



Ernst Moritz Arndt
Universität Greifswald



Wi55en lockt.
550 Jahre Universität Greifswald

Temperaturbestimmung von CF_2 -Radikalen in gepulsten fluorkohlenstoffhaltigen RF-Plasmen mittels IR-TDLAS

Sergey Stepanov, Onno Gabriel, Milena Pfafferott und Jürgen Meichsner

Institut für Physik, EMAU Greifswald



Überblick

Einführung und Motivation

- ✓ CF_x ($x=1-3$)-Radikale in fluorkohlenstoffhaltigen Plasmen
- ✓ Das Prinzip der IR-TDLAS Methode
- ✓ Zielstellung

Experimenteller Aufbau

Ausgewählte Messergebnisse für CF_2 -Radikale

- ✓ Rotationstemperaturen
- ✓ *Zeitaufgelöste* Messungen im gepulsten Plasma
- ✓ Eine neue Methode der T_{rot} - Bestimmung

Zusammenfassung



Motivation

Fluorkohlenstoffplasmen



Oberflächenbearbeitung

- *Mikrostrukturen/
Halbleiterproduktion*
- *kleine Dielektrizitätszahl*

etc...

- *hohe Elastizität*
- *Hydrophobie*
- *Biokompatibilität*



Motivation

Fluorkohlenstoffplasmen



Oberflächenbearbeitung

Ausgangsgas
(z.B. CF_4)

Dissoziation/
Assoziation

CF , CF_2 , CF_3
Radikale

- *Mikrostrukturen/
Halbleiterproduktion*
- *kleine Dielektrizitätszahl*

- *hohe Elastizität*
- *Hydrophobie*
- *Biokompatibilität*

etc...



Motivation

Fluorkohlenstoffplasmen



Oberflächenbearbeitung

Ausgangsgas
(z.B. CF_4)

Dissoziation/
Assoziation

CF , CF_2 , CF_3
Radikale

Deposition /
Ätzen

Oberfläche

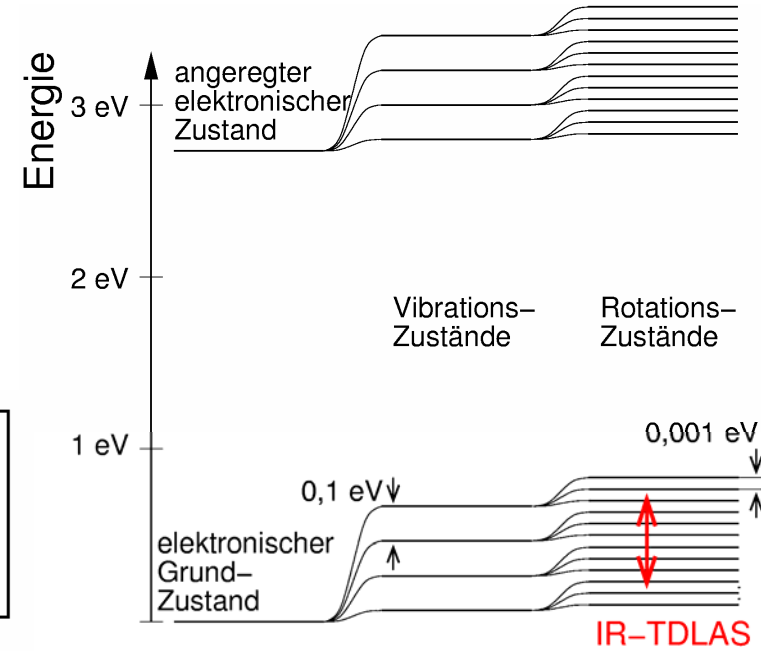
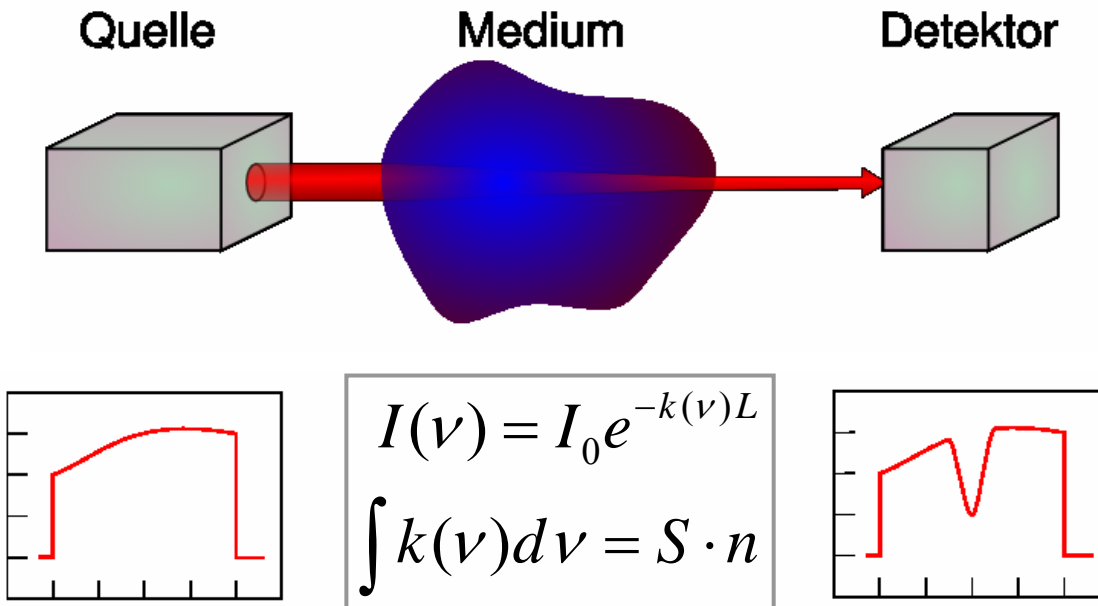
- *Mikrostrukturen/
Halbleiterproduktion*
- *kleine Dielektrizitätszahl*

- *hohe Elastizität*
- *Hydrophobie*
- *Biokompatibilität*

etc...

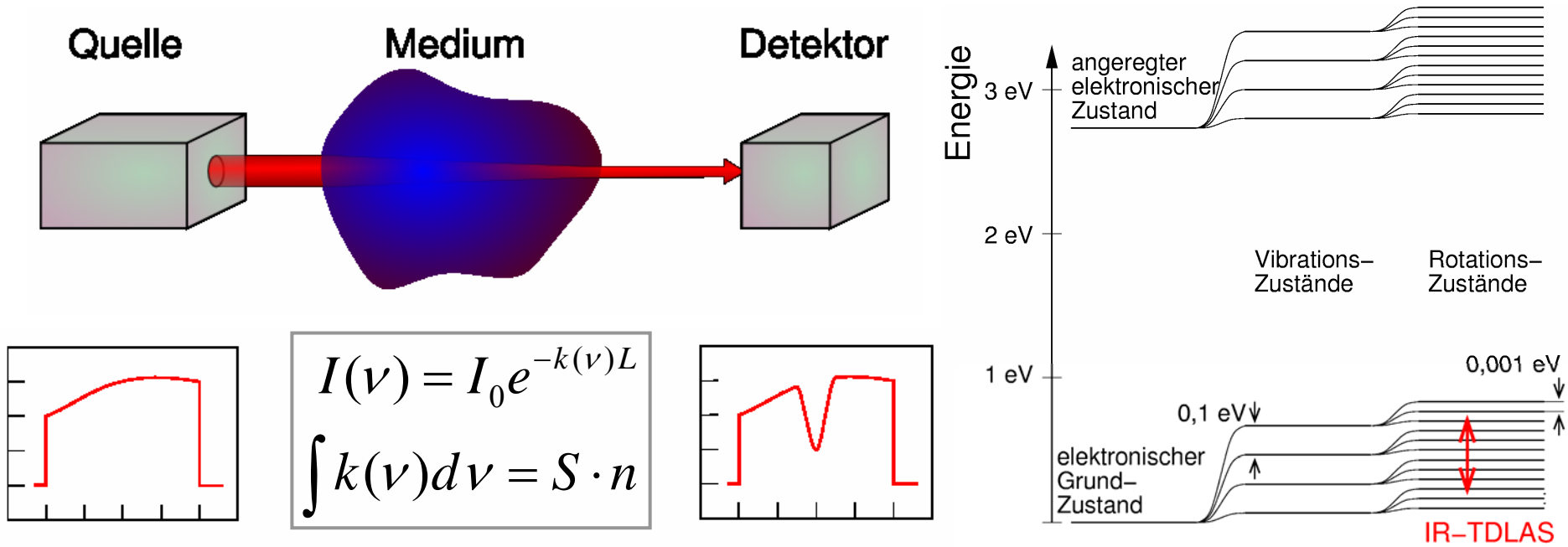


Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS)





Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy (TDLAS)



- ✓ *in situ* Methode
- ✓ nichtinvasiv

- ✓ hohe Zeit- u. Spektralauflösung
- ✓ absolute Dichten



Linienstärke:

$$S = \frac{8\pi^3}{3hc} \nu_{12} \frac{g_1}{Q} \exp\left(-\frac{E_1}{k_B T_{rot}}\right) \mu^2 A_{JK} \left[1 - \exp\left(-\frac{hc\nu_{12}}{k_B T}\right)\right]$$

mit:

- ν_{12} - Wellenzahl des Übergangs
- g_1 - statistisches Gewicht des unteren Niveaus
- Q - Zustandssumme
- E_1 - Energie des unteren Niveaus
- A_{JK} - Hönl-London-Faktor
- μ - Übergangs-Dipolmoment

Rotationstemperatur



Das Ziel:

**Untersuchung des Verhaltens der Rotationstemperatur
und ihr Einfluss auf die Messung der absoluten Dichten**

am Beispiel:

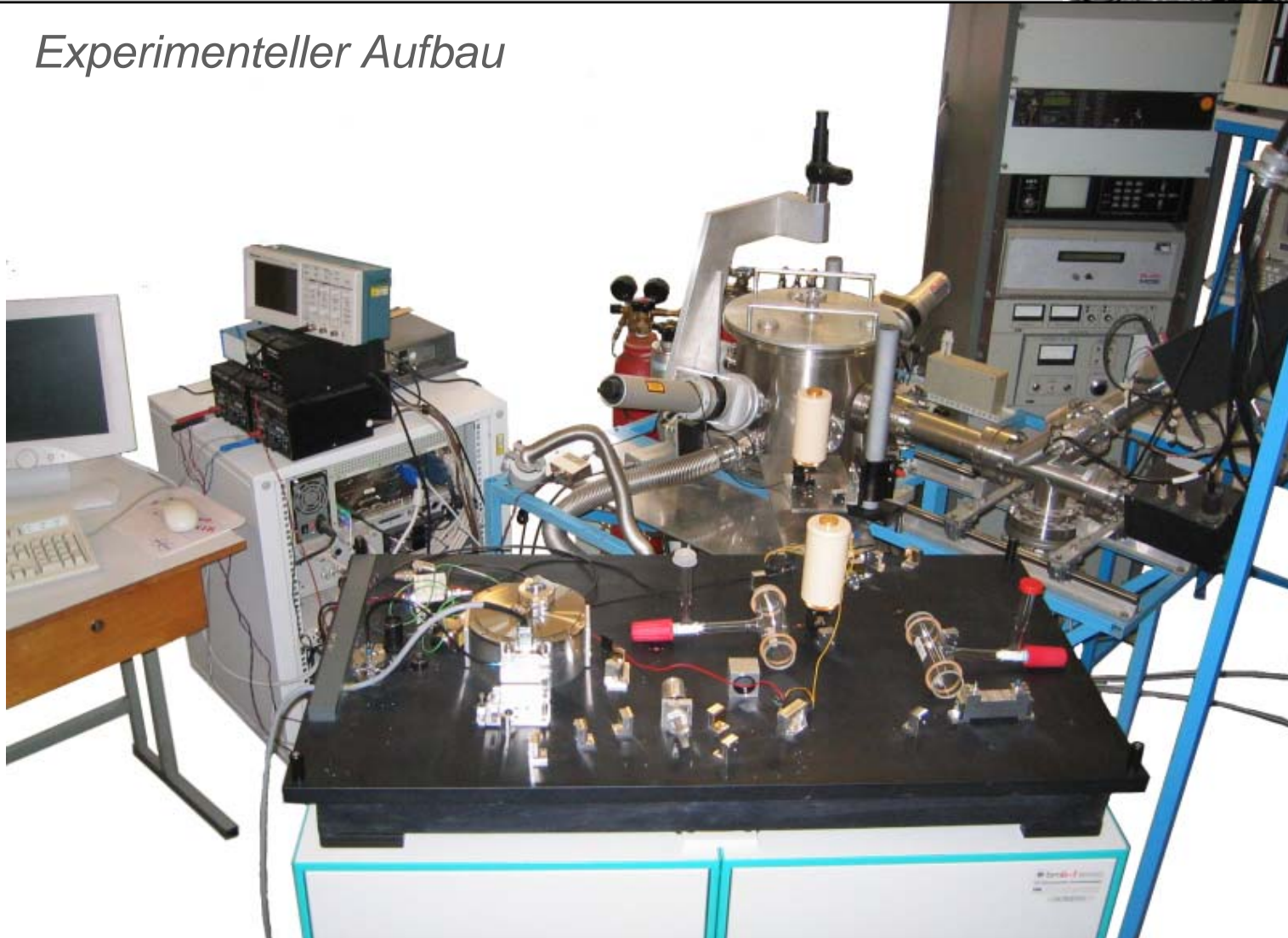
des CF_2 -Radikals in gepulsten CF_4 / H_2 HF-Plasmen



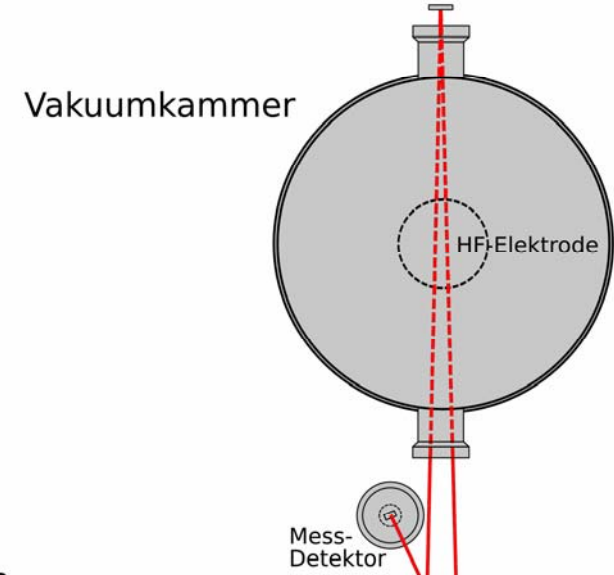
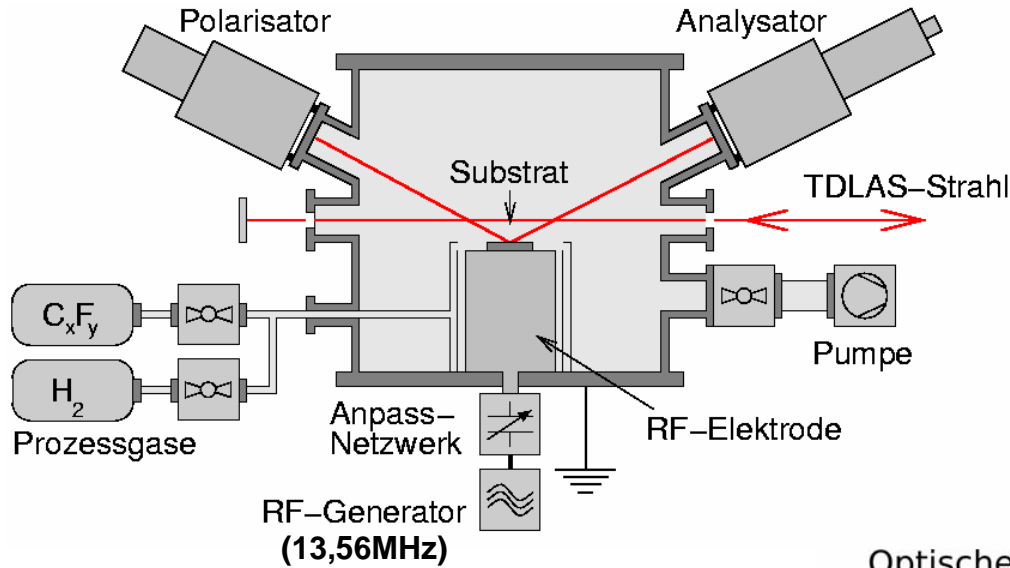
Ernst Moritz Arndt
Universität Greifswald



Experimenteller Aufbau



14. März 2006, Mühlleithen



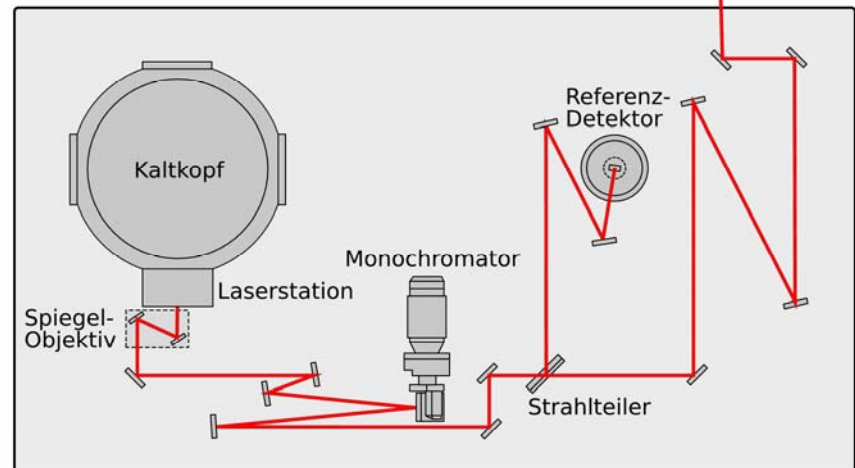
Prozess-Parameter

- Totaldruck: 10 .. 100 Pa
- Gasflüsse: 1.. 10 sccm
- RF- Leistung: 10 .. 200 W

TDLAS, Auflösung

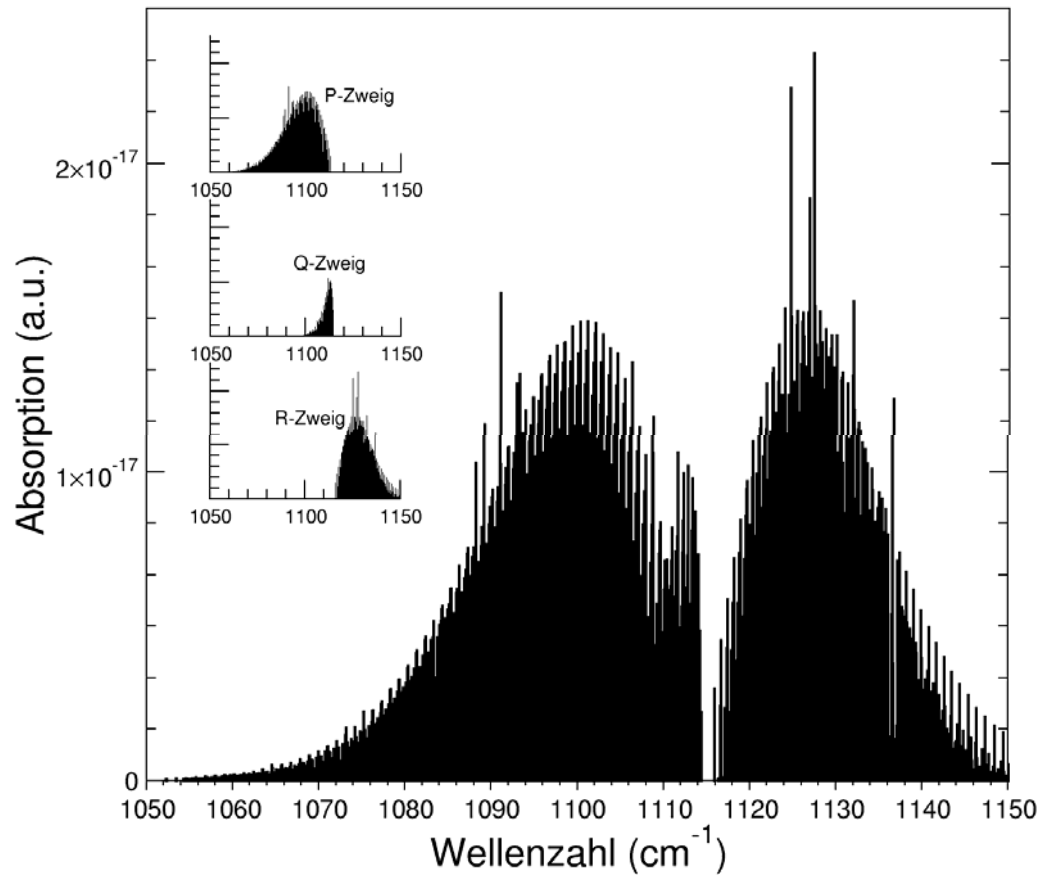
- spektral: 0,001 cm^{-1}
- zeitlich: ca. 50 μs

Optischer Tisch

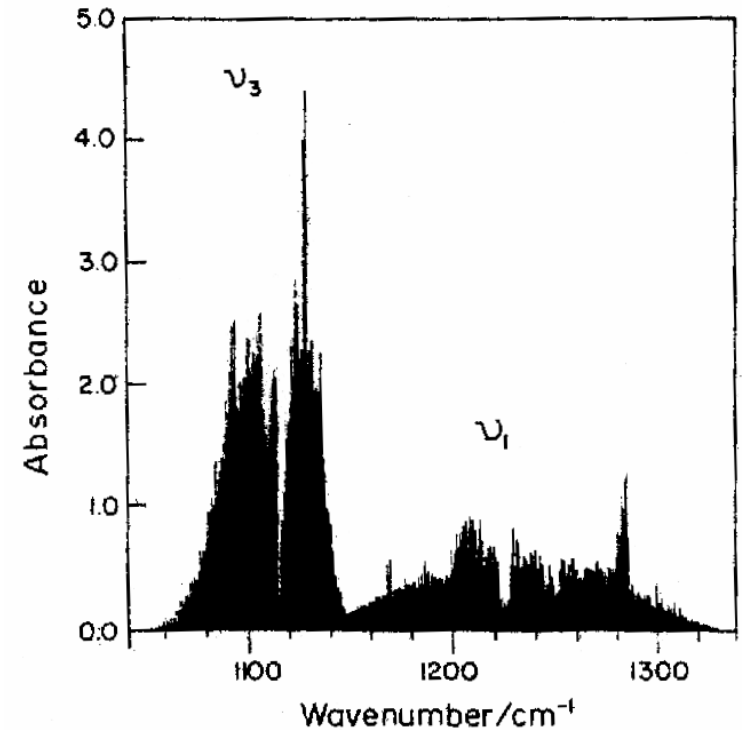




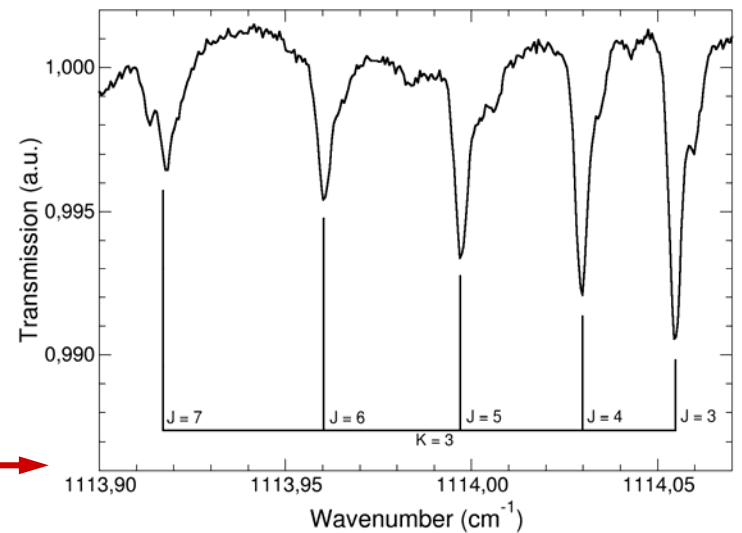
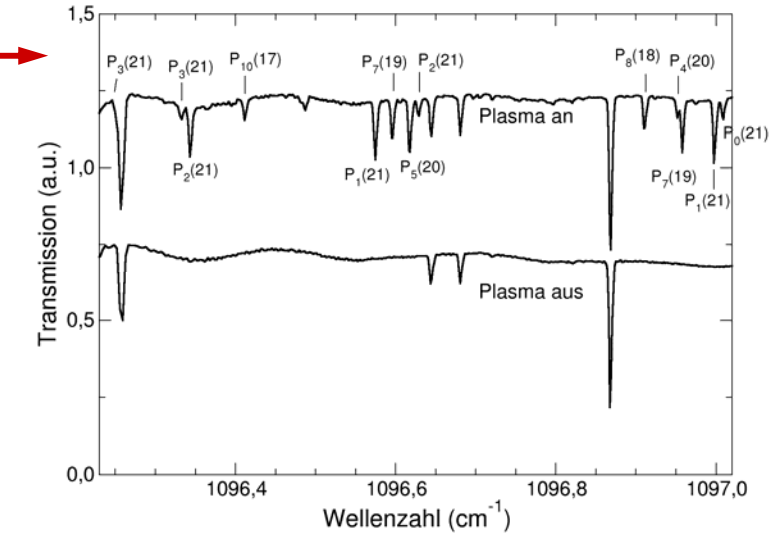
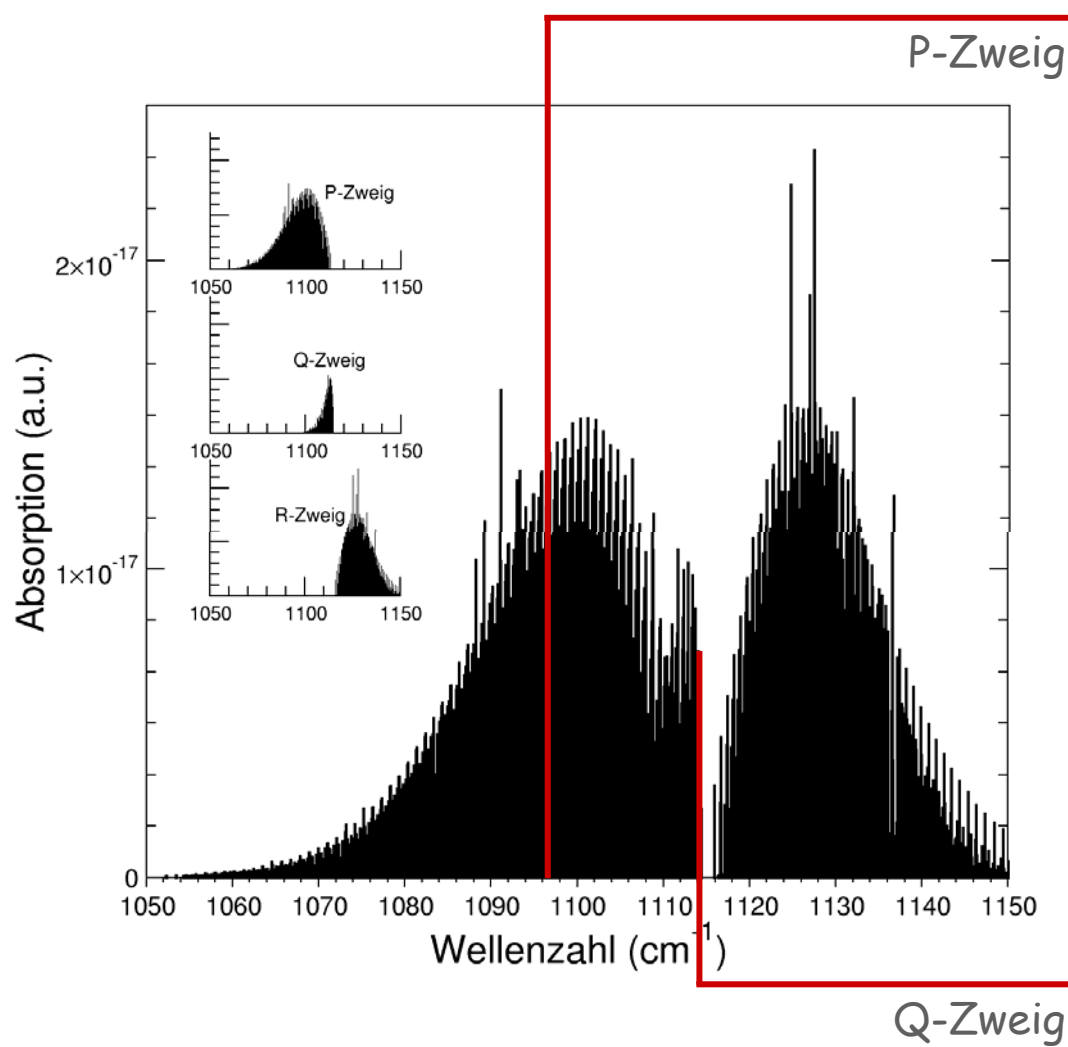
Berechnetes Spektrum der ν_3 -Bande von CF_2 ($T_{rot} = 300K$)



Gemessene ν_1 - u. ν_3 -Banden von CF_2



J.B. Burkholder and C. Howard, J. Mol. Spectr. 127, 362 (1988)





$$S = \frac{8\pi^3}{3hc} \nu_{12} \frac{g_1}{Q} \exp\left(-\frac{E_1}{k_B T_{rot}}\right) \mu^2 A_{JK} \left[1 - \exp\left(-\frac{hc\nu_{12}}{k_B T}\right)\right]$$

$$\int k(\nu) d\nu = S \cdot n$$



$$S = \frac{8\pi^3}{3hc} \nu_{12} \frac{g_1}{Q} \exp\left(-\frac{E_1}{k_B T_{rot}}\right) \mu^2 A_{JK} \left[1 - \exp\left(-\frac{hc\nu_{12}}{k_B T}\right)\right]$$

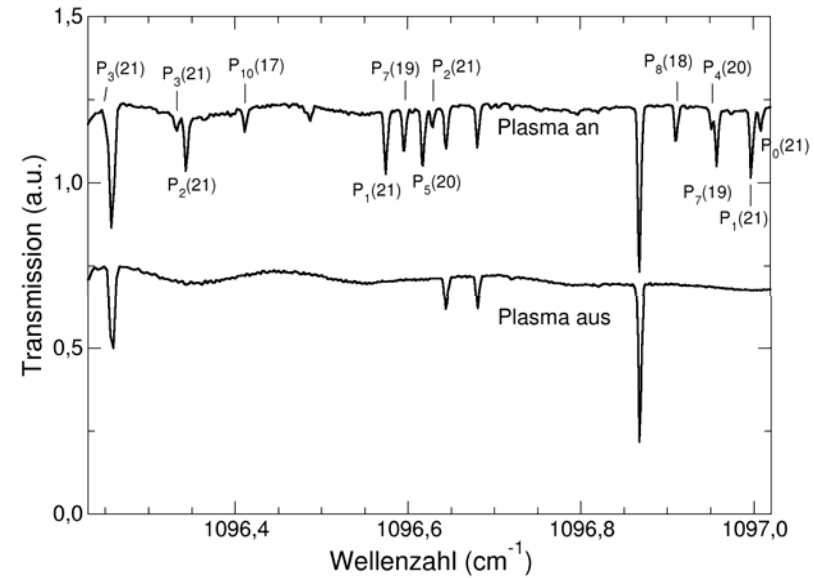
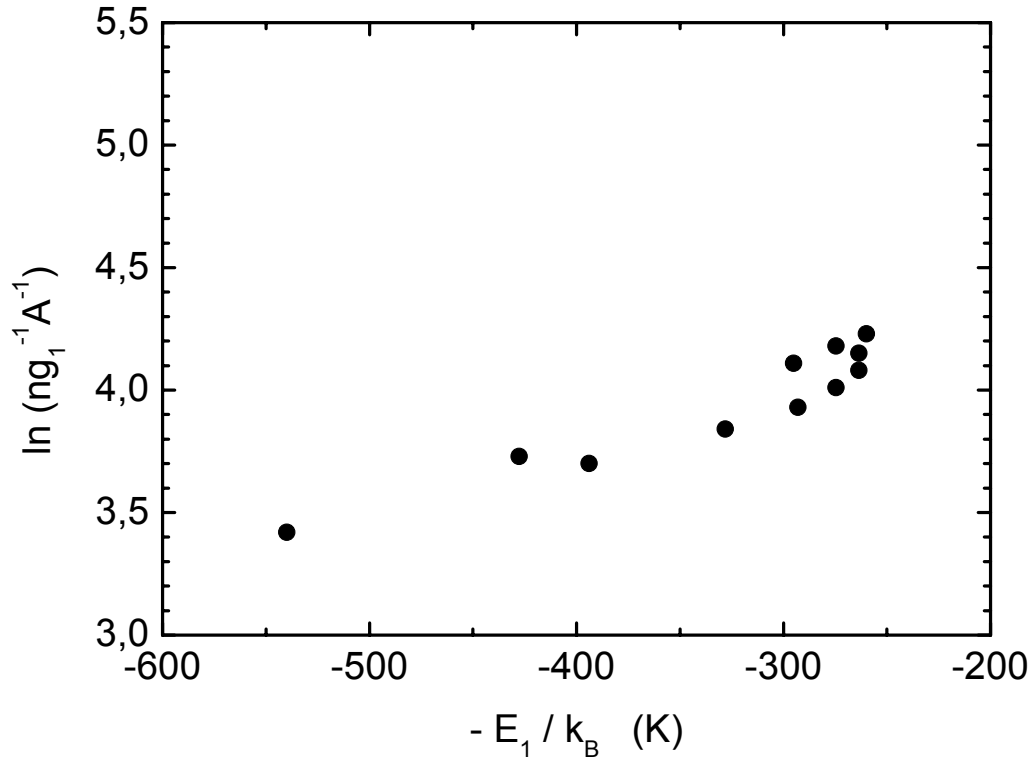
$$\int k(\nu) d\nu = S \cdot n$$

$$\ln\left(\frac{1}{g_1 A_{JK}} \int k(\nu) d\nu\right) = \frac{1}{T_{rot}} \left(-\frac{E_1}{k_B}\right) + C$$

Grundgleichung für "Boltzmann-Plot"



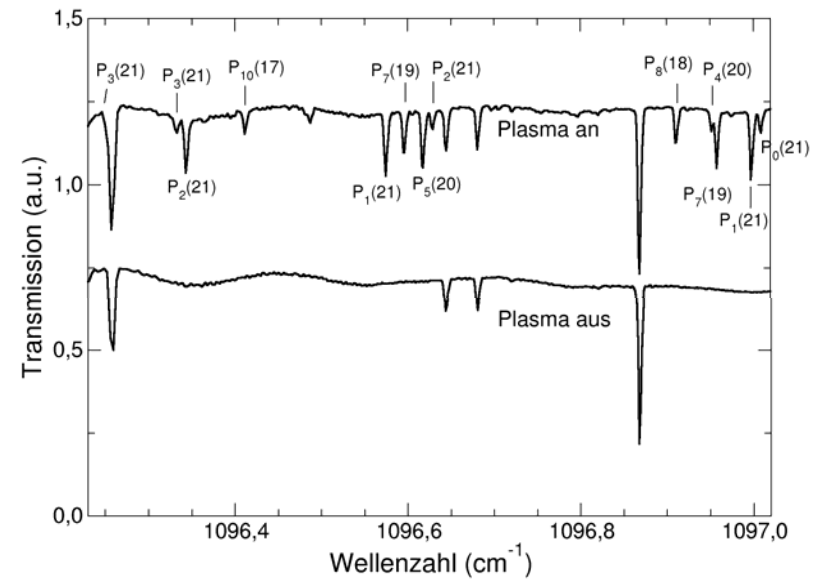
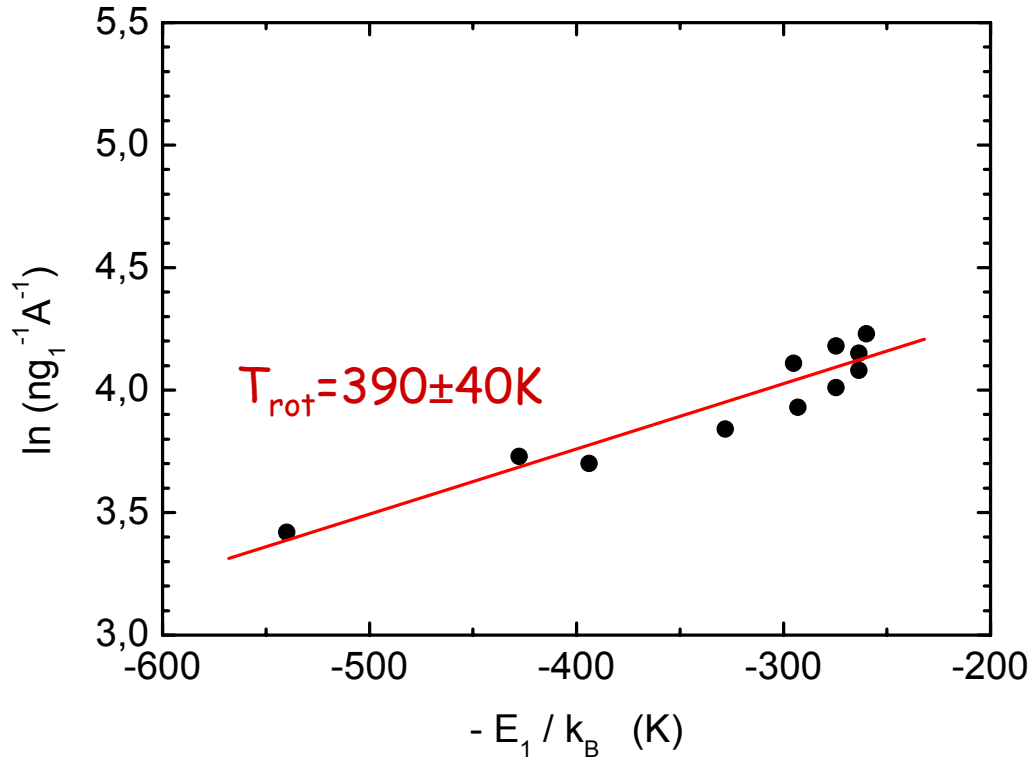
CF₂-Rotationstemperatur im kontinuierlichen RF- Plasma



100W, 50Pa, 5sccm CF₄, 2sccm H₂



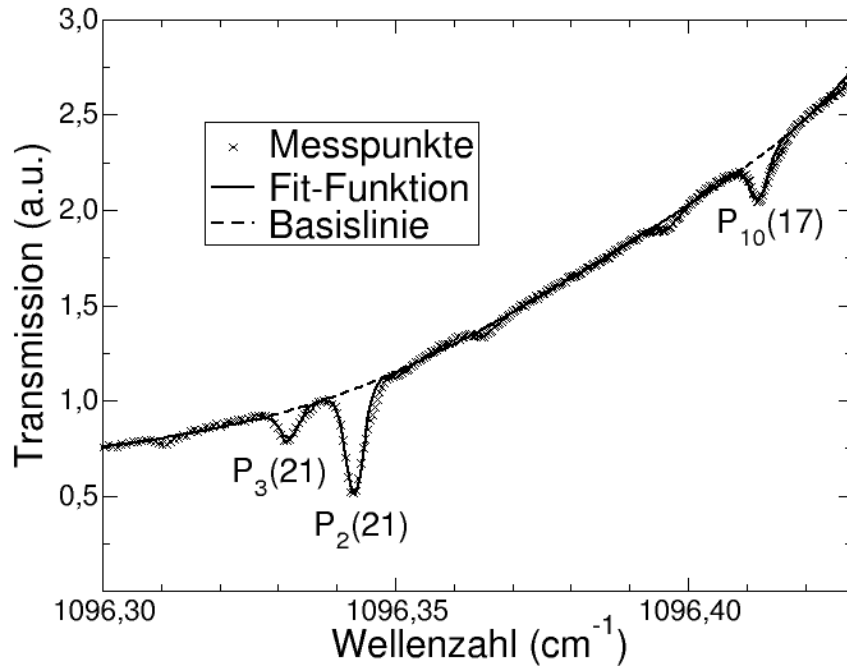
CF₂-Rotationstemperatur im kontinuierlichen RF- Plasma



100W, 50Pa, 5sccm CF₄, 2sccm H₂



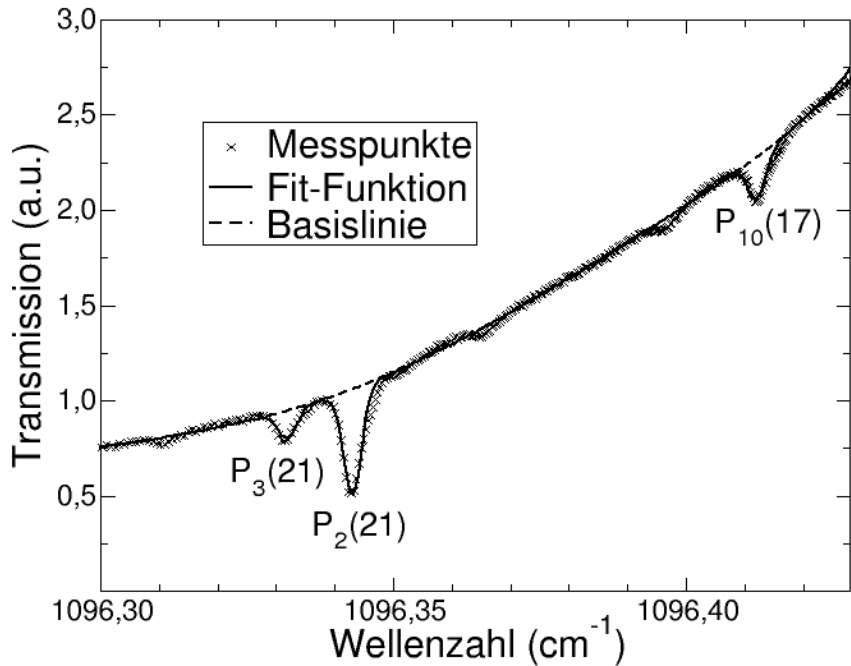
CF_2 -Rotationstemperatur im gepulsten RF- Plasma



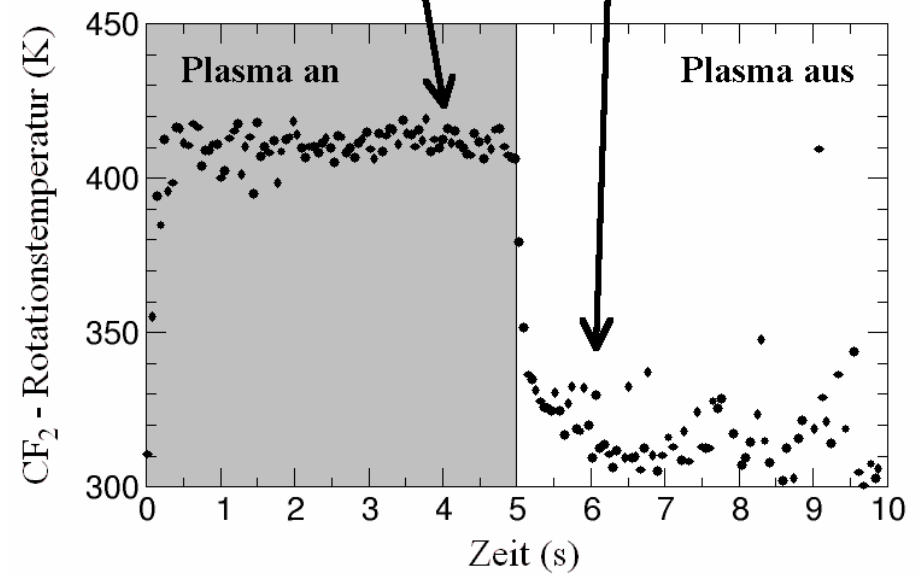
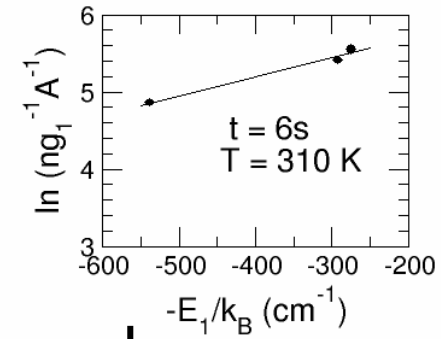
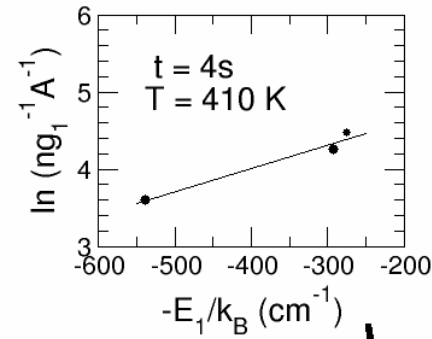
*Drei dicht zusammen liegende CF_2 -
Absorptionslinien...*



CF₂-Rotationstemperatur im gepulsten RF- Plasma

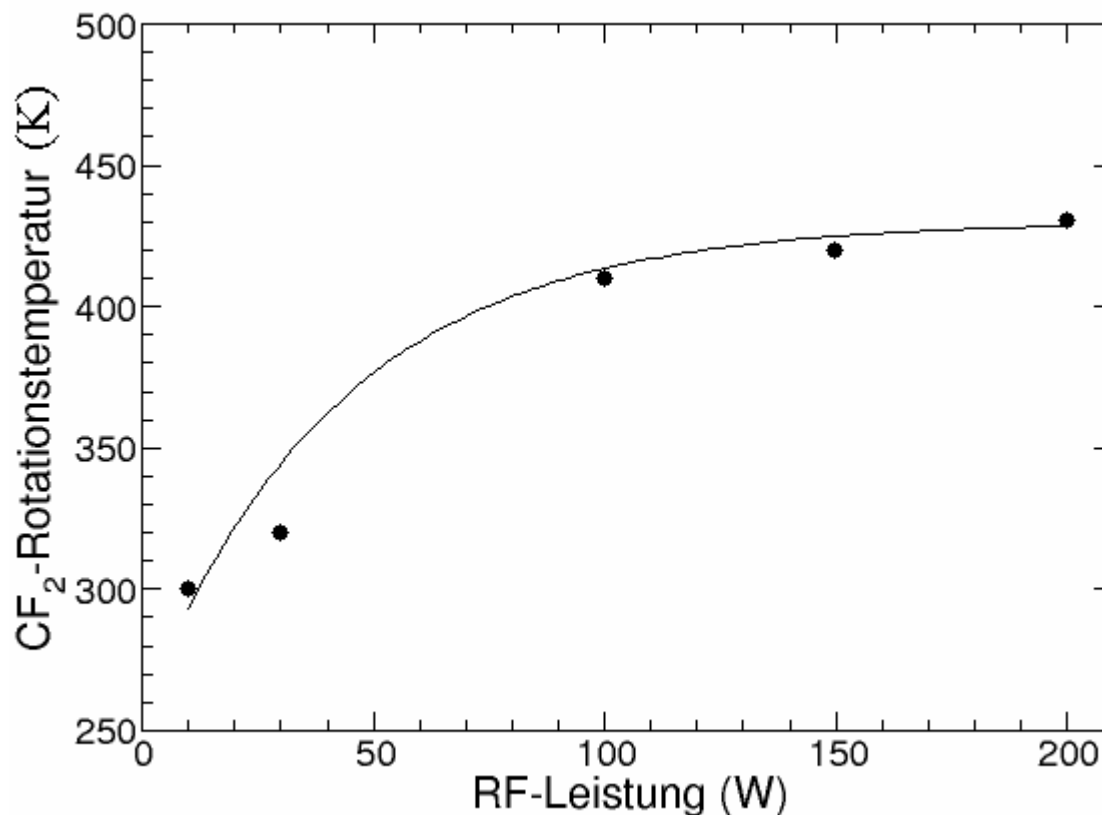


100W, 50Pa, 8sccm CF₄, 2sccm H₂,
 $\tau_{\text{an}}=5\text{sec}$, $\tau_{\text{aus}}=5\text{sec}$





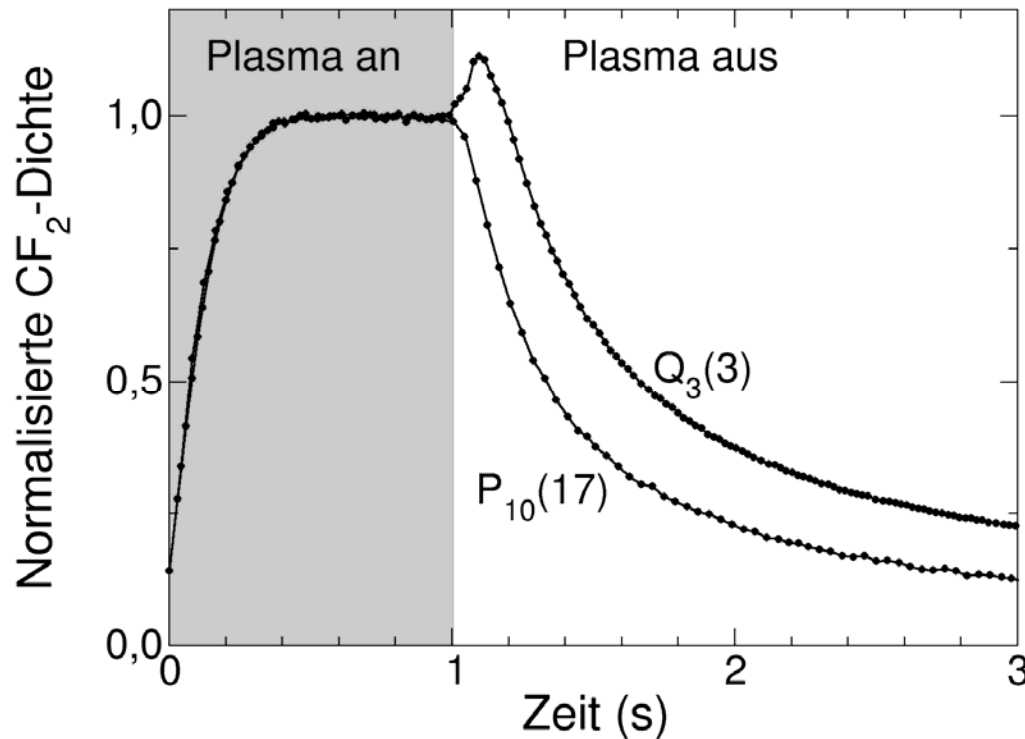
Abhängigkeit der CF_2 - T_{rot} von der RF- Leistung



50Pa, 8sccm CF_4 , 2sccm H_2 , $\tau_{an}=5sec$, $\tau_{aus}=5sec$



Zeitlicher Verlauf der CF_2 -Dichte im gepulsten RF- Plasma



Alternative Erklärungen für den kurzzeitigen Anstieg der CF_2 -Dichte:

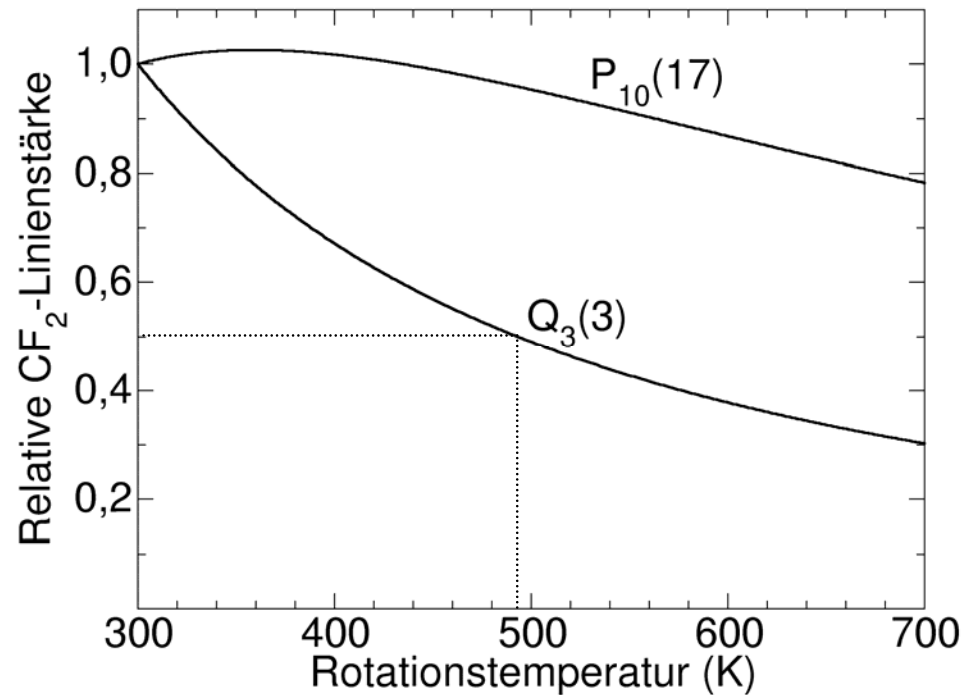
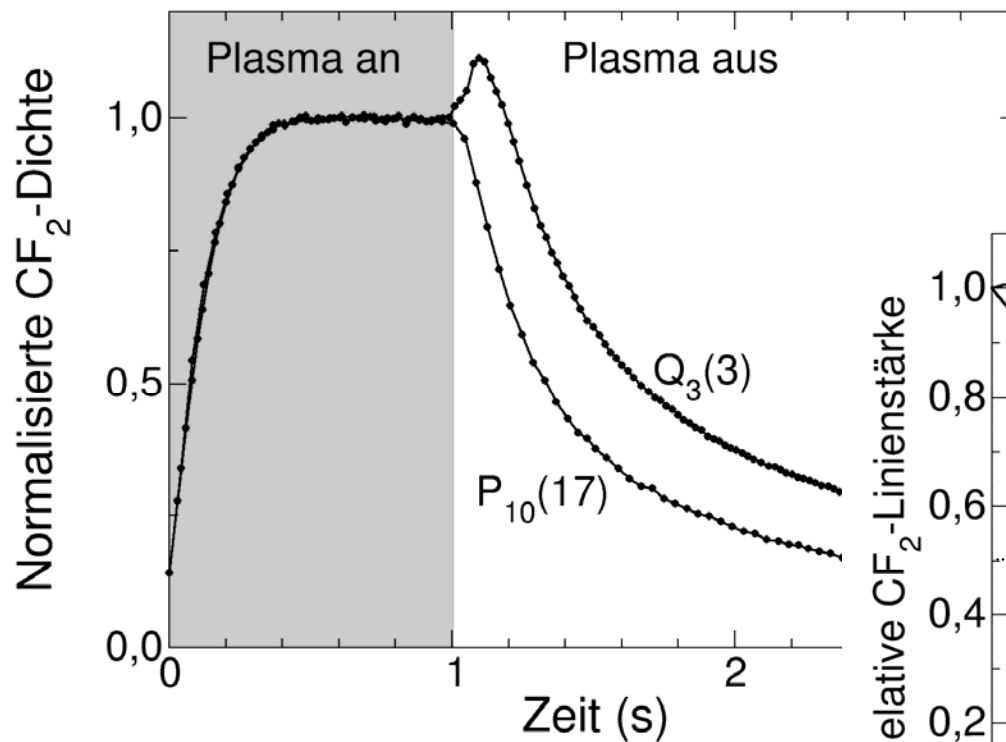
- B.A.Cruden, K.K.Gleason und H.Sawin, J. Appl. Phys. 89, 915 (2001)
- J.-P.Booth, H.Abada, P.Chabert und D.B.Graves, Plasma Sources Sci. Technol. 14, 273 (2005)

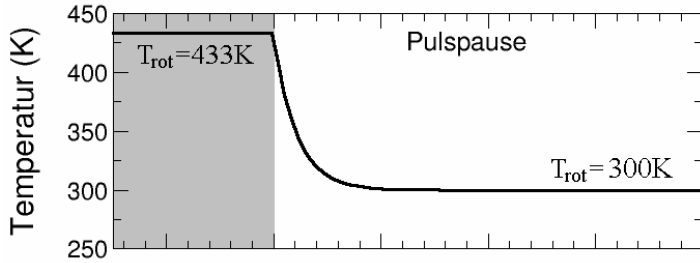
Dichteverlauf unter **denselben** Plasmabedingungen:

100W, 50Pa, 5sccm CF_4 , 2sccm H_2 , $\tau_{an}=1sec$, $\tau_{aus}=2sec$



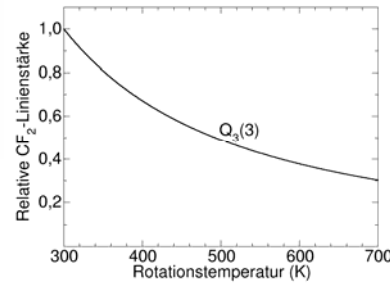
Zeitlicher Verlauf der CF_2 -Dichte im gepulsten RF-Plasma

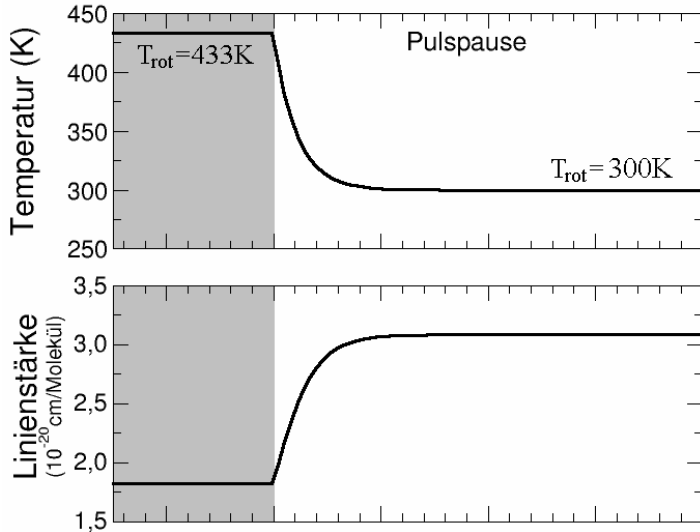




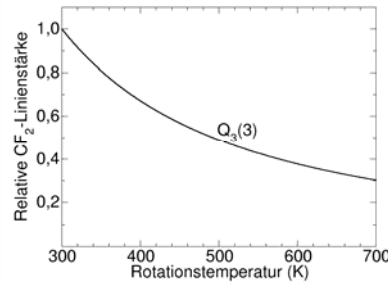
Einfluss von T_{rot} auf die Dichtemessung:

exponentieller Abfall der T_{rot} in der Pulspause



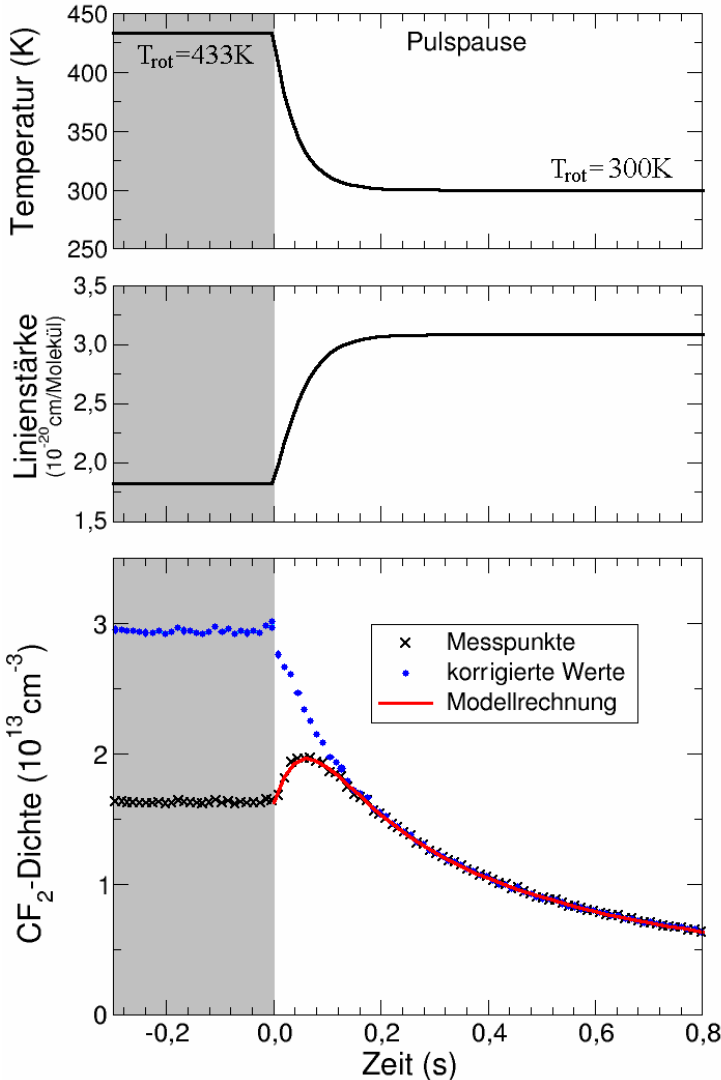
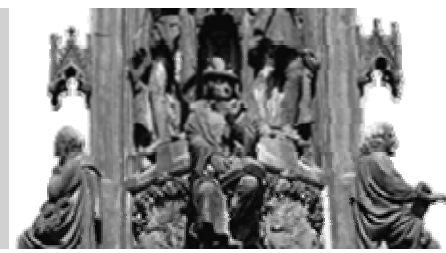


Einfluss von T_{rot} auf die Dichtemessung:

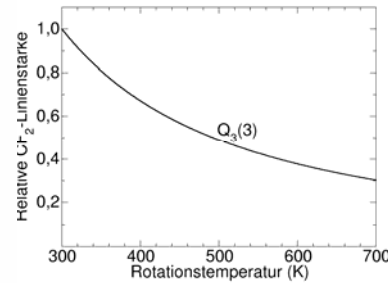


exponentieller Abfall der T_{rot} in der Pulspause

Anstieg der Linienstärke u. der Absorption in der Pulspause



Einfluss von T_{rot} auf die Dichtemessung:



exponentieller Abfall der T_{rot} in der Pulspause

Anstieg der Linienstärke u. der Absorption in der Pulspause

$$\int k(\nu) d\nu = S \cdot n \quad \text{Dadurch}$$

Anstieg der daraus ermittelten Dichte

+

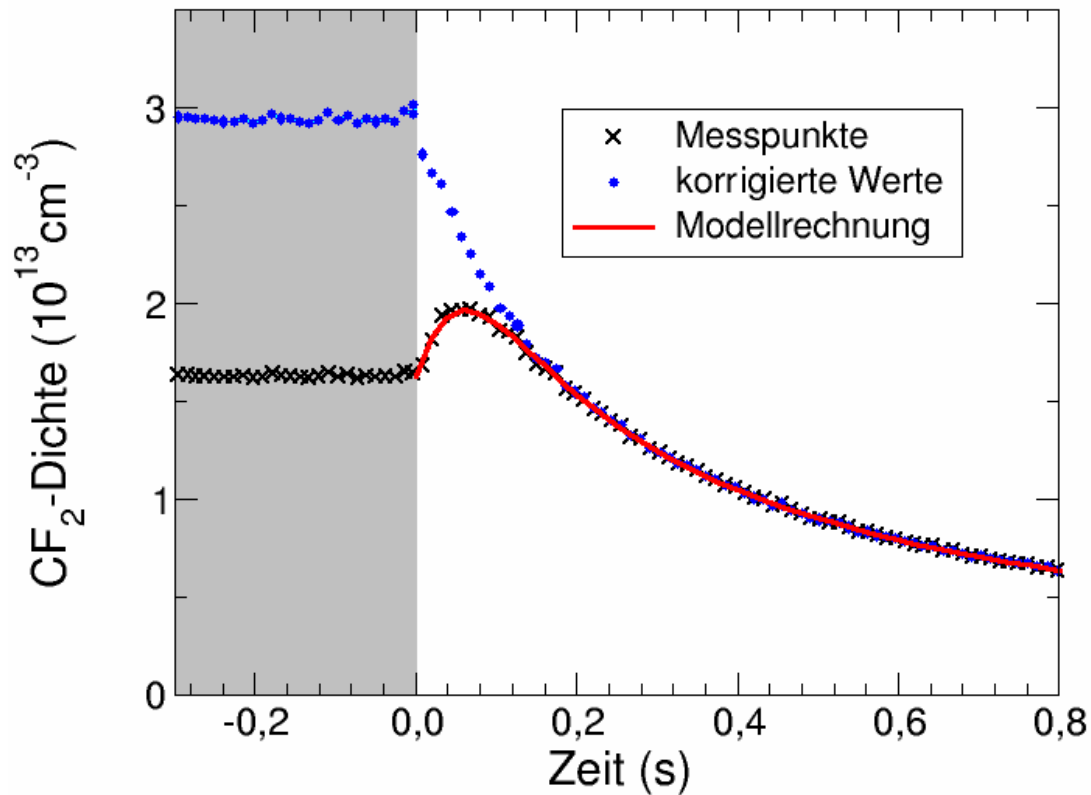
Abfall der Dichte wegen Rekombination

Maximum in der Pulspause



Die Neue Methode:

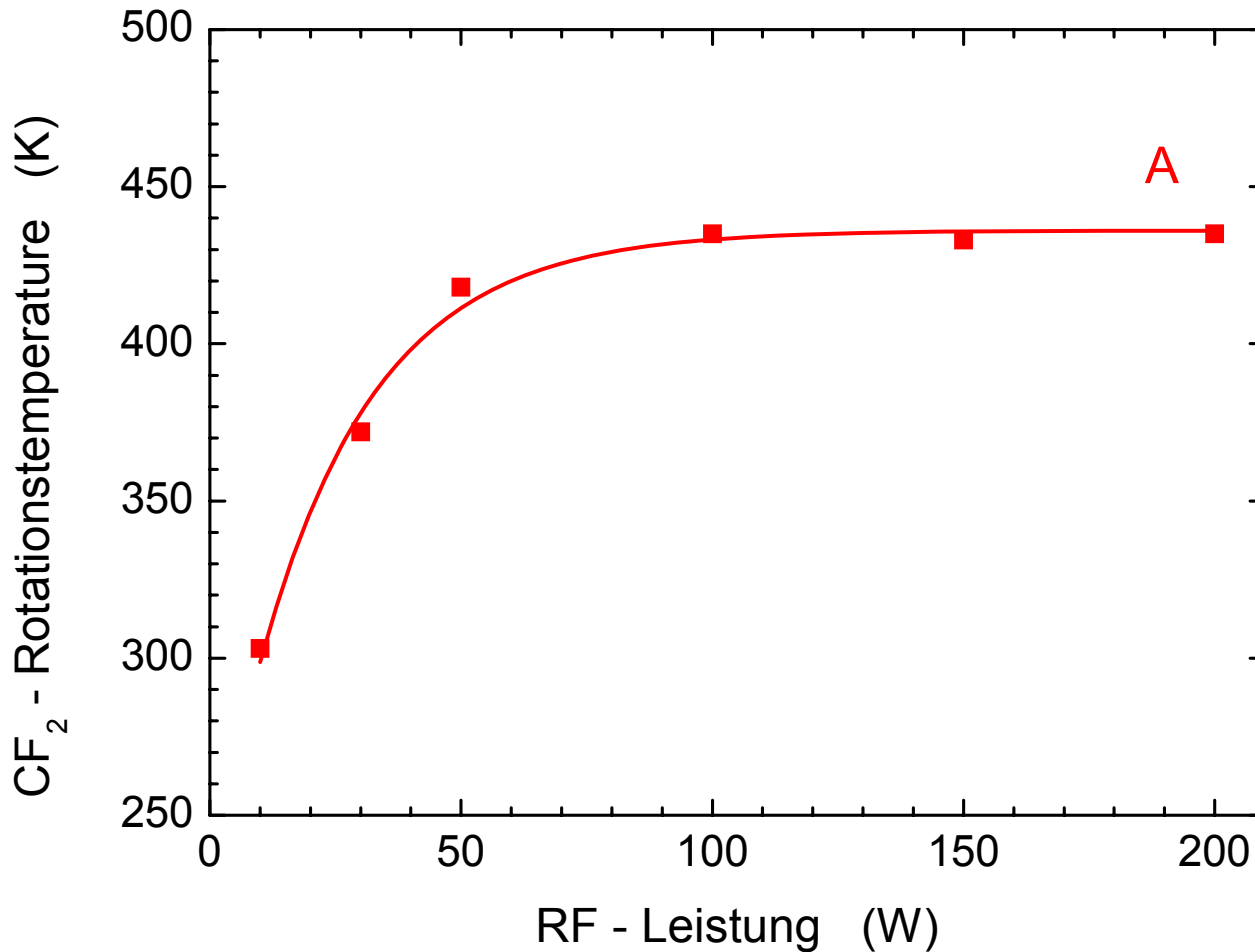
Bestimmung der $CF_2 - T_{rot}$ durch Fit an den Verlauf des $Q_3(3)$ Profils



T_{rot} im Plasma
(als Parameter der
Modellrechnung)



Abhängigkeit der CF_2 - T_{rot} von der RF- Leistung

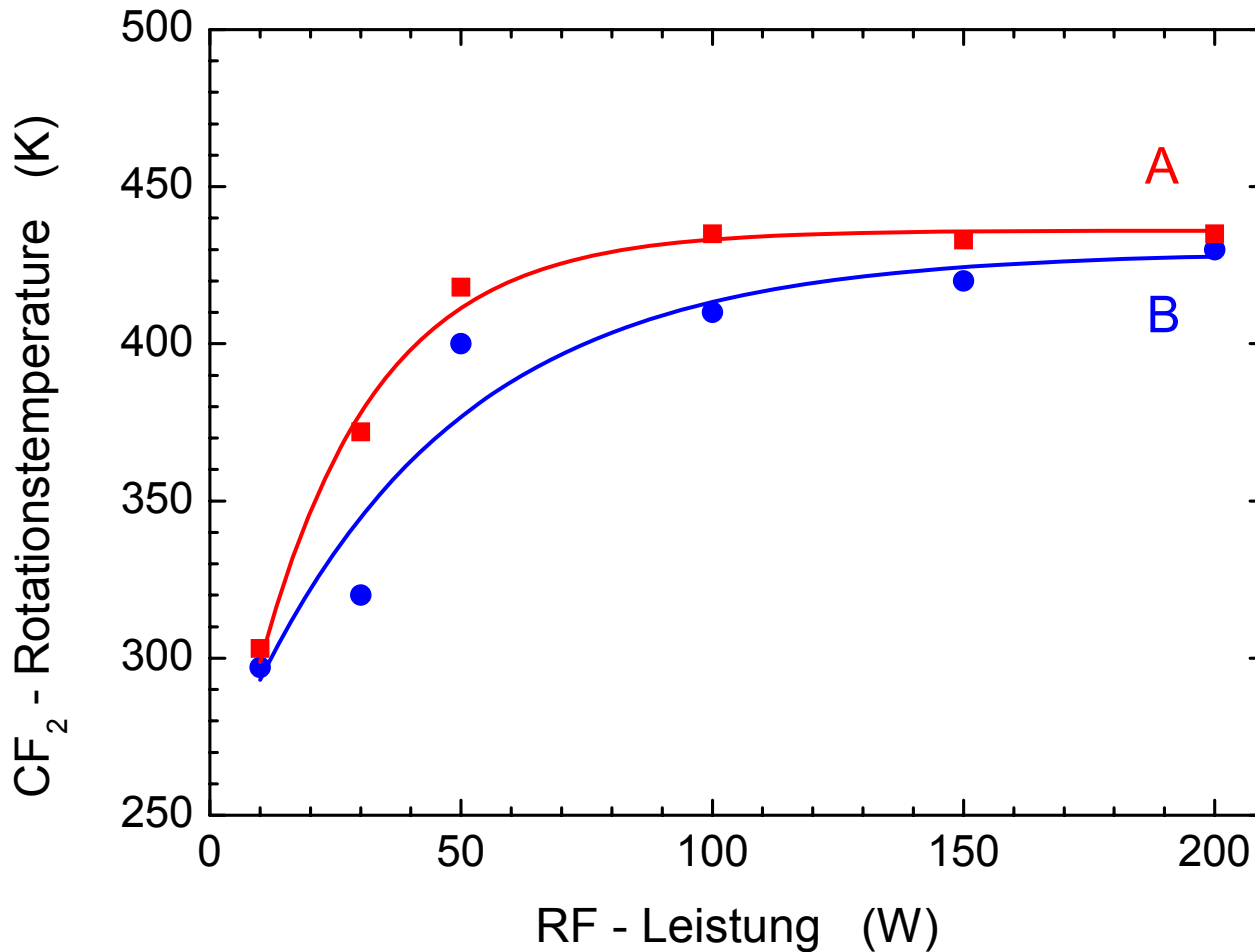


50Pa

A: 5sccm CF_4 , 2sccm H_2 ,
 $\tau_{an}=1\text{sec}$, $\tau_{aus}=2\text{sec}$
(mit $Q_3(3)$ Linie)



Abhängigkeit der CF_2 - T_{rot} von der RF- Leistung



50Pa

A: 5sccm CF_4 , 2sccm H_2 ,
 $\tau_{an}=1\text{sec}$, $\tau_{aus}=2\text{sec}$
(mit $Q_3(3)$ Linie)

B: 8sccm CF_4 , 2sccm H_2 ,
 $\tau_{an}=5\text{sec}$, $\tau_{aus}=5\text{sec}$
(mit $P_3(21)$,
 $P_2(21)$ und $P_{10}(17)$ Linien)



Zusammenfassung

- ✓ Berechnung der Positionen und Stärken von CF_2 -Absorptionslinien der ν_3 -Bande. Gute Übereinstimmung mit den gemessenen Daten
- ✓ Rotationstemperaturbestimmung von CF_2 -Radikalen im kontinuierlichen Plasma
- ✓ Erste **zeitaufgelöste** Abhängigkeiten der CF_2 -Rotationstemperatur im gepulsten Plasma
- ✓ Zwei **verschiedene** Methoden, um CF_2 -Rotationstemperatur im Plasma zu bestimmen.
- ✓ Der Einfluss der Rotationstemperatur auf die Messprozedur wurde untersucht. Die Korrektur beträgt z.B. bei der $Q_3(3)$ -Linie einen Faktor von 2



Ernst Moritz Arndt
Universität Greifswald



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Die Untersuchungen werden durch die DFG im SFB-Transregio 24
„Grundlagen komplexer Plasmen“ gefördert

Deutsche
Forschungsgemeinschaft
DFG

TR  24
complex plasmas

14. März 2006, Mühlleithen