

Möglichkeiten des Einsatzes von Plasmen für die Dekontamination von Gasen

Ronny Brandenburg

*Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie Greifswald e.V.
Forschungsschwerpunkt Schadstoffabbau*

plasma + umwelt



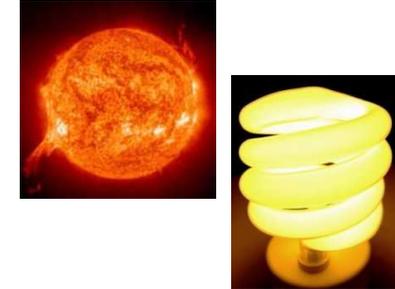
1. Einführung
 - Begriff “Nicht-thermisches Plasma” (NTP)
 - Erzeugung NTP bei Atmosphärendruck
 - Chemische Aktivität von NTP (Plasmachemie)

2. Übersicht NTP-Anwendungen zur Gasreinigung
 - Abgasbehandlung (NO_x, Ruß)
 - Abluftbehandlung (VOC, Gerüche)
 - Biologische Dekontamination

3. Zusammenfassung
 - Möglichkeiten des Einsatzes in Reinräumen/Gebäudeschutz
 - Herausforderungen an die Forschung

Plasma:

- Physikalische Systeme, deren Eigenschaften durch **freie Ladungsträger** (Elektronen, Ionen) bestimmt sind.

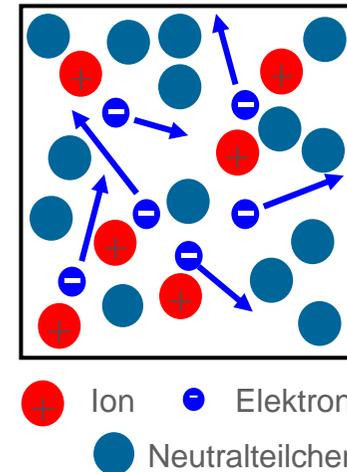


Nicht-thermisches Plasma (NTP):

- Thermisches-Nichtgleichgewicht der Teilchensorten (Neutrale, Ionen, Elektronen) miteinander

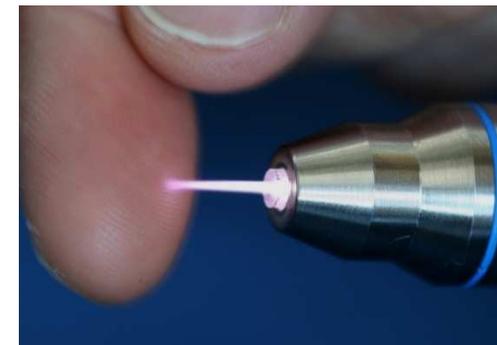
$$T_e \gg T_i \approx T_n \quad T_e \approx 10^5 K$$
$$T_n \approx 300 \dots 400 K$$

- Erzeugung von Ionen und Radikalen, die nicht-thermische chemische Reaktionskanäle ermöglichen



Anwendungen

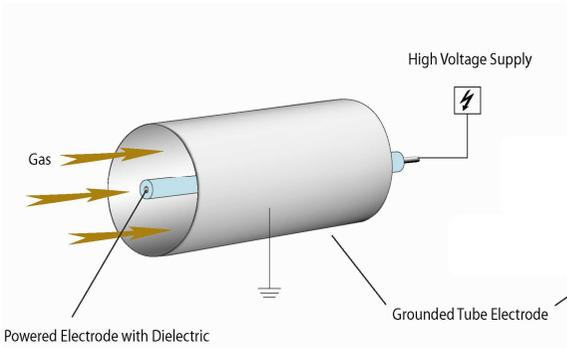
- Geruchsminderung & Abluftreinigung
- Ozonherstellung
- Oberflächenbehandlung (Aktivierung, Ätzen, ...)
- etc.



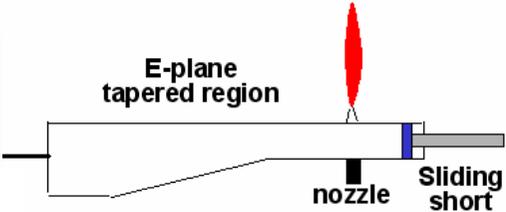
- 1.1.1992 formale Gründung des INP (Institut für Niedertemperatur-Plasmaphysik e.V.)
- 14.09.2007 Umbenennung in Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V.
- Europaweit die größte außeruniversitäre Forschungseinrichtung zu Niedertemperatur-Plasmen (ca. 190 Mitarbeiter)
- Anwendungsorientierte Grundlagenforschung „Von der Idee bis zum Prototyp“ in den Forschungsbereichen
 - Umwelt- und Energietechnik
 - Oberflächen und Materialien
 - Biologie und Medizin



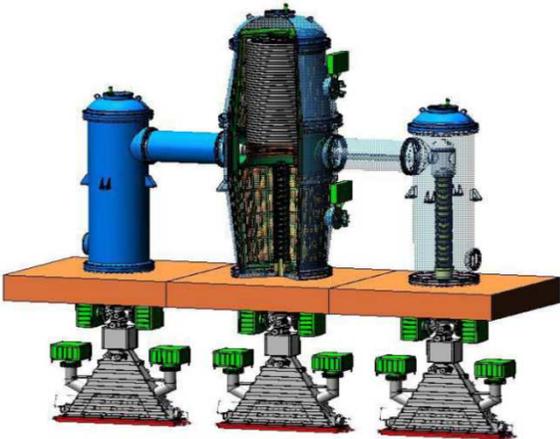
Gasentladung



Mikrowellenstrahlung



Elektronenstrahl

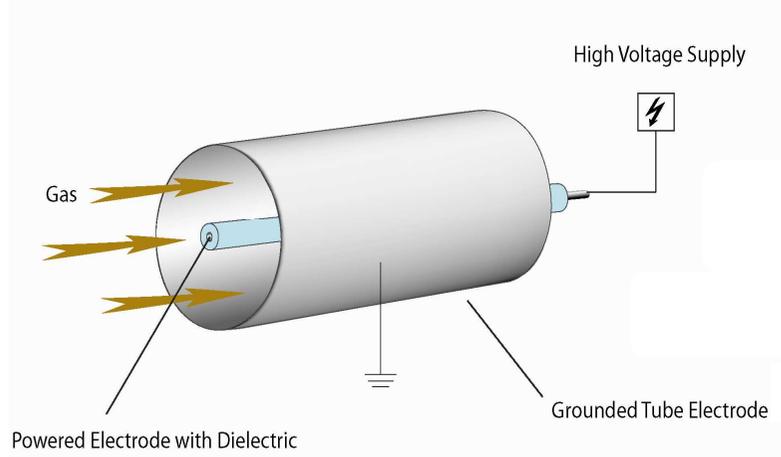


Einkopplung elektrischer Energie

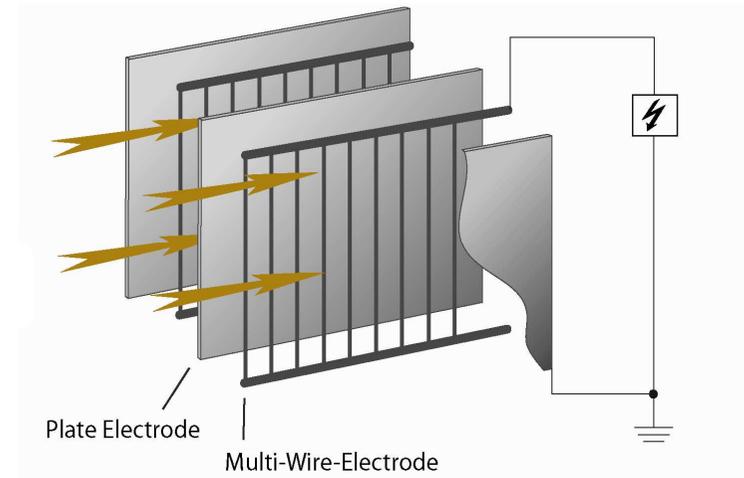
Elektrische und magnetischer Felder
(elektrischer Durchbruch)

Injektion von Elektronen

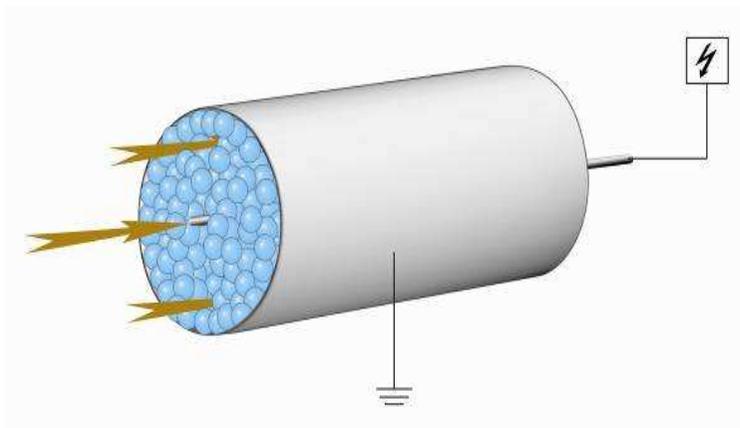
Barrierenentladung(DBD*)



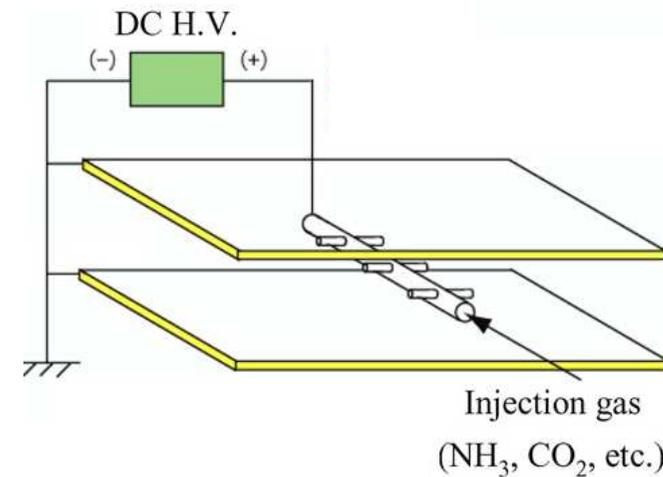
Korona-Entladung



Schüttgutreaktor

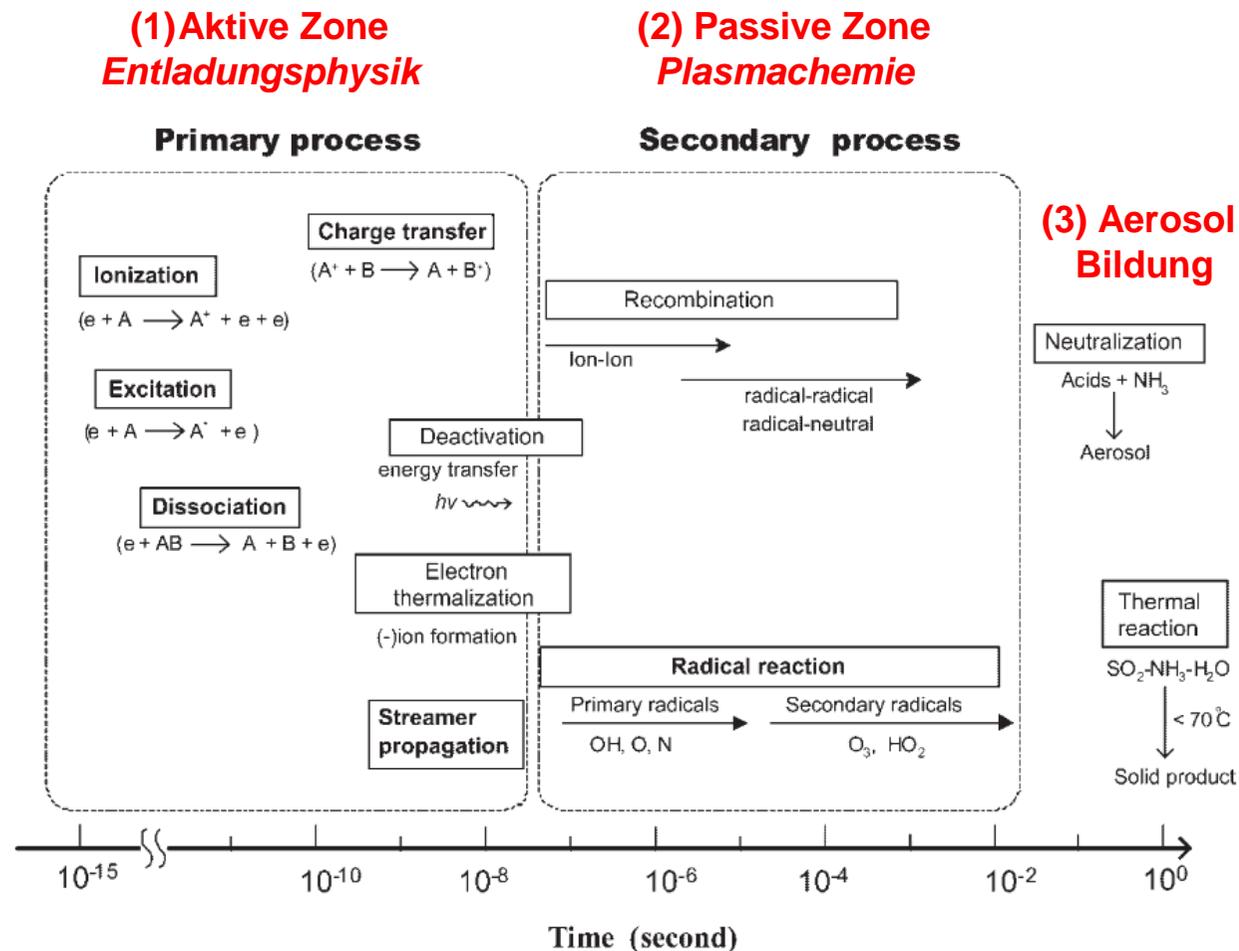


Corona Radical Shower



*DBD: Dielectric Barrier Discharge

- Plasmachemische Stoffwandlung durch Stöße der Teilchen
- Reduktion/Umwandlung durch Reaktionen mit Radikalen und Ionen
- Häufigste Radikale in gew. Luft: O, OH (primär), HO₂, O₃ (sek.)



Übersicht „Umweltanwendungen“

- **Wasseraufbereitung**
→ Ozonsynthese (O_3 als Oxidationsmittel)
- **Filtration von Teilchen (Stäube)**
→ Elektrostatische Abscheider (Ionen zur Aufladung)
- **Abluftbehandlung (Geruchsabbau; VOCs)**
→ NTP in Komb. mit Adsorbern/Katalysatoren
für geringe Kontaminationsgrade ($\ll 1 \text{ g } C_{org}/m^3$)
- **Abgasbehandlung**
→ O_3 -Injektion (low thermal oxidation + Gaswäsche)
→ ECO-Prozess (DeNOx/DeSOx; + Gaswäsche)
→ Elektronenstrahlverfahren (DeNOx mit NH_3)
→ Abbau von organischen Partikeln mit Plasmen
→ Plasma-untersützte/basierte Katalyse (SCR)

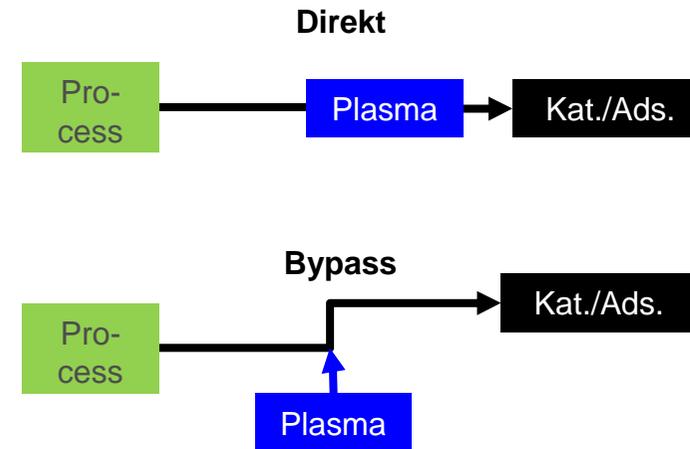


Bilder: Wedeco, ABB, NIPAG

Abluftbehandlung (Gerüche)

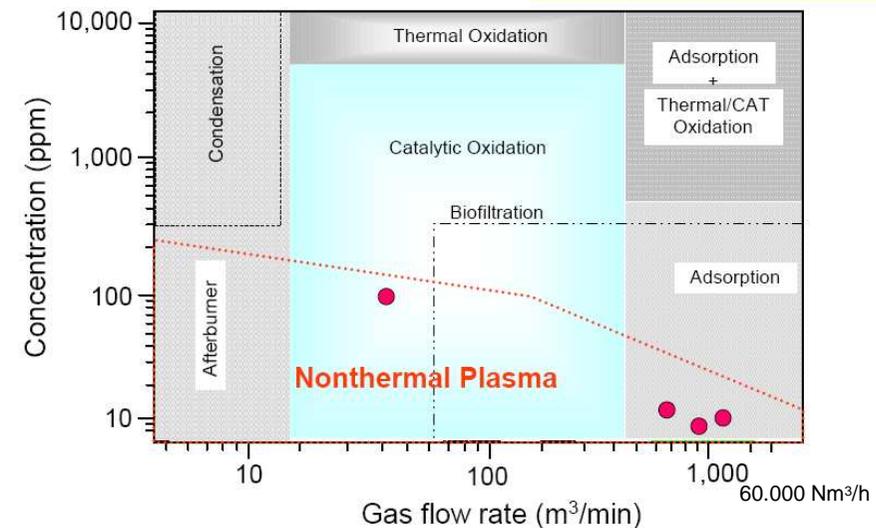


Molekularsiebgestützte NT-Plasmaanlage für 10.000 m³/h Abluft aus Herstellungsprozessen von Aromastoffen



● Commercialized NTP system

- Gasflows up to 100,000 Nm³/h
- Removal efficiency: 75 ... 99 %
- Investment cost about 10,000 € per 1,000 Nm³/h
- Running cost less than 10 €/h (@ 50,000 Nm³/h)

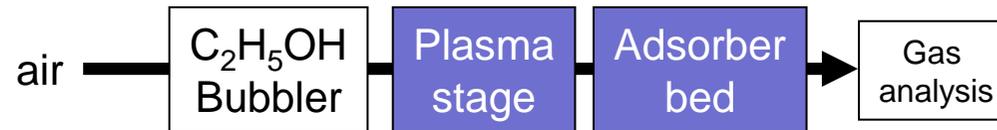


(Original format from J.A. Dyer, K. Mulholland, *Chem. Eng.*, pp. 4-8, 1994)

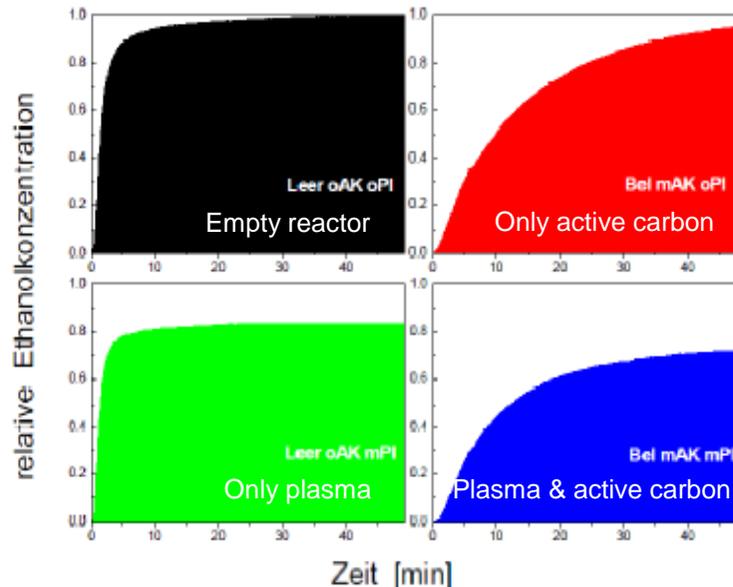


Synergy between plasma and adsorber

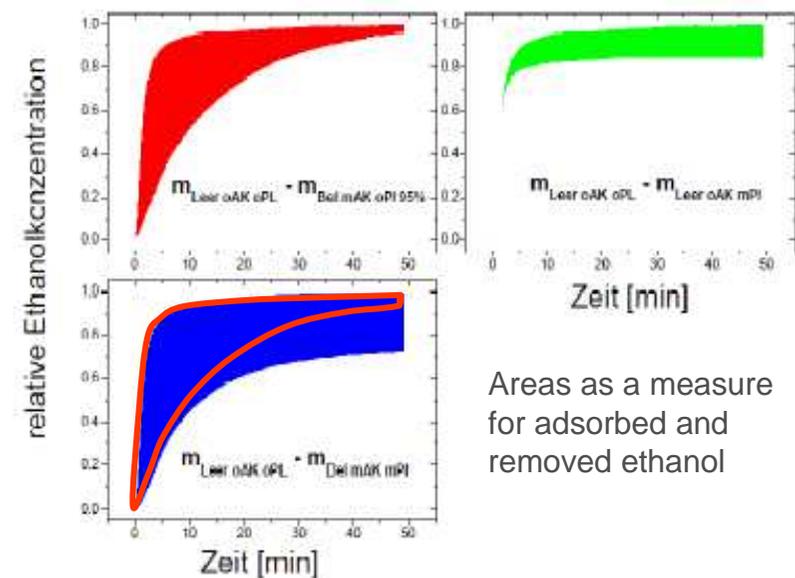
- Active carbon (AC) as adsorber (w/o plasma) and ethanol C_2H_5OH as model VOC



Temporal evolution of slip after adsorber bed



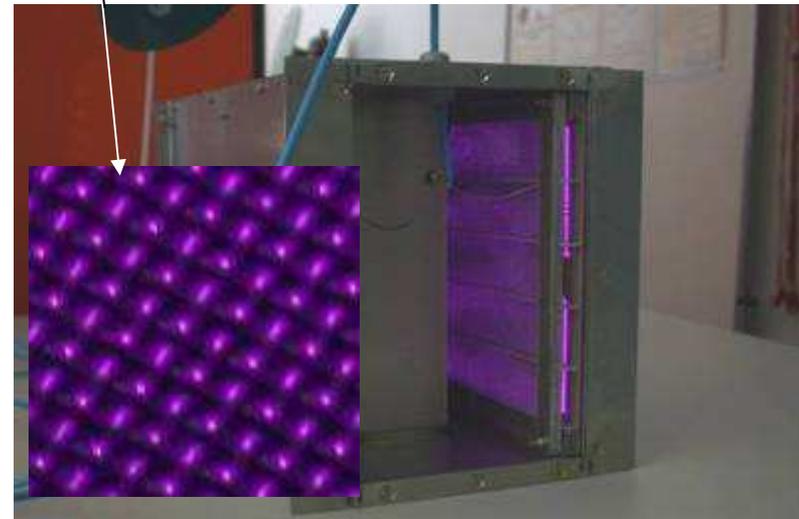
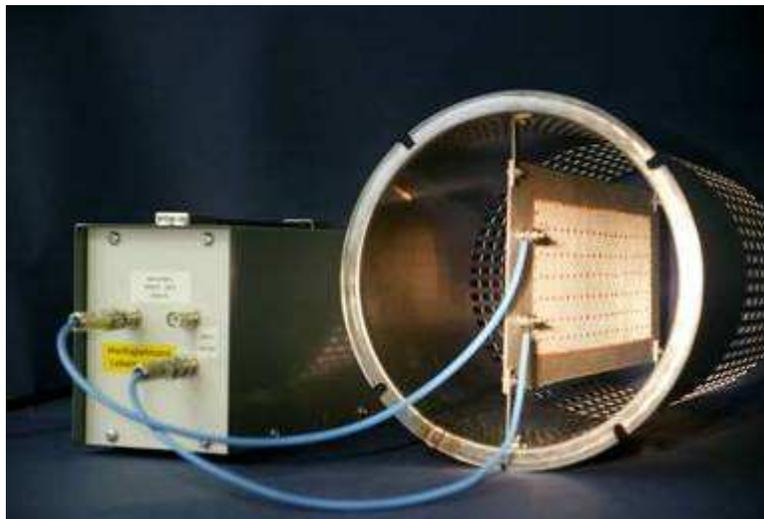
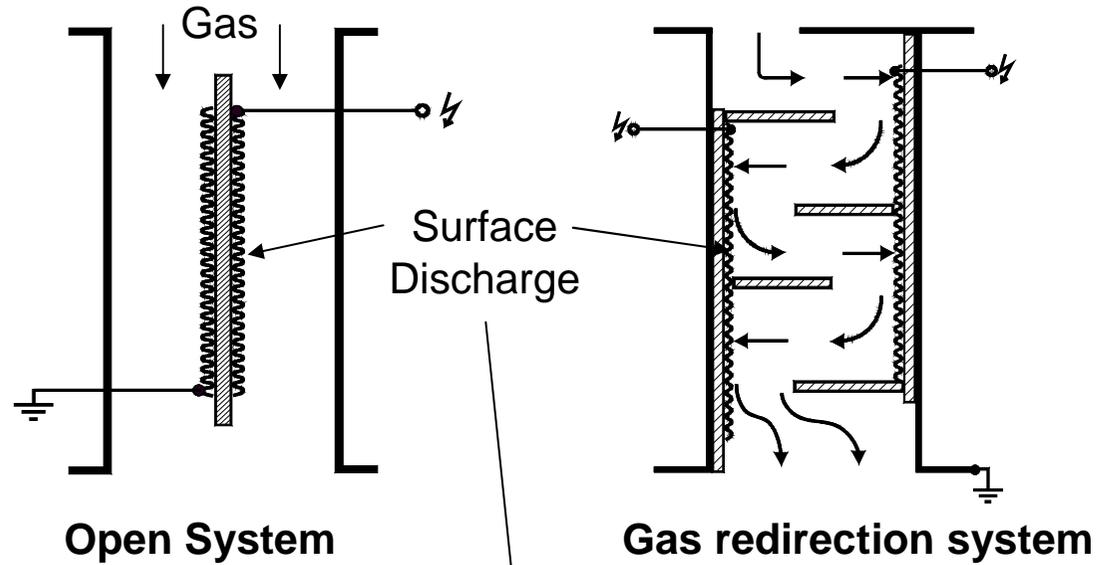
Difference of slip behaviour (against „empty“ curve)



Areas as a measure for adsorbed and removed ethanol

- Physisorption of ethanol on active carbon \rightarrow no removal
- Significant removal of ethanol by plasma treatment \rightarrow load on AC reduced
- Less ethanol resorbed after plasma operation
- Adsorbed molecules oxidized on active carbon \rightarrow removal and regeneration!

Ionen-Extraktion zur Aerosolabscheidung



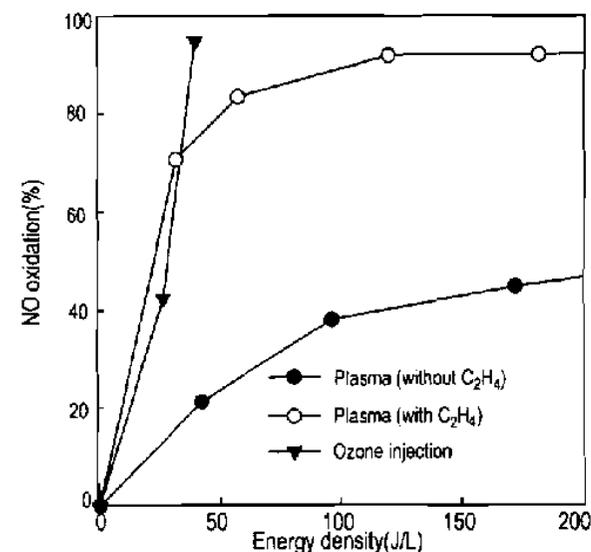
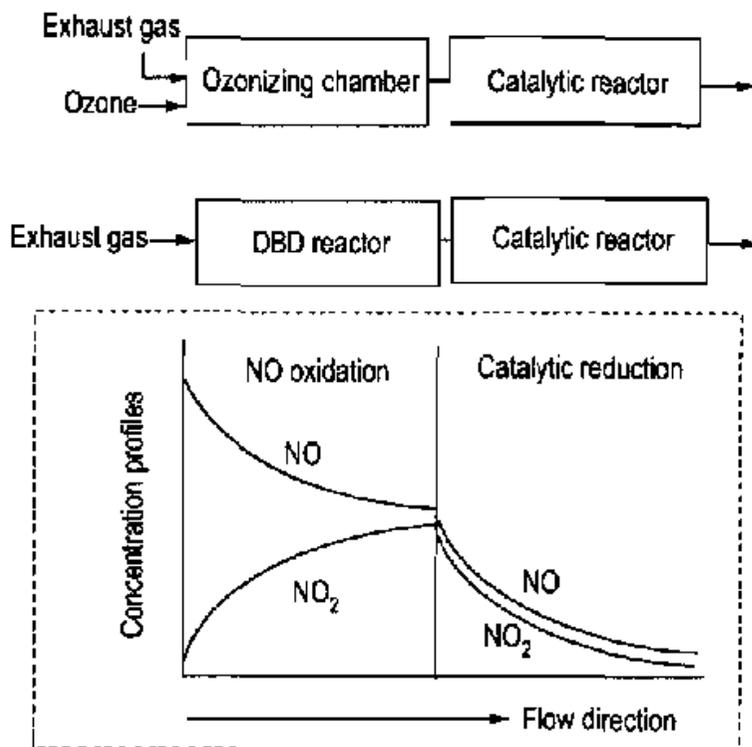
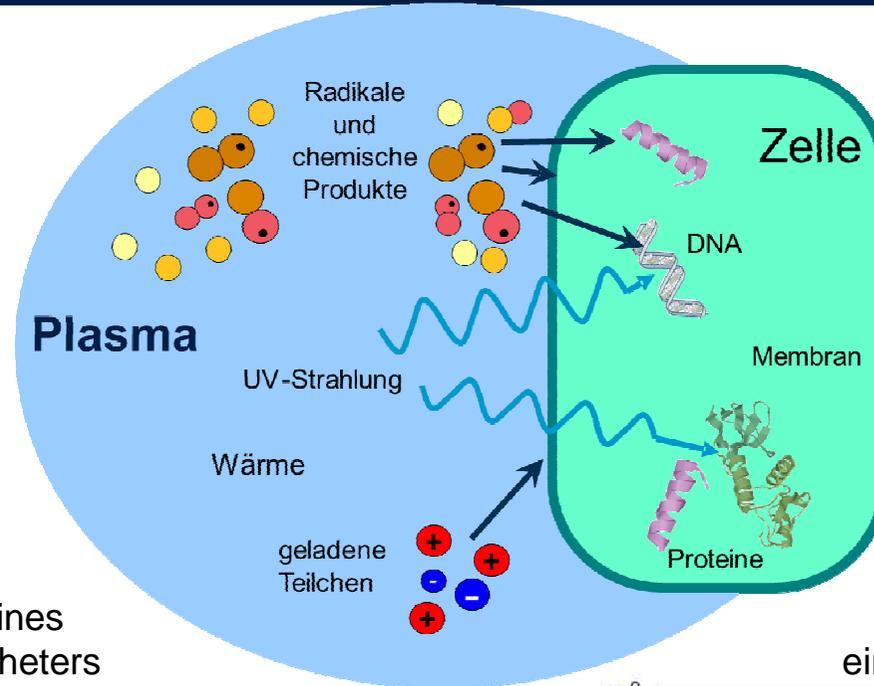
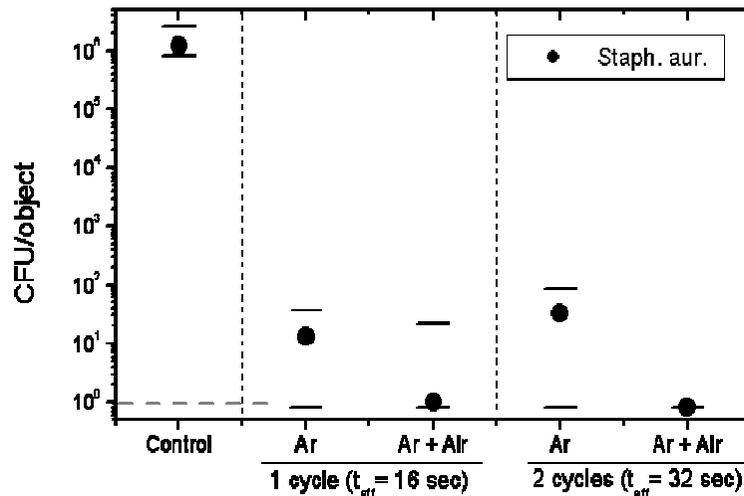


Fig.5 Comparison of the ozone injection method with the direct application of the DBD plasma in terms of the NO oxidation performance (initial NO_x: 300 ppm; temperature: 200 °C)

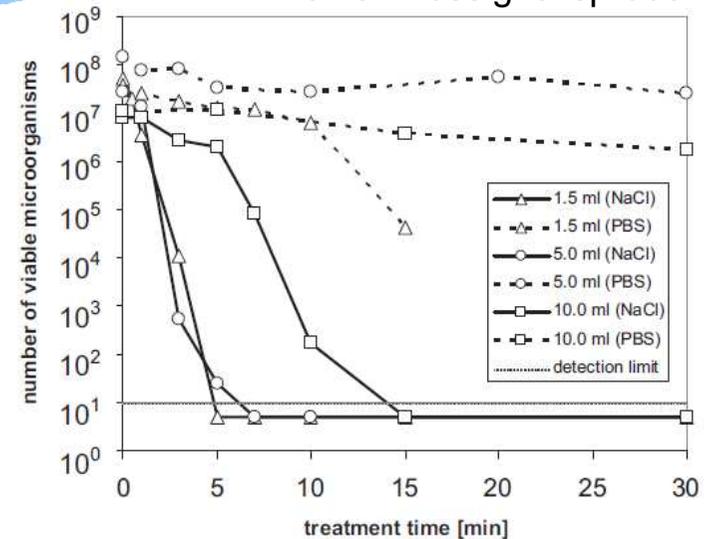




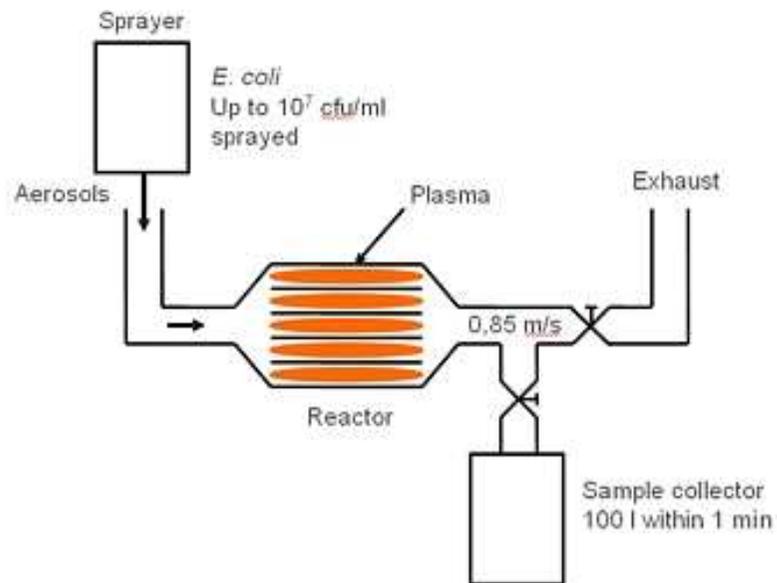
Plasmabehandlung eines Elektrophysiologiekatheters



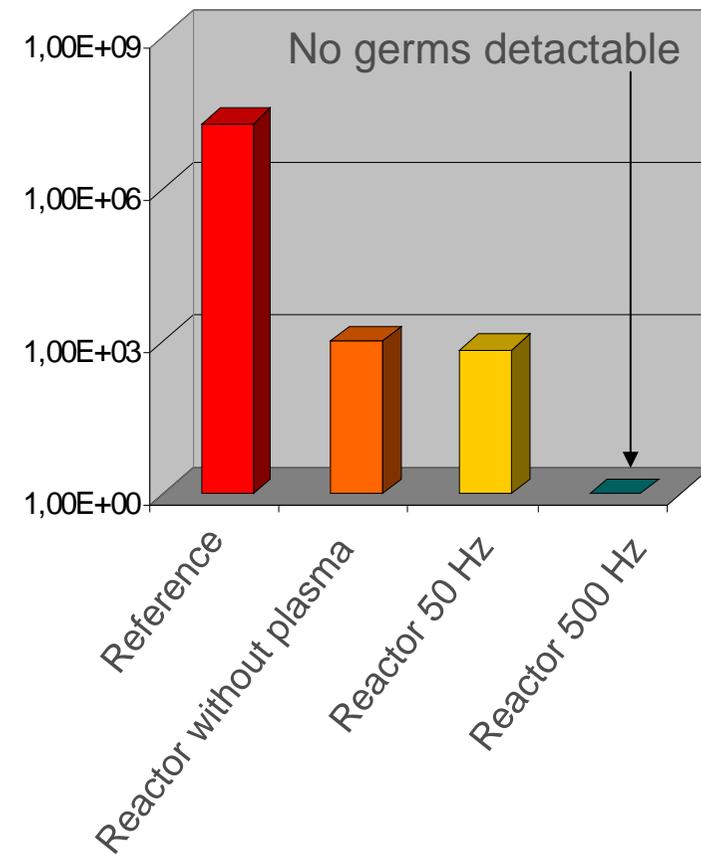
Plasmabehandlung einer Flüssigkeitsprobe



Aerosols containing coli bacteria (DBD stack system)



Colony forming units (cfu)



Chemische Reaktionen & Antimikrobielle Effekte durch aktive Plasmabestandteile (Radikale, Ionen, Photonen)

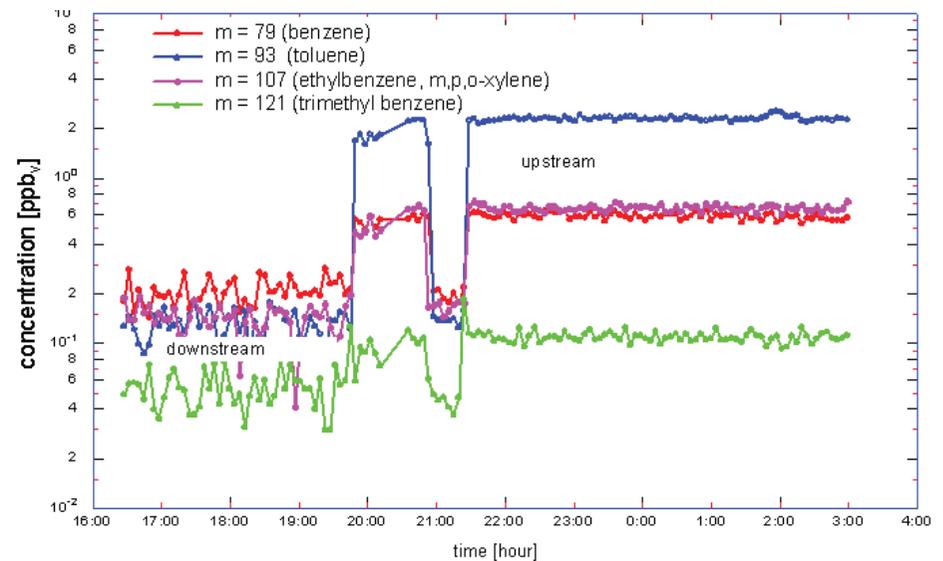
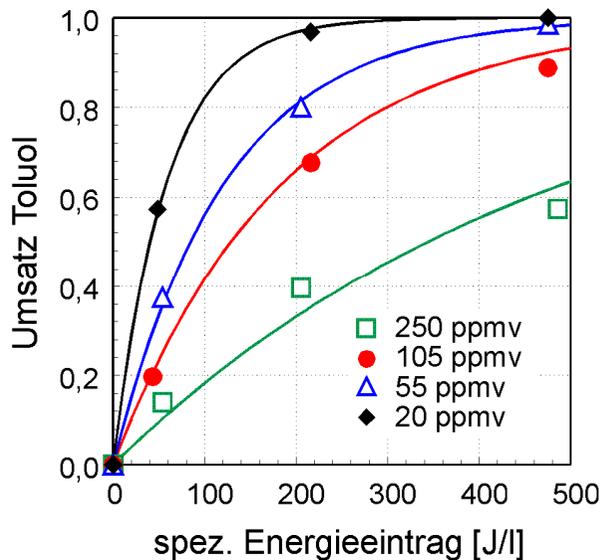
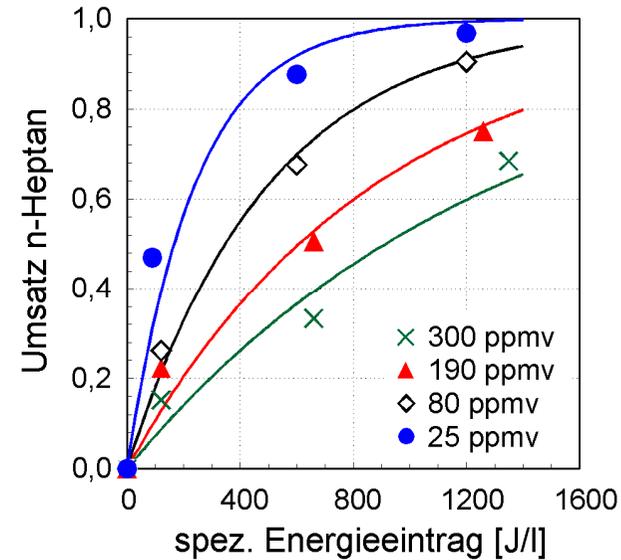
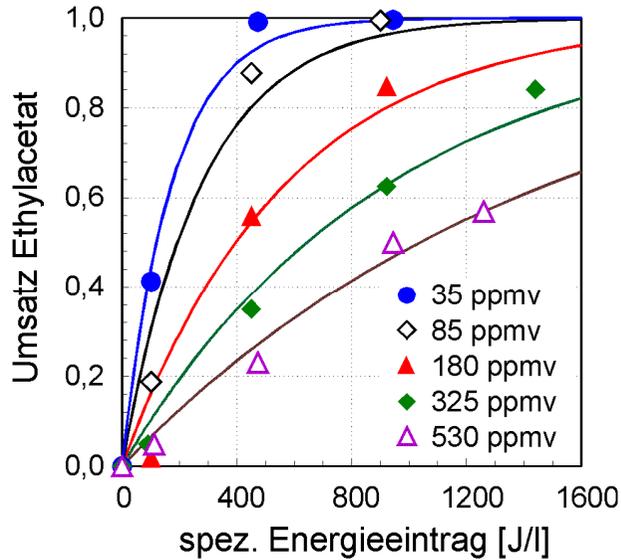
Vorteile:

- ☑ Abbau ohne Aufheizung (nicht-thermisch)
- ☑ Breiter Wirkungsbereich:
(Gase ... Feinstaub/Aerosole ... Mikroorganismen)
- ☑ Abbau organischer Partikel
- ☑ Energetisch günstig für geringe Verunreinigungsgrade
(z.B. VOCs $\ll 1 \text{ g C}_{\text{org}}/\text{m}^3$)
- ☑ Direkter Abbau oder Konditionierung von Abgas/Abluft
- ☑ Synergien mit anderen Verfahren (z.B. Adsobern)

Risiken:

- Nebenprodukte (O_3 , ...)
- Effizienz und Selektivität
- Hochspannungstechnik

Rolle der Konzentration

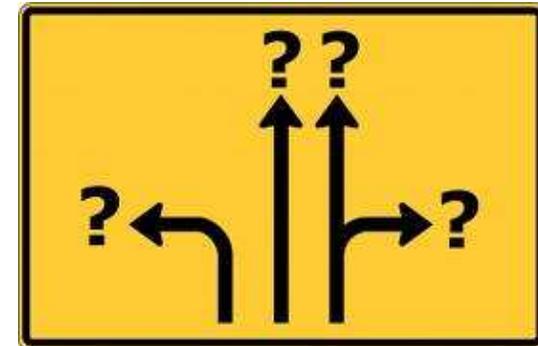


Nicht-thermische Plasmen attraktiv für Abluft- und Umluftbehandlung

- Oxidationswirkung bei **geringen Temperaturen**
- Wirkung auf organische Partikel **und** Schadgase **und** Mikroorganismen
- Möglichkeiten der Regeneration/Standzeitverlängerung von Systemen
- **Erweiterung und damit Verbesserung etablierter Technologien**

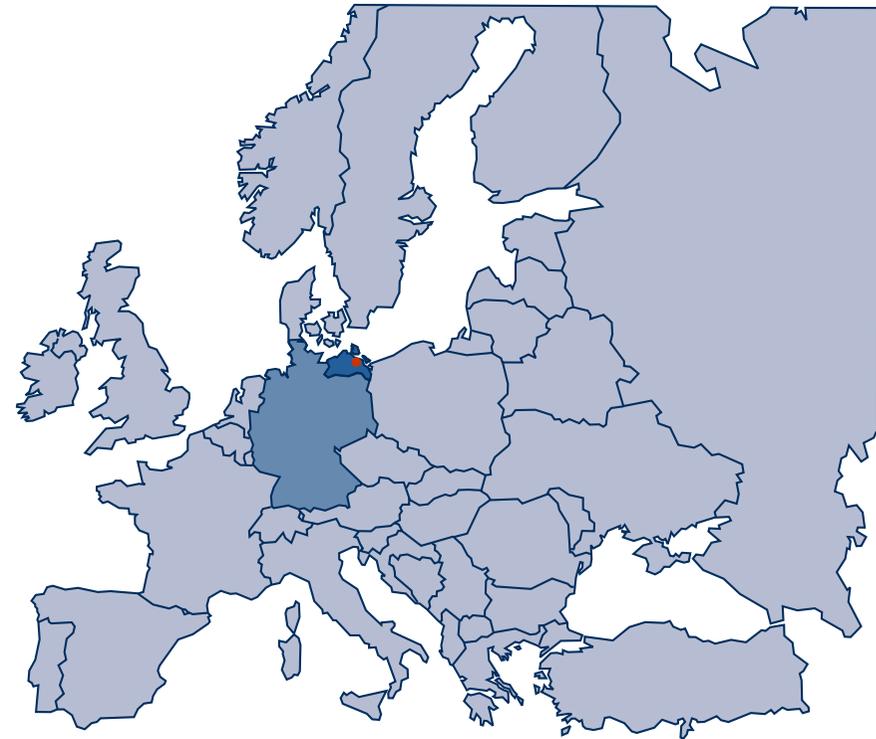
Anforderungen

- Schnittstellen und Probleme?
- Zukünftige Richtlinien?
- Welche Schadstoffe?
- Grenzen der etablierten Technologien?
- Umsetzbarkeit?
- Zentrale Lösungen oder point-of-care



Fragen aus Sicht F&E

- Wirkung von Plasma auf relevante ACC in geringen Konzentrationen
- Phys.-Chem. Effekte zwischen Plasma und anderen Prozessen
- Antimikrobielle Effekte und Steuerung der Plasmawirkung
- Korrelation zwischen Entladungsphysik und Plasmachemie



Leibniz Institute of Plasma Science and Technology

Address: Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany

Phone: +49 - 3834 - 554 300, Fax: +49 - 3834 - 554 301

E-mail: welcome@inp-greifswald.de, Web: www.inp-greifswald.de