



# Jahresbericht 2006

Institut für Niedertemperatur-Plasmaphysik e.V.



# Inhalt

Vorwort	S. 3
Kurzdarstellung	S. 5
Highlights 2006	S. 6
Berichte aus den Forschungsschwerpunkten	S. 8
Plasmaquellen	S. 9
Mikro- und nanodisperse Materialien	S. 14
Umweltrelevante Plasmaprozesse	S. 21
Funktionelle Oberflächen	S. 26
Neue Arbeitsgebiete	S. 31
Einzelprojekte	S. 35
Organisatorische Einheiten	S. 38
Plasmastrahlungstechnik	S. 39
Plasmaprozesstechnik	S. 41
Plasmaoberflächentechnik	S. 43
Plasmadiagnostik	S. 45
Plasmamodellierung	S. 47
Verwaltung//Infrastruktur	S. 50
Anhang	S. 51
Kooperationen//Kontakte	S. 52
Publikationen	S. 53
Tagungsbeiträge	S. 56
Patente	S. 59
So finden Sie uns	S. 60

**Hinweis:**

*Direkte Industrieprojekte sowie Kooperationspartner aus der Industrie sind in diesem Jahresbericht aus Geheimhaltungsgründen i.a. nicht aufgeführt. Vorgestellt werden die grundfinanzierten Projekte sowie abgeschlossene Drittmittelprojekte.*

**Abkürzungen:**

*GP Grundfinanziertes Projekt  
DP Drittmittelfinanziertes Projekt  
MP Mischfinanziertes Projekt*

# Vorwort

Das INP ist eines der führenden europäischen Zentren auf dem Gebiet der angewandten Grundlagenforschung an Niedertemperaturplasmen und deren technologischer Anwendungen. Es hat den Auftrag, anwendungsorientierte Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Niedertemperaturplasmen durchzuführen und deren Anwendung zu fördern. Hierbei führt es sowohl frei gewählte, mit der Bundesrepublik Deutschland und dem Land Mecklenburg-Vorpommern abgestimmte Forschungs-vorhaben als auch Drittmittel- und Auftragsforschung durch. Außerdem fördert das INP die Aus- und Weiterbildung wissenschaftlicher und technischer Nachwuchskräfte auf dem Gebiet der Niedertemperatur-Plasmaphysik im Zusammenwirken mit wissenschaftlichen Hochschulen und der Industrie. Bedingt durch das wirtschaftliche und politische Umfeld erweitert sich der Auftrag des INP auf den Technologietransfer, auf die Unterstützung interdisziplinärer Forschungsarbeiten sowie auf einen erfolgreichen Transfer von Nachwuchskräften in die Industrie.

Zur Erfüllung dieses Auftrages werden sowohl grundlegende physikalische und physikochemische als auch ingenieurtechnische Fragestellungen erforscht. Das breite Feld der Forschung reicht von der Plasmaerzeugung über die Entwicklung und Optimierung von Plasmaprozessen bis hin zu konkreten Anwendungen, die bis zum Prototypen untersucht und entwickelt werden. Die Suche nach neuen Anwendungsfeldern und die Erarbeitung von Lösungsvorschlägen für aktuelle Problemstellungen werden von der Grundlagenforschung bis zum Prototypen begleitet. Einen übergreifenden Schwerpunkt bilden die Modellierung und Diagnostik physikalischer Prozesse, welche neben der wissenschaftlichen Vorlaufforschung auch als Dienstleistungen unter Nutzung modernster Diagnostiksysteme und als plasmatechnisches Consulting angeboten werden. Das INP kann auch in diesem Berichtszeitraum auf eine signifikante Zahl internationaler wissenschaftlicher Veröffentlichungen verweisen. Dies wird unterstützt durch die wachsende Anzahl an eingeladenen Vorträgen von Mitarbeitern im In- und Ausland. Durch Blockveranstaltungen zu Grundlagen und Anwendungen der Plasmatechnologie sowie begleitender Themen konnten eine adäquate Aus- und Weiterbildung des wissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Nachwuchses gesichert und die Verbindung zur Universität Greifswald gefestigt werden.

Die seit 2003 verfolgte Forschungsstrategie des INP zeigt in der Bearbeitung von programmatisch ausgerichteten Forschungsschwerpunkten bei konsequent projektorientiertem Forschungsmanagement signifikante Erfolge, welche durch die verstärkte Ausrichtung auf Anwendungsnähe und direkte Kooperationen mit der Industrie unterstützt werden. Es gelang, den Drittmittelanteil gegenüber dem Vorjahr um mehr als 600 Tsd. € auf insgesamt 2,9 Mio. € zu steigern. Der Anteil der bilateralen Industrieprojekte beträgt dabei rund 50%. Seit 2003 sind die Drittmittel aus bilateralen Industrieprojekten von 54 Tsd. € auf etwa 1,4 Mio. € gestiegen. Zusätzlich weisen die beiden ausgegründeten Firmen neoplas GmbH und neoplas control GmbH ein positives Betriebsergebnis auf. Die vollständige Wertschöpfungskette „Von der Idee bis zum Prototyp“, „Vom Prototyp zum Produkt“ und „Vom Produkt zum Markt“ konnte erstmalig an einer ausgewählten Thematik in Kooperation mit den ausgegründeten Firmen realisiert werden.



Prof. Dr. K.-D. Weltmann,  
Direktor des INP Greifswald

# Vorwort

Die weitere Profilierung des Institutes als wissenschaftliche Forschungseinrichtung mit überregionaler Ausstrahlung stellt einen Schwerpunkt zukünftiger Tätigkeit dar. Die seit 2004 etablierten fünf Forschungsschwerpunkte werden auch 2007 Bestand haben, jedoch einer Fokussierung und strategischen Neubewertung unterworfen, in deren Ergebnis ab 2008 eine Aktualisierung der Schwerpunkte und der unterstützenden Struktur erfolgen wird. Neben der Mitarbeit im SFB Transregio 24 „Grundlagen komplexer Plasmen“ mit drei Teilprojekten sind als wesentliche Ergebnisse aus den Forschungsschwerpunkten zu nennen:

## Forschungsschwerpunkt Plasmaquellen:

- Entwicklung modularer steuerbarer Quellen durch zielgerichtete Adaption von Mikroplasmen für unterschiedlichste Anwendungsbereiche,
- Demonstration quecksilberfreier HID- (High Intensity Discharge) Lampen auf Basis der Molekülstrahlung mit Effizienz und Leistung vergleichbar zu quecksilberhaltigen Lampen,
- Aufzeigen optimaler Betriebsweisen quecksilberfreier Fluoreszenzlampen auf Basis von Xenon-Resonanzstrahlung mit Hilfe experimentell verifizierter Modelle und
- Optimierung des gedimmten Betriebes von HID-Lampen durch Analyse radialer Entmischung und dynamischer Modenwechsel an Elektroden.

## Forschungsschwerpunkt Mikro- und nanodisperse Materialien:

- Aktivierung und Fixierung von edelmetallfreien Katalysatoren im Plasma und dadurch Steigerung der Leistungsfähigkeit von Brennstoffzellen um 100 %,
- Rundumbeschichtung von Pulvern bei Atmosphärendruck und
- erstmalige experimentelle Bestimmung der ortsaufgelösten elektrischen Feldstärke in der Plasmarandschicht vor kompakten Oberflächen unter Verwendung von Mikroteilchen als elektrostatische Sonden.

## Forschungsschwerpunkt Umweltrelevante Plasmaprozesse:

- Katalytischer Abbau flüchtiger organischer Verbindungen durch nichtthermische Plasmaprozesse,
- hochempfindliche und hochzeitaufgelöste IR-Absorptionsspektroskopie mittels Quantenkaskadenlasern sowie
- Entwicklung eines Umluftreinigungssystems und Nachweis einer hohen Keimminderung.

## Forschungsschwerpunkt Funktionelle Oberflächen:

- Plasmagestützte Erzeugung aminofunktionalisierter ( $-\text{NH}_2$ ) Oberflächen mit anerkannt herausragenden Qualitäten für die Zellkultur,
- erstmalige Demonstration der universellen Brauchbarkeit plasmachemischer Mikrostrukturierungen zur Anregung mikrostrukturierten Wachstums von biologischen Zellen auf Polymeroberflächen und
- Abscheidung von Funktions- und Barrièreschichten auf bisher nicht beschichtbaren Mikrostrukturen mit komplexen dreidimensionalen Geometrien.

## Forschungsschwerpunkt Neue Arbeitsgebiete:

- Hochgenaue spektroskopische Temperaturbestimmung an  $\text{SF}_6$ -Schaltlichtbögen,
- Etablierung des neuen Arbeitsgebietes Simulation und Modellierung von Schaltplasmen,
- 3D-Simulation von bewegten Bögen in schaltotypischen Applikationen,
- Realisierung von zwei Ausgründungen (Technologietransfer),
- Kompetenzausbau in biomedizintechnischen Anwendungen (Biomaterialmodifizierung, Plasmasterilisation)
- Vorbereitungen zum Aufbau eines Zentrums für Innovationskompetenz (ZIK).

## Unser Wissen ist Ihr Erfolg.

Wir bringen die Plasmatechnologie auf den neuesten Stand. Unsere Forschung erschließt unseren Kunden neue Marktpotenziale und macht sie fit für die Zukunft. Einzigartig sind unser internes Kompetenznetzwerk aus erfahrenen Mitarbeitern und die moderne technische Ausrüstung des Instituts. So bieten wir Ihnen ein komplettes Service-Paket von der Problemdefinition bis zum Prototyp.

Wir haben Experten für die zukunftsweisenden Plasmatechnologien: Neue Materialien, Funktionelle Oberflächen, Biomedizintechnik, Umwelttechnologie, Plasma- und Lichtquellen. Unsere Beziehungen zu Kunden und Kooperationspartnern sind stets auf beiderseitig nachhaltigen Nutzen ausgerichtet. Wir sind erst zufrieden, wenn Ihr Problem gelöst ist oder Ihre Idee Wirklichkeit wird.

## Gremien // Organisation

### **Mitgliederversammlung**

Vorsitzender: Prof. Dr. R. Winkler

### **Wissenschaftlicher Beirat**

Vorsitzender: Dr. U. Kogelschatz

### **Kuratorium**

Vorsitzender: MinR Dr. Frank Schlie-Roosen

### **Vorstand Direktor**

Prof. Dr. K.-D. Weltmann  
Stv.: Dr. A. Ohl

### **Verwaltung/Infrastruktur**

Dipl.-Ing. D. Schlott

### **Plasmastrahlungstechnik**

Dr. E. Kindel

### **Plasmaprozesstechnik**

Dr. V. Brüser

### **Plasmaoberflächentechnik**

Dr. K. Schröder

### **Plasmadiagnostik**

Dr. J. Ehlbeck

### **Plasmamodellierung**

PD Dr. D. Loffhagen

# Highlights 2006

## 3. Mikroplasma-Workshop gibt innovativer Technologie neue Impulse

Mehr als 150 Teilnehmer aus 25 Ländern, ein hochkarätiges wissenschaftliches Programm und großes Interesse aus der Industrie: So bilanzierten die Organisatoren den dritten Internationalen Mikroplasma-Workshop, der im Mai 2006 unter maßgeblicher Beteiligung des INP in Greifswald organisiert wurde.

Mikroplasmen sind Plasmen mit extrem kleiner Ausdehnung und deshalb besonderen Eigenschaften. Die Vorteile dieser innovativen Plasmaquellen liegen darin, dass sie sehr flexibel und exakt steuerbar sind und bei Atmosphärendruck betrieben werden. Inhaltliche Schwerpunkte des Workshops waren Anwendungen von Mikroplasmen in der Biomedizin-technik und in den Bereichen Umwelttechnologie, Chemie und Oberflächenbehandlung, aber auch Fragen der Grundlagenforschung. Überrascht waren die Organisatoren des Workshops von der großen Nachfrage. Die Teilnehmerzahl hatte sich im Vergleich zum letzten Workshop verdoppelt. Das deutet darauf hin, dass Mikroplasmen ein hohes Innovationspotenzial haben. Aber auch dem Standort Greifswald als international renommierten Ort der Plasmaforschung ist dieser Besucherandrang geschuldet.



## Internationales Plasmatechnologie-Netzwerk BalticNet-PlasmaTec gründet Verein

Die Förderung der Plasmatechnologie im Ostseeraum hat sich ein Verein auf die Fahnen geschrieben, der im März 2006 in Greifswald gegründet wurde. Der Verein BalticNet-PlasmaTec e.V. vermittelt internationale Forschungs- und Entwicklungskooperationen, entwickelt Bildungsangebote und unterstützt seine Mitglieder durch professionelles Marketing und Projektmanagement.

Der Verein hat 10 Gründungsmitglieder, darunter Unternehmen von Hamburg bis Koszalin. Vorsitzender des Verein wurde Prof. Klaus-Dieter Weltmann, Direktor des INP Greifswald, weitere Vorstandsmitglieder sind Dr. Marcin Holub (Universität Szczecin), Dr. Jan Staskiewicz (Firma VTT Sp. Z oo Techniki i Technologie Próżniowe, Koszalin) und Mario Kokowsky (Technologiezentrum Vorpommern, TZV Greifswald).

Seit fast einem Jahr existierte das BalticNet-PlasmaTec bereits als Netzwerk aus Universitäten, Forschungseinrichtungen und Firmen aus Deutschland und Polen. Gefördert mit EU- und Landesmitteln brachten die Initiatoren in dieser Zeit mehrere Projekte auf den Weg. So arbeiten z.B. ein deutscher und ein polnischer Partner gemeinsam an der Optimierung von Plasmaquellen für die Umwelttechnik.

Die Vereinsgründung sichert nun die für ein weiteres Wachstum notwendigen Strukturen. Jetzt kann der Kreis der Kooperationspartner vergrößert und es können verbindliche Entscheidungen gefällt werden. Der Verein BalticNet-PlasmaTec e.V. war auf einigen Messen vertreten, z.B. der ACHEMA in Frankfurt, und präsentierte dort Produkte und Forschungsergebnisse seiner Mitglieder. Gleichzeitig startete er eine Image-Kampagne für die Plasmatechnologie.

Bisher haben vor allem kleine und mittlere Unternehmen sowie Forschungsinstitutionen aus Polen und Norddeutschland ihren Wunsch nach Mitarbeit beim BalticNet-PlasmaTec e.V. bekundet. Die Zukunftsvision des Vereins ist ein starker Interessenverband für die Plasmatechnik im gesamten nordeuropäischen Raum.



## Highlights 2006

### Institut für Niedertemperatur - Plasmaphysik e.V. gewinnt Preise beim Ideenwettbewerb "venturesail 2006"

Auch 2006 endete der Landeswettbewerb „venturesail“ zur Förderung von technologieorientierten Ausgründungen aus Universitäten und Forschungseinrichtungen des Landes wieder erfolgreich für das INP. „PLexc“ und „Plasmaclean“ konnten die Fachjury überzeugen und wurden mit dem 3. bzw. 5. Platz belohnt.

PLexc - der Plasmapinsel - ist ein Gerätesystem mit vielen Anwendungsmöglichkeiten. Im Industrieunternehmen wie im Handwerk soll Plasma mit seiner Hilfe zu einem universellen High-Tech-Handwerkzeug in der Oberflächenbehandlung werden. Die hochaktiven Teilchen des Plasmas wirken auf Oberflächen in der Reinigung, Entkeimung, Schutzschicht-aufträgen sowie auf funktionellen Farbschichten.

Hinter Plasmaclean - einem Plasma-Luftfiltersystem - steht eine effektive und kostengünstige Abluftbehandlung bzw. Abluftreinigung. Das System ermöglicht eine erhebliche Verbesserung der Raumluftqualität durch die Entfernung bzw. Vernichtung von Gerüchen, Rauch, Schadstoffen und Keimen aller Art.

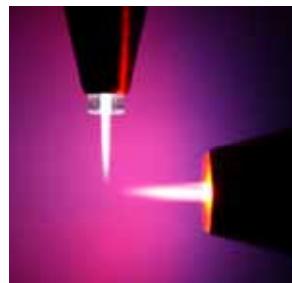
Das Frankfurter Unternehmen airtec consult GmbH entwickelte daraus bereits die marktreife Luftfilter-Technologie plasmaNorm, die auf vom INP entwickelter Plasma-Technologie basiert. Die Preisgelder in Höhe von 50.000 Euro und 20.000 Euro sollen für die Gründungsvorbereitung eingesetzt werden.



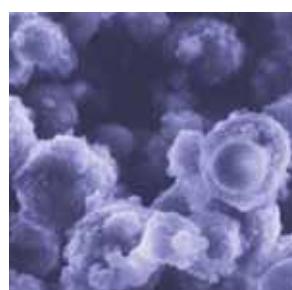
### Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bewilligt erste Finanzierung für ein Zentrum für Innovationskompetenz „Plasma plus Bio/Med“

Unter den zwölf Initiativen zum Aufbau von Zentren für Innovationskompetenz in den Neuen Bundesländern, die das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung im November 2006 zur weiteren Förderung auswählte, ist auch eine des INP. Damit stellt das Forschungsministerium für das Jahr 2007 250.000 Euro für die detaillierte Ausarbeitung eines Konzepts plus Geld für Training durch eine Unternehmensberatung zur Verfügung. Eine internationale Jury wird Anfang 2008 die letzte Entscheidung über den Aufbau des Zentrums treffen, in dem zwei interdisziplinäre Nachwuchsforschergruppen mit bis zu zwölf Wissenschaftlern an innovativen Themen des Einsatzes von Plasmen in der Medizin forschen sollen. Neben dem INP werden Mediziner und Pharmazeuten der Universität Greifswald dieses Zentrum unterstützen. Themen sind beispielsweise die Reduzierung von Keimen, die Sterilisation und die Beschichtung von Materialien für eine bessere Bioverträglichkeit. Nach fünf Jahren soll sich das Zentrum für Innovationskompetenz selbst tragen.





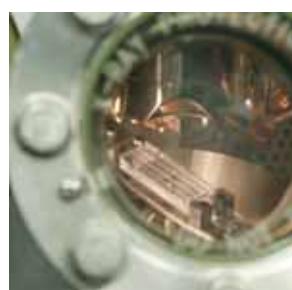
Plasmaquellen



Mikro- und Nanodisperse Materialien



Funktionelle Oberflächen



Neue Arbeitsgebiete



Umweltrelevante Plasmaprozesse



## Projekte // Übersicht

- **HID-Lampen (GP)**
- Kaltstartuntersuchungen an Leuchtstofflampen mittels laserinduzierter Fluoreszenz (MP)
- Verbundprojekt „Neue elektronische Betriebsweisen von HID-Lampen“ (DP)
- Einsatz quecksilberfreier Hochspannungsleuchtröhren (DP)
- Grundlegende Untersuchungen zur Radikalengeneration in technischen Plasmen bei erhöhtem Druck (DP)
- **Quellenentwicklung (GP)**



## Vorbemerkungen

In diesem Schwerpunkt werden *Plasmaquellen* für die Erzeugung von Plasmastrahlung (Beleuchtung und Spezialanwendungen) und für die Bearbeitung von Oberflächen entwickelt und optimiert. Es wird an Plasmaquellen in allen Druckbereichen geforscht.

Plasmalampen werden vor allem hinsichtlich ihrer Gebrauchseigenschaften und ihrer Umweltfreundlichkeit betrachtet. So soll das umweltschädigende Quecksilber ersetzt werden, worunter andere Eigenschaften der Lampe, wie die Lebensdauer oder die Effizienz, nicht leiden dürfen. Hier spielen Vorgänge an den Elektroden eine entscheidende Rolle, weshalb das Augenmerk der Untersuchungen verstärkt auf das Verständnis der Elektrodenprozesse gerichtet wurde. Mehrere Projekte widmeten sich im letzten Jahr dieser Frage unter verschiedenen Perspektiven, z. B. für die Optimierung quecksilberfreier HID-Lampen. Außerdem müssen mit zunehmend komplizierteren Füllungen die bisher verwendeten Diagnostikmethoden angepasst und getestet werden, um gesicherte Aussagen über den Plasmazustand zu erhalten. Hervorzuheben ist die enge Zusammenarbeit zwischen Experiment und Modellierung. Mit den Experimenten gut übereinstimmende Simulationen ermöglichen schnellere und kostengünstige technologische Fortschritte.

Anisotherme Plasmen bei Normaldruck werden in vielen Gebieten angewendet, z. B. in der Medizin, Pharmazie, Mikrobiologie und Oberflächentechnologie. Aufgrund des hohen Gasdruckes sind solche Entladungen stark räumlich kontrahiert und somit nur in kleinen Entladungsvolumina stabil. Gegenstand der Untersuchungen war in diesem Bereich die Optimierung der plasmaphysikalischen Bedingungen in engen Entladungskanälen.

## Anwendungspotenzial

### Hochdrucklampen

- für die Allgemeinbeleuchtung
- für Fahrzeugscheinwerfer
- für bildgebende Verfahren

### Niederdrucklampen

- für die Allgemeinbeleuchtung
- als UV/VUV-Strahlungsquellen
- für die Lichtwerbung

### Spezial-Plasmaquellen

- für Desinfektion, Sterilisation, auch für hitzeempfindliche Materialien
- für die Oberflächenmodifizierung

## HID-Lampen (GP)

### Problem

HID-Lampen besitzen herausragende Eigenschaften wie eine hohe Lichtausbeute und Lebensdauer, haben aber auch aufgrund von z.B. fehlender Dimmbarkeit und langsamen Anlaufverhaltens eine eingeschränkte Verbreitung in der Allgemeinbeleuchtung. Außerdem ist das Grundlagenwissen über HID-Lampen unvollständig.

### Lösungsansatz

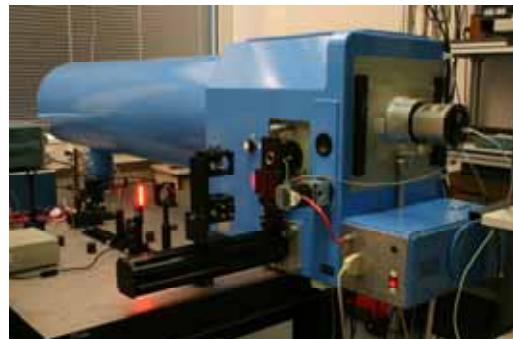
In HID-Lampen tragen Viellinien- und Molekülstrahler zu einem wesentlichen Teil zur genutzten Abstrahlung bei. Erst deren Kenntnis gestattet eine Detailanalyse der Plasmaprozesse und eine Optimierung der Betriebsweisen. Mit zunehmend komplexen Füllungen müssen die bisher verwendeten Diagnostikmethoden in einer Kombination von Experiment und Modellierung angepasst und getestet werden.

### Technologischer Nutzen

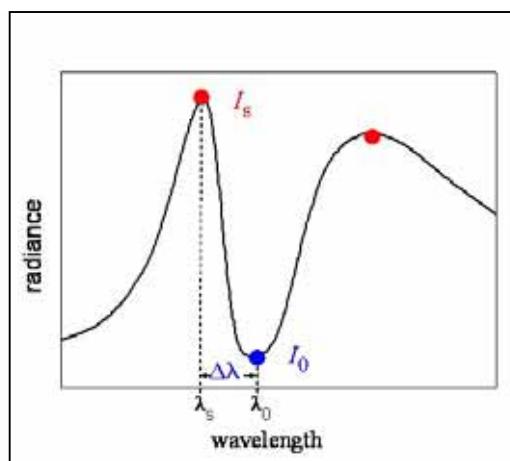
Eine effizientere Abstrahlung aus HID-Lampen kann durch eine Optimierung der Füllsubstanzen und der Betriebsweise erreicht werden. Moderne Lampenentwicklungen basieren auf verbesserten Modellierungen und Diagnostikmethoden.

### Ergebnisse 2006

Die Diagnostik von HID-Lampen konnte ausgebaut werden. Anhand von Modellrechnungen und Experimenten konnten die Möglichkeiten und Grenzen der 1-Parameter-Approximation nach Karabourniotis und der Bartels-Methode zur Bestimmung von Plasmatemperaturen aus optisch dicken Spektrallinien anhand von Hg- und Tl-Spektrallinien gezeigt werden. Beide Methoden lassen sich gut für Linien mit hoher Anregungsenergie verwenden. Für tief liegende Anregungsniveaus wird die Bartels-Methode empfohlen, die auch für Resonanzlinien verwendbar ist. Beide Methoden zeigen Abweichungen für kontrahierte Temperaturprofile.



2m-Spektrograf für hochauflösende optische Emissionsspektroskopie



Linienform einer selbstabsorbierten Spektrallinie

Der Messplatz mit 2m-Spektrograf wurde für den Einsatz von CCD-Kameras umgebaut und getestet.

Das Vorhaben zur Untersuchung der Molekülstrahlungsanteile aus HID-Lampen wurde begonnen.

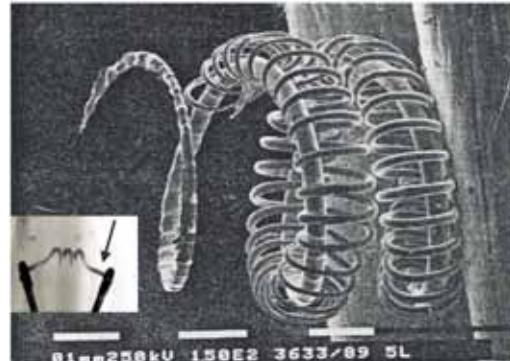
### Vorhaben 2007

Die 2006 angelaufenen Arbeiten zur Molekülstrahlung für ausgewählte Füllungen in HID-Lampen werden fortgesetzt. Die theoretischen Grundlagen zur Temperaturbestimmung aus selbstumgekehrten Linien werden erweitert und im Experiment überprüft.

## Kaltstartuntersuchungen an Leuchtstofflampen mittels laserinduzierter Fluoreszenz (MP)

### Problem

Leuchtstofflampen, die ohne eine kurzzeitige Vorheizung der Elektrodenwendeln gezündet werden (Kaltstart), weisen eine vielfach kürzere Schaltlebensdauer auf als vorgeheizt gezündete Leuchtstofflampen (Warmstart).



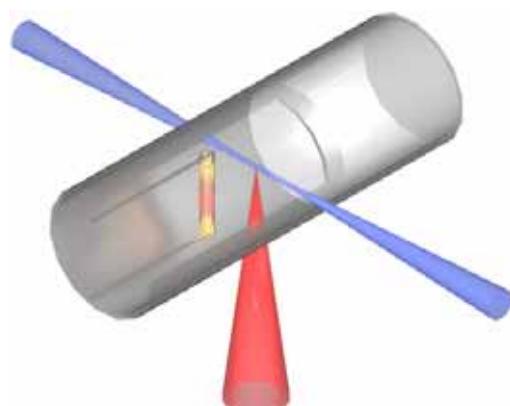
Mikroskopaufnahme einer zerstörten Wendel [1]

### Lösungsansatz

Die Dichte des während der Zündung der Lampe erodierten Elektrodenmaterials (Wolframwendel) wird mit Hilfe einer empfindlichen Laserdiagnostik sowohl zeit- und ortsaufgelöst als auch absolut bestimmt.

### Technologischer Nutzen

Leuchtstofflampen decken den wesentlichen Teil der Allgemeinbeleuchtung. Die Erhöhung der Lebensdauer verringert den für die Lampenproduktion erforderlichen Bedarf an Quecksilber und stellt somit eine ökologische Herausforderung dar.



Prinzipabbildung der laserinduzierten Fluoreszenz (blau: Laserstrahl, rot: Fluoreszenzstrahlung)

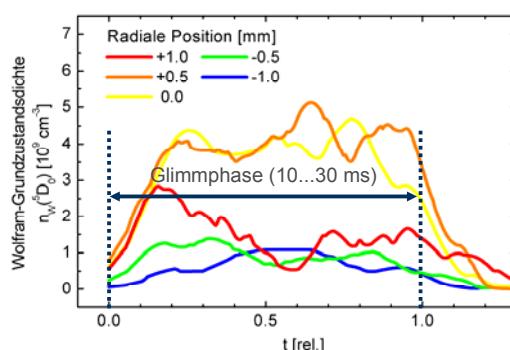
### Ergebnisse 2006

In der Leuchtstofflampe zündet zunächst eine Glimmentladung, charakterisiert durch einen hohen Katodenfall und dadurch bedingten Ionenbeschuss auf die Wendel. Nach einigen zehn Millisekunden, wenn die optimale Wendeltemperatur erreicht ist, geht die Lampe in die Bogenentladung mit niedrigem Katodenfall über.

Es konnte gezeigt werden, dass Wolfram maßgeblich in der Glimmphase erodiert wird und nicht, wie bisher angenommen, während des Übergangs zwischen der Glimm- und der Bogenentladung. Eine Verkürzung der Glimmphase sollte demnach die Menge des erodierten Wolframs verringern und die Schaltfestigkeit erhöhen.

### Vorhaben 2007

Das Projekt wurde 2006 erfolgreich beendet.



Wolframdichte am Brennfleck ca. 2 mm vor der Wendel.

[1] Haverlag et al.; J. Phys. D: Appl. Phys. 35 (2002)

## Quellenentwicklung (GP)

### Problem

Die erzeugte (V)UV-Strahlung im Afterglow von Plasmajets bei Atmosphärendruck wird wesentlich durch Precursor (metastabile Atome) und die Bauform der Quelle beeinflusst. Unter der Randbedingung der Erzeugung möglichst niedriger Gastemperaturen bei maximalen Strahlungsleistungen ist die optimale Gestaltung der Bauform problematisch.

### Lösungsansatz

Neben Untersuchungen zur (V)UV-Strahlung mittels optischer Emissionsspektroskopie (OES) standen die Messungen der spektralen Absorptionsprofile durch Laser-Atom- Absorptions-Spektroskopie (LAAS) im räumlichen Afterglow von HF-betriebenen Plasmajets im Vordergrund der Arbeiten im Jahre 2006. Weiterhin sollten die entwickelten Quellen auf ihre Eignung für unterschiedliche Oberflächenmodifikationen untersucht werden.

### Technologischer Nutzen

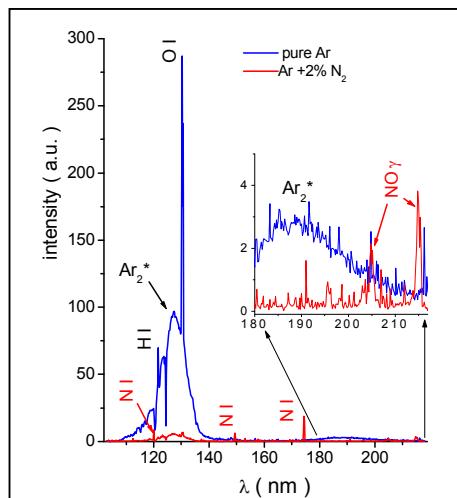
Es wird ein Beitrag zur Schaffung der physikalischen und technologischen Grundlagen für die Entwicklung kalter Plasmen zur Oberflächenmodifizierung von thermolabilen Materialien erwartet. Anisotherme Atmosphärendruck-Plasmaquellen können sehr effizient in der Medizin, Pharmazie, Mikrobiologie und Oberflächentechnologie eingesetzt werden.

### Ergebnisse 2006

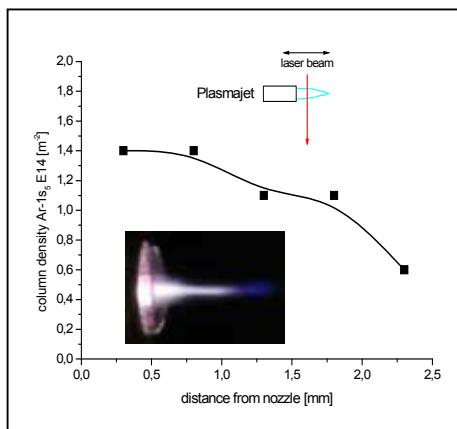
Der Messplatz zur Bestimmung von metastabilen Ar-Atomen wurde aufgebaut. Mittels axialer Messungen waren Dichten bis zu 2,5mm außerhalb der Kapillaröffnung nachweisbar. Mittels OES wurden insbesondere Spektren im VUV-Bereich zwischen 115nm bis 200nm in Abhängigkeit von Gasart/Gasmischungen, Gasdurchfluss und Leistung des Jets aufgenommen. Diese Messungen ermöglichen eine Identifizierung der im Afterglow erzeugten Spezies. Infolge der Weiterentwicklung der Plasmaquellen konnte ein Prototyp eines Plasma-Pens (INPLAT) konstruiert und gebaut werden.



Prototyp „INPLAT“ eines Plasma-Pens



VUV-Spektren in Ar und Ar+N<sub>2</sub>



Axiale Verteilung der metastabilen Argon-Atome von einem Ar-Jet in Luft für 5 slm

### Vorhaben 2007

Die schon 2006 begonnenen Arbeiten zur Diagnostik freier Radikale im Afterglow-Plasma werden weitergeführt. Des Weiteren werden Grundlagenuntersuchungen (OES, LAAS) zur aktiven Zone des Plasmajets aufgenommen.



## Projekte / Übersicht

- **Pulvermodifizierung**
- Plasmagestützte Katalysatorfixierung für Brennstoffzellen mit flüssigen Reaktanten (DP)
- NEMO Modifizierung von Oberflächen durch Plasmen (DP)
- $\text{TiO}_x$ -Partikel-Bildung auf Substraten (DP)
- Schweißhilfsstoffe (DP)
- Plasmafixierung von organischen oder metallorganischen Verbindungen
- Grenzflächenoptimierung in Kupfer-Kohlenstoff-Kompositen
- **Plasma-Teilchen-Wechselwirkung (GP)**
- Teilchen als Sonden (DP)
- Ionenstrahl-Neutralisation (DP)
- Optische Mikropartikel (DP)



## Vorbemerkungen

Die Oberflächenbehandlung von Pulvern, Fasern und Granulaten mit Hilfe von Niedertemperaturplasmen ist sowohl in wissenschaftlicher als auch technologischer Hinsicht eine besondere Herausforderung. Vor allem beim Übergang in den submikro- und nanoskaligen Bereich und den damit verbundenen großen spezifischen Oberflächen der Materialien sind auf der einen Seite Plasmaquellen mit speziellen Leistungsdichten oder Sputterraten und auf der anderen Seite bestimmte Fluidisierungs- und Transporttechniken erforderlich, um eine gleichmäßige Behandlung aller Partikel in vertretbaren Zeiträumen zu gewährleisten.

Durch Plasmaprozesse funktionalisierte und beschichtete nano- und mikrodisperse Pulver und Fasern werden häufig in Verbindung mit anderen Materialien zu Verbundwerkstoffen verarbeitet. Die modifizierten Oberflächen sorgen für eine optimale Anbindung der Teilchen an die jeweilige Matrix. So werden z.B. in Metall-Kohlenstoff-Kompositen erhöhte mechanische Festigkeiten bei reduziertem Gewicht oder bessere Wärmeleitfähigkeiten für Kühlkörper für die Leistungselektronik garantiert.

Die Plasmatechnik besitzt auch ein großes Potenzial bei der Erzeugung von Katalysatoren insbesondere für die Brennstoffzellentechnik. Der Ersatz von Edelmetallkatalysatoren vor allem auf der Kathodenseite der Brennstoffzellen durch wesentlich preiswertere metallorganische Komplexverbindungen eröffnet hier neue Einsatzbereiche. Durch grundlegende Untersuchungen auf dem Gebiet der Plasma-Teilchen-Wechselwirkung ist es möglich, Mikroteilchen in der Plasmarandschicht gezielt zu manipulieren und aus deren Verhalten Aussagen über die Eigenschaften des Plasmas zu gewinnen. Die Teilchen können so als elektrostatische Mikrosonden eingesetzt werden.

## Anwendungspotenzial

### Maßgeschneiderte Eigenschaften für Nano- und Mikroteilchen

- Additive für Farben / Toner
- Additive für Kosmetikprodukte
- für eine bessere Haftung in Kompositmaterialien
- für die Steuerung der Wirkstoffabgabe in Arzneimitteln

### Innovative Katalysatoren

- für Brennstoffzellen
- für die heterogene chemische Katalyse
- für die Abwasserreinigung

### Oberflächenveredelungen

- Korrosionsschutz (Leuchtstoffe)
- Rieselfähigkeit
- Steuerung der Benetzbarkeit

### Partikel als Diagnostiktools

- Manipulation
- Mikrosonden im Plasma (elektrisch, thermisch, chemisch)
- Optimierung von Plasmaquellen

## Pulvermodifizierung

### Problem

Das Potenzial nano- und mikrodisperser Materialien z.B. in Verbundwerkstoffen oder als Träger von Katalysatoren, Enzymen oder pharmazeutisch relevanter Wirkstoffe lässt sich in der Regel erst durch die gezielte Gestaltung der Oberflächeneigenschaften optimal ausnutzen.

Agglomeration und hohe spezifische Oberflächen der Pulver und Fasern vor allem im submikro- und nanoskaligen Bereich erschweren die homogene und vollständige Beschichtung im Plasma.

Die Plasmabehandlung von organischen oder metallorganischen Materialien (Katalysatoren und Wirkstoffe) führt zu einer Vielzahl neuer Verbindungen auf der Oberfläche, die sich aufgrund ihrer Vielzahl und geringer Konzentration schwer analysieren lassen, deren Funktionalität jedoch für die Anwendungen entscheidend sind.

### Lösungsansatz

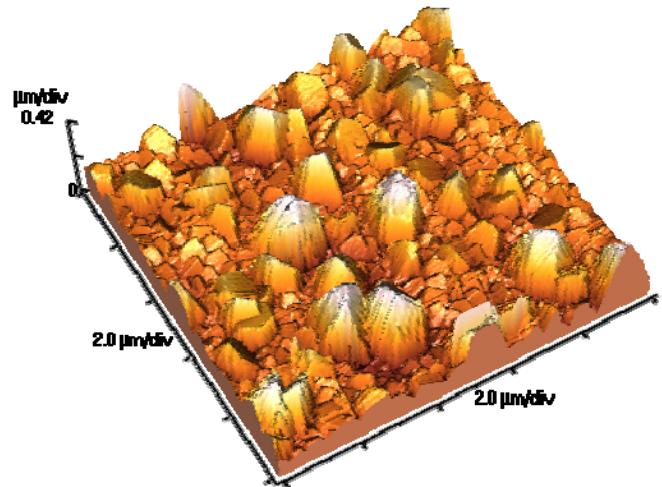
Für die Beschichtung von dispersen Materialien können Magnetron-Sputterquellen eingesetzt werden, die mit geeigneten Methoden der Fluidisierung kombiniert werden. Die Agglomeration und Aggregation der Teilchen kann durch mechanische Vorbehandlung verringert werden.

Anhand einer Modellsubstanz soll die Wirkung verschiedener Plasmaquellen untersucht werden. Für die Analyse der oberflächlich entstandenen Verbindungen können chromatografische Methoden herangezogen werden.

### Technologischer Nutzen

Verbundwerkstoffe werden z.B. zur Gewichtsreduzierung in beschleunigten Strukturen oder für die Wärmeabfuhr in der Leistungselektronik eingesetzt und führen daher u.a. zur Energieeinsparung.

Der Einbau von Wirkstoffen in plasmaerzeugte Implantatschichten führt zu besseren therapeutischen Ergebnissen.



### Ergebnisse

Für die homogene Beschichtung mittels Magnetronputtern wurde ein speziell geformter Probenhalter für die Fluidisierung von dispersen Materialien entwickelt.

Metallorganische Kobaltkatalysatoren wurden erfolgreich auf porösen Titansubstraten fixiert. Die katalytische Aktivität von Phtalocyanin konnte durch eine geeignete Plasmabehandlung deutlich erhöht werden.

Anhand von Koffein-Pulver konnten mittels High Performance Liquid Chromatographie (HPLC)-Diagnostik Einflüsse von verschiedenen Plasmaquellen gezeigt werden. Es entstanden mehr als 30 weitere Stoffe durch verschiedene Plasmabehandlungen.

### Vorhaben 2007

- Metallisierung von Nanopartikeln für Kompositwerkstoffe
- Optimierung von Katalysatoren für Brennstoffzellen
- Plasmatechnische Synthese von Katalysatoren auf Pulveroberflächen
- Untersuchung der Grenzschichten in Kohlenstoff-Kupferkompositen

## Plasmagestützte Katalysatorfixierung und Oberflächencharakterisierung für die Unterwasser-Brennstoffzelle (DP)

### Problem

In der Meerestechnik werden für Fahrzeuge oder Sonden im Unterwasserbereich langzeitstabile und wartungsarme Energieversorgungen benötigt. Bisher verwendete Akkumulatoren gewährleisten nicht die notwendige Langzeitstabilität.

In den für den Unterwassereinsatz favorisierten Flüssigkeitsbrennstoffzellen sind edelmetallhaltige Katalysatoren aus preislichen Gründen und wegen unzureichender Resistenz der verwendeten Oxidanz (wässrige  $H_2O_2$ -Lösung) gegenüber Edelmetallen nicht einsetzbar.

Die als Ersatz in Frage kommenden metallorganischen Katalysatoren verfügen über eine zu geringe katalytische Aktivität gegenüber der elektrochemischen Reduktion des  $H_2O_2$ .

### Lösungsansatz

Der Einsatz von flüssigen Reaktanten für Brennstoffzellen im Unterwasserbereich gestattet einen druckneutralen Betrieb aller Komponenten der Energieversorgung.

Mit Hilfe eines plasmachemischen Prozesses können metallorganische Katalysatoren auf dem Elektrodenmaterial Kohlenstoff fixiert und deren katalytische Aktivität erhöht werden.

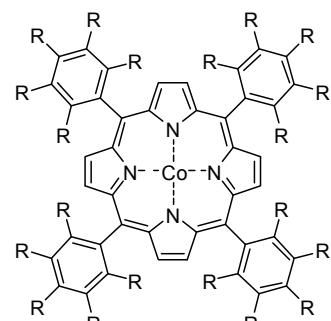
### Technologischer Nutzen

Energieversorgungssysteme mit Flüssigkeitsbrennstoffzellen sind zuverlässiger, sicherer, leichter und technisch einfacher als mit herkömmlichen  $H_2/O_2$ -PEM-Brennstoffzellen. Es ist aufgrund des druckneutralen Designs keine Druckkompensation bei Tiefseeapplikationen nötig.

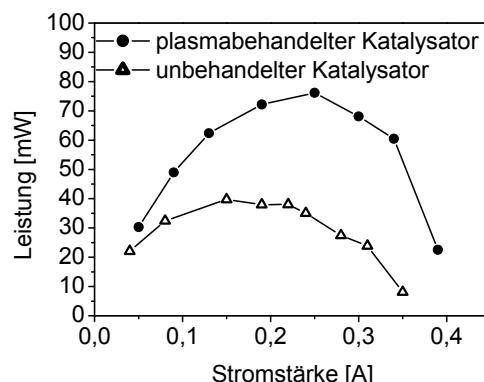
Plasmachemisch hergestellte Katalysatoren sind generell für heterogene Katalysen einsetzbar.



Wasserdicht vergossene Brennstoffzelle  
3-Zellen-Stack



Katalysator: Metall-Porphyrin-Komplex



Leistungskurven von  $HCOOH/H_2O_2$  PEM-Brennstoffzellen mit unbehandeltem und  $Ar/O_2$  plasmabehandeltem CoTMPP/C

### Ergebnisse

Es wurde ein Brennstoffzellensystem mit Ameisensäure als Brennstoff und Wasserstoffperoxid als Oxidanz für einen Druckbereich von 0 bis 6000 dbar und einem Temperaturbereich von 2 bis 70 °C entwickelt. Durch die plasmachemische Behandlung der metallorganischen Katalysatoren konnte eine Leistung von bis zu 75 mW/cm<sup>2</sup> erreicht werden. Die Leistungssteigerung gegenüber un behandelten Katalysatoren beträgt bis zu 100 %.

## Grundlegende Untersuchungen zur Fixierung von organischen oder metallorganischen Verbindungen auf Substraten (DP)

### Problem

Katalytisch aktive Verbindungen spielen bei chemischen und elektrochemischen Stoffumsätzen, z.B. bei Brennstoffzellen oder elektrochemischen Sensoren eine bedeutende Rolle. Für die heterogene Katalyse werden Katalysatoren häufig auf kompakten, porösen oder pulverförmigen Substraten aufgebracht. Hierbei ist für die Effizienz und die Stabilität der katalytisch aktiven Stoffumsätze die Haftfestigkeit des Katalysators auf dem jeweiligen Substrat von entscheidender Bedeutung.

Während der Plasmafixierung erfahren die Katalysatoren eine teilweise chemische und morphologische Veränderung, die sich auf den späteren katalytischen Umsatz empfindlich auswirkt. Über die komplexe Wirkungsweise der plasmachemischen Fixierung ist jedoch wenig bekannt, so dass die jeweiligen Prozessbedingungen empirisch in langen Versuchsreihen herausgefunden werden müssen.

### Lösungsansatz

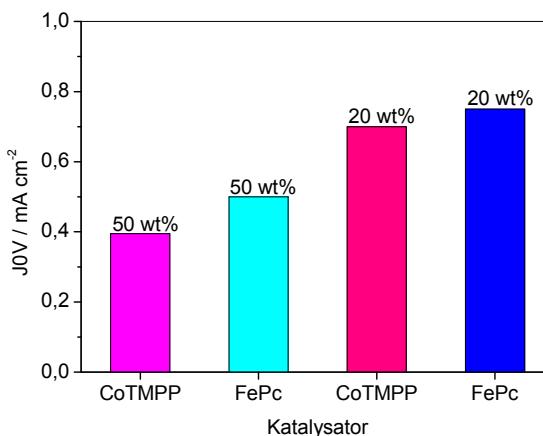
Die Fixierung organischer oder metallorganischer Verbindungen auf Kohlenstoffsubstraten findet in Reaktoren unter der Einwirkung von Niedertemperaturplasmen statt. Um die Mechanismen zu untersuchen, soll die Kohlenstoffoberfläche vor der Fixierung unterschiedlich vorbehandelt werden:

1. Aktivierung der Oberfläche in sauerstoff- und stickstoffhaltigen Plasmen und
2. Beschichtung der Substratoberfläche mit einer a-C:H Schicht.

Untersuchung der elektrochemischen und chemischen Eigenschaften mittels Cyclovoltammetrie, XPS und Ultraschallbelastungstests.

### Technologischer Nutzen

Anwendungsmöglichkeiten bestehen in der Brennstoffzellentechnologie sowie in der Sensortechnik.



Vergleich von plasmafixiertem CoTMPP und FePc auf einem pulverförmigen Kohlenstoffträger in verschiedenen Gewichtsverhältnissen (Katalysator gegenüber Kohlenstoff) mit einer a-C:H-Zwischenschicht

### Ergebnisse

Die Beschichtung der Substratoberfläche mit einer a-C:H Schicht verbessert die Haftung der Katalysatoren.

Es wurden zwei Katalysatoren plasmabehandelt und verglichen: plasmaaktiviertes Eisenphthalocyanin (FePc) zeigt im Vergleich zu Kobalttetramethoxyphenylporphyrin (CoTMPP-) eine doppelt so hohe Sauerstoffreduktionsstromdichte.

Die Plasmabehandlung der Katalysatoren bewirkt in der chemischen Elementzusammensetzung der Oberfläche hauptsächlich eine Erhöhung des Sauerstoffanteils.

## Plasma-Teilchen-Wechselwirkung (GP)

### Problem

Obwohl einige Aspekte der Wechselwirkung von Mikroteilchen mit dem umgebenden Plasma bekannt sind, fehlen gesicherte Kenntnisse über die Mechanismen zur Generierung der Teilchenladung im Zusammenhang mit dem resultierenden Kräftegleichgewicht in der Plasmarandschicht.

Generell ist es schwierig, die Randschicht, die bei allen plasmagestützten Oberflächenprozessen einen fundamentalen Einfluss ausübt, hinsichtlich Ladungsträgerdichte und Potenzialverlauf zu diagnostizieren.

### Lösungsansatz

In der Apparatur PULVA-INP sollen mittels umfangreicher Plasma- und Teilchendiagnostik sowie mit problemorientierter Modellierung Testpartikel als Mikrosonden in der Randschicht vor begrenzenden Oberflächen qualifiziert werden. Eine gezielte lokale Beeinflussung der Raumladungsschicht wird durch die externe Spannungssteuerung der adaptiven Elektrode realisiert. Die bildliche Auswertung der lasergestützten Partikelvisualisierung ermöglicht dabei die exakte Positionsbestimmung der Testteilchen, so dass deren dynamisches Verhalten bei gezielter Störung der Gleichgewichtsposition in der Randschicht analysiert werden kann.

### Technologischer Nutzen

Es werden die Grundlagen einer sicheren, zielorientierten Handhabung von mikrodispernen Teilchen im elektrischen Feld der Randschicht von technologisch relevanten Plasmen erarbeitet, die für die Oberflächenmodifizierung von Teilchen, deren Sortierung und Ablagerung im Reaktor von entscheidender Bedeutung sind.

### Ergebnisse

Am Reaktorsystem PULVA-INP wurde das elektrische Feld in der Randschicht über den Segmenten der adaptiven Elektrode mit Hilfe von Melaminharztestteilchen verschiedener Größe räumlich aufgelöst diagnostiziert. Die Grenzen der dabei ausgewerteten

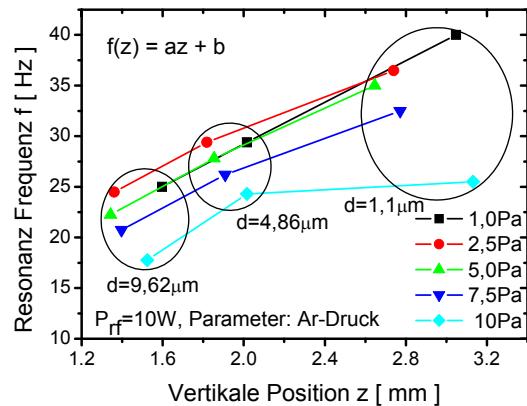


Fig. 1. Resonanzfrequenz von Melaminharztestteilchen verschiedener Größe

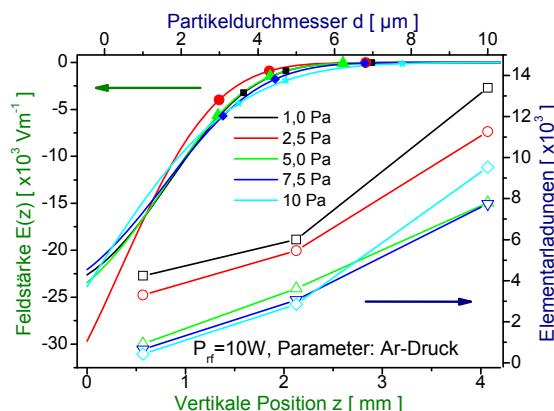


Fig. 2. Elektrische Feldstärke und korrespondierende Oberflächenladung der Melaminharztestteilchen

Parameterbereiche für den Entladungsdruck und die plasmaunabhängige Variation der Randschicht durch zusätzliche negative Biasspannung an der adaptiven Elektrode waren von der realisierten Teilchenaufladung vorgegeben. Die Modellierung des Plasmas der Raumladungsschicht unter Einbeziehung der gemessenen Parameter im Plasmabulk zur Bewertung der experimentellen Ergebnisse ist gegenwärtig in Arbeit.

### Vorhaben 2007

- Einsatz geeigneter Testteilchen zur Analyse der Energiebilanz an plasmakontakteierten Substratoberflächen
- Qualifizierung von geeigneten Testteilchen zu chemischen Mikrosonden
- Abschluss der Modellierung der Plasma-Teilchenwechselwirkung

## Plasmadiagnostik an Systemen zur Ionenstrahlnutralisation (DP)

### Problem

Beim Einsatz von Ionenquellen bei der Oberflächenbehandlung und als Antrieb in der Raumfahrt besteht in vielen Fällen die Notwendigkeit, den erzeugten Ionenstrahl zu neutralisieren. Dazu arbeitet der Projektpartner (Universität Gießen) an der Entwicklung eines insertfreien Plasmabrückenneutralisators mit kapazitiver HF-Einkopplung. Die Elektronen müssen mit niedriger Potentialdifferenz aus dem Plasma extrahiert werden. Der erforderliche Energieaufwand sowie die verbrauchte Gasmenge sollen dabei so gering wie möglich gehalten werden.

Die dazu notwendige Aufklärung der Entladungsmechanismen sowie die Bestimmung der Plasmaparameter und deren Einfluss auf die Elektronenausbeute sind wegen der für das HF-Plasma typischen großen Schwankungen im Plasmapotential und erzeugten starken Wechselfeldern mit den herkömmlichen Methoden nicht möglich.

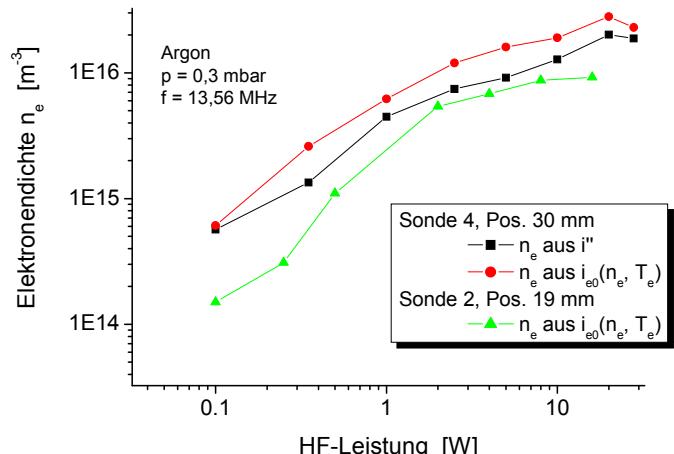
### Lösungsansatz

Die Plasmaparameter innerhalb des Neutralisators wurden mit Hilfe einer Langmuirsonde bei verschiedenen Prozessvarianten analysiert und ein Zusammenhang mit Energie- und Gasverbrauch hergestellt. Um die Plasmaparameter mit einer Langmuirsonde trotz der erwähnten Schwierigkeiten messen zu können, wurden verschiedene Maßnahmen vorgenommen:

- Platzierung der Sonde an Punkten, an denen sich aus Symmetriegründen die starken elektromagnetischen Wechselfelder gegenseitig aufheben,
- Schmalbandige passive Kompensation mittels HF-Drosseln, die im Entladungsraum in der Nähe der Sondenspitze plaziert waren,
- Durchführung mehrerer Vergleichsmessungen, bei denen die Geometrie und die elektrischen Kennwerte der HF-Drosseln sowie die Lage und Geometrie der Durchführungen variiert und optimiert wurden und
- Überarbeitung der Theorie und der Algorithmen der Kennlinienauswertung für HF-Plasmen.



Kompensierte Sonde ohne Schaft und Spitze



Elektronendichte in Abhängigkeit von der eingespeisten HF-Leistung

### Technologischer Nutzen

Für den insertfreien Plasmabrückenneutralisator besteht die Möglichkeit der Nutzung im Bereich der Materialbearbeitung. Dabei kann sogar Sauerstoff als Arbeitsgas eingesetzt werden.

Die im Projekt angewendete Methode der Langmuirsondenmessung gestattet die Charakterisierung von HF-Plasmen.

### Ergebnisse

Der Gasausnutzungsfaktor (extrahierte Elektronen pro eingesetztes Xenon-Atom) erreicht Werte zwischen 3 und 7. Der Gasbedarf hat ein unteres Limit von 0,05 mg/s zur Unterhaltung der Plasmabrücke. Der maximal extrahierbare Strom erreicht 200 mA bei einem totalen spezifischen Leistungsbedarf von 450 W/A. Die für dieses Projekt angestrebte Wasser- und Sauerstoffunempfindlichkeit ist erreicht, ebenso das instantane Starten.

Der Gasverbrauch ist vergleichbar mit herkömmlichen Plasmabrückenneutralisatoren. Für den Weltraumeinsatz des Neutralisators sind aufgrund des hohen Gewichts der Magnetfeldkonstruktion und des hohen spezifischen Energiebedarfs noch weitere Untersuchungen notwendig.



## Projekte / Übersicht

- **Abluftbehandlung (GP)**
- **Molekülkinetik (GP)**
- Steuerung von plasmagestützten Prozessen durch Einsatz von Infrarotlasern (DP)
- Kinetik transienter Moleküle in Plasmen (DP)
- QCL-Semi (DP)
- PLexc-plasmaangeregtes flexibles Oberflächenbehandlungssystem unter Atmosphärendruck mittels neuartiger modularer Mikrowellen-Plasmaquellen (DP)



## Vorbemerkungen

Der Schwerpunkt Umweltrelevante Plasma-prozesse befindet sich auf der Grundlage der im Jahre 2004 entwickelten Strategie weiter im Aufbau. Neben Projekten, die sich schon seit einem längeren Zeitraum der Weiterentwicklung und technischen Anwendung von Umwelttechnologien widmen, wurden neue aussichtsreiche Aspekte mit Grundlagencharakter in Projektform bearbeitet. Dabei wird der zielgerichtete Aufbau spezifischer wissenschaftlicher und technischer Kompetenz mit der Akquirierung von Drittmitteln verbunden.

Die Arbeiten im Forschungsschwerpunkt, die in bewährter internationaler Kooperation vor allem mit französischen, britischen und polnischen Kollegen stattfanden, führten zu Fortschritten bei der Aufklärung synergistischer Effekte von photostimulierten Katalysatoren und Niedertemperaturplasmen beim Abbau flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) und von Aerosolen und Bakterien. Methodisch-technische Entwicklungen wurden beim Einsatz von Quanten-Kaskaden-Lasern (QCL) erzielt. Hier konnten hohe Empfindlichkeiten und Zeitauflösungen erreicht werden, die einen neuen Zugang zu molekulkinetischen Phänomenen gestatten.

Im anwendungsnahen Bereich konnten Prototypen zur Abluftbehandlung, die neue Ansteuerkonzepte von dielektrisch behinderten Entladungen (DBE) verwenden, erfolgreich aufgebaut und die Vermarktung über Lizenzvergabe an die Industrie weitergeführt werden.

## Anwendungspotenzial

### **Umwelttechnologie**

- Dieselpartikelfilter
- Behandlung von Aerosolen und Gerüchen
- Abbau von flüchtigen organischen Substanzen (VOC)

### **Plasmachemische Prozesse**

- Hochempfindlicher Nachweis flüchtiger molekularer Spezies
- Kinetische Studien zu molekularen Reaktionen

### **Diagnostikanwendungen**

- Überwachung und Steuerung von Plasmaprozessen
- Erhöhung der Prozesseffektivität, Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit
- Optimierung von Oberflächenbehandlungen



## Abluftbehandlung (GP)

### Problem

Die Reinigung von aerosolhaltiger Abluft (z. B. aus dem Lebensmittelbearbeitungs-, Industrie-, Hygiene- oder Fahrzeugbereich) mit herkömmlichen Filtertechniken stößt an Grenzen, wenn gleichzeitig eine Belästigung durch Gerüche vorliegt. Zusätzliche Plasmapraktiken könnten hier nützlich sein. Dafür müssen die verwendeten Entladungssysteme zur Filtertechnik kompatibel sein. Das ist eine bisher nicht vollständig gelöste Problemstellung, zu deren Bearbeitung auch Kenntnisse über Abbaumechanismen fehlen.

### Lösungsansatz

Auf der Basis von DBE-Konfigurationen werden Module/Prototypen zur Plasmapraktik von Abluft entwickelt, wobei Modellaerosole eingesetzt werden. Außerdem wurden die Zersetzungssprodukte untersucht.

### Technologischer Nutzen

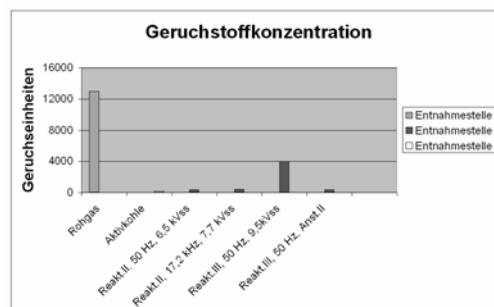
Ziel ist die Erschließung weiterer Anwendungsfelder im Bereich aerosolhaltiger und geruchsbeladener Abluft. Die praktische Umsetzung des Projektes ist ein Beitrag zur Minderung von Gesundheitsrisiken und zur Entlastung der Umwelt.

### Ergebnisse 2006

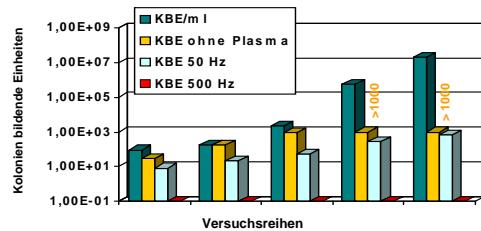
Die Untersuchungen zur Geruchsbeseitigung von aerosolhaltiger Küchenabluft wurden mit verschiedenen Behandlungssystemen weitergeführt und neue Ansteuerkonzepte wurden getestet. Neue mikrobielle Untersuchungen mit Aerosolen, die Coli-Bakterien enthalten, wiesen eine hohe Wirksamkeit des Reaktors auf die Bakterien nach. Bei einer Betriebsfrequenz von 500 Hz konnte eine vollständige Abtötung der Bakterien erreicht werden. Mit der TU Stettin wurden im Rahmen von BalticNet-PlasmaTec gemeinsame Untersuchungen zur NO<sub>x</sub>-Problematik begonnen. Insbesondere konnte die Abhängigkeit der Konzentrationen der NO<sub>x</sub>-Komponenten von der Art der Ansteuerung bestimmt werden.



Eine Industrieversion (airtec consult GmbH) des Plasmafilters mit INP-Technologie



Abbau von Geruchsstoffen mit verschiedenen Behandlungssystemen



Mikrobielle Untersuchungen an einem INP-Prototyp mit Coli-Bakterien in zerstäubten Flüssigaerosolen

Aus dem Entladungsbereich extrahierte Ionen spielen im Mechanismus des Plasmafilters eine wesentliche Rolle. Die Ströme positiver und negativer Ionen, ihre Spannungs- und Frequenzabhängigkeit wurden gemessen und die Wirkung der Ionen auf Modellaerosole wurde sichtbar gemacht.

### Vorhaben 2007

- Untersuchungen zur Wirksamkeit von Reaktorsystemen zur Keimreduzierung, zur Aerosolabscheidung und zum Abbau gasförmiger Komponenten. Einsatz gasförmiger Modellsubstanzen für Geruchsbeseitigungsverfahren. Untersuchungen zur Rolle der extrahierten Ionen im Plasmafilter
- Erschließung weiterer Einsatzfelder sowie Produktbegleitung zum Abluftbehandlungsverfahren (Skalierung, Beratung)
- Quellenentwicklung

## PLexc-plasmaangeregtes flexibles Oberflächenbehandlungssystem unter Atmosphärendruck mittels neuartiger modularer Mikrowellen-Plasmaquellen (DP)

### Problem

Von grundlegender Bedeutung für eine breite Anwendung der Plasmatechnologie unter Atmosphärendruck ist einerseits die praktische Einsatzfähigkeit von Atmosphärendruckplasmen für ein breites Anwendungsspektrum und andererseits die Bereitstellung von preiswerten, flexibel einsetzbaren Plasmaanlagen.

Die Vorteile von mikrowellenangeregten Plasmen können bisher, bedingt durch das Fehlen geeigneter kompakter und mobiler Plasmaquellen, nicht ausreichend in der Praxis angewendet werden.

### Lösungsansatz

Durch Gestaltung eines Basismoduls mit Plasmakopf und einer kompakten Versorgungseinheit, die über ein flexibles Leitungssystem mit dem Plasmakopf verbunden ist, wird der Grundstein für den Aufbau eines modularen Plasma-Gerätesystems gelegt. Verschiedenartige Zusatzmodule ermöglichen die Anwendung unterschiedlicher Plasmaprozesse, wie z.B. die Funktionalisierung, Aktivierung, Reinigung, Beschichtung und Sterilisation von Oberflächen.

Durch Einbindung verschiedener Diagnostikmethoden wird ein besseres Verständnis des Plasmas erreicht und damit die Plasmaquelle zu einer stabilen Arbeitsweise geführt.

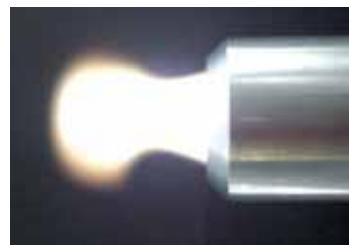
### Technologischer Nutzen

Der Aufbau eines modularen Plasma-Gerätesystems für Atmosphärendruckanwendungen ermöglicht durch sein günstiges Preis-Leistungsverhältnis und seine Vielseitigkeit vielen Anwendern erstmalig die Nutzung der Vorteile der Plasmatechnologie. Insbesondere die kompakte Bauweise, verbunden mit einer hohen Mobilität führt die Plasmaanwendung hin zum zu bearbeitenden Werkstück und nicht das Werkstück in die Plasmaanlage. Damit können auch an großen dreidimensionalen Bauteilen sowohl große Flächen als auch Teilflächen mittels Plasma behandelt werden.

Die einfache und sichere Handhabung der Plasmaquelle mit den charakteristischen Eigenschaften eines Mikrowellenplasmas, wie hohe Homogenität des Plasmas, steuerbarer Leistungseintrag bis zu 2 kW lassen eine breite Anwendung in verschiedenen Wirtschaftszweigen erwarten.



Plexc-Handgerät bestehend aus Plasmakopf, Verbindungskabel und Mikrowellenversorgung



Plexc Plasma



Plexc Plasma bei der Oberflächenbehandlung

### Ergebnisse 2006

Erstellung eines Basismoduls der Plasmaquelle.  
Charakterisierung von Plasmaeigenschaften  
Erfolgreiche Teilnahme am Ideenwettbewerb MV - Venturesail 2006 mit einem 3. Platz

### Vorhaben 2007

Weiterentwicklung des Systems mit ersten Anwendungsapplikationen

## Molekülkinetik (GP)

### Problem

Der Abbau von flüchtigen organischen Substanzen (Volatile Organic Compounds, VOC) unter Verwendung von plasmagestützten Prozessen ist im Rahmen der Umweltproblematik von großem Interesse. Die grundlegenden Vorgänge in z.B. nichtstationär angeregten Plasmen in Verbindung mit plasmastimulierten Katalysatoren sind jedoch größtenteils unverstanden und behindern vielfach eine Steigerung der Effizienz dieser Prozesse.

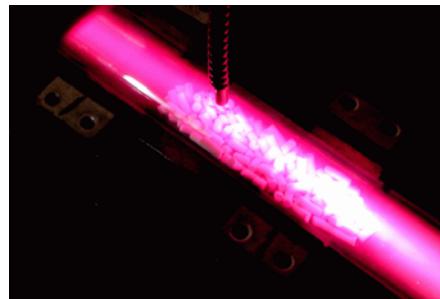
### Lösungsansatz

Um zu einem tieferen Verständnis plasmachemischer Prozesse zu gelangen, wird eine gepulste DC-Entladung mit  $C_2H_2$  als Modellsubstanz in Luft eingesetzt. Neben dem Katalysatormaterial spielt auch die Kinetik des  $N_2-O_2$ -Systems eine wichtige Rolle, die parallel in enger Kooperation mit der Ecole Polytechnique (Frankreich) untersucht wird. Das Verhalten der Reaktionsprodukte wird vorrangig mittels Infrarot-Absorptionsspektroskopie analysiert. Durch den Einsatz von Quanten-Kaskadenlasern (QCL) und deren Kombination mit optischen Resonatoren sind hochzeitaufgelöste und hochempfindliche Messungen innerhalb der Plasmapulse möglich. Alternativ zur Cavity-Ring-Down-Spektroskopie kam dabei erstmals die Cavity-Enhanced-Absorptions-Spektroskopie zum Einsatz.

### Technologischer Nutzen

Der Einsatz von Plasmaverfahren für den VOC-Abbau im Rahmen der Umweltvorsorge kann durch die Kombination von nichtstationären Plasmen mit Katalysatoren und der Überwachung der plasmakinetischen Umwandlung neue Impulse erhalten.

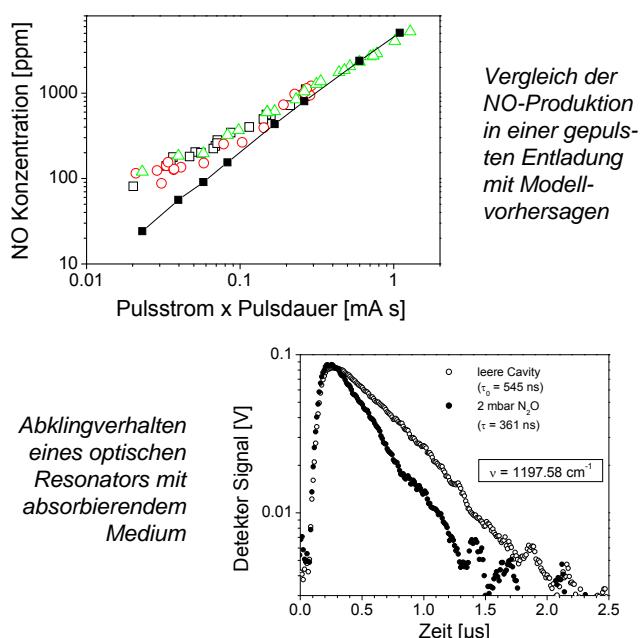
QCL als neue Klasse von Infrarot-Strahlungsquellen besitzen aufgrund ihrer Eigenschaften großes Potential zur Entwicklung industrietauglicher Mess- und Regelungstechnik. Bisher nicht erreichbare Zeitauflösungen bis zu Mikrosekunden, Empfindlichkeitssteigerungen durch Kombination mit optischen Resonatoren und Verkleinerung der Systeme sind möglich.



Gepulste DC-Entladung mit  $TiO_2$ -Pellets zum plasmakatalytischen  $C_2H_2$ -Abbau

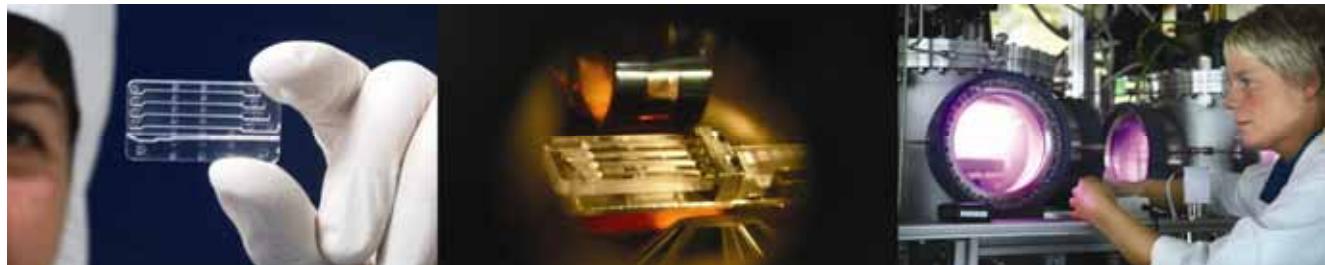
### Ergebnisse 2006

Durch den Einsatz verschiedener Katalysatormaterialien konnten Einflüsse der Porosität und photokatalytischer Effekte von reiner Plasmastimulation beim katalytischen  $C_2H_2$ -Abbau unterschieden und der Einfluss von Radikalen ( $O_3$ ,  $O$ ) nachgewiesen werden. Die Bildung von NO als unerwünschtes Nebenprodukt hängt vom Produkt aus Pulstrom und -dauer als Skalierungsparameter ab. Mittels QCL in Verbindung mit optischen Resonatoren wurden im mittleren Infrarot-Bereich bis zu 5-fach größere Absorptionslängen als mit herkömmlichen Methoden erzielt.



### Vorhaben 2007

- Aufbau einer Mikrowellenentladung zur Stoffumwandlung mit Katalysatoren
- Analyse und Optimierung plasmachemischer Reaktionspfade zum VOC-Abbau
- Hochempfindlicher Nachweis transienter Spezies mit Quanten-Kaskadenlasern und optischen Resonatoren
- Evaluierung des industriellen Anwendungspotentials



## Projekte / Übersicht

- **Biomedizintechnik (GP)**
- Bioaktive Titanoberflächen über morphologie-konforme chemische Funktionalisierung (DP)
- Neuartige plasmachemische Oberflächenfunktionalisierungen von Kunststoffträgern für die zellbasierte Analytik (DP)
- Grundlegende Untersuchungen von plasmatechnischen Prozessen für Diagnostikplattformen (DP)
- **Barriereschichten (GP)**
- Spaltgängigkeit bei der Plasmareinigung (DP)
- Handhabung flüssiger Precursoren in hochdichten Plasmen für neuartige Barriereschichten (DP)



## Vorbemerkungen

Prozesse zur Steuerung von Grenzflächeneigenschaften und zur Abscheidung funktioneller Schichten auf flächigen und komplexen dreidimensionalen Bauteilen und Substraten sind ein vielfältiges und gefragtes Anwendungsgebiet von Plasmen. Dies hängt mit prozesstechnischen Vorteilen von Plasmaverfahren zusammen, wie eine niedrige thermische Belastung der Bauteile, Umweltfreundlichkeit, gute Spaltgängigkeit sowie äußerst geringe Beeinflussung der Grundmaterialeigenschaften bei gleichzeitig guter Eignung zur Bearbeitung auch chemisch inerter Materialien. Gleichwohl steigen die Anforderungen an Plasmaverfahren hinsichtlich der Qualität der Ergebnisse und der Möglichkeit zur Einbindung in Prozessabläufe ständig.

Aktuell sind plasmagestützte Prozesse in innovativen Entwicklungen der Biomedizin- und Kunststofftechnik von großem Interesse. Im Forschungsschwerpunkt wurde dazu an Fragen der Erzeugung hochwertiger plasmachemischer Oberflächenfunktionalisierungen, der Einbindung von Plasmaprozessen in Prozessabläufe bei der Herstellung bioaktiver Beschichtungen auf Biomaterialien sowie zur Herstellung von speziellen Sperrsichten gearbeitet.

Fortschritte wurden bei der Funktionalisierung von Kunststoffoberflächen mit Niederdruck- und Normaldruckplasmen in mehreren chemisch reaktiven Gasen erzielt. Die Funktionalisierung von kleinen und tiefen Kavitäten gelang für komplex geformte Bauteile mit Detailstrukturgrößen im Millimeter- bis Mikrometerbereich. An einer homogenen Beschichtung von Mikrostrukturen wurde gearbeitet.

Die im INP verfügbare Auswahl von Plasmaprozessen zur Oberflächenmodifikation wurde erweitert. Das betraf Verfahren zur Steuerung der Adhäsion von Zellen oder Biomolekülen auf Biomaterialien, zur Steuerung der Adhäsion beim Fügen von Kompositmaterialien und zur Erzeugung von Sperrsichten zur selektiven Steuerung der Permeation unterschiedlicher chemischer Substanzen.

## Anwendungspotenzial

### Kontrollierte Oberflächenaktivierung durch plasmachemische Prozesse

- für unterschiedliche Materialien: Polymere, Metalle, Dielektrika (auch hitzeempfindliche Stoffe)
- Behandlung dreidimensional strukturierter Substrate, Folien oder Gewebe
- für hydrophile/hydrophobe Oberflächen
- Verbesserung der Haftfestigkeit in Komposit-Materialien
- Bedruckbarkeit chemisch inerter Materialien (Kunststoffe)

### Funktionelle Beschichtungen mit Plasma-CVD für

- Dampfsperren
- Kratzfestigkeit
- Steuerung der Gasdurchlässigkeit
- Korrosionsschutz
- Verschleißschutz

### Plasmagestützte Steigerung der Biokompatibilität

- für Zellkultursysteme, Biosensoren und Einwegartikel
- für Implantate

### Plasma-Cleaning

- ultrareine Oberflächen
- verbesserte Fügetechnologien (kleben, leimen, löten)
- kombinierbar mit Oberflächenaktivierung

## Biomedizintechnik (GP)

### Problem

Für hochwertige neue und weiterentwickelte Biomaterialien aus Kunststoffen werden Oberflächenfunktionalisierungen benötigt. Plasmagestützte Prozesse können hier sehr nützlich sein, da sie technologischen Prozessanforderungen gut entsprechen. Problematisch ist aber, dass eine Reihe grundlegender Fragen zur Abstimmung der Interaktion zwischen Biomaterialoberfläche und biologischem System noch offen sind, so dass zum Beispiel bisher zu wenige Ansätze existieren, Oberflächeneigenschaften auf die spezifischen Anforderungen bestimmter Zellarten abzustimmen.

### Lösungsansatz

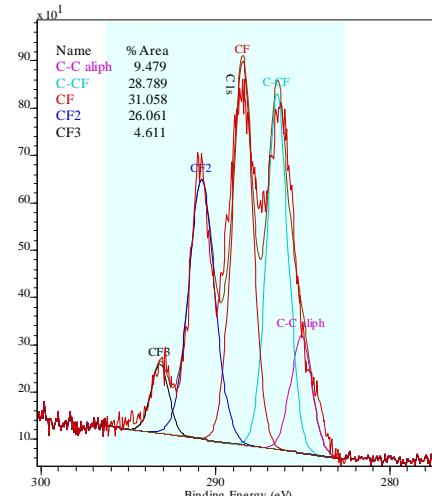
Mit hydrophoben Beschichtungen lässt sich die Adhäsion von Proteinen und damit von Zellen auf den Oberflächen artifizieller Materialien unterdrücken. Solche Schichten sollten wasserabstoßende chemischfunktionelle Gruppen wie längerkettige und zyklische Alkyle oder deren Fluorderivate und außerdem mikro- und nanostrukturierte Oberflächen aufweisen. Die Anwendbarkeit von Niederdruck-Mikrowellenplasmen zur Erzeugung solcher Schichten wird erforscht.

### Technologischer Nutzen

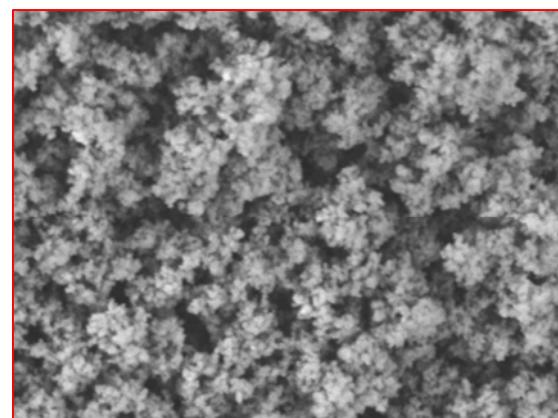
Gut definierte, plasmachemisch funktionalisierte Polymeroberflächen sollen als stabile und preiswerte Alternative zu aufwändigen biochemischen Beschichtungen entwickelt werden. Erkenntnisse zur Korrelation von physikalisch-chemischen Oberflächeneigenschaften und Zellverhalten können zur Erweiterung des Einsatzspektrums von funktionellen Gruppen gezielt erzeugenden Plasmaprozessen genutzt werden.

### Ergebnisse 2006

Bei der Plasmopolymerisation fluorierter Präkursoren wurden dünne Schichten erhalten, die ein F/C-Verhältnis von 0,8-1 aufwiesen. Es handelt sich also um polymerartige Beschichtungen, die sich klar vom üblichen kettenförmigen Polytetrafluorethylen unterscheiden. FTIR-Messungen ergaben eine sehr breite Bande im CF-typischen Bereich, d.h. Fluor ist an verschiedene organische Kohlenwasserstoffstrukturen gebunden. Das hochauflöste Spektrum von C1s ist gegenüber Tetrafluorethylen im Maximum verschoben und verbreitert.



Energetisch hochauflöstes XPS C 1s Spektrum einer plasmopolymerisierten Beschichtung aus einem perfluorierten Präkursor. Die dominierende CF-Verknüfung zeigt den deutlichen Unterschied zu Polytetrafluorethylen.



Auf unmodifiziertem Polystyrol adhärieren nur wenige Zellen

1 μm

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer plasmopolymerisierten Beschichtung aus einem perfluorierten Präkursor. Das Bild zeigt die homogen gewachsene Schicht mit ihren mikro- und nanostrukturellen Details („Blumenkohlstruktur“).

Der für Polytetrafluorethylen typische  $\text{CF}_2$ -Peak wurde in der Beschichtung mit nur 25% Anteil gefunden.

Diese Schichten sind so hydrophob, dass sich kein Wasserkontaktwinkel bestimmen lässt, da der Wassertropfen nicht auf der Oberfläche absetzbar ist. Das Wachstum unterschiedlicher adharent wachsender Zellen wird vermieden.

### Vorhaben 2007

- Stabilisierung der Verfahren zur Oberflächenfunktionalisierung
- Modifikationen für Anwendungsuntersuchungen in laufenden und geplanten Drittmittelprojekten

## Grundlegende Untersuchungen von plasmatechnischen Prozessen für Diagnostikplattformen (DP)

### Problem

Für die Erstellung von minaturisierten, polymeren 3D-Fluidikstrukturen für die Bioanalytik werden neuartige Anforderungen an Fügetechniken und Oberflächenmodifikationen gestellt. So müssen z.B. Mikrokavitäten und Mikrofluidikstrukturen bioverträglich funktionalisiert werden. Zusätzlich ist es erforderlich, Benetzungseigenschaften und Kapillarkräfte im Inneren so einzustellen, dass Befüllbarkeit und Fließfähigkeit für wässrige Medien gewährleistet sind. Fügeprozesse durch Kleben müssen so optimiert werden, dass hohe Haftfestigkeiten bei möglichst geringem Klebstoffeinsatz entstehen. Herkömmliche Methoden stoßen hier aus unterschiedlichen Gründen an ihre Grenzen.

### Lösungsansatz

Es werden mikrowellenangeregte Niederdruckplasmen zur Oberflächen-Biofunktionalisierung eingesetzt, die durch Maßnahmen der Prozesssteuerung, z.B. Pulsen und Remote-Betrieb, auf eine hohe Spaltgängigkeit bei gleichzeitig niedriger thermischer Substratbelastung abgestimmt werden.

### Technologischer Nutzen

Die mögliche Integration von Analysenfunktionen auf mikrostrukturierten, polymeren Bioanalytik-Chips eröffnet vollkommen neue Wege und Möglichkeiten der Diagnostik mit sehr kleinen Probenmengen (Nano- und Mikroliterbereich), kürzeren Trennzeiten, schnelleren Nachweisverfahren und hoher statistischer Sicherheit.

Bei einer Reihe von Technologieplattformen der Mikrostrukturtechnik, z.B. Pharmascreening bei neuartigen Therapiemitteln können auch außerhalb der Biomedizintechnik Produktuntersuchungen unterstützt werden, z.B. Mikrostrukturen für analytische Stofftrennprozesse und Mikroreaktionstechnik.

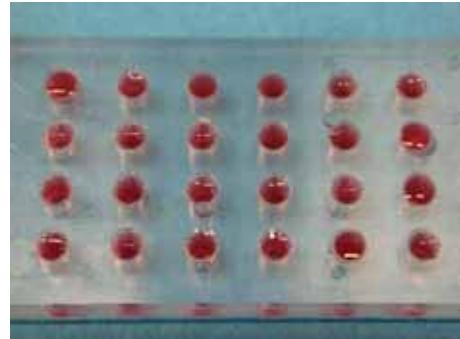


Abb.1: Gute Befüllbarkeit plasmabehandelter Mikrokavitäten in Kunststoffträgern (Testflüssigkeit-Befüllung).

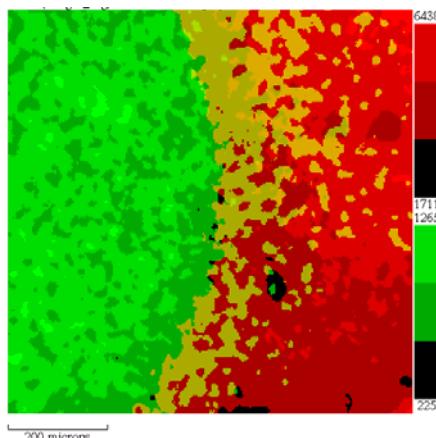


Abb.2: Überlagerungsimage von Stickstoff und Fluor der XPS-Analyse des Randbereiches einer lokalen plasmachemischen Funktionalisierung.

### Ergebnisse 2006

Es wurden Verfahrensschritte für die Erstellung mikrofluidischer Systeme erarbeitet. Dabei ist es gelungen, langzeitstabile plasmachemische Funktionalisierungen aufzufinden, die gleichzeitig und unkompliziert die Einstellung von Biokompatibilität und Fluidik gestatten. Durch den Plasmaeinsatz konnte die Präzision von Fügeprozessen erheblich verbessert werden. Am Beispiel eines Systems für die Miniaturisierung der Zellkulturtechnik wurde die Implementierung eines kompletten diagnostischen Verfahrens mit Aufgabe, Verarbeitung und Messung von Proben in einem sogenannten „Lab-on-a-Chip“ erprobt.

## Barrièreschichten (GP)

### Problem

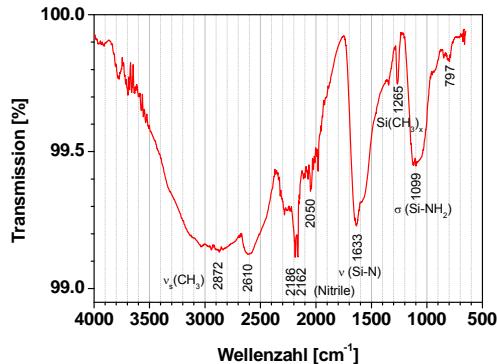
Prozesse zur plasmagestützten chemischen Dampfabscheidung (PECVD) kommen bei der Herstellung von Schichten mit unterschiedlichsten Eigenschaften zur Anwendung. Gut auf der Unterlage haftende Schichten lassen sich bei gleichzeitig geringer thermischer Belastung des Substrates abscheiden, wodurch das Verfahren insbesondere für temperaturempfindliche Materialien interessant wird. Durch Abstimmung von Gasmischung und physikalischen Abscheidungsparametern erhält man sehr dichte, geschlossene Schichten mit variabler chemischer Struktur, die u.a. eine Barrierefunktion gegenüber der Permeation unterschiedlichster Substanzen aufweisen. Während auf flächigen Substraten bereits hohe Sperrwirkungen erzielt werden konnten, stellt die konforme Abdeckung komplexer Strukturdetails, wie Gräben und Kanten nach wie vor eine große Herausforderung dar.

### Lösungsansatz

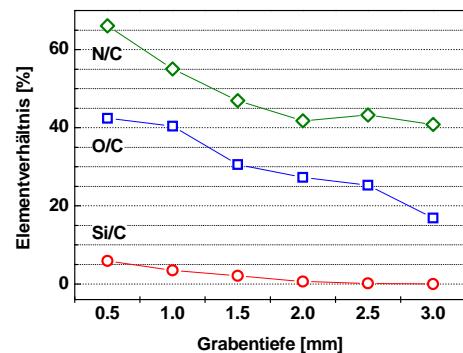
Die gute Sperrwirkung von Schichten unter Verwendung siliziumorganischer Ausgangsmoleküle ist bereits nachgewiesen worden. Vergleichende Untersuchungen zu konformen Beschichtungen werden innerhalb definierter Grabenstrukturen für unterschiedliche Verfahrenstechniken durchgeführt. Neben Entladungen im Druckbereich von 1-100 Pa werden bei höheren Drücken arbeitende, problemangepasste Entladungsgeometrien verwendet.

### Technologischer Nutzen

Barrièreschichten, auch Sperrsichten genannt, stellen eine große Klasse technischer Oberflächenbeschichtungen dar. Dabei geht es um unterschiedliche Anwendernutzen, zum Beispiel um Korrosionsschutz, Oxidationsschutz für Lebensmittel, selektive Wirkstofffreigabe, Stofftrennung und Ausschluss von Kontaminationen durch Verpackungsmaterialien. Entsprechend groß ist die geometrische Vielfalt der Bauteile und der erwartete Nutzen von technischen Lösungen zur Beschichtung komplexerer Geometrien.



FTIR-Spektrum einer mittels PE-CVD abgeschiedenen Schicht (Siliziumorganischer Precursor)



Elementzusammensetzung nach XPS-Analyse innerhalb eines Grabens mit Aspektverhältnis 6

### Ergebnisse 2006

In Downstream-Stickstoffplasmen (13.56 MHz) wurden mittels PECVD unter Zutropfung sauerstofffreier siliziumorganischer Verbindungen (wie z.B. Hexamethyldisilazan,  $(\text{CH}_3-\text{CH}_2)_3\text{-Si-NH-Si-(CH}_2-\text{CH}_3)_3$ ) Schichten hergestellt und die Verteilung der Schichtabscheidungsrate über dem Querschnitt der Substratoberfläche bestimmt. Nach Optimierung wurde für ebene Substrate eine konstante (+/- 15%) Schichtdicke über einen Bereich von 150 mm erreicht. Die Schichten zeigen sich im Elektronenmikroskop kompakt und weisen eine starke Vernetzung auf (IR-Spektrum, obere Abb.). Die Deposition von Schichten erfolgte auch in Grabenstrukturen mit variierendem Aspektverhältnis (AV). Dabei ergibt die XPS-Analyse bei AV = 6 eine weitgehend konstante chemische Schichtzusammensetzung (untere Abb.). In-situ XPS-Analysen bzw. Experimente mit Argon ergaben, dass der Sauerstoff in der Schicht erst nach Lagerung an der Luft eingebaut wird und dass der in der Schicht gebundene Stickstoff zu großen Teilen aus dem Trägergas stammt.

### Vorhaben 2007

- Untersuchungen zu konformen Deposition von Plasmapolymeren innerhalb von Strukturen
- Korrelation der Abscheidungsparameter mit Schichteigenschaften
- Schichtabscheidung mit Mikroplasmen innerhalb von 3D-Strukturen



## Projekte / Übersicht

- **Schaltlichtbögen (GP)**
- **Schweißlichtbögen (GP)**



## Vorbemerkungen

Der Forschungsschwerpunkt Neue Arbeitsgebiete dient der Auffindung neuer Themen, Arbeitsgebiete und Marktpotenziale für das INP. Weiterhin werden erfolgreiche Themen weiterentwickelt, um in andere Forschungsschwerpunkte einzufließen oder zukünftig einen eigenen Forschungsschwerpunkt zu bilden. Aufbauend auf vorhandener Kompetenz wird nach neuen Anwendungsfeldern gesucht, zugleich aber auch Know-how für die erfolgreiche Bearbeitung neuer Gebiete gewonnen. Zu neuen Themen werden Vorstudien angefertigt. Bei positiver Beurteilung münden diese in eigene Projekte. Kriterien hierfür sind neben der Marktfähigkeit der zu erwartenden Ergebnisse vor allem die Erfolgsaussichten bei der Einwerbung von Drittmitteln und die Identifizierung neuer Themen für die Vorlaufforschung. Auch die Konkurrenzsituation und die Bearbeitungskapazitäten im INP werden evaluiert.

Im Jahr 2006 erfolgten insbesondere Studien zu interdisziplinären Fragestellungen in der Verbindung von Plasmaphysik und Biologie sowie Medizin und Pharmazie. Arbeiten zur Plasmasterilisation wurden bezüglich ihrer technologischen Umsetzung untersucht und grundlegende Fragestellungen zur Wechselwirkung des Plasmas mit Zellen wurden in Angriff genommen. Als Ergebnis einer Studie zum Anwendungspotenzial von Mikroplasmen erfolgte der Start eines Projektes zur Untersuchung von grundlegenden physikalischen Eigenschaften einer ausgewählten Plasmaquelle. Mehrere Industriepartner konnten für Projekte neu gewonnen werden.

Neben der Erschließung neuer Themen, Arbeitsgebiete und Marktpotenziale für das INP zielt der Forschungsschwerpunkt Neue Arbeitsgebiete auf den Ausbau des Serviceangebotes für Industrikunden. Das Angebot umfasst derzeit Serviceleistungen aus den Bereichen Diagnostik, Modellierung und Oberflächenanalytik sowie Beratung und Marketing.

## Anwendungspotenzial

### Energie - und Elektrotechnik

- Nieder-, Mittel-, Hochspannungsschalter
- Generatorschalter
- Elektrische Isolation

### Schweißtechnik

- Prozessoptimierung
- Neue Materialien (Zusatzstoffe)

### Biomedizintechnik

- Entkeimung
- Beschichtung
- Bestrahlung

### Pharmazie

- Entkeimung



## Studien // Voruntersuchungen (GP)

### Problem

Forschungsergebnisse müssen auf Ihre Verwertbarkeit geprüft werden, Industriekunden sind gezielt zu akquirieren, die Vermarktung von Ergebnissen muss zielgerichtet erfolgen, neue Trends in Forschung und Entwicklung sind auf Bearbeitbarkeit durch das INP und wissenschaftliche sowie markttechnische Relevanz zu prüfen. Interdisziplinäre Fragestellungen müssen unter INP-Gesichtspunkten bewertet werden. Weiterhin muss der Transfer von Forschungsergebnissen für die industrielle Nutzung vorbereitet und durchgeführt werden.

### Lösungsansatz

Kurze, gezielte Studien zur Machbarkeit ausgewählter Fragestellungen, insbesondere zu Kundenproblemen, werden durchgeführt. Ergebnisse aus der Grundlagenforschung werden auf mögliche Anwendbarkeit getestet und gegebenenfalls zu einem neuen Projekt in die anderen Forschungsschwerpunkte überführt. Spezialisierte Literatur- und Patentrecherchen ermöglichen die frühzeitige Beurteilung von zukunftsträchtigen Fragestellungen sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus markttechnischer Sicht. Neue, insbesondere industrierelevante Themen können so identifiziert werden, ohne die laufenden Arbeiten in den weiteren Forschungsschwerpunkten massiv zu beeinflussen.

### Technologischer Nutzen

Ein rechtzeitiger Beginn von relevanten Arbeiten mit zu erwartendem hohen Kundennutzen kann besser sichergestellt werden. Die Machbarkeitsstudien gewährleisten eine Themenauswahl, die sowohl den Stand der Technik, die Marktsituation, die Konkurrenz, die Patentlage als auch das wissenschaftliche Potenzial berücksichtigt. Kostenreduktion und Vorbereitung der Einführung neuer Technologien im Bereich Elektrotechnik, Oberflächenmodifizierung und Bestrahlung standen im Berichtszeitraum im Fokus.

### Ergebnisse 2006

Als Ergebnis vorangegangener Projekte zur Modellierung von Schaltvorgängen in  $SF_6$  und im Vakuum konnten bilaterale Industrieprojekte erweitert und neue begonnen werden.

Weiterhin lag die Bildung von strategischen Partnerschaften mit der Industrie verstärkt im Fokus der Aktivitäten. Messeauftritte sowie die Aktivitäten im baltischen Raum (BalticNet-PlasmaTec) konnten im Berichtszeitraum intensiviert werden.

Erfolgreich wurden die Ausgründungen neoplas GmbH und neoplas control GmbH des INP im ersten Jahr ihres Bestehens begleitet (Studien, Businessplan, Management).

Die Suche nach verwertbaren Forschungsergebnissen, die in den Folgejahren zum Prototypenstatus entwickelt werden können, bezog sich auf die Anwendungen von Plasmafiltern und atmosphärischen Plasmen. Diese Projekte werden in 2007 fortgesetzt.

### Vorhaben 2007

- Ausgewählte Studien auf dem Gebiet Plasma plus Zelle
- Vorbereitung des Zentrums für Innovationskompetenz (ZIK)
- Transferprojekt Plasmajet
- Identifikation neuer Anwendungen für QMACS
- Potenzialuntersuchung existierender Themenstellungen bezüglich Intensivierung oder Abbruch der Aktivitäten (permanent)

## Simulation von Schaltlichtbögen (GP)

### Problem

Simulationen stellen unverzichtbare Hilfsmittel bei der kosteneffizienten Schalterentwicklung dar. Gegenwärtige Simulationen des Bogenplasmabereiches bzw. der thermischen und dielektrischen Wiederverfestigung in Schaltern können einige relevante Effekte nur unzureichend erfassen oder zeigen Abweichungen zu experimentellen Resultaten. Beispiele sind bewegte Lichtbögen oder Bogenplasmen mit Abweichungen vom thermischen Gleichgewicht.

### Lösungsansatz

Ökonomisch und wissenschaftlich attraktive Teilprobleme werden in enger Zusammenarbeit mit der Industrie identifiziert. Analysemethoden und Simulationsverfahren werden gezielt ausgebaut, wobei sowohl die Entwicklung eigener Modelle als auch die Adaption kommerzieller Verfahren vorangetrieben werden. Dies umfasst die Simulation technisch relevanter thermischer Plasmen sowie die Analyse von Strahlungstransportprozessen, die Bereitstellung von thermophysikalischen Daten und die theoretische Begleitung komplexer spektroskopischer Diagnostikaufgaben.

### Technologischer Nutzen

Qualifizierte Modelle und Simulationen können den Aufwand für Design und Entwicklung von Schaltanlagen oder auch anderen elektrotechnischen Komponenten entscheidend senken. Aufwändige Experimente können auf wenige Tests zur Validierung der Modelle reduziert werden. Die Bereitstellung effizienter und realitätsnaher Simulationen bedarf jedoch einer stetigen Weiterentwicklung vorhandener Verfahren und Modelle.

### Ergebnisse 2006

Die dreidimensionale MHD-Modellierung bewegter Bogenplasmen unter Nutzung kommerzieller CFD-Software wurde weiter ausgebaut. Im Vordergrund stand die Erarbeitung geeigneter Rand- und Anfangsbedingungen und die Ausweitung der Simulationen auf relevante Gase wie Luft und Schwefelhexafluorid. Die Abb. 1 demonstriert eine Bogensimulation in einer für Schaltgeräte typischen Laufschienenanordnung mit Löschblech.

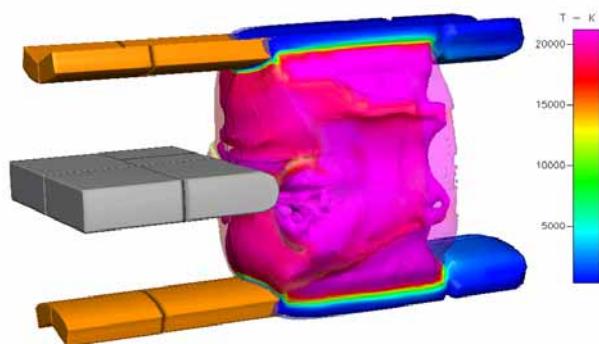


Abb. 1: Laufender Bogen zwischen Schienen im Eigenmagnetfeld: Temperaturverteilung auf Stromdichte-Isoflächen

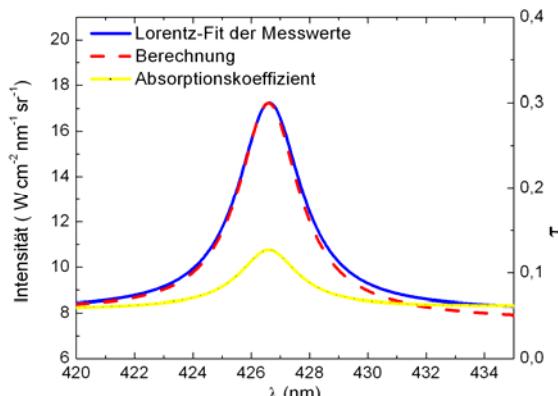
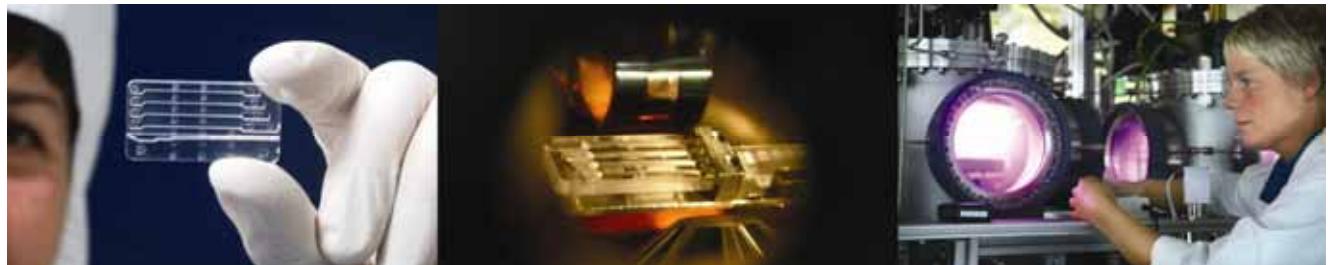


Abb. 2: Strahlungsintensität und Absorptionskoeffizient der Kohlenstoff-Ionenline bei 426 nm

Verfahren zur Berechnung von Gaszusammensetzungen und Strahlungskoeffizienten für Plasmen im thermischen Gleichgewicht wurden ausgebaut und auf schalterrelevante Gase angewendet. Methoden der Spektrensimulation wurden für begleitende Untersuchungen zur Diagnostik von Schaltlichtbögen eingesetzt. Parallel zur experimentellen Bestimmung von Temperaturprofilen in abbrandbestimmten Bögen wurden spektral aufgelöste Intensitätsmessungen durch Berechnungen validiert (siehe Abb. 2). Hierbei wurden Rückschlüsse auf die Starkverbreiterung und ihren Einfluss gezogen. Die Aktivitäten führten zur erfolgreichen Fortschreibungen laufender Projekte in 2007 sowie zu ersten Veröffentlichungen.

### Vorhaben 2007

- Grundlagenuntersuchungen zur Wechselwirkung bewegter Bögen mit elektromagnetischen Feldern
- Berechnung von Transportkoeffizienten für Gasgemische
- Untersuchungen zu Bogenplasmen unter Nichtgleichgewichtsbedingungen
- Ausbau der Kontakte zu Partnern in Industrie und Hochschule



### Einzelprojekte

(außerhalb der Forschungsschwerpunkte)

- **Kinetische Modellierung (GP)**
- Elektronenkühlung im verlöschenden Niederdruckplasma (DP)

## Kinetische Modellierung (GP)

### Problem

Für die Entwicklung und Optimierung von Plasmaquellen ist eine grundlegende physikalische Durchdringung der zeitlichen Dynamik, der räumlichen Strukturbildung und der Plasma-Oberflächen-Wechselwirkung von großer Bedeutung. Beim Einsatz von Prozessplasmen zur Oberflächenmodifikation spielen insbesondere die Elektronen und Ionen eine maßgebliche Rolle. Ihr kinetisches Verhalten in der Nähe der zu beschichtenden Oberfläche und im Plasma ist jedoch nur ungenügend verstanden.

### Lösungsansatz

Für die kinetische Beschreibung der Ladungsträger im Plasma gewinnen Teilchensimulationsverfahren durch die Verfügbarkeit immer leistungsfähigerer Rechen-technik zunehmend an Bedeutung. Zur Behandlung sowohl der Elektronen als auch der Ionen werden Monte-Carlo-Simulationen am INP etabliert. Diese Verfahren werden eingesetzt, um detaillierte Vorhersagen zum Verhalten der Ladungsträger in anisothermen Plasmen zu ermöglichen. Eine Einbeziehung dieser kinetischen Behandlung in selbst-konsistente Hybrid-Modelle wird angestrebt.

### Technologischer Nutzen

Untersuchungen zum Nichtgleichgewichtsverhalten der Ladungsträger in Gasentladungen ermöglichen u.a. ein tieferes Verständnis der Depositions- und Sputterprozesse an Oberflächen und unterstützen so die Entwicklung technologischer Plasmaquellen hinsichtlich optimaler Betriebsparameter.

### Ergebnisse 2006

Aufbauend auf den Erfahrungen zur kinetischen Behandlung der Elektronen wurde die Monte-Carlo-Simulationstechnik für positiv und negativ geladene Teilchen im Plasma etabliert. Als eine erste Anwendung erfolgten Untersuchungen zum Verhalten der Elektronen und positiven Ionen in einer anormalen Glimmentladung in Argon. Die bei Vorgabe des dargestellten elektrischen Feldes resultierende räumliche Änderung der mittleren Energie der Elektronen und Argonionen für ein Plasma bei einem Druck von 133 Pa und einer Entladungsspannung von 250 V ist in Abbildung 1 dargestellt. Die mittlere Energie

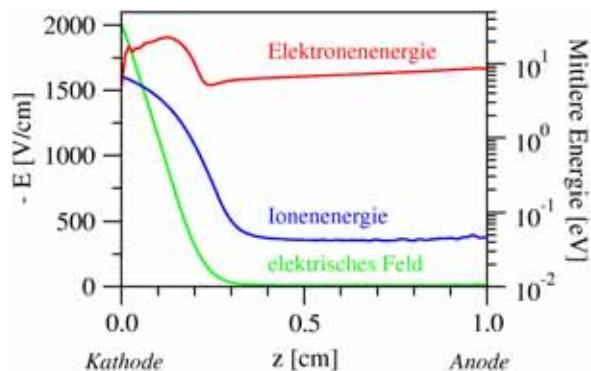


Abb. 1: Elektrisches Feld und mittlere Elektronen- und Ionenenergie im Argonplasma.

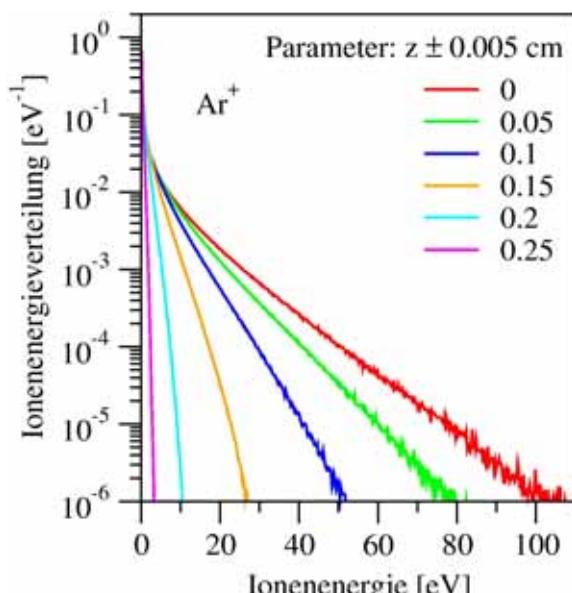


Abb. 2: Energieverteilung der Argonionen.

der Elektronen wächst bedingt durch die dominante Feldwirkung im Kathodenfallgebiet anfänglich an und fällt infolge der zunehmenden Energiedissipation durch Stöße wieder ab. Ihr leichter Anstieg im negativen Glimmlicht korreliert mit dem geringen Feldanstieg. Die mittlere Energie der Argonionen steigt durch ihre Beschleunigung durch das Feld zur Kathode hin kontinuierlich an, während sie im negativen Glimmlicht einen um etwa 20% größeren Wert als den des Argongases annimmt. Abbildung 2 zeigt die zugehörige energetische Verteilung der Ionen im Kathodenfallbereich. Der zunehmende Anteil an schnelleren Ionen bei Annäherung an die bei  $z=0$  gelegene Kathode ist offensichtlich.

### Vorhaben 2007

- Grundlagenuntersuchungen zur Ionenkinetik in reaktiven Plasmen
- Vergleich von Teilchensimulationen mit der Lösung kinetischer Gleichungen

## Elektronenkühlung im verlöschenden Niederdruckplasma (DP)

### Problem

Die Steuerung von Plasmaprozessen und Plasmaquellen über eine gepulste Anregung ist eine etablierte Technik. Für einen optimalen Einsatz und ein adäquates Design der Reaktoren und Verfahren sind Detailkenntnisse zum Plasmaverhalten notwendig. Zugeordnete Simulationen können Entwicklungsschritte nachhaltig unterstützen. In Niederdruckplasmen werden das zeitliche Verhalten und die Energieeffizienz maßgeblich durch die Aufheizung der Elektronenkomponente in der aktiven Entladungsphase und durch ihre Kühlung im verlöschenden Plasma (Afterglow) bestimmt. Die Wechselwirkung dieses Kühlungsprozesses mit der Raumladungshalterung und den Stoßen angeregter Spezies bei Drücken von einigen Pa sind bisher nicht im Detail verstanden und in Modellen umgesetzt.

### Lösungsansatz

Am Beispiel eines Argonplasmas zwischen planparallelen Platten wurden die Prozesse im verlöschenden Plasma nach induktiver Anregung im Druckbereich von einigen Pa bis zu einigen 100 Pa untersucht. Die Konfiguration orientiert sich an typischen Bedingungen in einem Radiofrequenzreaktor. Hierfür wurde ein Plasmamodell entwickelt, das die Beschreibung der zeit- und raumabhängigen Kinetik der Elektronen, der Raumladungshalterung und ein Stoß-Strahlungsmodell für Argon vereint. Das Modell wurde sowohl auf die aktive Phase des induktiv gekoppelten Plasmas als auch auf die Abklingphase adaptiert. Neuartige Verfahren für die Einbindung der Elektron-Elektron-Wechselwirkung (EEW) und eines Elektronenabstroms auf die Wand in die nichtlokale Behandlung der elektronen-kinetischen Gleichung waren zu erarbeiten. Das reaktionskinetische Modell der angeregten Argon-Atome war auf Basis vorliegender Daten wesentlich zu erweitern und um eine neuartige effiziente Lösung der Strahlungstransportgleichung zu ergänzen.

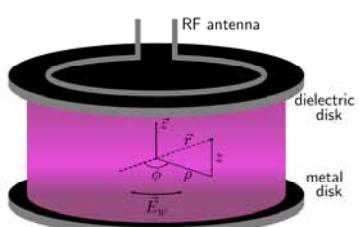


Abb. 1: Konfiguration

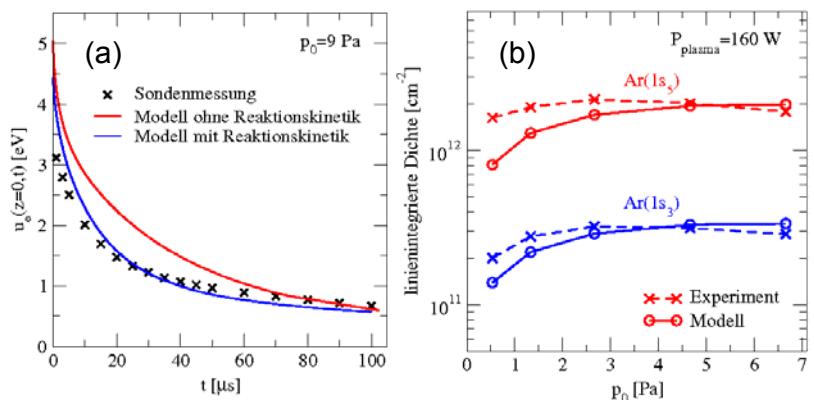


Abb. 2: Mittlere Elektronenenergie im Afterglow (a) und Dichten der Metastabilen im aktiven Plasma (b) im Vergleich mit Messungen.

### Ergebnisse

Die aus Experimenten bereits bekannte effektive Kühlung der Elektronenkomponente bei nur langsamer Abnahme der Elektronendichte im Afterglow von Edelgas-Niederdruckentladungen konnte in guter Übereinstimmung mit Sondenmessungen beschrieben werden. Die Kühlung beruht wesentlich auf dem Abtransport von höherenergetischen Elektronen zu den Wänden gemäß der Halterung im Raumladungspotenzial, dessen zeitlicher Abfall ebenfalls erfasst wurde. Die Wechselwirkung dieser diffusiven Kühlung mit den konkurrierenden Stoßprozessen im Volumen, welche höherenergetische Elektronen erzeugen, sowie mit der EEW konnte im Detail analysiert werden. Der signifikante Einfluss der Prozesse angeregter Atome auf die Plasmaleigenschaften über einen großen Druckbereich wurde am Beispiel des Argons nachgewiesen. Insbesondere ergaben sich wesentliche Beiträge von Chemoionisationsprozessen, Gasrückheizung und superelastischen Prozessen in der Energiebilanz der Elektronen im verlöschenden Plasma. Die Bedeutung des Resonanzstrahlungstransports und seiner hinreichend exakten Beschreibung zur quantitativen Erfassung der Dichten der unteren Anregungsniveaus und ihrer räumlichen Profile in Niederdruckplasmen wurde gezeigt.

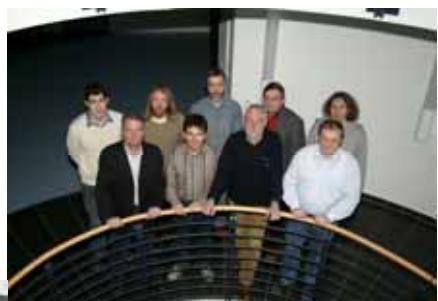
### Danksagung

Das Projekt wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft für zwei Jahre gefördert (UH 106/2-1). Die Bearbeiter danken U. Kortshagen (U. Minnesota) und Yu. B. Golubovskii (St.-Petersburg State U.) für ihre Unterstützung.

Plasmastrahlungstechnik



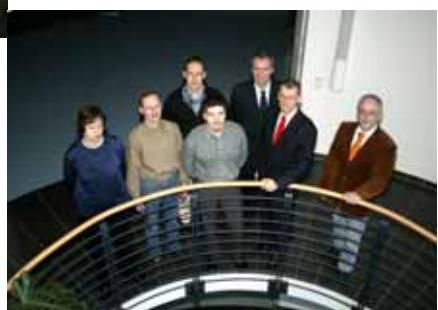
Plasmaprozesstechnik



Plasmaoberflächentechnik



Plasmadiagnostik



Plasmamodellierung



Verwaltung // Infrastruktur



Abteilung  
Plasmastrahlungstechnik

## Schwerpunkte

- Plasmalichtquellen
- Quellenentwicklung für die Oberflächenmodifikation

## Arbeitsgegenstand

- Hochdrucklichtquellen
- UV/VUV-Strahlungsquellen
- Speziallichtquellen
- Schweißlichtbogen

## Arbeitsmittel

- Hg-freie Niederdruckplasmen
- Quecksilberfreie Hochdruck-Mischplasmen
- Kapillarentladungen für Spezialanwendungen

## Mittelfristiger Schwerpunkt

Die Entwicklung neuartiger Plasmalichtquellen und Normaldruck-Plasmaquellen bilden mittelfristig die Schwerpunktthemen.

## Technologischer Nutzen

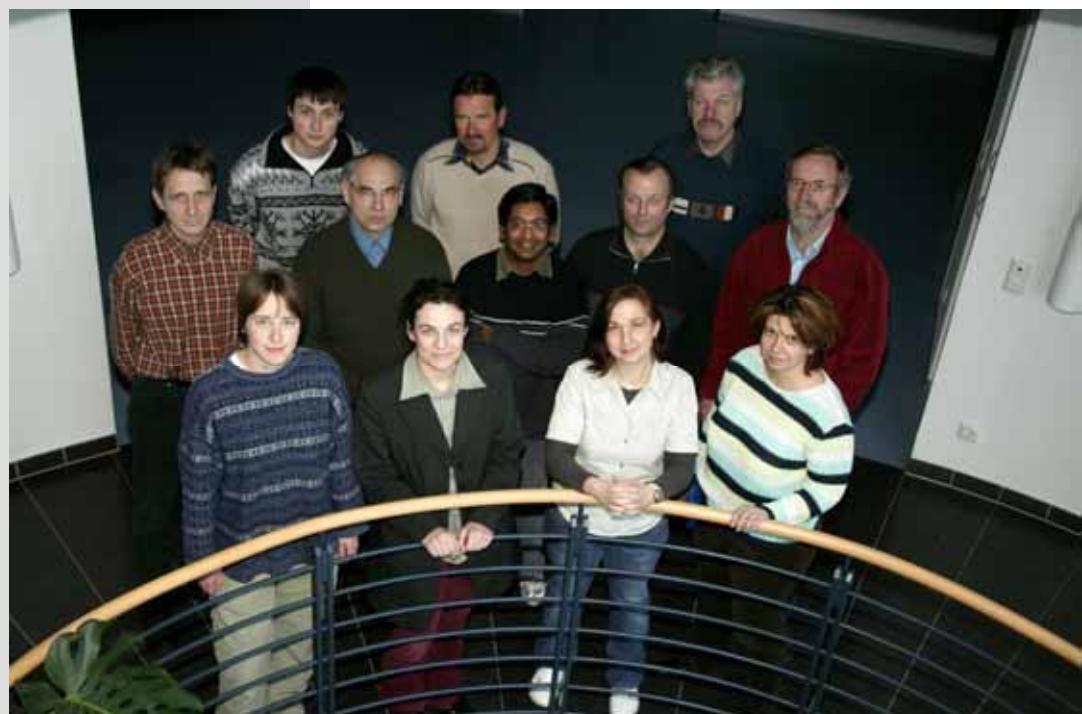
Im Bereich der Arbeiten zu Hochdruckentladungen mit komplexen Plasmamischungen wird das physikalische Verständnis weiter vervollständigt. Das betrifft insbesondere die Performance von Elektroden in HID-Lampen, den Test neuer Diagnostikmethoden, die quantitative, semiempirische Beschreibung der Strahlungsbeiträge eines Viellinienstrahlers sowie die Klärung der Rolle, die die einzelnen Plasmakomponenten bei variierender Energieeinspeisung spielen.

Auf dem Gebiet der UV/VUV-Strahlungsquellen liefern die Untersuchungen zu den Elektroden wichtige Daten zur Lebensdauerverlängerung von Strahlungsquellen und erbringen einen Beitrag zur Schaffung der physikalischen und technologischen Grundlagen von neuartigen Elektroden in Niederdruckentladungslampen.

## Beitrag der Plasmastrahlungstechnik zur Technologieentwicklung

Die Untersuchungen zu Hochdrucklampen und zu UV/VUV-Strahlungsquellen liefern wichtige Beiträge zur Entwicklung von neuen, energiesparenden und damit umweltfreundlichen, quecksilberfreien Entladungssystemen. Die Elektrodenuntersuchungen in Hoch- und Niederdrucklampen bilden die Voraussetzung zur Erhöhung der Lebensdauer und Stabilität.

Untersuchungen in sehr engen Entladungsvolumina liefern einen Beitrag zur Entwicklung von modularen Plasmastrahlungs- und Plasmaquellen für Oberflächenmodifikationen.



Abteilung  
Plasmaprozesstechnik

## Schwerpunkte

Erzeugung, Modifizierung und Schichteinbau von mikro- und nanodispersen Materialien, Plasmabehandlung von Ruß und Aerosolen, Plasma- und Randschichtdiagnostik

## Arbeitsgegenstand

- Mikro- und nanodisperse Materialien (Pulver, Granulate, Nanofasern, Stäube, Ruß, Aerosole)
- Großflächige Substrate mit dünnen Schichten (Metalle, Metalloxide)

## Arbeitsmittel

- Modulare Prozessplasmen, insbesondere Atmosphärendruck-Plasmen sowie PECVD-Quellen, Magnetrons und Ionenstrahlquellen
- Plasmadiagnostik, Spektroskopie, Reaktor mit adaptiver Elektrode

## Mittelfristiger Schwerpunkt

Mittelfristiges Ziel ist die Bereitstellung und Optimierung von Plasmaverfahren zur Herstellung und Behandlung von neuartigen mikro- und nanodispersen Materialien (Synthese, Modifizierung, Schichteinbau).

Das INP soll kompetenter Projekt- und Ansprechpartner in Fragen der Plasma-Pulver-Wechselwirkung (Prozessoptimierung durch Diagnostik und Modellierung) sein. Zudem wird die Expertise zu Fragen der Diagnostik von Plasmaprozessquellen für die Oberflächenbearbeitung und für Raumtriebe (Quellenoptimierung durch Diagnostik und Modellierung, Etablierung von spezifischen Mikroteilchen als Werkzeug zur Plasmadiagnostik) weiter ausgebaut.

## Beitrag der Plasmaprozesstechnik zur Technologieentwicklung

Die Mitarbeiter der Abteilung Plasmaprozesstechnik entwickeln technologische Prozesse zur Synthese und Modifizierung von mikro- und nanodispersen Materialien, zur Dünnenschicht-Deposition und zur umweltverträglichen Ruß- und Aerosolbehandlung.

Dazu arbeiten Sie an modularen Plasmaquellen und benutzen eine Reihe teilweise neuartiger Diagnostikmethoden. Dies eröffnet neue Anwendungspotenziale und Kundenkreise, wie z. B. Magnetronhersteller und Raumfahrtinstitutionen.

Von besonders technologischem Interesse ist die Expertise der Mitarbeiter zum Einsatz von Atmosphärendruckplasmen. Mit der Optimierung solcher Plasmen zur Pulver- und Oberflächenmodifikation vertieft das INP weiter die Verbindung von Plasma- und Nanotechnologie für neuartigen funktionale Materialien und Werkstoffe.



Abteilung  
Plasmaoberflächentechnik

## Schwerpunkte

- Funktionelle Oberflächen
- Neue Materialien

## Arbeitsgegenstand

- Plasmagestützte Prozesse zur Steuerung von Grenzflächeneigenschaften
- Plasmagestützte Prozesse zum Aufbau funktioneller Schichten auf komplexen dreidimensionalen und flächigen Substraten aus Kunststoffen, Biomaterialien und Kompositen mit charakteristischen Abmessungen zwischen einigen Mikrometern und einem Meter.
- Untersuchung der Prozesse im Zusammenhang mit der jeweiligen Gesamttechnologie

## Arbeitsmittel

- Mehrere komplett Plasmaprozessanlagen
- Mehrere anwendungstypische Plasmaprozesssysteme zur industrienahen Erprobung von Plasmaprozessen mit größeren Stückzahlen; zusätzliche, auf konkrete Prozesse abgestimmte Sonderausrüstungen
- Ein Multireaktorsystem, gekoppelt mit einem zertifizierten Reinraum, für Untersuchungen unter definierten, reinsten Umgebungsbedingungen bei gleichzeitig exzellentem Zugang für Plasma- und Prozessdiagnostikverfahren
- Ausgewählte prozessanalytische Messsysteme, z.B. zum Prozessmonitoring und zur Materialprüfung
- Oberflächenanalytische Messtechnik, unter anderem hochauflösende Scanning-XPS, In-situ-XPS, Infrarot-ATR-Mikroskopie, Rasterkraft-, Rastertunnel- und Rasterelektronenmikroskopie sowie digitale optische Mikroskopie

## Mittelfristiger Schwerpunkt

Im Mittelpunkt der Arbeiten stehen plasmachemische Oberflächenfunktionalisierungen sowie funktionelle Beschichtungen und Barriereforschungen im Rahmen der jeweiligen Gesamttechnologien. Die Ergebnisse werden in industrierelevanten Projekten umgesetzt.

## Beitrag der Plasmaoberflächentechnik zur Technologieentwicklung

Arbeiten zum grundlegenden Verständnis plasmaprozessspezifischer Oberflächenprozesse sollen die Entwicklung neuartiger Plasmatechniken vorantreiben. Die kostengünstige plasmagestützte Oberflächenaktivierung und aufwändigere Beschichtungen finden zwar heute bereits vielfältige Anwendung, ihr technologisches Potenzial kann aber bei weitem nicht ausgeschöpft werden, weil sie chemisch immer noch sehr unspezifisch sind. Eine den Anforderungen der Anwender genügende chemisch selektive und dichtesteuerbare Erzeugung von kovalenten Bindungen auf beliebigen, von Natur aus nicht oder nicht in der gewünschten Weise bindungsfähigen Materialoberflächen mit Hilfe dieser Technik wäre ein Durchbruch zu einer neuen Qualität von plasmagestützten Oberflächenmodifizierungsverfahren, insbesondere für thermolabile Materialien und Substrate und bei Interface-Optimierungen, z. B. bei Klebungen, Farbgebungen, Drucken, in der Biomedizintechnik und generell bei Haftungsproblemen in Schichtsystemen.



Gruppe  
Plasmadiagnostik

## Schwerpunkte

- Bereitstellung, Optimierung und Weiterentwicklung von Methoden der Plasmadiagnostik sowohl in Grundlagenuntersuchungen als auch im industriellen Einsatz
- Ausrichtung auf umweltrelevante Fragestellungen
- Vernetzung der INP-Kompetenz

## Arbeitsgegenstand

- Plasmachemische Stoffwandlung in der Gasphase
- Kinetik transienter molekularer Plasmabestandteile und Wirkung auf Oberflächen
- Steuerung plasmachemischer industrieller Prozesse
- Plasmakatalyse zum VOC-Abbau
- Eigenschaften von Ladungsträgern in Plasmen
- Beiträge zur Alterung von Elektroden in Plasmalichtquellen
- Plasmaentkeimung
- Mikrowellensimulation

## Arbeitsmittel

- Absorptionsspektroskopische Systeme für MIR (3-20 µm) mit Bleisalz- und Quantenkaskadenlasern sowie FTIR
- ND-YAG gepumpte Farbstofflaser von 205 nm - 3 µm, z.B. für LIF, TALIF...
- Systeme für Emissionsspektroskopie von UV bis MIR
- Sondendiagnoskop für cw und gepulste Plasmen
- Massenspektrometer
- DC-, RF- und MW-Plasmen im cw- oder Pulsbetrieb
- industriennahe Reaktorkonfigurationen, z.T. aktiv steuerbar
- Plasmastrahlungsquellen
- Mikrobiologisches Labor
- Simulationssoftware wie Microwave Studio, TracePro und AutoDesk Inventor

## Mittelfristiger Schwerpunkt

- Verknüpfung der Plasmatechnologie mit der Umwelttechnologie
- Steuerung industrieller Plasmareaktoren durch Nutzung spektroskopischer Methoden
- Entwicklung innovativer Diagnostiken für Kinetik transienter Moleküle in Plasmen und in Wechselwirkung mit Oberflächen

## Beitrag der Plasmadiagnostik zur Technologieentwicklung

Der gezielte Einsatz von Methoden der Plasmadiagnostik ist der Schlüssel zum Verständnis komplexer Plasmen. Gerade molekulare Plasmen, die eine Vielzahl unterschiedlicher Spezies aufweisen, besitzen eine Reihe von interessanten und nützlichen Eigenschaften. Ihre vielfältigen technologischen Einsatzgebiete reichen von der ressourcen-schonenden Oberflächenbearbeitung über Abgasbeseitigung, Gasreinigung, Entkeimung und Partikelabbau bis hin zu Wasser- und Luftaufbereitung sowie Sondermüllbehandlung.

Die Mitarbeiter der Gruppe Plasmadiagnostik entwickeln unter anderem Methoden zur aktiven Steuerung industrieller Plasmareaktoren, untersuchen Elektrodenalterungsprozesse von Plasmalichtquellen und tragen zur Klärung plasmachemischer Prozesse in der Oberflächenbehandlung bei.



Gruppe  
Plasmamodellierung

## Schwerpunkte

- Selbstkonsistente Modellierung von Niedertemperaturplasmen
- Kinetische Beschreibung der Ladungsträger in anisothermen Plasmen
- Modellierung von Bogenplasmen
- Plasmachemie und Strahlungstransport Wechselwirkung von Plasmen mit Wänden und Elektroden
- Mehrflüssigkeitsbeschreibung und Strömungssimulation

## Arbeitsgegenstand

Die Gruppe Plasmamodellierung beschäftigt sich mit der theoretischen Beschreibung und Analyse von technologisch und wissenschaftlich relevanten Niedertemperaturplasmen. Dabei werden sowohl anisotherme Plasmen als auch Gleichgewichtsplasmen untersucht. Die Modellierung dieser Plasmen in ihrer Gesamtheit erfordert jeweils

- die Entwicklung eines adäquaten Plasmamodells,
- die Formulierung von auf hydrodynamischen bzw. kinetischer Grundlage basierenden Gleichungen für die wesentlichen Komponenten des Plasmas,
- entsprechende Gleichungen für das elektrische und magnetische Feld,
- das Recherchieren und die kritische Bewertung der relevanten atomaren Daten,
- die problemspezifische Erarbeitung von geeigneten Verfahren bzw. die Nutzung kommerzieller Codes zur Lösung des resultierenden Systems von gewöhnlichen und partiellen Differenzialgleichungen,
- die systematische Gewinnung von Lösungen für ausgewählte Parameterbereiche sowie
- die Visualisierung und inhaltliche Interpretation der gewonnenen Resultate.

Auf Grund der Komplexität der Gesamtbeschreibung werden Teilprobleme, wie die kinetische Beschreibung einzelner Plasmakomponenten und die Strahlungstransport- und Spektrenanalyse, eigenständig bearbeitet.

## Arbeitsmittel

Die Analyse und Beschreibung schwach ionisierter Plasmen erfolgt im Allgemeinen mittels am INP entwickelter numerischer Verfahren. Diese problemspezifisch adaptierten Methoden zeichnen sich durch hohe Effizienz, Stabilität und Genauigkeit aus. Für ausgewählte Problemstellungen werden zudem verstärkt kommerzielle Programmpakete eingesetzt. Die Modellierungen erfolgen auf modernen Servern und Workstations, deren Verfügbarkeit die theoretische Beschreibung der komplexen, mehrdimensionalen Probleme erst ermöglicht. Die quantitativen Untersuchungen werden zumeist in enger Kopplung an experimentelle Arbeiten und geförderte Projekte am INP sowie in Kooperation mit nationalen und internationalen Partnern aus Forschungseinrichtungen und Industrie durchgeführt.

## Mittelfristiger Schwerpunkt

Die realitätsnahe Analyse und Beschreibung der Eigenschaften und des Verhaltens von wissenschaftlich und technologisch relevanten Niedertemperaturplasmen, wie Plasmen in Lichtquellen, Prozessplasmen und Plasmen in Schaltstrecken, stellen mittelfristig den Forschungsschwerpunkt der Gruppe dar. Derartige Untersuchungen dienen insbesondere dem physikalischen Verständnis und der quantitativen Erfassung

- der zeitlichen und räumlichen Änderung der Dichten einzelner Plasmakomponenten,
- der Teilchen- und Energietransportprozesse im Plasma,
- der durch Stoß- und Strahlungsprozesse bedingten Energiedissipation,
- der sich im Plasma einstellenden elektrischen und magnetischen Felder,
- der komplexen Mechanismen des zeitlichen und räumlichen Übergangsverhaltens sowie
- der Wechselwirkung einzelner Spezies mit Wänden und Elektroden.

## Technologischer Nutzen

Die Erforschung der Mechanismen und Prozesse liefert wesentliche Beiträge für das physikalische Verständnis des komplexen Verhaltens von Niedertemperaturplasmen in experimentellen Anordnungen und technologischen Anwendungen. Die Plasmamodellierung ermöglicht auf der Grundlage umfangreicher Parameterstudien eine gezielte Optimierung technologischer Plasmen beispielsweise hinsichtlich der elektrischen Leistungseinkopplung, der Strahlungsleistung und der Effizienz von Plasmalichtquellen. Prädiktive Modelle zur Simulation von Schaltstrecken können den Aufwand für Design und Entwicklung von Schaltanlagen entscheidend senken.

## Beitrag der Plasmamodellierung zur Technologieentwicklung

Die Entwicklung energieeffizienter, quecksilberfreier Niederdrucklampen wird maßgeblich durch die erfolgreiche Modellierung von Xenon-Edelgas-Glimmentladungen unterstützt. Die Gesamtbeschreibung von stationären und nichtstationären Entladungen ermöglicht u.a. die Optimierung von Xenon-VUV-Lichtquellen hinsichtlich der elektrischen Betriebsweise. Untersuchungen zur Wechselwirkung von Plasmen mit Elektroden zielen beispielsweise auf eine Verbesserung des Startverhaltens und der Lebensdauer von Lampen. Die Analyse quecksilberfreier Hochdruckentladungslampen mit Seltenen-Erd-Elementen lässt eine Optimierung der Farbwiedergabe und der Lichtausbeute erwarten. Durch die Entwicklung und Anwendung neuartiger MHD-Simulationsverfahren für Schaltlichtbögen in Kooperation mit Partnern soll der Aufwand für die Konstruktion von Schaltanlagen deutlich verringert werden.



## Verwaltung//Infrastruktur

Als wesentliche Ergänzung und zur organisatorischen Unterstützung der Fachabteilungen und -gruppen gibt es am INP die Abteilung *Verwaltung/Infrastruktur*. Sie organisiert im Wesentlichen den reibungslosen wissenschaftlich-technischen Betriebsablauf. Beide Gebiete – Verwaltung und Infrastruktur – sind schlank angelegt.

Die Verwaltung des Instituts umfasst die Bereiche Personal, Beschaffung, Finanzen, Anlagenverwaltung und Projektabwicklung. Die Infrastruktur besteht aus der mechanischen Werkstatt, einer Glasbläserei, einer Elektronikwerkstatt, dem IT/EDV-Bereich und einem Technologie-labor. Für die Datenverarbeitung unterhält das INP ein Datennetz, baut es weiter aus und pflegt die Anbindung des INP-Netzes an externe Netze. Die Abteilung *Verwaltung/Infrastruktur* betreut außerdem die Gebäudetechnik des Instituts sowie alle Baumaßnahmen.

- Kooperationen // Kontakte
- Publikationen
- Vorträge und Poster
- Patente
- Gutachtertätigkeit
- Weitere Aktivitäten

## Kooperationen // Kontakte (ohne Industriekontakte)

- Center for Advanced Plasma Surface Technology, SungKyunKwan University Korea
- Center for Life Science Automation Rostock
- Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, Frankreich
- Center of Excellence for Information Nano-Devices Based on Advanced Plasma Science - Nagoya University, Japan
- Centre de Physique des Plasmas et de leurs Applications de Toulouse, Frankreich
- Dublin City University, Irland
- Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald
- Fachhochschule Neubrandenburg
- Fachhochschule Stralsund
- Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Dummerstorf
- Forschungszentrum Jülich GmbH
- Forschungszentrum Geesthacht
- Forschungszentrum Sensorik Greifswald e.V.
- Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung, Institutsteil Rostock
- Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB), Stuttgart
- Hahn-Meitner-Institut Berlin
- Hanseatische Fachhochschule für Oekonomie & Management, Studienzentrum Vorpommern i. G.
- Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
- Hochschule Wismar
- Institut für angewandte Materialforschung Bremen
- Institut für Marine Biotechnologie e. V., Greifswald
- Korea Institute of Industrial Technology, Seoul, Korea
- Leibniz-Institut für Katalyse e. V., Rostock
- Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V., Leipzig
- Materials Research Institute, University Nantes, Frankreich
- Princeton Plasma Physics Laboratory, Princeton University, USA
- Research Institute for Solid State Physics and Optics Budapest, Ungarn
- Ruhr-Universität Bochum
- Science and Technology Park Koszalin, Polen
- Science and Technology Park Szczecin, Polen
- Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ, USA
- Technische Universität Eindhoven, Niederlande
- Technische Universität Koszalin, Polen
- Technische Universität Szczecin, Polen
- Technologiepark Zürich, Schweiz
- Tsinghua University, Beijing, China
- Universität Lettland, Riga
- Universität Paris-Nord, Frankreich
- Universität Paris-Süd, Frankreich
- Universität Rostock
- Universität St. Petersburg, Russland
- University of Cambridge, Großbritannien
- University of Minnesota, USA

# Publikationen

Basner, R.; Thieme, G.; Sigeneger, F.; Kersten, H.:

**Plasma sheath diagnostics by micro-particles of different sizes**

Proc. 33rd EPS Conf. Plasma Physics, Roma/Italy (2006), CD-ROM

Becker, K.; Tarnovsky, V.; Basner, R.:

**Electron-driven ionization of technologically relevant molecules: status and perspectives**

Proc. 6th ICRP/23rd SSP, Matsushima/Japan (2006)

Blazek, J.; Basner, R.; Kersten, H.:

**Numerical modeling of powder particles levitating in plasma sheath**

Proc. Int. Conf. Tech. Computing, Praha/Czech Republik (2006), CD-ROM

Brandenburg, R.; Ehlbeck, J.; Stieber M.; Krohmann, U.; von Woedtke, T.; Zeymer J.; Rackow, K.; Weltmann, K.-D.:

**Germ reduction of heat sensitive materials by using atmospheric pressure plasma sources**

Proc. 10th Hakone, Saga/Japan (2006) 357

Brüser, V.; Schmuhl, A.; Junge, H.; Schröder, K.:

**Plasmamodifizierung von Katalysatoren für die kathodische Reduktion von Wasserstoffperoxid in Brennstoffzellen**

Tagungsband 13. Symposium „Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnologie“, Stralsund (2006) 11

Burakov, V. S.; Brüser, V.; Misakov, P. Ya.; Nevar, A. A.; Rosenbaum, M.; Sa-vastenko, N. A.; Tarasenko, N. V.:

**Electrical Discharge assisted Synthesis of WC Nanocatalysts in Liquids for Application in Fuel Cells**

Proc. 5th Int. Conf. Plasma Phys. Plasma Technol., Minsk/Belarus 1 (2006) 295

Bussiahn, R.; Gorchakov, S.; Lange, H.; Loffhagen, D.; Uhrlandt, D.:

**Optimization of VUV radiation properties of low pressure He-Xe lamps**

Proc. 16th Int. Conf. Gas Discharges and their Applications, Xi'an/China (2006) 613

Dodt, D.; Dinklage, A.; Fischer, R.; Loffhagen, D.:

**Analysis of optical emission spectroscopy on discharges**

AIP Conference Proceeding Vol. 872 (2006) 264

Ehlbeck, J.; Golubovskii, Yu.B.; Hadzath, S.; Porokhova, I.A.; Sigeneger, F.:

**Diffuse and spot operation modes of low-pressure dc-lamps with coiled electrodes**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 243

Foest, R.; Kindel, E.; Lange, H.; Stieber, M.; Weltmann, K.-D.:

**Anwendung eines anisothermen HF-Plasmajets zur lokalen Behandlung von Oberflächen unter Atmosphärendruck**

14. NDVAK, Dresden (2006) 173

Foest, R.; Schmidt, M.; Becker, K.:

**Microplasmas, an emerging field of low-temperature plasma science and technology**

Int. J. Mass Spectr. 248 (2006) 87

Gatilova, L.; Allegraud, K.; Ionikh, Y.; Welzel, S.; Röpcke, J.; Cartry, G.; Rous-seau, A.:

**NO production during a single plasma pulse in a low pressure discharge**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 149

# Publikationen

Gorchakov, S.; Loffhagen, D.; Uhrlandt, D.:

**Modelling of low-pressure afterglow argon plasma: the role of argon kinetics**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 227

Gorchakov, S.; Loffhagen, D.; Uhrlandt, D.:

**Study of the non-local kinetics of the electrons in a decaying low-pressure argon plasma**

Proc. 16th Int. Conf. Gas Discharges and their Applications, Xi'an/China (2006) 481

Grundmann, J.; Müller, S.; Zahn, R.-J.; Quade, A.; Steffen, H.:

**Investigation of the decomposition of soot**

Proc. 7th International Congress on Catalysis and Automotive Pollution Control, Bruxelles/Belgium (2006) 75

Grundmann, J.; Müller, S.; Zahn, R.-J.; Quade, A.; Steffen, H.:

**Oxidation of soot particulates in dielectric barrier discharges**

Proc. 10th Hakone, Saga/Japan (2006) 379

Hannemann, M.; Sigeneger, F.:

**Langmuir probe measurements at incomplete rf-compensation**

Proc. 22nd Symp. Plasma Phys. Technol., Prague/Czech Republic (2006) B1

Hähnel, M.; Brüser, V.:

**Untersuchungen zum Einfluss von Plasmaprozessen auf Wirkstoffe –**

**Chancen und Risiken der Plasmatechnologie**

14. NDVAK, Dresden (2006) 25

Kettlitz, M.; Krylova, O.; Ehrlichmann, D.; Günther, K.; Vollmer, L.:

**Color shift of head lamps for automotive lighting over lifetime**

Proc. 41th IAS Annual Meeting, Tampa, Florida/USA (2006), CD-ROM

Kozakov, R.; Kettlitz, M.; Franke, St.; Schneidenbach, H.; Seeger, M.; Steffens, A.; Uhrlandt, D.:

Weltmann, K.-D.; Franck, Ch.:

**Spectroscopic measurements of the radial temperature profile of a wall-stabilized arc in a PTFE nozzle**

Proc. 16th Int. Conf. Gas Discharges and their Applications, Xi'an/China (2006) 77

Kozakov, K.V.; Wagner, H.-E.; Holder, T.; Brandenburg, R.:

**Evolution of axial and radial distribution of the electric field in the microdischarge of barrier discharge in air**

Proc. 10th Hakone, Saga/Japan (2006) 254

Mahoney, J.; Basner, R.; Gutkiun, M.; Tarnovsky, V.; Deutsch, H.; Becker, K.:

**Electron impact ionization of SiCl<sub>x</sub> (x=1-4)**

Proc. 15th SASP, Obergurg/Österreich (2006)

Rousseau, A.; Guaitella, O.; Gatilova, L.; Thevenet, F.; Guillard, C.; Stancu, G.D.; Röpcke, J.:

**Infrared diagnostics for understanding of VOCs removal by plasma-catalyst coupling**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 43

Schneidenbach, H.; Franke, St.:

**Comparison of different methods for the temperature determination from self-reversed lines**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 377

# Publikationen

Sigeneger, F.; Loffhagen, D.; Basner, R.; Kersten, H.:

**Analysis of an asymmetric rf discharge used for micro-particle treatment**

Proc. 16th Int. Conf. Gas Discharges and their Applications, Xi'an/China (2006) 469

Sigeneger, F.; Loffhagen, D.:

**Self-consistent kinetic description of abnormal glow discharges**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 229

Stancu, G.D.; Röpcke, J.; Davies, P.B.:

**Infrared absorptions spectroscopy studies of methyl and boron monoxide radicals**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 47

Steffen, H.; Busse, B.; Schröder, K.; Ohl, A.; Weltmann, K.-D.:

**Plasmagestützte Erzeugung und Analyse chemischer Mikrostrukturen für die zell-basierte Diagnostik**

14. NDVAK, Dresden (2006) 35

Thieme, G.; Basner, R.; Ehlbeck, J.; Röpcke, J.; Kersten, H.; Reid, J. P.; Davies, P. B.:

**Cavity enhanced spectroscopy as a diagnostic for micro-particles in plasma**

Proc. 33rd EPS Conf. Plasma Physics, Roma/Italy (2006), CD-ROM

van Helden, J.H.; Gabriel, O.; Zijlmans, R.; Welzel, S.; Lombardi, G.; Stancu, G.D.; Röpcke, J.:

Schram, D.C.; Engeln, R.:

**Study of the molecule formation and surface coverage of the reactor wall in Ar/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> plasmas**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 459

Weltmann, K. D.; Brandenburg, R.; Foest, R.; Kindel, E.; Lange, H.; Stieber, M.:

**Properties of a non-thermal radio frequency atmospheric pressure plasma jet (APPJ)**

Proc. 49th SVC Technical Conference, Washington DC/USA (2006)

Welzel, S.; Gatilova, L.; Davies, P.B.; Engeln, R.; Rousseau, A.; Röpcke, J.:

**New perspectives and challenges using quantum cascade lasers for plasma diagnostics**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 63

Wendt, M.; Peters, S.; Schneidenbach, H.; Kettlitz, M.:

**Analysis of a dimmed HID-discharge with a Hg/NaI filling**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 411

Zijlmans, R. A. B.; Gabriel, O.; Welzel, S.; Hempel, F.; Röpcke, J.; Engeln, R.; Schram, D.C.:

**Molecule synthesis in an Ar-CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> microwave plasma**

Proc. 18th ESCAMPIG, Lecce/Italy (2006) 461

Becker, K.; Mahoney, J.; Gutkin, M.; Tarnovsky, V.; Basner, R.:  
**Electron impact ionization of SiCl<sub>x</sub> and TiCl<sub>x</sub> (x=1-4): contributions from indirect ionization channels**  
Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 8188

Bötticher, R.; Kettlitz, M.:  
**Dynamic mode changes of cathodic arc attachment in vertical mercury discharges**  
J. Phys. D: Appl. Phys. 39 (2006) 2715

Bussiahn, R.; Gortchakov, S. Lange, H.; Loffhagen, D.:  
**Pulsed excitation of low-pressure He-Xe glow discharges**  
J. Phys. D: Appl. Phys. 39 (2006) 66

Fenske, Ch., Daeschlein, G., Günther, B., Knauer, A., Rudolph, P., Schwahn, Ch., Adrian, V., von Woedtke, Th., Rossberg, H., Jülich, W.-D., Kramer, A.,  
**Comparison of different biological methods for the assessment of ecotoxicological risks**  
Int. J. Hyg. Environ.-Health 209 (2006) 275

Franke, St.; Lange, H.; Schöpp, H.; Witzke, H.-D.:  
**Temperature dependence of VUV transmission of synthetic fused silica**  
J. Phys. D: Appl. Phys. 39 (2006) 3042

Gavare, Z.; Gött, D.; Pipa, A.V.; Röpcke, J.; Skudra, A.:  
**Determination of the number densities of argon metastables in argon-hydrogen plasma by absorption and self-absorption methods**  
Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) 391

Gericke, D.O.; Grubert, G.K.; Bornath, Th.; Schlanges, M.:  
**Relaxation of composition and species temperatures in laser- and shock-produced plasmas**  
J. Phys. A: Math. Gen. 39 (2006) 4727

Gorchakov, S.; Loffhagen, D.; Uhrlandt, D.:  
**The role of excited atoms in decaying low-pressure argon plasma**  
Phys. Rev. E 74 (2006) 066401

Gorchakov, S.; Uhrlandt, D.; Hebert, M.J.; Kortshagen, U.:  
**Nonlocal kinetics of the electrons in a low-pressure afterglow plasma**  
Phys. Rev. E 73 (2006) 056402

Hannemann, M.; Sigeneger, F.:  
**Langmuir probe measurements at incomplete rf-compensation**  
Czech. J. Phys. 56 (2006) B740

Hähnel, M.; Brüser, V.; Kersten, H.:  
**Beschichtung von mikrodispersen Teilchen mittels Atmosphärendruck-plasma**  
Galvanotechnik 97 (2006) 1520

Hess, H.; Weltmann, K.-D.:  
**Plasmalichtquellen - Stand und Ausblick**  
Vakuum in Forschung und Praxis 18, Issue 4 (2006) 7

Hirmke, J.; Hempel, F.; Stancu, G.D.; Röpcke, J.; Rosiwal, S.; Singer, R.F.:  
**Gas phase characterization in diamond hot-filament CVD by laser absorption spectroscopy (TDLAS)**  
Vacuum 80 (2006) 967

Ionikh, Y.; Meshchanov, A. V.; Röpcke, J.; Rousseau, A.:  
**A diode laser study and modeling of NO and NO<sub>2</sub> formation in a pulsed DC air discharge**  
Chem. Phys. 322 (2006) 411

Kersten, H.; Wiese, R.; Neumann, H.; Hippler, R.:  
**Interaction of ion beams with dusty plasmas**  
Plasma Phys. Control. Fusion 48 (2006) B105

Kotalik, P.:  
**Modelling of a water plasma flow: I. Basic results**  
J. Phys. D: Appl. Phys. 39 (2006) 2522

Lavrov, B.P.; Lang, N.; Pipa, A.V.; Röpcke, J.:  
**On determination of the degree of dissociation of hydrogen in non-equilibrium plasmas by means of emission spectroscopy, Part II: Experimental verification**  
Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) 147

Lavrov, B.P.; Pipa, A.V.; Röpcke, J.:  
**On determination of the degree of dissociation of hydrogen in non-equilibrium plasmas by means of emission spectroscopy, Part I: The Collision-radiative model and numerical experiments**  
Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) 135

Navratil, Z.; Brandenburg, R.; Trunec, D.; Brablec, A.; Stahel, P.; Wagner, H.-E.; Kopecky, Z.:  
**Comparative study of diffuse barrier discharges in neon and helium**  
Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) 8

Reinecke, H.; Lippold, O.; Ohl, A.; Besch, W.; Schröder, K.; Götz, F.:  
**Funktionalization of Microstructure Surfaces**  
Vakuum in Forschung und Praxis 18, Issue S1 (2006) 19

Röpcke, J.; Lombardi, G.; Rousseau, A.; Davies, P.B.:  
**Application of mid-infrared tuneable diode laser absorption spectroscopy to plasma diagnostics : a review**  
Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) S148

Rousseau, A.; Meshchanov, A.V.; Röpcke, J.:  
**Evidence of plasma-catalyst synergy in a low-pressure discharge**  
Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 021503

Tatanova, M.; Thieme, G.; Basner, R.; Hannemann, M.; Golubovskii, Y. B.; Kersten, H.:  
**About the EDF formation in a capacitively coupled plasma**  
Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) 507

Wagenaars, E.; Brandenburg, R.; Brok, W.J.; Bowden, M.D., Wagner, H.-E.:

**Experimental and modelling investigations of a dielectric barrier discharge in low-pressure argon**

J. Phys. D: Appl. Phys. 39 (2006) 700

Weltmann, K.-D.:

**PlasmaplusBio/Med**

Vakuum in Forschung und Praxis 18 (2006) 3

Wende, K.; Schröder, K.; Lindequist, U.; Ohl, A.:

**Plasma-based modification of polystyrene surfaces for serum-free culture of osteoblastic cell lines**

Plasma Process. Polym. 3 (2006) 524

Zijlmans, R. A. B.; Gabriel, O.; Welzel, S.; Hempel, F.; Röpcke, J.; Engeln, R.; Schram, D.C.:

**Molecule synthesis in an Ar-CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> microwave plasma**

Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006) 564

Röpcke, J.; Glitsch, S.; Hempel, F.; Hübner, M.; Lang, N.; Macherius, U.; Saß, S. Stancu, G.D.:

Weichbrodt, F.; Weltmann, K.-D.; Welzel, S.:

**Plasma process monitoring and trace gas detection by quantum cascade laser absorption spectroscopy**

VDI-Berichte 1959 (2006) 279

## Patente

---

Foest, R.; Weltmann, K.-D.; Stieber, M.; Kindel, E.:  
**Kaltplasma-Handgerät zur Plasmabehandlung von Oberflächen**  
Deutsche Patentanmeldung 2006

Krohmann, U.; Neumann, T. Ehlbeck, J.; Rackow, K.:  
**Verfahren und Vorrichtung zum Zünden und Erzeugen eines sich ausdehnenden, diffusen  
Mikrowellenplasmas sowie Verfahren und Vorrichtung zur Plasmabehandlung von Oberflächen  
und Stoffen mittels dieses Plasmas**  
Europäische Patentanmeldung 2006

Müller, S.; Zahn, R.-J.; Grundmann, J.; Reich, W.:  
**Vorrichtung nach dem Prinzip einer dielektrisch behinderten Entladung zur Strahlungserzeugung**  
Patent erteilt in 2006

# So finden Sie uns

Institut für Niedertemperatur-Plasmaphysik e.V.  
Felix-Hausdorff-Str.2  
17489 Greifswald  
Germany

Tel.: +49 - 3834 - 554 300  
Fax: +49 - 3834 - 554 301

[welcome@inp-greifswald.de](mailto:welcome@inp-greifswald.de)  
[www.inp-greifswald.de](http://www.inp-greifswald.de)

Direktor: Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann  
Verwaltungsleiter: Dipl.-Ing. Dieter Schlott  
PR // Marketing: Liane Glawe

