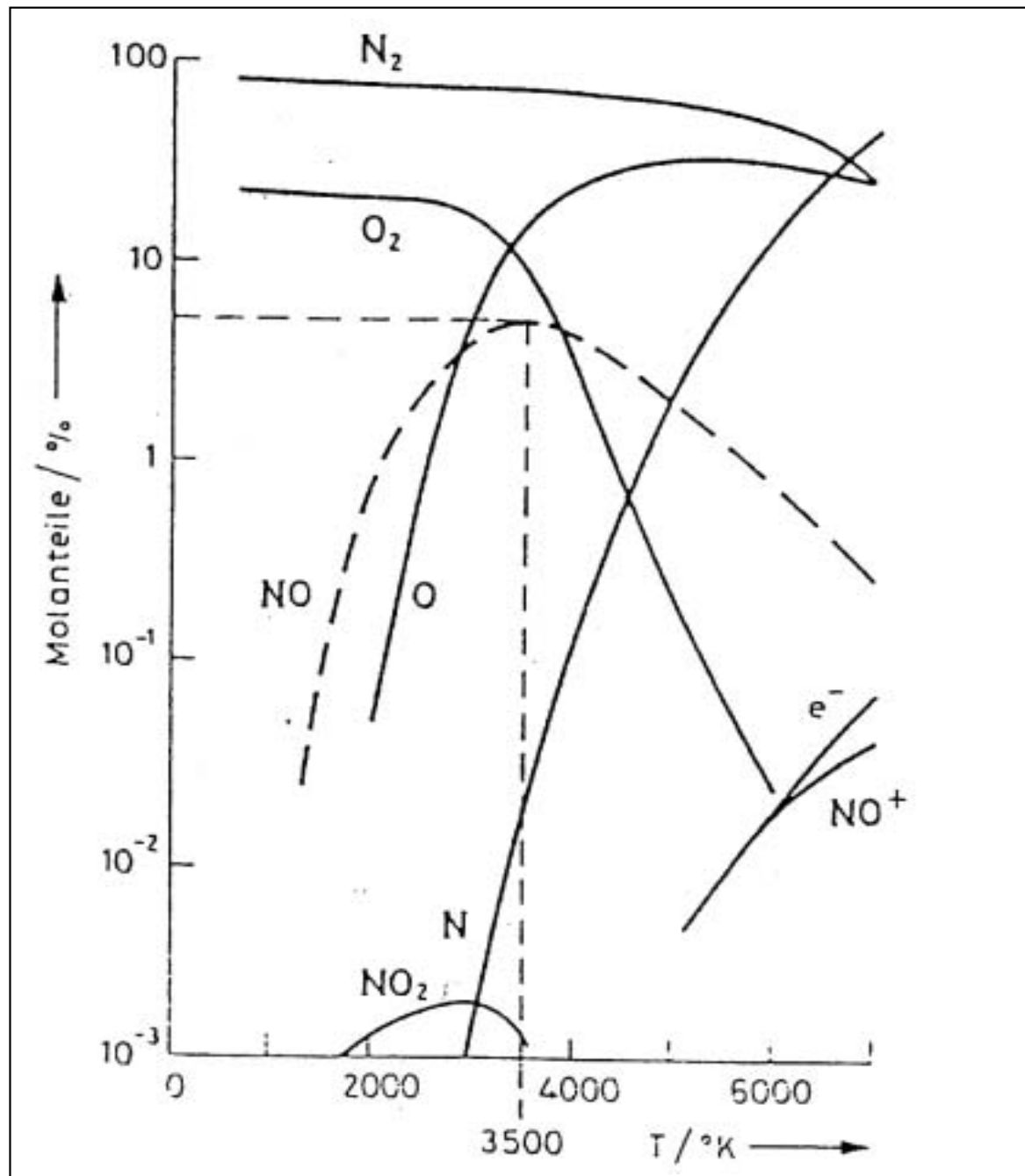
$$I \propto \gamma_1 [O][NO][M]$$

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



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

Thermisches Dissoziationsgleichgewicht



aus H. Dorst
„Plasmachemie“

Reaktionen im Plasmastrahl

O

N

NO

N₂(A)

O-Atom-Quelle: ■

N-Atom-Quelle: ■

NO-Quelle: ■

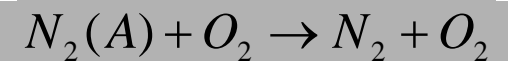
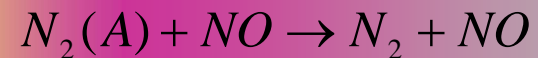
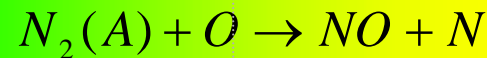
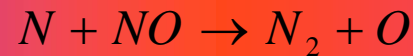
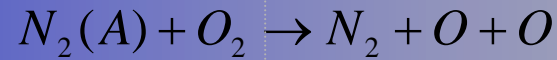
N₂(A)-Quelle:

O-Atom-Senke: ■

N-Atom-Senke: ■

NO-Senke: ■

N₂(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 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)