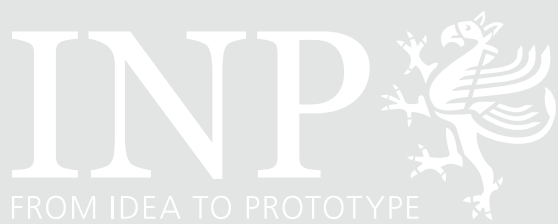


# ZWEIJAHRESBERICHT 2020/2021

LEIBNIZ-INSTITUT FÜR PLASMAFORSCHUNG UND TECHNOLOGIE E. V.





# ZWEIJAHRESBERICHT 2020/2021

LEIBNIZ-INSTITUT FÜR PLASMAFORSCHUNG UND TECHNOLOGIE E.V.

Felix-Hausdorff-Str. 2 // 17489 Greifswald // Germany

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

[www.leibniz-inp.de](http://www.leibniz-inp.de)

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

Plasmatechnologie ist eine Schlüsseltechnologie, die einen wichtigen Beitrag zur Lösung gesamtgesellschaftlicher Herausforderungen unserer Zeit leistet. Als Teil der Leibniz-Gemeinschaft ist es dem INP wichtig, Forschung nicht als Selbstzweck zu betreiben, sondern bei allen Projekten die Anwendung und somit die Nützlichkeit für den Menschen im Blick zu haben.

In unseren beiden Forschungsbereichen „Materialien & Energie“ sowie „Umwelt & Gesundheit“ sind in den Jahren 2020 und 2021 eine Vielzahl von Projektergebnissen erzielt worden, die wir Ihnen auszugsweise in diesem Bericht präsentieren. Besonders hinweisen möchte ich auf das EU-Projekt „HiPowAR“, das sich mit dem Einsatz von Ammoniak als synthetischem Kraftstoff ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen beschäftigt. Im Ausblick erfahren Sie mehr über Anwendungen von Plasmen im Bereich der Landwirtschaft sowie im Einsatz als eine mögliche Schlüsseltechnologie für die Energiewende und weiterhin über unser neuestes Verbundprojekt „biogeniV“, wo wir im Rahmen des „WIR!“-Förderprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung innovative Technologien für die Verwertung biogener Reststoffe entwickeln.

Die COVID-19 Pandemie hat auch die Arbeitsabläufe in unserem Forschungsinstitut stark beeinflusst. Längere Phasen des Lockdowns mit mobilem Arbeiten, eingeschränktem Laborbetrieb, digitalen Projekttreffen und begrenzter Reisetätigkeit waren für unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und unsere unterstützenden Abteilungen wie Verwaltung und Infrastruktur eine technische und mentale Herausforderung. Zusätzlich fiel in diesen Zeitraum die Evaluierung des INP durch die Leibniz-Gemeinschaft. Dieses in der deutschen Forschungslandschaft einzigartige Evaluierungsverfahren überprüft die Mitgliedseinrichtungen in regelmäßigen Abständen intensiv auf Forschungsqualität, Strategie und Arbeitsbedingungen.

Die Pandemie und die Evaluierung haben wir bisher sehr gut gemeistert und daher möchte ich die Gelegenheit nutzen, mich an dieser Stelle herzlich bei unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an allen Standorten zu bedanken. Denn ihrem engagierten Einsatz ist es zu verdanken, dass Sie sich auf den folgenden Seiten ein Bild über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Plasmatechnologie machen können. Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre.



**Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann**

Vorstandsvorsitzender und wissenschaftlicher Direktor

# INHALT

BEGRÜSSUNG.....	2
HIGHLIGHTS.....	5
AUSBLICK.....	7
<b>FORSCHUNGSBEREICH - MATERIALIEN &amp; ENERGIE.....</b>	<b>10</b>
▪ Forschungsschwerpunkt Materialien und Oberflächen .....	11
- „Funktionelle Schichten“ .....	13
- „PLASFASER“ und „CarMON“ .....	14
▪ Forschungsschwerpunkt Plasmachemische Prozesse .....	15
- WIR! Projekt „biogeniV“ - Verwertung von biogenem Kohlendioxid .....	16
- „Plasmachemie“ .....	17
▪ Forschungsschwerpunkt Schweißen und Schalten .....	19
- Verbundprojekt „AutoHybridS“ - Autonom gesteuerter Hybridschalter mit effizienter Wiederverfestigungsdetektion.....	20
- „Lichtbögen“ .....	22
<b>FORSCHUNGSBEREICH - UMWELT &amp; GESUNDHEIT .....</b>	<b>24</b>
▪ Forschungsschwerpunkt Bioaktive Oberflächen.....	25
- Stickstoffhaltige, kohlenwasserstoffbasierte Plasmapolymerschichten(PPCHN) für den Einsatz in der Medizintechnik und Biotechnologie .....	27
- Prozess- und Anlagenentwicklung zur industrietauglichen Beschichtung von Oberflächen mit photokatalytisch aktivem Titanoxid .....	28
▪ Forschungsschwerpunkt Plasmamedizin .....	29
- „Plasma & Zelle – Plasmabasierte Verfahren in der Medizin“ .....	31
- Projekte Zentrum für Innovationskompetenz (ZIK) „plasmatis - Plasma plus Zelle“ und „ONKOTHER-H: Entwicklungsplattform für innovative onkologische Therapien am Beispiel des häufigsten menschlichen Krebses – Hautkrebs“ .....	32
▪ Forschungsschwerpunkt Dekontamination .....	33
- Plasmaprozesse als Werkzeuge der Bioökonomie .....	35
- Aufschluss von Biomasse zur Inhaltsstoffgewinnung und energetischen Verwertung.....	36
<b>FORSCHENDENGRUPPEN .....</b>	<b>38</b>
▪ ZIK plasmatis - Plasma-Redox-Effekte .....	39
▪ ZIK plasmatis - Plasma-Flüssigkeits-Effekte .....	41
▪ Biosensorische Oberflächen .....	43
▪ Plasmaquellen-Konzepte .....	45
▪ Plasmawundheilung .....	47
▪ Plasma-Agrarkultur .....	49
▪ Materialien für die Energietechnik .....	51

<b>KOMPETENZEN</b>	54
▪ Plasmabiotechnik	55
▪ Plasmadiagnostik	57
▪ Plasma Life Science	59
▪ Plasmamodellierung	61
▪ Plasmaoberflächentechnik	63
▪ Plasmaprozesstechnik	65
▪ Plasmaquellen	67
▪ Plasmastrahlungstechnik	69
▪ Kompetenzzentrum Diabetes Karlsburg	71
▪ Organisation, Infrastruktur, Management und Unterstützung für die Wissenschaft	73
<b>APPLIKATIONSLABORE</b>	76
▪ Labor für Oberflächendiagnostik	77
▪ Lichtbogenlabor	77
▪ Schweißlichtbogenlabor	77
▪ Hochstrom-/ Hochspannungslabor	77
▪ Plasmadiagnostisches Labor	77
▪ Mikrobiologisches Labor	77
▪ Labor für Plasmadekontamination	78
▪ Labor für Hochfrequenztechnik	78
<b>NEUE APPLIKATIONSLABORE AM INP</b>	79
▪ Labor für Materialcharakterisierung	79
▪ Plasma-in-Flüssigkeiten(PiL) Materialienlabor	79
▪ Syntheselabor für grüne Ammoniak-Materialien	80
▪ Applikationslabor für Life Science	80
<b>LEITBILD</b>	81
<b>PROFIL</b>	82
<b>KOOPERATIONEN</b>	87
<b>PUBLIKATIONEN</b>	91
<b>VORTRÄGE</b>	106
<b>PROMOTIONEN, MASTER- UND BACHELORARBEITEN</b>	111
<b>PATENTE</b>	113



### Grundstein für „FAIR“-e Forschungsdaten in anwendungsorientierter Plasmaforschung

Im Dezember 2020 publizierten Dr. Steffen Franke und Dr. Markus Becker vom Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP), Greifswald und Prof. Deborah O'Connell vom York-Plasma-Institut (YPI), Großbritannien im Springer Nature Journal „Scientific Data“ ein einheitliches Metadatenschema zur Beschreibung von Forschungsdaten aus dem Gebiet der Plasmaphysik: <https://rdcu.be/ccqQx>. Sie sind damit die Ersten, die ein Schema dieser Art für Forschungszwecke auf dem Gebiet der Plasmatechnologie veröffentlichen.

Die Autoren verfolgen das Ziel, eine Möglichkeit zur Beschreibung außerordentlich heterogener Forschungsdaten in der Plasmaphysik zur Verfügung zu stellen. Damit wird es zukünftig möglich sein, zielgerichtet Daten nach festgelegten Auswahlkriterien aus großen Datenmengen herauszufiltern wie z. B. Forschungsdaten experimentell bestimmter Plasmaeigenschaften von Plasmaquellen.

\* FAIR steht für Findable (auffindbar), Accessible (zugänglich), Interoperable (interoperabel), Reusable (wiederverwendbar).

### INP-Vorstandsvorsitzender und Wissenschaftlicher Direktor wird mit „Macher30 – der Ehrenpreis des Ostens“ ausgezeichnet

Der Vorstandsvorsitzender und Wissenschaftlicher Direktor des INP, Prof. Klaus Dieter Weltmann, wurde im September 2020 mit dem „Macher30 – der Ehrenpreis des Ostens“ in der Kategorie Wissenschaft ausgezeichnet. „Von der Idee zum Prototyp“ lautet das INP-Leitbild, das von Prof. Dr. Weltmann initiiert und wesentlich geprägt wurde. Die von ihm ab 2003 eingeleitete strategische Neuaufstellung des Institutes ist maßgeblich der Grund für den heutigen Erfolg des INP. Ergebnisse sind u. a. neue wissenschaftliche Impulse wie z. B. die Plasmamedizin, der erfolgreiche Wissens- und Technologietransfer in Form eines Spin-off-Konzeptes sowie eine starke Industriemittelquote. Macher30 ist eine Initiative des Vereins Berliner Kaufleute und Industrieller (VBKI), des Ostdeutschen Bankenverbandes (OstBV), von Egon Zehnder International (EZI) und der European School of Management and Technology (ESMT Berlin). Unternehmen oder Projekte, die von den „Machern“ geleitet werden, sollen ihren Ursprung in den neuen Bundesländern haben und überregional wirken. Die elfköpfige Jury würdigte mit ihrer Auszeichnung das Engagement Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmanns für den Standort Ost.



### EU-Forschungsprojekt „HiPowAR“ gestartet: Ammoniak als synthetischer Kraftstoff ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen

Gemeinsam mit dem Zentrum für Brennstoffzellentechnik (ZBT) und dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), dem Politecnico di Milano aus Italien, PBS BRNO aus Tschechien und Ranotor aus Schweden wird das INP einen neuen Membran-Reaktor für die direkte Energieumwandlung von erneuerbarem Ammoniakbrennstoff in Strom entwickeln. Im Vergleich zu Verbrennungsmotoren und Dampfkraftwerken soll der Membran-Reaktor effizienter bei der Energiewandlung sein. Das wäre ein Durchbruch bei der direkten Wandlung von Ammoniak als einen leicht speicherbaren, kohlenstofffreien Wasserstoffträger in nutzbare Energie. Der Aufbau des Membranreaktors ist dem einer Brennstoffzelle zwar sehr ähnlich, aber einfacher und kostengünstiger als beispielsweise die Festoxid-Brennstoffzelle, die ebenfalls für die direkte Verstromung von Ammoniak eingesetzt werden kann. Das Projekt leistet somit einen wichtigen Beitrag für emissionsfreie Schifffahrt, Luftfahrt und Heavy-Duty ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Projekt wird im Forschungsrahmenprogramm Horizont 2020 der Europäischen Union finanziert und ist 2020 gestartet.

## INP-Ausgründung Nebula Biocides GmbH erhält Leibniz-Gründerpreis

Die jüngste Ausgründung des INP, die Nebula Biocides GmbH, wurde im März 2021 als einer von zwei Preisträgern mit dem Leibniz-Gründungspreis ausgezeichnet. Die Gründer Dr. Jörn Winter, Dr. Ansgar Schmidt-Bleker und Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann entwickelten einen hochwirksamen Desinfektionswirkstoff, der innerhalb von 30 Sekunden sowohl gegen hartnäckige Bakteriensporen als auch gegen widerstandsfähige Viren wirkt. Insbesondere werden Clostridioides difficile Sporen vollständig inaktiviert. Bei einem großflächigen Einsatz des neuen Desinfektionsverfahrens kann so eine signifikante Senkung von Infektionsrisiken z. B. in Krankenhäusern erzielt werden. Der Preis ist insgesamt mit 50.000 € dotiert und wird jedes Jahr von der Leibniz-Gemeinschaft für Gründungsvorhaben vergeben, die sich durch besondere Leistungen bei der Entwicklung von innovativen und tragfähigen Geschäftsideen auszeichnen.



## Doppel-Auszeichnung für Greifswalder Plasmamedizin-Forscher

Prof. Dr. Thomas von Woedtke, Vorstandsmitglied und Forschungsschwerpunktleiter am INP, wurde auf der „8th International Conference on Plasma Medicine (ICPM-8)“ mit dem „Plasma Medicine Award“ der „International Society for Plasma Medicine“ (ISPM) ausgezeichnet. Der Preis würdigt alle zwei Jahre ausgewählte Forscherinnen und Forscher für ihre wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Plasmamedizin. Nach der Verleihung des Preises 2013 an Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann, INP, und 2018 an Prof. Dr. Hans-Robert Metelmann, Universitätsmedizin Greifswald, geht der „Plasma Medicine Award“ damit zum dritten Mal nach Greifswald. Damit wird die Bedeutung des Wissenschaftsstandortes Greifswald für dieses medizinische Forschungsgebiet mehrfach unterstrichen.



## Beitrag des INPs zur „Nationale Wasserstoffstrategie“ des BMBF

Gemeinsam mit dem Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) in Duisburg und der Inherent Solution Consult GmbH & Co KG in Rostock koordiniert das INP die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für Technologien zur Umsetzung der gesamten Transportkette für grünen Ammoniak im Rahmen des Leitprojekts TransHyDE der „Nationalen Wasserstoffstrategie“ des BMBF. Am Standort Poppendorf auf dem Industriegelände der YARA Rostock werden dafür industrierelevante Prüf- und Testfelder im COIL - CAMPFIRE Open Innovation Lab für die neuen Technologien aufgebaut. Im Fokus stehen dabei die Entwicklung von Logistikstrukturen und Betankungsanlagen für den Ammoniak-Import und Betrieb von Schiffen mit grünem Ammoniak, lastflexible Ammoniak-Anlagen für die saisonale Erzeugung von Ammoniak aus erneuerbarer Energie und dynamische Wandlungstechnologien für stationäre und mobile Energieversorgung sowie Ammoniak-zu-Wasserstoff-Tankstellen.

Ebenfalls ausgezeichnet wurde Dr. Sander Bekeschus, Forschungsgruppenleiter „Plasma-Redox-Effekte“ am INP. Er erhielt den „Early Career Award in Plasma Medicine“. Der Wissenschaftler überzeugte die internationale Jury in dieser Kategorie mit seiner innovativen, plasmamedizinischen Forschungstätigkeit während der letzten zehn Jahre und Publikationen in hochkarätigen Fachjournals.



Bild des zukünftigen Zentrums für Life Science und Plasmatechnologie (Z4) in Greifswald. Die Fertigstellung ist für 2023 geplant.



Das Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP) hat bereits in zahlreichen Projekten nachgewiesen, dass großes wirtschaftliches Potenzial in plasmatechnologischen Anwendungen liegt und das INP für gesellschaftlich relevante Problemstellungen innovative Lösungsansätze bietet. Dabei arbeiten das INP mit der Industrie und anderen Forschungseinrichtungen zusammen. Die Kooperationen mit Forschungseinrichtungen aus anderen Fachgebieten und Partnern aus der Wirtschaft bilden dafür entscheidende Bausteine für zukünftige Vorhaben. Die folgenden Beispiele sollen einen kleinen Einblick in das Forschungsspektrum des INP der kommenden Jahre geben.

## Schlüsseltechnologie für die Energiewende

Gemeinsam mit dem Leibniz-Institut für Katalyse (LIKAT, Rostock) und dem Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik (IGP, Rostock) wollen wir als INP eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung von kostengünstigen und effektiven Wasserstofftechnologien einnehmen. Dafür werden wir mit Unterstützung des Ministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Tourismus und Arbeit Mecklenburg-Vorpommern die "Forschungsfabrik Wasserstoff MV" aufbauen, welche die Entwicklung von neuen Technologien zur wirtschaftlichen Erzeugung von Wasserstoff ( $H_2$ ), Ammoniak ( $NH_3$ ) und  $CO_2$ -neutralen kohlenstoffbasierten Kraftstoffen (etwa synthetisches Methanol oder grünes Kerosin) im Raum Rostock, sowie deren effiziente Anwendung in der Praxis zum Ziel hat. Das INP konzentriert sich u.a. auf Plasmalyse-Verfahren, die aufgrund von geringeren Wirkungsgradverlusten als herkömmliche Elektrolyseverfahren eine wirtschaftlich vielversprechende Alternative zur Gewinnung von grünem Wasserstoff darstellen. So benötigen Plasmalyse-Verfahren nur ein Fünftel der notwendigen elektrischen erneuerbaren Energie im Vergleich zur Elektrolyse und stellen somit eine wichtige Schlüsseltechnologie zur Steigerung der emissionsfreien  $H_2$ -Erzeugung sowie zur Bereitstellung von dringend erforderlichem grünen Kohlenstoff dar.

## Wandel in der Region durch die Verwertung biogener Reststoffe

Das INP setzt gemeinsam mit der Hansestadt Anklam und der Cosun Beet Company (Zuckerfabrik) im Bündnis „biogeniV“ auf neuste Technologien, mit denen bislang ungenutzte biogene Reststoffe inklusive Kohlendioxid ( $CO_2$ ) verwertet werden können. Die Jury des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) entschied 2021, das Bündnis zu fördern. Ziel ist, mit neuen Geschäftsmodellen die Re-

gion Anklam nachhaltig zu gestalten. In der Konzeptphase des Bündnisses sind bereits viele Projektideen von Partnern aus Forschung und Wirtschaft zur Umsetzung entstanden. Der Fokus liegt dabei auf Technologien zur Biomethanol-erzeugung, Technologien für mehr Ressourceneffizienz bei der Biogasherstellung und Technologien für die Verwertung von bisher ungenutzten Reststoffen wie Gülle und Gärresten. Alle Umsetzungskonzepte sind zugeschnitten auf die regionalen Gegebenheiten. Mit der Bewilligung ist das INP nun an einem dritten Verbundprojekt im Rahmen des BMBF Programms „WIR! – Wandel durch Innovation in der Region“ federführend beteiligt.

## Mehr Platz für Innovationen - Zentrum für Life Science und Plasmatechnologie (Z4)

Die Hansestadt Greifswald investiert insgesamt rund 37,6 Millionen Euro in den Bau eines Zentrums für Life Science und Plasmatechnologie. Die Hälfte dieser Summe stellt das Land über Fördermittel bereit. Die Eröffnung ist im Frühjahr 2023 geplant. Im Beisein der damaligen Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel, dem damaligen Landesminister für Wirtschaft, Arbeit und Gesundheit Harry Glawe und dem Oberbürgermeister der Stadt Greifswald Dr. Stefan Fassbinder wurde am 4. Februar 2020 der symbolische Grundstein gelegt. Mit dem Zentrum für Life Science und Plasmatechnologie (Z4) entsteht direkt an das INP angrenzend ein neues Forschungs- und Gründerzentrum mit internationaler Strahlkraft. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des INP erhalten durch den Neubau noch bessere Möglichkeiten, mit der Industrie zu kooperieren und Prototypen für den Markt zu entwickeln. Das INP wird beispielsweise eine acht Meter hohe Technikumshalle, zahlreiche Büroräume und speziell eingerichtet Labore anmieten, u.a. weitere Labore mit der biologischen Sicherheitsstufe 2. Die neuen Flächen sollen hauptsächlich für die Erforschung und Entwicklung klimafreundlicher Technologien genutzt werden.

Nach einer langen Planungs- und Bauphase freuen wir uns darauf, endlich die neuen Möglichkeiten zu nutzen, die das Zentrum unserem Haus bieten. Die Erfolge, die wir in der Vergangenheit erzielen konnten, werden auch zukünftig in neuen Verfahren und Prototypen münden. Dafür haben wir die strategischen Weichen gestellt. Wir freuen uns, gemeinsam mit Ihnen weitere Erfolgsgeschichten schreiben zu können.



**Prof. Dr. Dirk Uhrlandt**  
Tel.: +49 3834 / 554 461  
[uhrlandt@inp-greifswald.de](mailto:uhrlandt@inp-greifswald.de)



## FORSCHUNGS- BEREICH

## MATERIALIEN & ENERGIE

### Überblick

Der Forschungsbereich bündelt plasmatechnologische Themenstellungen in den Bereichen Energie- und Produktionstechnik. Aktuelle Anwendungsgebiete sind die Herstellung funktionaler Oberflächen, dünner Schichten und katalytisch aktiver Materialien mittels Plasmaprozessen, die plasmachemische Synthese sowie der Einsatz von Lichtbögen in der Elektroenergie- und Verfahrenstechnik.

Im Fokus stehen insbesondere die technischen Herausforderungen der Energiewende. So wird an neuen Materialien für die Batterietechnik, die Photovoltaik sowie die Synthese und Speicherung von Wasserstoff geforscht. Zudem geht es darum, mit neuen Komponenten die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Energieinfrastruktur zu erhöhen. Aktuell untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie Oberflächen mittels nicht-thermischer Plasmen bei Atmosphärendruck behandelt werden können. Darüber hinaus wird die Interaktion von thermischen Plasmen mit Elektroden und Wänden erforscht. Einen Schwerpunkt bildet auch die Entwicklung von Messmethoden für unterschiedliche Anwendungen, vom Vakuumprozess bis zum Lichtbogenschweißen. Hierdurch wird die Analyse der zu Grunde liegenden physikalischen und chemischen Prozesse erst ermöglicht.

### Forschungsschwerpunkt Materialien und Oberflächen

- Funktionelle Schichten
- „PLASFASER“ und „CARMON“

### Forschungsschwerpunkt Plasmachemische Prozesse

- WIR! Projekt „biogeniV“ - Verwertung von biogenem Kohlendioxid
- Plasmachemie

### Forschungsschwerpunkt Schweißen und Schalten

- Verbundprojekt „AutoHybridS“ - Autonom gesteuerter Hybridschalter mit effizienter Wiederverfestigungsdetektion
- Lichtbögen

## Überblick



Beschichtungsverfahren: Herstellung von keramischen Schichten mittels PVD-Verfahren: Im Reaktor können 3 Ausgangsmaterialien simultan per Kathodenzerstäubung (Magnetron sputtering) verdampft werden.

Plasmagestützte Oberflächenprozesse umfassen z. B. den strukturierten Materialabtrag, die Herstellung hochwertiger Beschichtungen und das Engineering von Grenzflächeneigenschaften. Sie eröffnen neue Perspektiven für die kontrollierte Synthese von innovativen nanostrukturierten oder nanoskaligen Materialien. Das Forschungsprogramm „Materialien und Oberflächen“ widmet sich der Erforschung innovativer Plasmaprozesse und der Anwendung technischer Plasmen für die Dünnschichtabscheidung und Materialsynthese. Die grundlegenden Plasmaeigenschaften, die diesen technischen Prozessen zugrunde liegen, werden experimentell und durch numerische Simulation charakterisiert mit dem Ziel, diese Größen mit der resultierenden mikroskopischen chemischen Struktur und Zusammensetzung der synthetisierten Dünnschichtmaterialien und auch mit den angestrebten makroskopischen, technischen Materialeigenschaften zu korrelieren. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge führt letztlich zu intelligent gesteuerten Herstellungsprozessen und somit zu besseren Produkten.

## ANWENDUNGSFELDER

Aktuelle Anwendungsfelder für die im Schwerpunkt erforschten Beschichtungen und nanostrukturierten Materialien finden sich im Bereich der Speicherung und Wandlung erneuerbarer Energie, wie z. B. die Membran- und Elektrodenmaterialien für die Elektrokatalyse (Batterie- und Brennstoffzellentechnik) oder für die Wasserstofftechnologie. Eine wesentliche Anwendung stellt die Synthese von katalytischen Oberflächen für eine dezentrale Energieversorgung unter Nutzung von Wasserstoff und wasserstoffhaltigen chemischen Verbindungen oder im Bereich der Elektromobilität dar.

Weitere Anwendungsgebiete dünner Schichten eröffnen sich entsprechend der speziellen Funktionen. Bei Metallen verringern Schutzschichten die Neigung zur Korrosion oder verbessern den Schutz vor thermischer oder mechanischer Beanspruchung. Sie dienen der Haftungsverbesserung von Materialverbünden, besitzen dekorativen Charakter, verringern als Barriere die Gaspermeation oder dienen der Energiegewinnung.

In der additiven Fertigung lässt sich das Oberflächenfinish von metallischen 3D-Druck-Bauteilen durch elektrolytisches Plasmapolieren verbessern. Dieses Verfahren erlaubt ebenfalls eine konforme Abtragung von oberflächlichen Verunreinigungen.



## Anwendungsorientierter Ausblick

Ein zentrales Forschungsthema ist die Synthese von Materialien für erneuerbare Energiequellen und katalytische Prozesse. Die vom INP koordinierte Großinitiative „Campfire: Wind and Water to Ammonia - maritime Kraftstoffe und Energiespeicher für eine emissionsfreie Zukunft“ im Rahmen des BMBF-Programmes ‚Wandel in der Region‘ (WIR!) hat wegweisenden Charakter zur Stärkung der Beziehungen zur Industrie im Bereich "Materialien für erneuerbare Energien". Im Zusammenschluss von Forschungseinrichtungen und regionalen Unternehmen werden innovative Lösungen im Bereich der dezentralen Erzeugung von Ammoniak aus erneuerbaren Energien und dessen Verwertung als innovativen Energieträger für eine emissionsfreie maritime Mobilität erarbeitet. Im Themenkomplex des INP wird die Erzeugung von Dünnschichtmembranen mittels plasmagestütztem Schichtabscheidungsverfahren erforscht, mit dem Ziel diese für die Herstellung von Ammoniak durch Elektrolyseverfahren aus Luftstickstoff und Wasser nutzbar zu machen.

An dieses Thema schließen weitere Projekte zur Abscheidung und Synthese von nanodimensionalen, metallischen, metalloxidischen und graphitischen Partikeln und Dünnschichten mit Anwendungen als Katalysatoren, Membran- und Elektrodenmaterialien für die Elektrokatalyse oder die Wasserstofftechnologie an.

Mit Hilfe von plasmagestützten Beschichtungsverfahren konnten trägerlose, hochporöse Platin- und Iridiumkatalysatoren erzeugt werden, die als Elektrodenmaterialien für PEM-Brennstoffzellen (Polymerelektrolyt-Membran) und Elektrolyseure fungieren. Die derart hergestellten Schichten weisen bei der Verwendung als Elektroden für die  $H_2$ -Elektrolyse eine achtmal höhere Aktivität im Vergleich zu kommerziellen Katalysatoren auf. Im Rahmen des Validierungsprojekts 3DnanoMe wird das Herstellungsverfahren für diese Metallschichten auf die Dimension von Brennstoffzellenelektroden hochskaliert.

Das EU H2020-Projekt „HiPowAR – Highly efficient Power Production by green Ammonia total Oxidation in a Membrane Reactor“ hat die direkte Energieumwandlung auf der Basis von  $NH_3$  aus nachhaltiger Erzeugung zum Ziel. Dazu werden MIEC-Membrane (Mixed Ionic Electronic Conductor) in einem Plasmaprozess hergestellt, die als  $O_2$ -durchlässiges Wandmaterial in einem Druckmembranreaktor eingesetzt werden, um flüssiges  $NH_3$  bei hohem Wirkungsgrad zu oxidieren.

Neben den vakuumbasierten Prozessen werden auch Atmosphärendruck-Plasmaprozesse in Flüssigkeiten zur Synthese von Nanopartikeln erforscht.

Das Atmosphärendruck-Plasmaspraying wird zur Abscheidung von Schichten untersucht, die Anwendungen in der Elektromobilität z. B. bei elektrischen Kfz-Heizungen finden. Im Projekt „PRISMA“, gefördert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) werden die Plasmaeigenschaften charakterisiert und das Schichtwachstum visualisiert. Die Experimente werden durch Simulationen, mit dem Ziel der verbesserten Prozesssteuerung ergänzt. Im Leibniz-Wettbewerb werden die strategischen Ziele der Leibniz-Gemeinschaft adressiert. Im Forschungsschwerpunkt konnten in 2020/21 zwei Projekte dieses Wettbewerbs erfolgreich abgeschlossen werden. Die Ergebnisse der experimentellen und modelltechnischen Untersuchungen innerhalb des Verbundvorhabens „PLASFASER“ bilden die Grundlage für die Synthese von dotiertem Quarzglas-Hochleistungsglasfasern. Im Projekt „CARMON“ wurden Vanadiumoxid-Schichten als Material für Li-Ionen-Batterien und Superkondensatoren erfolgreich erforscht. Die Kristallinität von  $\gamma-V_2O_5$  und damit die elektrochemische Leistungsfähigkeit können in Abhängigkeit von den Prozesskenngrößen gesteuert werden.



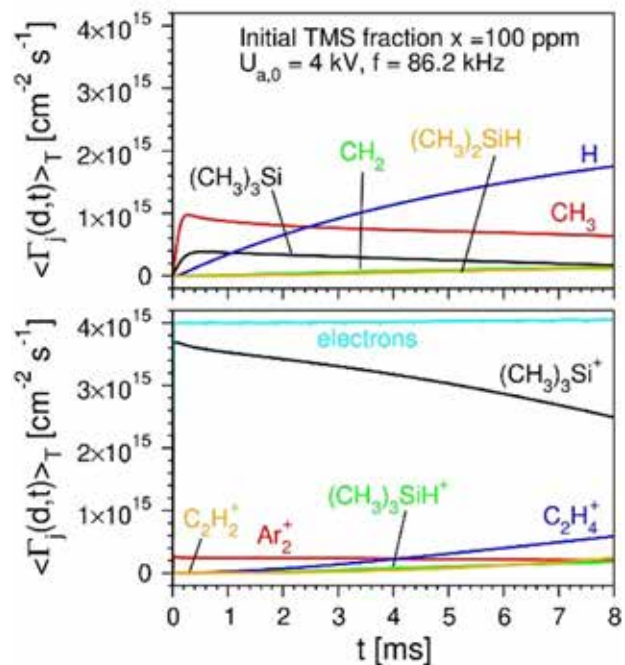
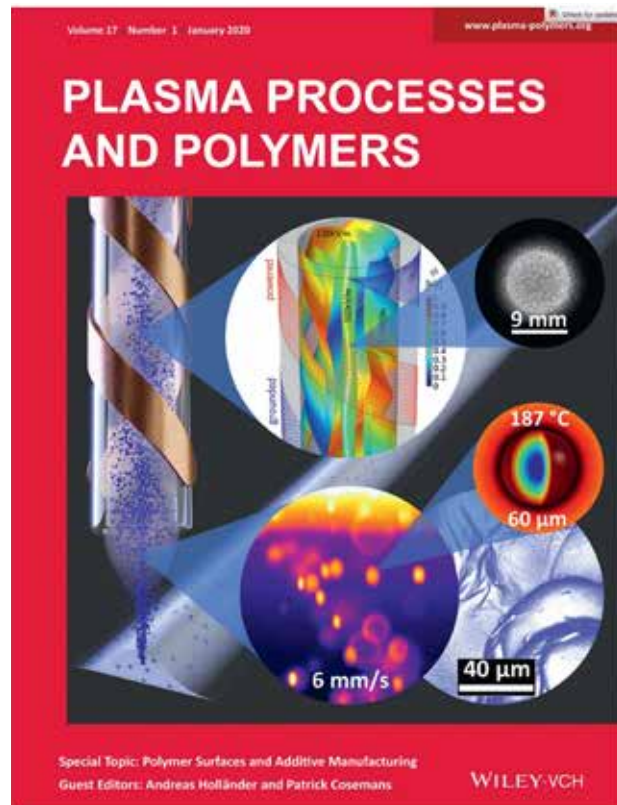
Elektrische Entladung in Flüssigkeiten: Synthese von Vanadiumoxid/ Graphen-Nanohybriden als innovative Batteriematerialien

## Grundfinanziertes Projekt „Funktionelle Schichten“

Die experimentellen und modelltechnischen Untersuchungen im Projekt sind auf das Studium von nicht-thermischen, reaktiven HF-Plasmen unter Normaldruckbedingungen gerichtet, die zur Abscheidung von funktionellen Schichten auf der Basis von siliziumorganischen Ausgangsstoffen mittels PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) genutzt werden. Die Forschungsarbeiten zum Orts- und Zeitverhalten der Entladungsfilamente, insbesondere zu ihrer Selbstorganisation, führte zur Entdeckung einer räumlich homogenen Glimmentladung bei Atmosphärendruck und zur Vorstellung der Plasmaquelle Helixjet, einer kapazitiv gekoppelten HF-Entladung mit einer Doppelhelix-Konfiguration der Elektroden, mit der sich ein stabiles und räumlich homogenes, filament-freies Plasma erzeugen lässt (Schäfer, J. et al., Plasma Process. Polym. 17 (2020) 1900099, DOI: 10.1002/ppap.201900099). Ihre Tauglichkeit wurde einerseits bei der Beschichtung von komplex geformten Bauteilen für Korrosionsschutzschichten auf der Basis von Oktamethyltetrasiloxan demonstriert. Andererseits wurde die Plasmaquelle erfolgreich für die Präparation des Materials während des 3D-Drucks eingesetzt.

Die Modellierung solcher Plasmen (Ar, 27.12 MHz) widmete sich einerseits einem einzelnen Filament in der aktiven Zone unter Verwendung eines phasenaufgelösten Modells und andererseits einer Gesamtbeschreibung des Jets einschließlich des Substrats mit einem periodengemittelten Modell. Schließlich konnte ein phasenaufgelöstes, räumlich zweidimensionales Fluid-Modell aufgestellt werden, welches Gasfluss und Heizung in der aktiven Zone zwischen den Elektroden und dem ausströmenden Jet (Effluent) betrachtet. Die Ermittlung des auf das Substrat gerichteten Stromes der schichtbildenden Moleküle erlaubt eine quantitative Modellierung der Schichtabscheidung (PECVD). Neben den HF-Plasmen bzw. Plasmajet-Geometrien konnten auch dielektrische Barriereentladungen in Argon für die PECVD von siliziumorganischen Schichten mittels zeit- und ortsabhängiger Fluidmodellierung beschrieben werden.

Unter Verwendung von Hexamethyldisiloxan oder Tetramethylsilan (TMS) als Ausgangsstoffe für die Schichtbildung liefern die Modellierungsergebnisse ein realistisches Konzept für die pro Precursor-Molekül absorbierte Energie und die Energieeffizienz in solchen Penning-Mischungen und zeigen, dass die Schichtbildung über den Zufluss positiver Ionen auf das Substrat getragen werden kann. (D. Loffhagen et al., Plasma Chem. Plasma Process. (2020); <https://doi.org/10.1007/s11090-020-10121-y>). Diese Schlussfolgerung aus dem Modell wird durch experimentelle Ergebnisse gestützt und trägt damit zur Klärung einer zentralen Frage zum Schichtbildungsmechanismus bei diesen Prozessen bei.



Oben: Frontseite der Zeitschrift Plasma Processes and Polymers mit graphischer Repräsentation der Atmosphärendruck-Plasmaquelle Helixjet (Schäfer et al., Plasma Process. Polym. 17 (2020) 1900099)  
Unten: Modellierung einer dielektrisch behinderten Entladung (DBE) in Ar-TMS unter Atmosphärendruck. Dargestellt sind die Wandflüsse von neutralen Spezies und von Ladungsträgern über der Zeit (Loffhagen et al., Plasma Chem. Plasma Process. 41 (2021) 289-344).

## Technologieorientierter Ausblick

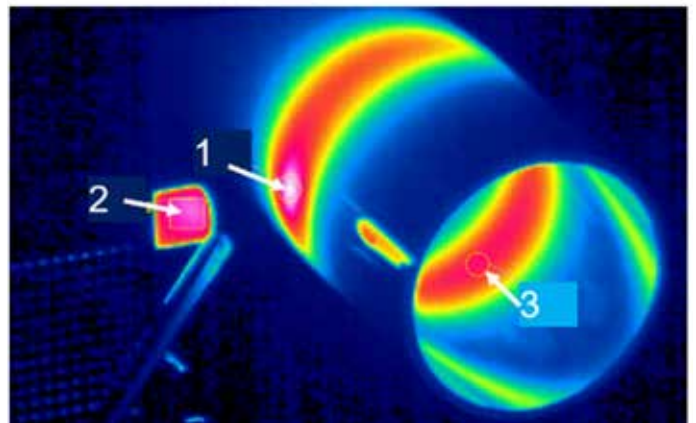
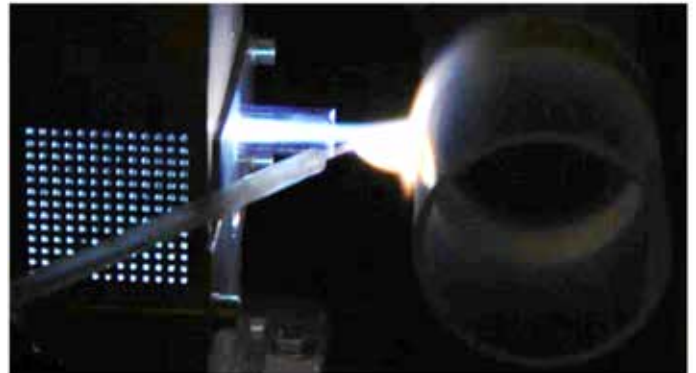
Ein zentrales Forschungsthema bleibt die Synthese von Materialien für erneuerbare Energiequellen. Dabei kommt den Projekten innerhalb der CAMPFIRE-Initiative eine profilgebende Rolle zu. Die Einrichtung des Campfire Open Innovation Lab am Standort Rostock-Poppendorf gilt dabei als unverzichtbares Instrument zur Erleichterung des Technologietransfers, der industriellen Umsetzung und Kommerzialisierung. Die Initiative beschreitet neue Wege, um Wind- und Sonnenenergie vollständig zu nutzen und eine neue Wasserstoffwirtschaft auf Stickstoffbasis zu beschleunigen. Die Prozesskompetenzen des Forschungsprogramms werden im Hinblick auf die Synthese neuer Materialklassen und Legierungen mit definierten Nanostrukturen erweitert, wie z. B. die plasmagestützte Erzeugung von MAX-Phasen und Perowskit-Verbindungen.

Der Transfer von Plasmaprozessen wird auch durch die Hochskalierung von Prozessen auf industriell relevante Substratgrößen gestützt. Die Skalierung ist notwendig, um den Sprung vom Labor in die Fertigung zu schaffen. Mehrere Projekte sind dieser Thematik gewidmet, z. B. die Implementierung von Rolle-zu-Rolle-Prozessen, der Übergang zu größeren Plasma-in-Flüssigkeit-Durchflussreaktoren oder auf Validierung von Plasmaprozessen für industriell relevante Substrate. Basierend auf dem vom BMBF geförderten Validierungsprojekt „3DnanoMe“ ist eine Roadmap für die Gründung eines Spin-off-Unternehmens unter Nutzung des EXIST-Förderprogramms des BMWI vorgesehen.

Innovative hybride, nanostrukturierte Materialien werden auch durch lokale atmosphärische Plasmaprozesse synthetisiert. Die Fähigkeit des plasmainduzierten Pfpfens auf der Nanoskala zur Synthese von 2D-Graphenderivaten und zur schrittweisen Aggregation neuartiger hochauflösender (HD) Nanohybride wird als mögliches Verfahren zur Schaffung von Nanoarchitekturen für die additive Fertigung evaluiert werden.

Im Hinblick auf die Entwicklung der Methodenkompetenz werden in den nächsten Jahren weitere moderne Techniken an Bedeutung gewinnen und technisch angewandt:

- (i) neue Hybridverfahren, z. B. die Kombination von weiteren Verfahren (UV, Laserannealing) mit dem Plasmaprozess;
- (ii) Weiterentwicklungen von Verfahren wie Plasma-in-Liquid-Prozesse, plasmaelektrolytisches Polieren und plasmaelektrolytische Oxidation sowie die Kombination von High Impulse Magnetron Sputtering (HiPIMS) mit der plasmabasierten Ionenimplantation (PBII)



Mikrowellenplasma zur Synthese von Quarzglas für Hochleistungsglasfasern. Die Schichtbildung erfolgt auf einem rotierenden Glaszylinder. Oben: Plasmajetquelle mit Effluent und Zufuhr des Reaktivgases, unten: Messung der Oberflächentemperatur (1: Außen-, 3: Innenwand des Zylinders, 2: Düse der Plasmaquelle) während des Prozesses mittels IR-Kamera. Projekt PLASFASER, Leibniz-Wettbewerb (Baeva et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2021) 355205).

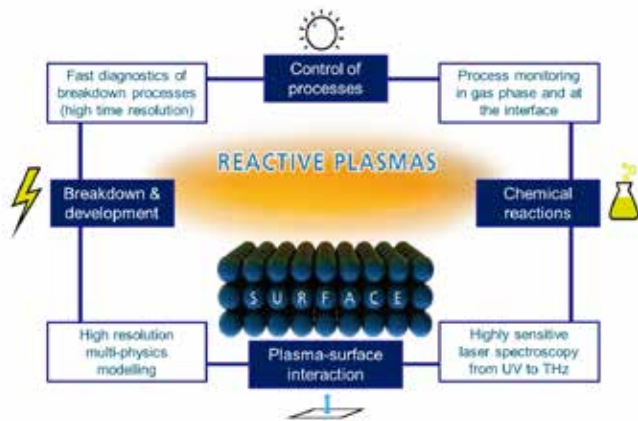
## KONTAKT



**Dr. Rüdiger Foest**  
Tel.: +49 3834 / 554 3835  
foest@inp-greifswald.de



## Überblick



Fragestellungen und Kernthemen des Forschungsschwerpunktes „Plasmachemische Prozesse“

Der Forschungsschwerpunkt „Plasmachemische Prozesse“ fokussiert sich auf die Physik und Chemie reaktiver Plasmen. Neben den chemischen Prozessen im Volumen und an den angrenzenden Oberflächen stehen deren Korrelation mit der Entladungsphysik sowie Methoden zur Steuerung und Kontrolle von Prozessen im Mittelpunkt des Interesses.

Die Projekte clustern sich um vier Kernthemen:

- Atmosphärendruck-Plasmaprozesse und -reaktoren, insbesondere für Power-to-Gas-Anwendungen,
- neue Plasma-Diagnostiken,
- Simulation der Ausbildung von reaktiven Plasmen einschließlich der chemischen Vorgänge,
- Entwicklung von In-situ-Prozesskontrollverfahren einschließlich deren Transfer in die industrielle Praxis.

Dabei werden sowohl die Expertisen in der hochempfindlichen Laserabsorptionsspektroskopie als auch in der hochzeit aufgelösten Bildgebung und Spektroskopie genutzt. Neben modernsten Methoden der IR-Spektroskopie wurden u.a. die Terahertz- (THz-) Spektroskopie und die resonatorbasierte Absorptionsspektroskopie weiter ausgebaut. Experimentelle Arbeiten werden mittlerweile mit raum- und zeit- aufgelöster numerischer Modellierung inklusive extensiver plasmachemischer Kinetik gekoppelt.

## Anwendungsfelder

### Atmosphärendruckplasmareaktoren:

Plasmen, die ohne aufwändige Vakuumtechnik betrieben werden können, sind für viele industrielle Prozesse relevant. Ein aktueller Schwerpunkt ist die Umwandlung von Kohlendioxid in andere chemische Verbindungen, z. B. Kohlenmonoxid als Ausgangsstoff für Kraft- und Wertstoffe. Grundlage der Reaktor- und Prozessentwicklung ist ein fundiertes Verständnis der Ausbildung der Plasmen, d.h. der Vorgänge beim elektrischen Durchbruch und der Wechselwirkung mit den begrenzenden Oberflächen. Diese sind durch die Verfahren der Bildgebung und Spektroskopie zugänglich und erlauben es auch Aussagen über Plasmamparameter zu treffen. Durch die Cavity-Enhanced Laser Spectroscopy ist die orts aufgelöste Messung reaktiver und stabiler Spezies, insbesondere in kleinskaligen Plasmen, möglich.

### Prozesskontrolle in industriellen Plasmaprozessen:

Da die empirische Festlegung von Prozessparametern auch weiterhin an Grenzen stößt, gibt es einen Bedarf an empfindlichen Methoden, die zur instantanen Bestimmung der chemischen Zusammensetzung der Plasmen geeignet sind. Neben der IR-Absorptionsspektroskopie und der Cavity-Enhanced Absorption Spectroscopy für molekulare Spezies wurde die THz-Spektroskopie für den Nachweis atomarer Spezies und die Messung von Elektronendichten in das Portfolio aufgenommen.

### Plasmanitrieren:

Die Erforschung des Plasmanitrocarburier-Prozesses zur Erhöhung der Oberflächenhärte von Werkstücken wird weiterhin in Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg erforscht. Das sog. "Active Screen Plasma Nitriding" mit einem Kohlenstoffgitter, das die Bogenbildung verhindert und daher eine gleichmäßigere Bearbeitung der Werkstücke ermöglicht, kann mit der Kenntnis der Konzentration stabiler Plasmaspezies verbessert werden. Für die Laserabsorptionsspektroskopie wird u.a. das neue Frequenzkamm-System eingesetzt, das die simultane Erfassung mehrerer Spezies ermöglicht und mittlerweile mit einer schnelleren Detektionsmethode ausgestattet ist.



## Anwendungsorientierter Ausblick



Das neue WIRI-Bündnis „biogeniV“ widmet sich u. a. der Verwertung von biogenem Kohlendioxid in der Region östliches Mecklenburg-Vorpommern

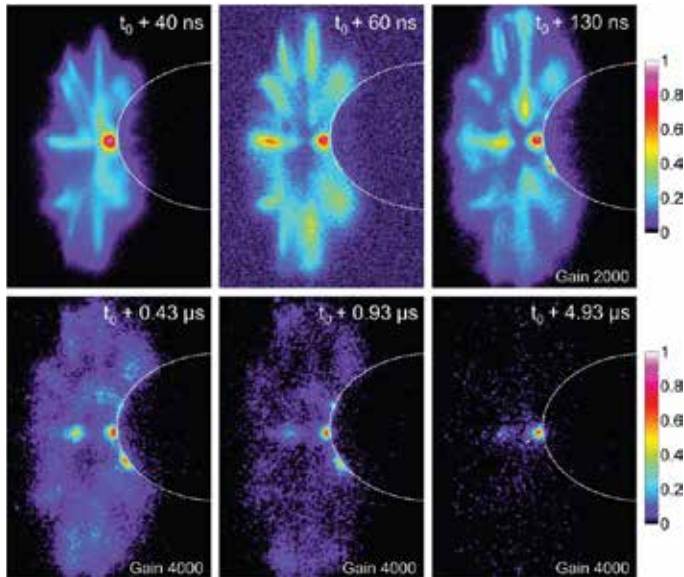
Die Arbeiten im Forschungsschwerpunkt zielen u. a. auf neue Verfahren für die direkte plasmagestützte und plasmakatalytische Herstellung von chemischen Grundstoffen aus einfachen Rohstoffen ab. Zur Herstellung von chemischen Stoffen sollen kohlenstoffhaltige Ausgangsstoffe, vorrangig das Treibhausgas Kohlendioxid, unter Einwirkung der Plasmen zu anderen chemischen Verbindungen umgesetzt werden. Diese dienen als Grund- bzw. Ausgangsstoff für nachfolgende Syntheseprozesse oder werden im Plasma selbst weiter umgewandelt. Plasmen bieten die besondere Möglichkeit, chemische Substanzen effizient und vor Ort „on demand“ mittels elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen im Sinne eines Power-to-X herzustellen. Im Jahr 2021 konnte dazu ein vom BMBF gefördertes WIR-Projekt eingeworben werden. Gemeinsam mit der Hansestadt Greifswald und der Consun Beet Company in Anklam wurde das neue Bündnis "biogeniV" mit über 15 regionalen und überregionalen Partner geschaffen, das 2022 in die erste Umsetzungsphase geht.

Im Rahmen von "biogeniV" soll vor allem die Erzeugung von Biomethanol aus biogenem Kohlendioxid aus Biogasanlagen im Mittelpunkt stehen. Dazu sollen katalytische Prozesse mit Plasmaverfahren und modernster Membrantechnologie kombiniert werden. Neben dieser Schaffung neuer Optionen für die Bioökonomie greift das Forschungsfeld Herausforderungen auf, die sich im Zuge der sog. Elektrifizierung der chemischen Industrie im Rahmen der Energiewende ergeben. So werden in weiteren Projekten die Bildung von Kohlenmonoxid als chemischer Grundstoff, die Methanisierung oder die Hydroformulierung betrachtet.

Die plasmagestützte thermochemische Randschichtbehandlung zur Verbesserung von Oberflächeneigenschaften metallischer Bauteile durch ein gezieltes Eindiffundieren von Stickstoff und Kohlenstoff in die Werkstücke wird im Zuge einer nachhaltigeren Ressourcenverwendung weiter an Bedeutung gewinnen. Die Arbeiten im Forschungsschwerpunkt zielen weiterhin auf eine neue plasmagestützte Technologie ab: das sog. „Active Screen Plasma Nitriding“, das beim Partner TU Bergakademie Freiberg entwickelt wurde. Die Erkenntnisse, die mittels empfindlicher Plasmadiagnostik gewonnen werden, führen nicht nur zu einem besseren Verständnis der Elementarprozesse, die Behandlungsergebnisse reproduzierbarer machen, sondern auch dazu, die Prozessbedingungen so einzustellen, dass wohldefinierte Schichtprofile erhalten werden. Außerdem soll die Plasmadiagnostik selbst als Methode zur Prozesskontrolle weiter qualifiziert werden.

Neben dem Plasmanitrokarburieren gibt es in der Industrie eine Vielzahl an Prozessen, die einen Bedarf an empfindlicher In-situ Prozessdiagnostik haben. Die immer komplexer werdenden Fertigungstechnologien werden zukünftig nicht alleine durch eine empirische Festlegung von Prozessparametern und deren statistische Modifikation optimiert werden können, sondern bedürfen eines fundierten Verständnisses der Vorgänge, die durch das Zusammenspiel von Plasmadiagnostik und -simulation gewonnen werden. Mit der klassischen IR-Absorptionsspektroskopie im mittleren Infrarotbereich, der relativ neuen Cavity-Enhanced-Absorptionsspektroskopie oder der THz-Spektroskopie werden empfindliche Methoden adaptiert oder entwickelt, die diese Herausforderungen perspektivisch bewältigen können.

## Grundfinanziertes Projekt „Plasmachemie“



Ausbildung eines Entladungsfilamentes auf einer Glasoberfläche mit dahinterliegender Gitterelektrode in Luft (Ausdehnung von ca. 5 mm). In Zusammenarbeit mit der TU Eindhoven, Niederlande. (Kettlitz et al., J. Appl. Phys. 128 (2020) 233302)

Der Forschungsschwerpunkt setzt einen Fokus auf die Untersuchung der Ausbildung von Plasmen bei höheren Drücken. Ziel ist es, die Mechanismen der Plasmaerzeugung so zu verstehen, dass Reaktorgeometrien und Prozessbedingungen gezielt auf chemische Prozesse, wie z. B. die Dissoziation von Kohlendioxid, ausgerichtet werden können. Besondere Herausforderung ist hierbei, dass es sich um sehr schnelle Vorgänge handelt. Diese laufen bei Atmosphärendruck meist auf der Sub-Nanosekunden-Zeitskala ab. Zudem sind es sehr kleinskalige Objekte mit Längenskalen im Mikro- bis Millimeterbereich. Neben dem elektrischen Durchbruch im Volumen ist auch die Ausbildung der Entladungen auf den angrenzenden Oberflächen wichtig, vor allem auch im Hinblick auf die Kombination von Plasmen mit Katalysatoren, welches ein zukünftiges Arbeitsfeld im Forschungsschwerpunkt sein wird.

Für die Untersuchung der Plasmaerzeugung in Barrierenentladungen werden bildgebende und spektroskopische Verfahren mit einer Zeitauflösung bis zu 2 ps eingesetzt. Untersucht wurden unter anderem der Einfluss von organischen Verbindungen oder elektronegativen Gasen auf die Plasmazündung und -morphologie auf die Ausbildung von Entladungskanälen an Wasser oder Dielektrika. Die Abbildung rechts zeigt, wie sich ein Entladungskanal auf der Oberfläche eines Dielektrikums in mehrere Sekundärkanäle aufteilt und entlang der darunterliegenden Gitterstruktur ausbreitet. Neben der Dy-

namik des elektrischen Durchbruchs können solche Ergebnisse auch zur Bestimmung von Plasmamparametern, wie der reduzierten elektrischen Feldstärke herangezogen werden. In dieser Thematik gibt es eine langjährige Kooperation mit der Masaryk-Universität Brno, Tschechische Republik. Zusätzlich wird mit Hilfe von Ersatzschaltbildern eine elektrische Charakterisierung von Plasmareaktoren durchgeführt. Neben der Diagnostik ist auch die Konstruktion der Entladungsanordnungen eine Herausforderung. Diese sind so zu gestalten, dass Entladungskanäle lokalisiert, zeitlich stabil und reproduzierbar erzeugt werden.

Die experimentellen Untersuchungen gehen einher mit einer modellbasierten Analyse der Vorgänge. Bei der Modellierung und Simulation werden hydrodynamische und kinetische Ansätze integriert, um die schnellen Prozesse beschreiben zu können. Außerdem wird stetig an neuen plasmadiagnostischen Konzepten gearbeitet.

Vor allem die Laserabsorptionsspektroskopie (LAS) ist ein wichtiges Verfahren für die Detektion von Plasmakomponenten und die Analyse der chemischen Vorgänge. Als neue Strahlungsquelle für die LAS konnte das Frequenzkamm-System etabliert werden. Vorteil dieses Femtosekundenlaser-basierten Systems ist, dass statt einer Laserlinie mehrere Tausend Laserlinien mit präzise bekanntem Frequenzabstand erzeugt werden. Es ermöglicht die simultane Erfassung mehrerer Spezies im Plasma und ermöglicht Einsichten zu den verschiedenen Temperaturen in diesen Nichtgleichgewichtsplasmen wie Gas-, Rotations- und Vibrationstemperatur. Insbesondere für Anwendungen in der Molekülspektroskopie kann hier in der Plasmaforschung eine Vorreiterrolle eingenommen werden. Derzeit wird dieses System zur Untersuchung des Plasmanitrokarburier-Verfahrens eingesetzt.

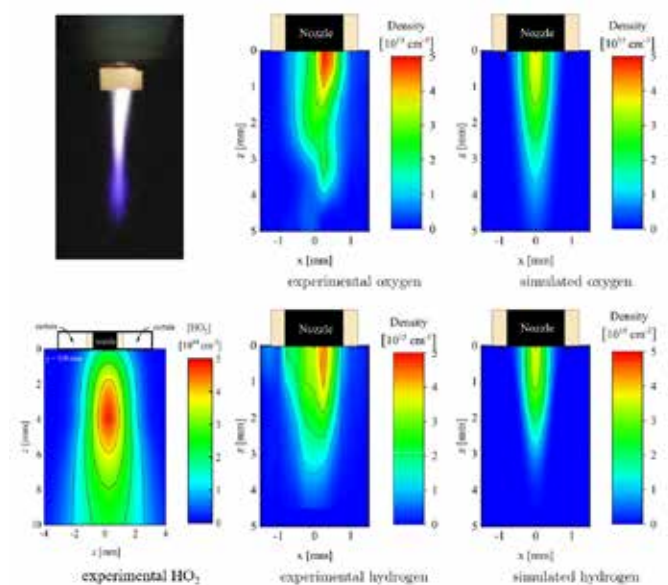
Die THz-Spektroskopie wurde in den vergangenen Jahren weiter aufgebaut. Diese Methode ermöglicht die Bestimmung der Dichte von Atomen und -Ionen im Grundzustand sowie Elektronen und bietet einen neuen diagnostischen Zugang zur Steuerung von z. B. Beschichtungsprozessen.

Einen besonderen Schwerpunkt hat in den vergangenen Jahren die Untersuchung des Plasmajets "kINPen" eingenommen. Das Plasma wird zunächst in einer Kapillare erzeugt und durch einen Argongasstrom als Effluent nach außen getragen. Diese Plasmaquelle wird für die lokale Behandlung von wärmeempfindlichen Oberflächen, Wunden oder der Haut verwendet und ist damit ein wichtiges Instrument im FB „Umwelt und Gesundheit“. Das Hinzufügen von Feuchtigkeit zum Arbeitsgas führt zur Produktion hochreaktiver Zwischenprodukte, wie z. B. Wasserstoff- und Sauerstoffatomen oder Hydroxylradikalen. Diese gelten als Schlüsselspezies für die biomedizinische Anwendung und Plasma-Oberflächenwirkung. Ihre Detektion und die Beschreibung der Plasmachemie ist eine Herausforderung an die Plasmadiagnostik und -modellierung und unbedingt notwendig, um die Wirkung der Plasmabehandlung zu verstehen und anzupassen.

Für die Bestimmung der Spezieskonzentration im Effluenten des Plasmajets konnte die Methode der Cavity-Ring-Down Spektroskopie weiter etabliert werden. Die Zusammenarbeit mit der Universität Oxford, Großbritannien, wurde weiter ausgebaut und die Dichteverteilung von Hydroperoxyradikalen konnte bestimmt werden. In Kooperation mit der Universität York, Großbritannien, wurde zudem die Zwei-Photonen-absorption Laserinduzierte Fluoreszenz (TALIF) für die Bestimmung der Dichte von Wasserstoff- und Sauerstoffatomen mit axialer und radialer Auflösung an der gleichen Plasmaquelle eingesetzt. Die experimentellen Ergebnisse wurden mit einem zweidimensionalen Reaktionsströmungsmodell verglichen, das mit einem lokalen OD-Modell für die Plasmachemie gekoppelt ist. Das Maximum der Atomdichten wurde am Ausgang der Kapillare erhalten. Als Hauptmechanismus der Wasser- und Sauerstoffatomproduktion konnte die Dissoziation von Wassermolekülen und molekularem Sauerstoff in der aktiven Zone des Plasmajets, also in der Kapillare, ermittelt werden. Die Erzeugungs- und Vernichtungsprozesse von Atomen, Hydroxyl- und Hydroperoxyradikalen sowie Wasserstoffperoxid und Wasser sind dabei miteinander gekoppelt.

Die Dichten von metastabilen Argonatomen wurden mittels Laserabsorptionsspektroskopie bei 811 nm vermessen. Dabei wurde vor allem der Einfluss der Feuchtigkeit im Gas auf das Plasma untersucht.

Die Bedeutung der metastabilen Atome ist, dass sie über ausreichend Energie für die Dissoziation von Molekülen verfügen. Zudem können sie die Ausbildung des Plasma beeinflussen. Die höchste Dichte wird auch bei dieser Spezies am Kapillarenausgang erhalten. Die Zugabe von Wasser zum Arbeitsgas Argon verringert die Dichte aufgrund sog. Quenching-Prozesse (Stoßlöschung). Aus dem Abfall der Dichte mit dem Wasseranteil konnten die Lösungsquerschnitte bestimmt werden.



Morphologie und raum-zeitliche Entwicklung eines Einzelfilamentes in einer Barrierenentladung in einem Stickstoff-Lachgas-Gemisch (Klose et al., Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 085011 & Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 125018).

## KONTAKT



**Prof. Dr. Ronny Brandenburg**  
Tel.: 03834-554-3818  
brandenburg@inp-greifswald.de

## Überblick

Die Untersuchung thermischer Plasmen bildet das Hauptbeschäftigungsfeld des Forschungsschwerpunktes „Schweißen und Schalten“.

Thermische Plasmen spielen in technologischen Anwendungen in der Verfahrenstechnik sowie für Schaltgeräte der Elektrotechnik eine wichtige Rolle. Der Forschungsschwerpunkt konzentriert sich auf die Diagnostik und die physikalische Charakterisierung des Lichtbogens und erarbeitet Alternativen zur Problemlösung, zum Monitoring und zur Prozessoptimierung. Die Anwendungsgebiete reichen dabei von thermischen Verfahren der Metallbearbeitung (Lichtbogenschweißen, Plasmaschneiden) über Gas- und Vakuumschaltanlagen bis hin zu Anwendungen in der chemischen Verfahrenstechnik.

In der elektrischen Energietechnik treten thermische Plasmen in Form des sogenannten Schaltlichtbogens auf, welcher in Schaltern beim Ein- oder Ausschalten elektrischer Geräte gezündet wird. Die Charakterisierung dieser überwiegend transienten Bogenentladung in Wechselwirkung mit den angrenzenden Materialien (Elektroden, Wänden) in Nieder- und Hochspannungssystemen steht im Mittelpunkt des Interesses des Forschungsschwerpunktes.

Untersucht werden auch Entladungs- und Lichtbogenerscheinungen, die infolge von Isolationsfehlern entstehen, den Regelbetrieb elektrischer Anlagen und Geräte beeinträchtigen und zur Minderung von Lebensdauer und Funktionsweise führen.

Bedingt durch den komplexen Lichtbogencharakter und durch die dynamische Interaktion mit seiner Umgebung stellen geschlossene Modellvorstellungen thermischer Plasmen heute noch eine wissenschaftliche Herausforderung dar. Insbesondere für die angrenzenden Lichtbogengebiete bestimmen oft die involvierten Materialien und umgebenden Gase die Reichweite und Anwendungsmöglichkeiten der Modellergebnisse. Die stetige Entwicklung neuartiger Komponenten und elektrisch gespeister Geräte, wechselnde Anwendungsfelder und zunehmend umweltbedingte Anforderungen erfordern sowohl die kontinuierliche Forschung über den Lichtbogen selbst als auch über die technologische Anpassung an die jeweiligen Randbedingungen. Die wissenschaftliche Herangehensweise kombiniert verschiedene Diagnostikmethoden experimenteller sowie werkstoffwissenschaftlicher Natur mit mathematischer Modellierung und Simulation. Dies ermöglicht die Ermittlung raum- und zeitabhängiger Plasmaparameter, wie z.B. Temperatur, Zusammensetzung und Gasdynamik.

Speziell auf dem Gebiet der optischen Plasmadiagnostik besitzt das INP ein Alleinstellungsmerkmal. Im Forschungsschwerpunkt werden sowohl optische Emissions- sowie Absorptionsspektroskopie als auch ihre Kombination mit Hochgeschwindigkeitskinematographie und Hochgeschwindigkeits-Zwei-Farben-Pyrometrie genutzt. Eine wesentliche Kompetenzerweiterung erfolgt durch die Anpassung absorptionsspektroskopischer Methoden zur Untersuchung der lichtbogenangrenzenden Bereiche.

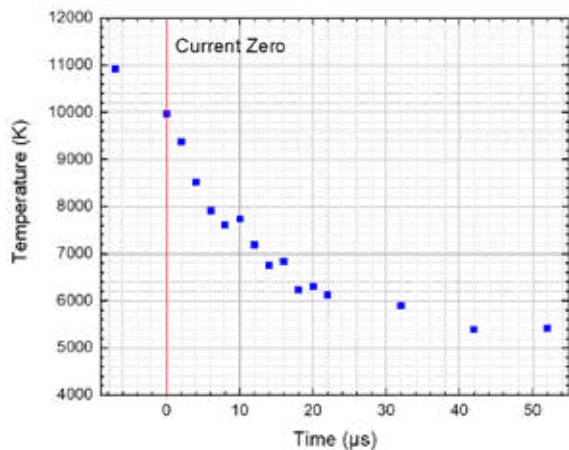
Für die Modellierung und Simulation werden sowohl die klassischen magnetohydrodynamischen Modelle (Navier-Stokes- und elektromagnetische Gleichungen) als auch in zunehmenden Maße Nichtgleichgewichtsmodelle, unter Verzicht auf Annahmen des lokalen thermodynamischen Gleichgewichts eingesetzt. Dadurch wird eine wesentlich höhere Genauigkeit bei der Beschreibung der Plasmaprozesse in den Elektrodengebieten und der Plasma-Festkörper-Wechselwirkung erreicht. Ferner stehen Arbeiten zum Strahlungstransport und zu Materialdaten für Nichtgleichgewichtsplasmen im Fokus.



Hochstromgenerator zur Nachbildung verschiedener Stromverläufe im elektrotechnischen Bereich: AC-Pulse bis 200 Hz und 15 kA Amplitude, AC-Pulse bis 80 kA bei 50 Hz, DC-Pulse bis 20 ms Dauer und 10 kA Amplitude und Blitzstoßströme 10/350µs bis 50 kA max.



## Verbund Projekt "AutoHybridS"



Zeitliche Entwicklung der Plasmatemperatur während und in der nach Stromphase (Post-arc) eines Hybrid ausgeschalteten DC- Schaltlichtbogens (70A 400 VDC)

Das Verbundprojekt „Autonom gesteuerter Hybridschalter mit effizienter Wiederverfestigungsdetektion – AutoHybridS“ wird vom BMWI bzw. BMWK gefördert und bündelt Partner aus der Industrie und Wissenschaft.

Das Ziel des Verbundprojekts „AutoHybridS“ ordnet sich ein in die bedarfsorientierte Verteilung von Energie auf Bussystemen mit Nennspannungen von bis zu 850 V Gleichspannung, welche mit einer effizienten extrem schnell auslösenden Schalttechnik abzusichern sind.

Hierbei soll ein schneller Gleichstrom-Hybrid-Leistungsschalter für den Einsatz in Industrie- und Bordnetzen zur Systemintegration von erneuerbaren Energien und zur Energierückgewinnung aus elektrischen Antrieben entwickelt werden. Im Verbund wird der Lösungsansatz verfolgt, die Vorteile mechanischer Schaltgeräte (geringe Durchlassverluste, galvanische Trennung) und der Leistungshalbleiter (schnelles Schalten) in einem Gerät zu vereinen. Im angestrebten neuartigen Hybridschalter erfolgt das Schalten durch das kombinierte Agieren von mechanischen Schaltkontakten mit einer parallel geschalteten Leistungselektronik.

Hierbei wird der Schaltlichtbogen durch das Zuschalten eines Halbleiters zum Erlöschen gebracht. Um eine sichere Stromunterbrechung zu gewährleisten, muss jedoch die Wiederverfestigung der Schaltstrecke erreicht werden, bevor der Halbleiter wieder gesperrt wird. Die ökonomische Auslegung des Halbleiters erfordert den Zeitpunkt der

Wiederverfestigung der Kontaktstrecke nach Verlöschen des Lichtbogens sicher und schnell zu detektieren. Ziel des Teilvorhabens des Forschungsschwerpunkts ist es, die entscheidenden Vorgaben zu erarbeiten, die die Erkennung der Wiederverfestigung ermöglichen. Hierbei werden sowohl spektroskopische und plasmaphysikalische Analysen an einer Modellschaltkammer als auch die Ableitung eines mathematischen Modells angewendet.

Im Rahmen des Projekts wurde am INP ein Modellschalter aufgebaut. Umfangreiche Hochgeschwindigkeitskamertechnik sowie zeitlich und räumlich hochauflösende spektroskopische Messungen ermöglichen die Detektion und Charakterisierung des in der Post-arc-Phase im Elektrodenraum befindlichen Plasmas. Durch Verwendung geeigneter Filter konnte unterschieden werden zwischen dem vergleichsweise stabilen Verhalten des von Komponenten des Umgebungsgases (O, N, H) dominierten Bogenplasmas in der Mitte zwischen den Elektroden und dem sprunghaften Verhalten des elektrodennahen, durch Elektrodenmaterial (Cu) dominierten Plasmas, das als Spots bzw. Jets wahrgenommen wird. Erste Aussagen zur Zusammensetzung und Temperatur des Bogenplasmas und des sich abkühlenden Restgases nach Stromnulldurchgang wurden ermittelt.

Im nächsten Schritt sind Untersuchungen mittels optischer Absorptionsspektroskopie geplant, um die Metaldampfdichte des Restgases zu bestimmen. Für die Realisierung der numerischen Simulation wurde aus den unterschiedlichen Alternativen die Entwicklung eines 1D-t Fluid-Poisson-Modells als geeignetster Lösungsweg gewählt. Mit Hilfe des entwickelten Modells wurden Simulationen zu verschiedenen Parameterkombinationen durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass trotz des hohen Druckes und der hohen Ladungsträgerdichten das Plasma deutliche Abweichungen von thermischem Gleichgewicht aufweist. Eine Aufheizung des Gases findet erst bei Strömen oberhalb von 200 A statt. Durch Variation des Stroms wurde eine Strom-Widerstands-Kennlinie gewonnen, welche in elektrischen Modellen des gesamten Systems vom Projektpartner genutzt werden.

## Grundfinanziertes Projekt „Lichtbögen“

Eine maßgebliche Verbesserung des Schaltvermögens und der Zuverlässigkeit lichtbogenbasierter Schaltgeräte erfordert detaillierte Kenntnisse über die physikalischen Eigenschaften und die Dynamik des resultierenden Lichtbogenplasmas. Besondere Aufmerksamkeit verdienen hierbei die plasmaangrenzenden Bereiche an den Elektroden und Behausungswänden. Im Fokus des grundfinanzierten Lichtbogen-Projektes steht die Wechselwirkung zwischen Plasma und dem umgebenden Medium (Luft, Gas, Vakuum), welche unter Verwendung räumlich und zeitlich hochaufgelöster optischer Diagnostik in Kombination mit numerischen Modellen untersucht wird.

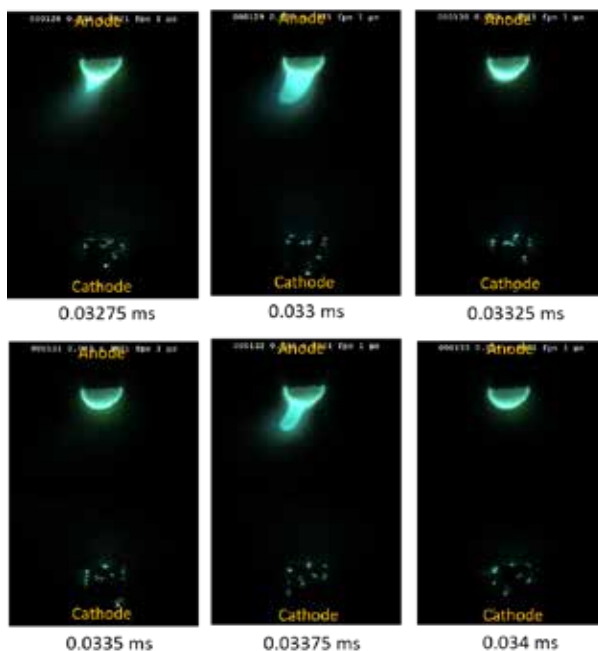
Umfangreiche Arbeiten im grundfinanzierten Projekt erfolgten insbesondere zur Analyse von Lichtbogenfußpunkten an der Anode unter Vakuum. Durch die Verwendung der dafür entwickelten experimentellen Anordnungen und Hochstrom- sowie Hochspannungsgeneratoren wurden im Berichtszeitraum neue Erkenntnisse über Elektrodenphänomene beim Ausschalten höherer Stromamplituden bzw. höherer Stromdichten erzielt.

Bei hohen Stromdichten wurde während der Existenz des Anode-Spot-Typs 2 ein neuer Effekt beobachtet, der durch eine oszillierende Verlängerung der anodischen Plasmawolke in den Elektrodenzwischenraum gekennzeichnet ist.

Der beobachtete oszillierende Charakter der anodischen Plasmawolke wurde von einer Zunahme der Spannungsschwankungen begleitet. Die beobachteten Schwingungen der Plasmawolke haben eine Frequenz von mindestens 4 kHz. Eine Frequenzanalyse der Schwingungen aus den Spannungssignalen weist darauf hin, dass die beobachteten Oszillationen der Plasmawolke mit Änderungen der Frequenz des Spannungssignals gekoppelt sind. Die Spannungssignale zeigen Frequenzen zwischen 25 bis 40 kHz. Es wurden Vakuum-Lichtbögen mit Stromdichte bis zu 100 A/mm<sup>2</sup> analysiert.

Bisher wurde das Phänomen der Plasmawolke als anodischer Plasmastrahl betrachtet, der von kathodischen Plasmastrahlen begrenzt wird. Basierend auf den neuen Erkenntnissen zu Oszillationen der anodischen Plasmawolke wurde die These eines Doppelschichtcharakters aufgestellt.

Eine Erklärung im Rahmen elektrischer Doppelschichten wäre ein alternativer Ansatz, um eine Reihe von Merkmalen der Plasmaphänomene zu erklären, welche bei Hochstromlichtbögen im Anodenbereich auftreten. Weitere geplante Untersuchungen sowie die mathematische Modellbildung dieser neuartigen Erscheinungen sind in Vorbereitung und sollen der aktuellen These eine physikalische Fundierung liefern.



Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der beobachteten Oszillationen der Anodenplasmawolke eines Hochstrom-Lichtbogens im Vakuum

## Anwendungsorientierter Ausblick

Der Forschungsschwerpunkt Schweißen und Schalten untersucht sowohl das Verhalten und die Eigenschaften des elektrischen Lichtbogens als auch seine Wechselwirkung mit den angrenzenden Gebieten, wie Elektroden, umschließende Wände, umgebende Gase bzw. Metaldampfgas bei Vakuumschaltvorgängen. Im Vordergrund hierbei steht der Erkenntnisgewinn über die physikalischen Erscheinungsvorgänge und ihre Verwendung zur Anpassung, Optimierung und Entwicklung neuer Prozessvarianten sowie zur Leistungssteigerung, Wirkungsgradverbesserung und für plasmabasierte Alternativen zu herkömmlichen thermischen Prozessen.

Das Forschungsfeld umfasst sowohl den elektrischen Sektor als auch verschiedene Verfahrens- und Produktionstechniken in der Industrie sowie zukünftig auch zur gefahrenfreien Entsorgung problematischer Abfallstoffe und die Minimierung des Umwelteinflusses herkömmlichen Produkte und Produktionstechniken.

Der Forschungsschwerpunkt ist stark anwenderorientiert aufgestellt. Im Zusammenhang mit industriellen Anwendungen werden Lösungsalternativen zur Prozesskontrolle und für die konsequente Erhöhung der Prozess-Stabilität, der Kosteneinsparung sowie der optimalen Ressourcennutzung erarbeitet werden. Die Anwendung und Weiterentwicklung der optischen Diagnostiktechniken, wie Hochgeschwindigkeitskinematographie, Absorption- und Emissionsspektroskopie, Pyrometrie sowie Laserinduzierte Plasmaspektroskopie ermöglichen nicht nur das Plasma und seine Wechselwirkung zu verstehen sondern auch einfach handhabbare bzw. integrierbare Sensorik-Konzepte abzuleiten. Aufgrund der dringend notwendigen Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks von industriellen Prozessen sowie zur Speicherung der elektrischen Energie aus volatilen erneuerbaren Quellen rücken auch alternative Konzepte zur gezielten Verwendung thermischer Plasmen in der chemischen Verfahrenstechnik und im Bereich Power-to-X sowie deren Integration in optimierte Energiekreisläufe in den Fokus des Forschungsschwerpunktes.

Forschungsarbeiten im Bereich der Elektrotechnik und insbesondere der Schaltgerätetechnik vom Niederspannungsbis in den Hochspannungsbereich umfassen die Nachbildung der real auftretenden Vorgänge durch experimentelle Anordnungen und Modellschalter mit optischem Zugang. Dadurch kann die Anwendung spektroskopischer Diagnostiken ermöglicht werden, welche zur experimentellen Bestimmung der physikalischen Eigenschaften des Schaltlichtbogens unerlässlich sind. In diesem Gebiet besitzt der Forschungsschwerpunkt ein Alleinstellungsmerkmal und nutzt dieses aktuell, um unter anderem die Strahlungseigenschaften des Bogens, das Erosionsverhalten der Elektroden

### KONTAKT



Dr.- Ing. Diego Gonzalez  
Tel.: +49 3834 / 554 3959  
diego.gonzalez  
@inp-greifswald.de



Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann  
Tel.: +49 3834 / 554 310  
[weltmann@inp-greifswald.de](mailto:weltmann@inp-greifswald.de)



# FORSCHUNGS- BEREICH

## UMWELT & GESUNDHEIT

### Überblick

Der Forschungsbereich Plasmen für Umwelt und Gesundheit arbeitet interdisziplinär und nutzt die Synergien seiner drei Forschungsschwerpunkte: Bioaktive Oberflächen, Plasmamedizin und Dekontamination. Ein wesentliches Bindeglied sind dabei die Atmosphärendruck-Plasmaquellen. So werden dielektrisch behinderte Entladungen, Jet-, Mikrowellen- und Mikroplasmen umfangreich experimentell untersucht. Dabei ist die enge Zusammenarbeit von Physiker(inne)n, Biolog(inn)en, Chemiker(inne)n, Pharmazeut(inn)en, Mediziner(inne)n und Ingenieur(inn)en mit hochspezialisierten Techniker(inne)n sowie Labor-Fachkräften weltweit einmalig.

In der Plasmamedizin liegt der Fokus auf der Grundlagenforschung zu Wechselwirkungen physikalischer Plasmen mit lebenden Zellen und Geweben. Zudem wird die Erforschung und Einführung von neuen plasmabasierten Verfahren in der Medizin vorangetrieben. Im Bereich Bioaktive Oberflächen werden maßgeschneiderte Oberflächen für Anwendungen im Life-Science-Bereich erforscht. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die plasmabasierte Dekontamination: Im Fokus stehen hier unter anderem die Abluftreinigung, die Desinfektion von Lebensmitteln und Wasser sowie die Behandlung von Agrargütern.

### Forschungsschwerpunkt Bioaktive Oberflächen

- Stickstoffhaltige, kohlenwasserstoffbasierte Plasmapolymerschichten (PPCHN) für den Einsatz in der Medizintechnik und Biotechnologie
- Prozess- und Anlagenentwicklung zur industrietauglichen Beschichtung von Oberflächen mit photokatalytisch aktivem Titanoxid

### Forschungsschwerpunkt Plasmamedizin

- Plasma & Zelle – Plasmabasierte Verfahren in der Medizin
- Projekte Zentrum für Innovationskompetenz (ZIK) „plasmatis - Plasma plus Zelle“ und „ONKOTHER-H: Entwicklungsplattform für innovative onkologische Therapien am Beispiel des häufigsten menschlichen Krebses – Hautkrebs“

### Forschungsschwerpunkt Dekontamination

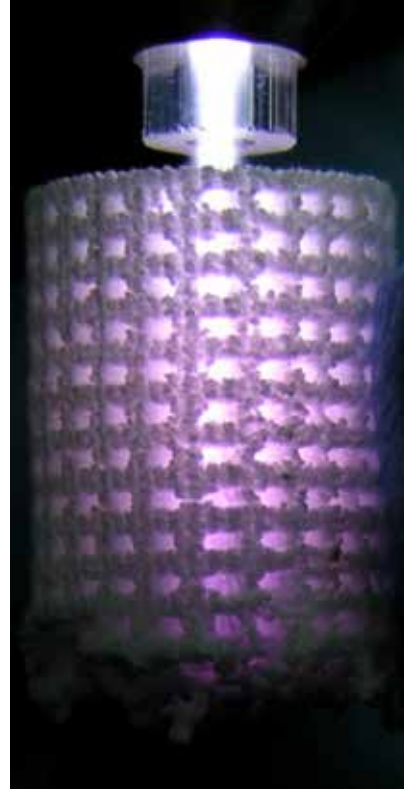
- Plasmaprozesse als Werkzeuge der Bioökonomie
- Aufschluss von Biomasse zur Inhaltsstoffgewinnung und energetischen Verwertung

## Überblick

Für viele Anwendungen im Bereich der Lebenswissenschaften (z. B. Hygiene, Lebensmittel, Medizintechnik oder Biowissenschaften) ist eine gezielte Oberflächenmodifizierung der Produkte notwendig, um spezifische Eigenschaften zu erzeugen. Die im Forschungsschwerpunkt Bioaktive Oberflächen genutzten plasmabasierten Verfahren sind hierfür aufgrund ihrer umwelt- und substratschonenden Eigenschaften besonders gut geeignet. Plasmagestützte Oberflächenmodifizierungen sind vielseitig einsetzbar, benutzerfreundlich und ermöglichen die maßgeschneiderte Modifizierung einer Vielzahl verschiedener Oberflächenformen und unterschiedlichster Substratmaterialien. Die so erzeugten Polymer-schichten sind besonders stabil, resistent und sterilisierbar.

Die gezielte plasmagestützte Erzeugung von anwendungsspezifischen chemischen Funktionalitäten ermöglicht die Ausrüstung vieler Produkte mit neuen Eigenschaften, die auf anderem Wege nicht erzeugt werden können. Die im Forschungsschwerpunkt genutzten Verfahren zur Herstellung antimikrobieller, biokompatibler bzw. biomimetischer Oberflächen sowie die verwendeten Methoden zur plasmaelektrolytischen Feinreinigung und zum Feinentgraten von Medizinprodukten eröffnen neue Perspektiven für die Anwendung von Plasmaverfahren in den Lebenswissenschaften.

Zur Verbesserung der Grenzflächenverträglichkeit von Biomaterialien sowie zur Initiierung spezifischer Reaktionen vom Biosystem im Kontakt zur Oberfläche werden diese unter Einsatz von Niedertemperaturplasmen funktionalisiert. Nahezu unabhängig von der Substratgeometrie und vom Werkstoff werden andererseits durch Plasmabeschichtungen neue, spezifische Eigenschaften für biomedizinische und biotechnologische Anwendungen auf den Substraten erzeugt. Da Prozesskosten und die einfache Integration von Plasmaprozessen in bestehende Produktionslinien im industriellen Einsatz oft von hoher Bedeutung sind, werden im Forschungsschwerpunkt sowohl Verfahren im Niederdruck für höchste Reinheit als auch bei Atmosphärendruck für kurze Prozesszeiten untersucht.



Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit im Forschungsschwerpunkt ist die Entwicklung von Prozessen zur Herstellung chemisch mikrostrukturierter Oberflächen (z. B. für die Mikrofluidik und für Biosensoren) sowie von Funktionsschichten für Biosensorplattformen zur Immobilisierung verschiedener Biomarker oder Proteine für die Diagnostik. Insbesondere der Steuerung der Benetzungseigenschaften von Substraten kommt hier eine große Bedeutung zu, da mit plasmagestützten Verfahren die Benetzbarkeit von Oberflächen eingestellt werden kann bzw. bestimmte chemische Funktionen auf der Oberfläche erzeugt werden können, welche z. B. die biologische Verträglichkeit verbessern. Diese Arbeiten erfolgen in enger Kooperation mit der Nachwuchsforschendengruppe Biosensorische Oberflächen.

## Anwendungsorientierter Ausblick

### Anwendungsfelder

#### Antimikrobielle Oberflächen

Antimikrobielle Oberflächen dienen hauptsächlich der Infektionsprävention. Insbesondere Implantate, aber auch Pinzetten, Skalpelle oder andere Medizinprodukte, die in direktem Kontakt mit dem Patienten oder dem medizinischen Personal stehen, profitieren von einer derartigen Funktionalität. Um die Besiedelung von Oberflächen mit pathogenen Bakterien zu vermindern oder ganz zu vermeiden, kommen verschiedene plasmabasierte Verfahren zum Einsatz.

Dies sind z. B. photokatalytisch aktive Schichten auf der Basis von Titandioxid, die bei Bestrahlung mit Licht antibakterielle und selbstreinigende Eigenschaften aufweisen, oder antimikrobielle Schichten, deren Wirkung auf metallischen Komponenten, wie z. B. Kupfer oder Silber, beruht. Um eine möglichst langanhaltende antimikrobielle Wirkung zu erzeugen, können die metallischen Wirkstoffe auch im ursprünglichen Substratmaterial eingebettet werden. So ist es möglich, das Freisetzungsverhalten der antimikrobiellen Additive gezielt zu steuern.

#### Zelladhärente Oberflächen

Plasmaprozesse eignen sich ebenfalls besonders gut zur Ausrüstung von Oberflächen mit reaktiven, chemischen Gruppen wie Amino- und Carboxylgruppen. Dadurch können die Besiedelung von Oberflächen durch Zellen und insbesondere die Zelldichte, die Zellverteilung sowie Adhäsion, Proliferation und Differentiation signifikant verbessert werden. Darüber hinaus ist die Anbindung von Biomolekülen mittels unterschiedlicher Immobilisierungsstrategien, wie z. B. die kovalente Kopplung von Linkern und Spacern, möglich.

#### Antiadhäsive Oberflächen

Insbesondere für transiente Implantate wie Fixateure oder temporäre Verschraubungen sind antiadhäsive Oberflächeneigenschaften von großem Vorteil. Dies kann mittels antiadhäsiver Plasmabeschichtungen erreicht werden. Derartig beschichtete Substrate sind leichter zu reinigen, da sowohl Schmutz und Öle/ Fette als auch organisches Material schwer darauf haftet. Mit den im Forschungsschwerpunkt verwendeten plasmagestützten Oberflächenmodifizierung lassen sich solche Oberflächen schnell, kostengünstig und umweltschonend realisieren.

#### Laser-Plasma-Prozesse

Mit der zunehmenden Miniaturisierung und Funktionsintegration müssen Produkte auch im Bereich der Bioaktiven Oberflächen verstärkt mit feinsten Strukturen ausgerüstet werden. Mittels Laser-Plasma-Hybridprozessen können sowohl Beschichtungen als auch hochpräzise Abträge realisiert und neben lokalen auch flächige Verfahrensvarianten umgesetzt werden. In Kombination von Atmosphärendruckplasmen mit kurzen Laserpulsen können damit gezielt Substrate mit Strukturen bis in den Sub-Mikrometerbereich versehen werden.

#### Plasmaelektrolytisches Feinglätten und Feinentgraten

Das elektrolytische Plasmapolieren (PEP) kommt im Forschungsschwerpunkt Bioaktive Oberflächen insbesondere zum Feinglätten und Feinentgraten von Implantaten zum Einsatz. Das PEP bietet im Vergleich zu anderen Reinigungs- und Polierverfahren sowohl ökonomische, als auch ökologische Vorteile, denn der Prozess verläuft vergleichsweise schnell, vereinfacht die Prozesskette und reduziert im Vergleich zu anderen elektrochemischen Verfahren die Kosten für die Nachbehandlung und Entsorgung gefährlicher Chemikalien.



Plasma elektrolytisches Polieren im Einsatz als Feinreinigung und -Entgratung für Medizinprodukte



## Grundfinanziertes Projekt stickstoffhaltige, kohlenwasserstoffbasierte Plasmapolymerschichten (PPCHN) für den Einsatz in der Medizintechnik und Biotechnologie

Die chemische Zusammensetzung und Topografie der Materialoberfläche sind entscheidend für die Zell-Biomaterial-Interaktion. In der Medizintechnik und Biotechnologie werden mehrheitlich Materialien verwendet, die eine hohe chemische und biologische Inertheit aufweisen und die daher eigentlich für eine gezielte Wechselwirkung mit biologischen Systemen ungeeignet sind. Plasmabasierte Beschichtungsprozesse ermöglichen hier eine maßgeschneiderte Anpassung von Substratoberflächen zur Verbesserung der Grenzflächenverträglichkeit von Biomaterialien oder um spezifische Reaktionen vom Biosystem im Kontakt zur Oberfläche zu erreichen. Hierfür werden oft dünne Funktionsschichten auf dem Substrat abgeschieden. Insbesondere stickstoffhaltige Plasmapolymerschichten haben sich hier als geeignet erwiesen.

In vorherigen Untersuchungen konnte das Potenzial von stickstoffhaltigen Plasmapolymerschichten für verschiedene Anwendungen, wie z. B. die Förderung der selektiven Zelladhäsion und die Verbesserung der Zellphysiologie sowie bei der Bildung von mikrostrukturierten Oberflächen, aufgezeigt werden. Im Forschungsschwerpunkt Bioaktive Oberflächen wurden daher unter Verwendung von Niederdruck-Mikrowellenentladungen (2,45 GHz) durch Copolymerisation von binären Gasgemischen aus  $\text{CH}_4$  bzw.  $\text{C}_2\text{H}_4$  und  $\text{NH}_3$  bzw.  $\text{N}_2$  stickstoffhaltige, kohlenwasserstoffbasierte Plasmapolymerschichten (PPCHN) entwickelt, die nicht nur eine hohe Stickstoffkonzentration aufweisen, sondern darüber hinaus im Hinblick auf die Anwendung eine ausreichende Stabilität in wässriger Umgebung gewährleisten.

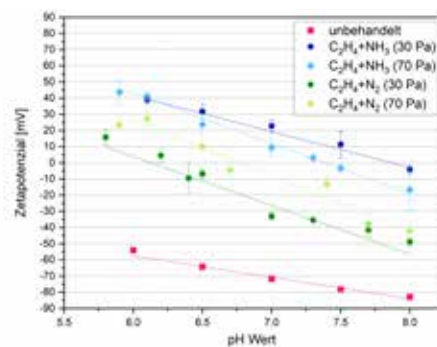
Um dies zu erreichen, müssen die Schichten eine radikalfreie, defektfreie und regelmäßige Struktur mit hoher Beständigkeit gegen Alterungseffekte und Oxidation aufweisen, was durch einen hohen Grad an Vernetzung innerhalb der Schicht erreicht werden kann. In den experimentellen Studien wurden der Funktionalisierungsgrad, d. h. der Anteil funktioneller Gruppen, und der Vernetzungsgrad der PPCHN-Schichten in Abhängigkeit vom Plasmapolymisationsprozess untersucht. Diese Schichteigenschaften konnten gezielt durch die Anpassung experimenteller Parameter wie Prozessdruck, Gasfluss und Leistung und der Verwendung verschiedener Prozessgase eingestellt werden.

Die PPCHN-Schichten weisen eine ausgezeichnete Stabilität in wässriger Umgebung sowie eine für die Adhäsion und Proliferation von Zellen geeignete Oberflächenchemie auf. XPS-Analysen bestätigen ein hohes N/C-Elementverhältnis

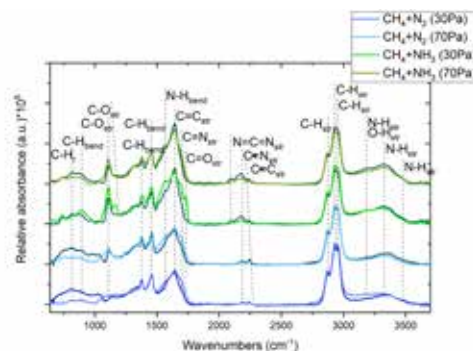
von  $\geq 30\%$ . Mittels AFM-Untersuchungen wurde eine glatte, einheitliche Oberflächenmorphologie der PPCHN-Schichten nachgewiesen, die auch nach 24-stündiger Lagerung in destilliertem Wasser erhalten bleibt. Die Messung des Zetapotenzials in Abhängigkeit vom pH-Wert zeigte einen linearen Verlauf, wobei insbesondere die  $\text{NH}_3$ -basierten PPCHN Schichten bei einem pH-Wert von 7,4 Zetapotenziale im positiven Bereich aufwiesen.

Ein Vergleich der FTIR-Messungen an frisch abgeschiedenen PPCHN-Schichten und nach 24-stündiger Lagerung in destilliertem Wasser zeigte, dass trotz geringer Hydrolysereaktionen eine sehr gute chemische Stabilität der PPCHN-Schichten vorliegt.

Es ist daher möglich, mit diesem Niederdruck-PECVD-Verfahren hochqualitative stickstoffreiche Polymerbeschichtungen auf Kohlenwasserstoffbasis mit einstellbarem Vernetzungsgrad herzustellen, deren oberflächennahen funktionellen Gruppen für die Immobilisierung von Zellen sehr gut geeignet sind.



Vergleich der Zetapotenziale verschiedener PPCHN-Schichten mit einer unbehandelten Oberfläche



Vergleich der Funktionellen Gruppen auf verschiedenen PPCHN-Schichten vor (schwarz) und nach der Lagerung (bunt) in destilliertem Wasser



## Drittmittelfinanziertes Projekt Prozess- und Anlagenentwicklung zur industrietauglichen Beschichtung von Oberflächen mit photokatalytisch aktivem Titanoxid

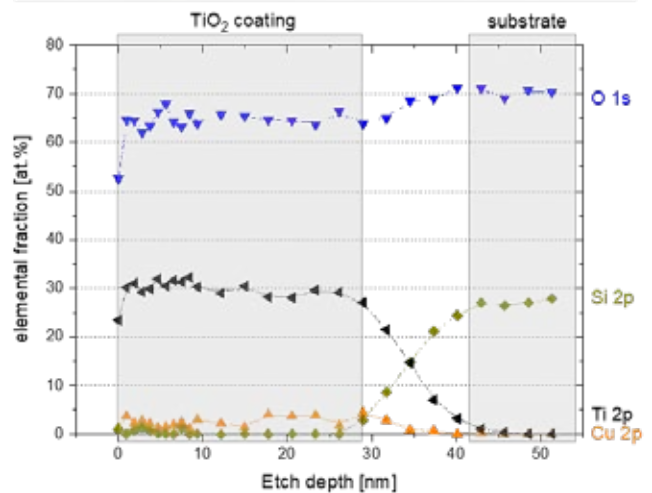
Photokatalytisch aktive Schichten auf der Basis von Titanoxid sind ein innovativer Ansatz für die effektive und kommerziell einfach umsetzbare Realisierung antimikrobieller Schichten, da sie bereits vielfach Anwendung in Architektur und Technik finden. Bevor die Titanoxid-Schichten jedoch ihre photokatalytische und hydrophile Wirksamkeit entfalten können, müssen sie durch UV-Strahlung aktiviert werden. Eines der Hauptziele des Projektes war daher die Generierung haft- und kratzfester Schichten mit hervorragender photokatalytischer Aktivität und Hydrophilie und insbesondere Aktivierbarkeit im sichtbaren Spektralbereich, um auch Anwendungen im Innenbereich zu ermöglichen.

Für die Herstellung haft- und kratzfester  $\text{TiO}_2$ -Schichten wurde ein Kombinationsprozess aus einer HiPIMS-Abscheidung mit gleichzeitiger plasmabasierter Ionenimplantation (PbII) von Fremdatomen zur Anpassung der photokatalytischen Aktivierungsschwelle genutzt. Die Kombination der beiden Verfahren HiPIMS+PbII hatte dabei keinen nachweisbaren Einfluss auf die Schichteigenschaften. Es konnten reproduzierbar Schichten hergestellt und deren Eigenschaften weitreichend oberflächenanalytisch charakterisiert werden. Die mittels Scanning-Ellipsometrie bestimmten Brechzahlen lagen im typischen Bereich der  $\text{TiO}_2$ -Phasenstrukturen. Die Oberflächen wiesen auch ohne Temperung eine gute Photoaktivität auf, die auf verschiedenen Wegen nachgewiesen werden konnte.

Beschichtungsversuche an verschiedenen Materialdemonstratoren zeigten, dass eine haftfeste Beschichtung sowohl auf Glas als auch auf metallischen Oberflächen (z. B. Ti, Edelstahl) und Kunststoffen (PEEK) möglich ist. Trotz langer Exposition der Proben im Plasma wurden keine offensichtlichen Änderungen des Substratmaterials außer der farblichen Veränderung aufgrund der abgeschiedenen Schicht beobachtet. Der Prozess ist daher oberflächenschonend und gut auf verschiedene Materialien übertragbar.

Abhängig von den Prozessparametern bei der Herstellung der Schichtsysteme und der Bestrahlung der Proben konnten unterschiedliche physikochemische Zustände durch die Aktivierung erzeugt werden. Schon die initiale Aktivierung der Schichten und die damit verbundene photoinduzierte Hydrophilie senkt die Adhäsion von Mikroorganismen deutlich und unterdrückt die Biofilmbildung.

Neben dem INP hat das Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e.V. (IBA) in Heilbad Heiligenstadt an diesem IGF-Projekt der Europäischen Forschungsgemeinschaft Dünne Schichten – EFDS (19885 BR) gearbeitet.



Ti+Cu+O HiPIMS+PbII-Kombinationsschichten unterschiedlicher Dicke auf PEEK (0/30/90/180min Behandlungszeit)

XPS-Tiefenprofil einer Ti+Cu+O HiPIMS+PbII-Kombinationsschicht

### KONTAKT

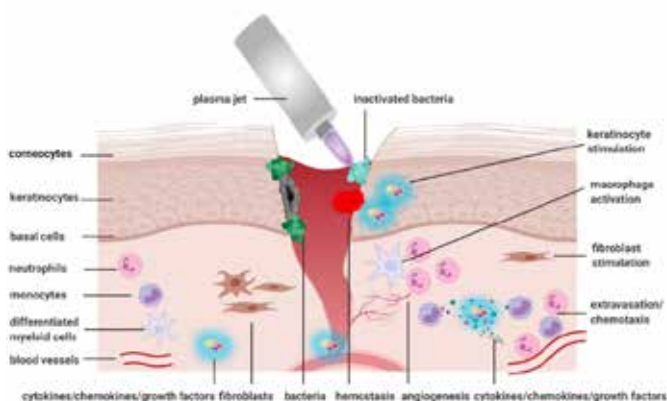


Dr. Katja Fricke  
Tel.: +49 3834 / 554 3841  
k.fricke@inp-greifswald.de

## Überblick

Der Forschungsschwerpunkt Plasmamedizin vereint die Plasmaphysik und Plasmatechnologie einerseits und die Lebenswissenschaften andererseits unter einem Dach. Grundlagenforschung zu molekularen Mechanismen der Wechselwirkung von kaltem Atmosphärendruckplasma mit lebenden Zellen und Geweben, kombiniert mit anwendungsorientierter Forschung zum möglichen Einsatz von Plasmaquellen im Rahmen medizinischer Therapiekonzepte sind das Kennzeichen der Forschungsarbeit des INP auf diesem Gebiet. Dabei stehen nach wie vor drei Themenfelder im Fokus der Forschungsarbeit:

- Aufklärung der biochemischen und molekularen Mechanismen biologischer Plasmaeffekte mit besonderer Berücksichtigung redoxbasierter Prozesse
- Konzeption, Bau und Charakterisierung von experimentellen Plasmaquellen für biomedizinische Anwendungen
- Unterstützung und Begleitung klinischer Forschung und therapeutischer Anwendung von kalten Atmosphärendruck-Plasmaquellen



Zelluläre Zielstrukturen im Umfeld einer Wunde, über die durch Einwirkung von kaltem Atmosphärendruckplasma die Wundheilung stimuliert werden kann

Für diese Forschungsarbeiten steht ein breites Spektrum an mikrobiologischen sowie zell- und molekularbiologischen Techniken in modernen Laboratorien zur Verfügung, die mit der am INP langjährig etablierten plasmaphysikalischen und ingenieurtechnischen Expertise in einer interdisziplinären Forschungsstruktur verbunden ist. In den Jahren 2020 und 2021 konnten insbesondere bei der Aufklärung der molekularen Mechanismen der Regeneration verletzten Gewebes durch Plasmaanwendung deutliche Erkenntnisfortschritte erzielt werden. Damit wurden wertvolle Beiträge dazu geleistet, die klinische Anwendung kalter Atmosphärendruck-Plasmaquellen auf eine solide wissenschaftliche Basis zu stellen. Auf Initiative der neoplas med GmbH, einer Ausgründung aus dem INP, fasste der Gemeinsame Bundesausschuss (G-BA) im Juli 2021 einen Beschluss zu Erprobung der Kaltplasmaanwendung bei chronischen Wunden und begründete dies u. a. mit dem wissenschaftlich nachvollziehbaren Konzept, das dieser Methodik zugrunde liegt und ihre systematische Anwendung in der Behandlung von Patientinnen und Patienten mit chronischen Wunden rechtfertigt. Dies ist nicht zuletzt den erzielten Forschungsergebnissen des Forschungsschwerpunktes Plasmamedizin in Kooperation mit klinischen Partnern, insbesondere mit der Universitätsmedizin Greifswald, der Universitätsmedizin Rostock und dem Klinikum Karlsburg, zu verdanken. Zusammen mit der Leitlinie „Rationaler therapeutischer Einsatz von kaltem physikalischem Plasma“, die unter dem Dach der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF) unter Beteiligung des INP erarbeitet wurde und die 2022 fertiggestellt werden wird, sind damit wichtige Voraussetzungen für die weitere Etablierung der Plasmamedizin in der klinischen Praxis geschaffen worden.

Das am Klinikum Karlsburg angesiedelte Kompetenzzentrum Diabetes Karlsburg (KDK) hat seine Tätigkeit als Außenstelle des INP für eine anwendungsorientierte klinische plasmamedizinische Forschung weiter konsolidiert. Unter Beteiligung des KDK wurde eine klinische Studie zu Plasmaanwendung beim diabetischen Fußsyndrom durchgeführt. Mit den 2020 veröffentlichten Studienergebnissen konnte auch klinisch belegt werden, dass die wundheilungsfördernde Wirkung von kaltem Atmosphärendruckplasma nicht vordergründig auf seiner antimikrobiellen Wirkung beruht, sondern auf eine direkte Stimulation der Geweberegeneration zurückzuführen ist.

## Anwendungsorientierter Ausblick

### PLASMAQUELLEN FÜR MEDIZINISCHE ANWENDUNGEN

Der am INP konzipierte, intensiv untersuchte und mit Argon betriebene Atmosphärendruck-Plasmajet kINPen, der durch die neoplas med GmbH Greifswald zum Produkt weiterentwickelt und als kINPen® MED 2013 als Medizinprodukt Klasse IIa CE-zertifiziert wurde, bildet nach wie vor eine wesentliche Grundlage der anwendungsorientierten Forschungsexpertise auf dem Gebiet medizinischer Plasmageräte. Dabei liegt der Fokus mittlerweile einerseits auf der anwendungsorientierten Optimierung und Weiterentwicklung des kINPen-Konzeptes in Kooperation mit der neoplas med GmbH. Zu nennen wäre hier der kINPen Dent für die Anwendung in der Zahnmedizin sowie ein Plasmajet-Array für die Behandlung größerer Flächen. Andererseits wurden die Forschungsarbeiten zur Verwendung anderer Arbeitsgase und Gasmischungen vorangetrieben, um über spezifische Variationen der Plasmazusammensetzung und daraus resultierenden variablen biologischen Effekte Möglichkeiten eines anwendungsspezifischen „Plasma-Tunings“ zu eröffnen. Bei allen Forschungsarbeiten zu Plasmaquellen werden von Anfang an die regulatorischen Anforderungen an Medizinprodukte mitberücksichtigt, um einen zügigen Transfer der Forschungsergebnisse in medizinisch einsetzbare Produkte zu ermöglichen.

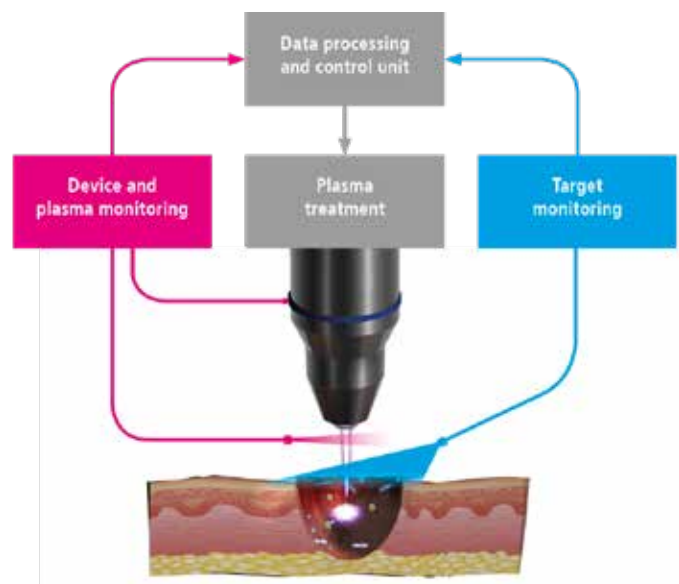
Die Kombination von medizinischen Plasmaquellen mit bildgebenden Verfahren zur Echtzeit-Analyse der behandelten biologischen Targets (z. B. Wundflächen) sowie mit Plasmadiagnostiken zur Überwachung der Plasmamaparameter während der Behandlung soll zu einer neuen Generation von Feedback-kontrollierten und automatisierten Plasma-Therapiesystemen führen. Dafür wurden insbesondere Forschungsarbeiten zur Visualisierung von Plasmaeffekten an Gewebeproben sowie zur Beeinflussung der Plasmaeigenschaften durch Wechselwirkung mit biologischen Strukturen weiter vorangetrieben.

### ERSCHLIESSUNG NEUER ANWENDUNGSFELDER

Nachdem über viele Jahre der Schwerpunkt der anwendungsorientierten Grundlagenforschung auf der Aufklärung molekularer Mechanismen der plasmaunterstützten Wundheilung lag, steht jetzt vor allem die Erschließung des Potenzials von Plasma auf dem Gebiet der Krebsbehandlung im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten. Auch hier bildet die

im Forschungsschwerpunkt Plasmamedizin aufgebaute Expertise auf dem Gebiet der Redoxbiologie die wesentliche Grundlage für präklinische Forschungsarbeiten in Kooperation mit Partnern aus der Medizin. Zu nennen sind hier insbesondere Untersuchungen zur Plasmaanwendung zur Behandlung oraler Präkanzerosen in Kooperation mit der Universitätsmedizin Greifswald und zur Melanombehandlung in Kooperation mit der Universitätsmedizin Rostock. Die Erkenntnis, dass die Plasmabehandlung von Krebszellen auch immunologische Effekte hervorruft, eröffnet Möglichkeiten des Plasmaeinsatzes in der Krebstherapie im Rahmen von Vakzinierungskonzepten.

Die schon länger avisierte Möglichkeit der Anwendung von kalten Atmosphärendruckplasmen in der Zahnmedizin wurde im Rahmen eines industriegeführten Projektes zur Reinigung und Funktionalisierung von Implantatoberflächen in vivo unter INP-Beteiligung weiter vorangetrieben. Im Ergebnis dieses Projektes wird ein plasmabasiertes Medizinprodukt vorliegen, das in einer für 2022 geplanten klinischen Studie in Kombination mit einem weiteren mechanischen Behandlungsverfahren auf seine Eignung als innovatives Konzept zur Behandlung der Periimplantitis geprüft werden soll.



Konzept eines plasmamedizinischen Therapiesystems: Kombination von Plasmabehandlung und kontinuierlicher Plasma- und Targetüberwachung sowie automatischer Anpassung der Plasmamaparameter an die Behandlungsbedingungen

## Grundfinanziertes Projekt Plasma & Zelle

Die Forschungsarbeiten im Forschungsschwerpunkt Plasmamedizin erfolgen überwiegend im Rahmen des vom BMBF geförderten Zentrums für Innovationskompetenz (ZIK) „plasmatis – Plasma plus Zelle“ sowie weiterer drittmittelfinanzierter Projekte. Ergänzt und unterstützt werden diese Arbeiten durch das grundfinanzierte Projekt „Plasma & Zelle“. Damit können Vorlaufforschungen realisiert werden, um die Grundlagen für spätere Projekteinwerbungen zu legen und um neue medizinische Anwendungsmöglichkeiten von kaltem Atmosphärendruckplasma zu prüfen. Neben dem ZIK plasmatis bietet das grundfinanzierte Projekt insbesondere auch die Möglichkeit der Betreuung von Praktikums- und Qualifikationsarbeiten für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler.

### PLASMAWIRKUNG AUF DIE PIGMENTATION DER HAUT

Im Rahmen einer 2021 erfolgreich an der Math.-Nat. Fakultät der Universität Greifswald abgeschlossenen Dissertation wurde der mögliche Einsatz von kaltem Atmosphärendruckplasma zur Beeinflussung der Pigmentierung der Haut untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass eine Plasmabehandlung mit dem kalten Atmosphärendruckplasmajet kINPen®MED einen eher geringen Effekt auf die Pigmentierung von kultivierten Melanozyten sowie von ex vivo behandelten humanen Hautproben ausübt. Daraus ergibt sich einerseits, dass ein Einsatz von kaltem Atmosphärendruckplasma zur Therapie von Pigmentationsstörungen wenig zielführend erscheint. Andererseits belegen diese Ergebnisse auch, dass im Rahmen therapeutischer dermatologischer Anwendungen des kINPen®MED eine Beeinflussung der Hautpigmentation als unerwünschter Nebeneffekt ebenfalls nicht zu erwarten sein sollte.

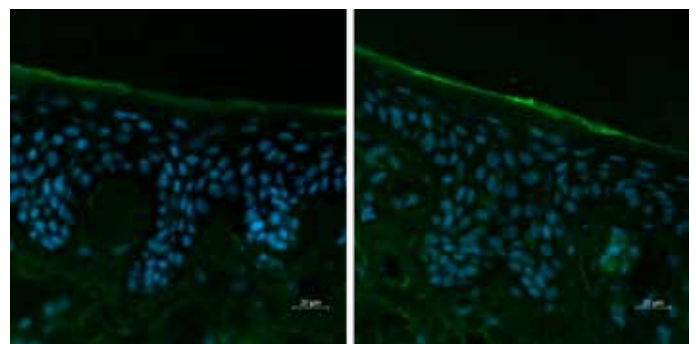
### PLASMAINDUZIERTE OXIDATIVE VERÄNDERUNGEN AN BIOMOLEKÜLEN IM GEWEBE

Nachdem Untersuchungen zu plasmainduzierten Veränderungen von Molekülen in Flüssigkeiten seit Jahren einen wesentlichen Teil der Grundlagenforschung zur Aufklärung molekularer Mechanismen biologischer Plasmaeffekte darstellen, gelang es im Rahmen einer medizinischen Doktorarbeit mit der Universitätsmedizin Greifswald, plasmainduzierte oxidativen Veränderungen an Biomolekülen direkt im

Gewebe mittels immunhistochemischer Methoden darzustellen. Damit soll eine Referenzmethode zur zukünftigen direkten Darstellung von Plasmaeffekten im Gewebe mittels spektroskopischer Verfahren geschaffen werden.

### PLASMAEFFEKTE IN VIVO - PRÄKLINISCHE FORSCHUNG

Zur weiteren Aufklärung der Mechanismen von Plasmaeffekten auf lebende Systeme wurden weitere tierexperimentelle Studien durchgeführt. So wurde die Wirkung einer Plasmabehandlung auf die Barrierefunktion der Haut untersucht. Es wurde gezeigt, dass infolge einer Plasmabehandlung die oberste Hautschicht (Stratum corneum) aufgelockert wird, was insbesondere durch oxidative Veränderungen von Hautlipiden und Modifikationen von Zell-Zell-Verbindungen verursacht wird. Zusammen mit einer intensivierten Hautdurchblutung und Sauerstoffsättigung des Gewebes führte dies zu einer verstärkten Penetration der Modellschubstanz Curcumin. Nachdem bereits in Einzeluntersuchungen an Patienten im Klinikum Karlsburg bzw. am KDK sowie in der Universitätsmedizin Greifswald mittels einer Hyperspektralkamera gezeigt werden konnte, dass eine Plasmabehandlung positive Auswirkungen auf die Gewebedurchblutung und Sauerstoffsättigung im Bereich von Wunden hat, konnte dies in einer systematischen tierexperimentellen Studie weiter bestätigt werden.



Grüne Immunfluoreszenzfärbung oxidativ modifizierter Thiolgruppen in Proteinen (R-SOH, R-SO<sub>2</sub>H, R-SO<sub>3</sub>H; Enzo: ADI-OSA-820 mit anti-rabbit AF-488) am Gewebeschnitt eines Schweineohres bei entfernter oberster Hautschicht (Stratum corneum); links: ohne Plasmabehandlung, rechts: nach 60 s Plasmabehandlung (kINPen)



## Drittmittelfinanzierte Projekte

### PROJEKT ZENTRUM FÜR INNOVATIONS-KOMPETENZ (ZIK) „plasmatis - Plasma plus Zelle“

Die seit 2016 bzw. 2017 vom BMBF geförderten zwei Nachwuchsforschendengruppen "Plasma-Redox-Effekte" (ZIK-PRE) und "Plasma-Flüssigkeits-Effekte" (ZIK-PFE) haben insbesondere ihre Expertise auf dem Gebiet der Redoxbiologie weiter ausgebaut. Der Fokus der 2021 als Forschendengruppe am INP verstetigten Nachwuchsforschendengruppe ZIK-PRE liegt auf dem Gebiet der Onkologie und Tumor-Immunologie. Schwerpunkt der Nachwuchsforschendengruppe ZIK-PFE ist die plasmainduzierte Modifikation von biologischen Molekülen in flüssigen Phasen. Hier konnten Mechanismen der redoxbasierten biologischen Plasmawirkungen weiter aufgeklärt und Wege gezeigt werden, unter Verwendung von „Sensormolekülen“ biochemische Aktivitäten von Plasmaquellen systematisch zu charakterisieren. Die aus der ersten ZIK-Förderphase 2006-2015 verstetigten Forschendengruppen „Plasma-Wundheilung“ (ZIK-PWH) und „Plasma-Quellenkonzepte“ (ZIK-PQK) bilden die Basis für die heutige anwendungsorientierte Forschung des INP am KDK.



V-Jet: Neon-betriebener Dual-Plasmajet für die Krebsbehandlung

### PROJEKT ONKOTHER-H

Das Projekt „ONKOTHER-H: Entwicklungsplattform für innovative onkologische Therapien am Beispiel des häufigsten menschlichen Krebses – Hautkrebs“ wird unter Leitung der Universitätsmedizin Rostock im Rahmen der Exzellenzinitiative des Landes Mecklenburg-Vorpommern gefördert. Das INP bearbeitet im Rahmen dieses Verbundes die Optimierung von Kaltplasmaanwendungen im Zellkulturmodell, insbesondere in Kombination mit neuartigen tumorsuppressiven Substanzen. Im Rahmen des Projektes wurde u. a. ein neuartiger, Neon-betriebener Dual-Plasmajet (V-Jet) für die Anwendung in der Krebsbehandlung technisch entwickelt und im Vergleich zum bereits etablierten Argon-betriebenen Plasmajet kINPen charakterisiert und erprobt.

### PROJEKT DINPLAS

Bereits 2014 wurde unter Federführung des INP die DIN-Spezifikation (DIN SPEC) 91315 „Allgemeine Anforderungen an medizinische Plasmaquellen“ veröffentlicht. Das jetzt vom BMWi geförderte Projekt „DINPlas -Erarbeitung einer DIN-Norm zur Testung der Wirksamkeit und Sicherheit von Atmosphärendruck-Plasmaquellen für medizinische Anwendungen“ hat das Ziel, aufbauend auf praktischen Erfahrungen mit der DIN SPEC 91315 die dort vorgeschlagenen Methoden anzupassen und zu optimieren und in eine reguläre Norm zu überführen.

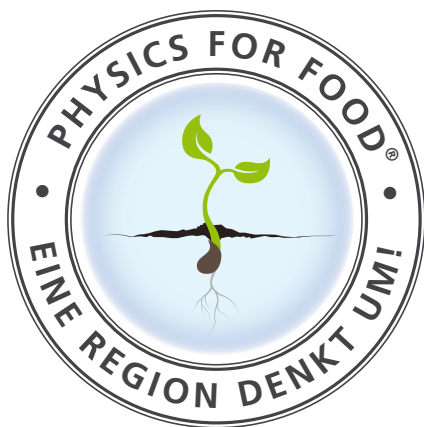
### KONTAKT



Prof. Dr.  
Thomas von Woedtke  
Tel.: +49 3834 / 554 445  
woedtke@inp-greifswald.de

## Überblick

Der Forschungsschwerpunkt beschäftigt sich vornehmlich mit der Untersuchung, Entwicklung und Optimierung von plasmabasierten Methoden und Prozessen zum Abbau von Schadstoffen und Mikroorganismen in Luft, Wasser und auf Oberflächen, einschließlich Lebensmitteln und Saatgut. Dabei hat sich gezeigt, dass durch eine Plasmabehandlung auch die Keimung von Saatgut bzw. das Wachstum und die Stressanpassung von Nutzpflanzen gefördert und unterstützt werden. Die Grundlagen dazu wurden in der Forschungsgruppe „Plasmaagrarkultur“ und inzwischen auch in verschiedenen Projekten des Bündnisses „Physics for Food“ untersucht, das BMBF im Rahmen der Initiative „Wandel in der Region“ gefördert wird. Der Forschungsschwerpunkt stellt damit verstärkt Lösungen für Herausforderungen bereit, wie sie in den Zielen der Vereinten Nationen für eine nachhaltige Entwicklung beschrieben, im Green Deal der Europäischen Kommission gefordert und mit der nationalen Bioökonomiestrategie der Bundesregierung unterstützt werden. Dieser Bezug und die damit verbundenen Ansprüche spiegeln sich in der Entwicklung der Arbeitsgebiete und Anwendungsfelder des Forschungsschwerpunkts wider.



Im Rahmen des vom Bundesministeriums für Bildung und Forschung über das Programm „Wandel in der Region (Wir!)“ geförderten Vorhabens „Physics for Food“ werden zusammen mit Industriepartner(inne)n verschiedene Plasmaverfahren für eine nachhaltigere Landwirtschaft und Agrarproduktion entwickelt.

Die Anwendung plasmabasierter Verfahren in der Landwirtschaft und der Agrarproduktion rückt damit immer mehr in den Vordergrund. In verschiedenen Aktivitäten wird die gesamte Wertschöpfungskette abgedeckt: vom Vor- und Nacherntebereich über die Lebensmittelproduktion bis hin zu Aufschlussverfahren für die Verwertung biogener Reststoffe. Zudem können verschiedene Methoden Umweltauswirkungen, etwa durch den Eintrag von Agrarchemikalien, z. B. durch Abwässer, mindern bzw. chemische Pflanzenschutzmittel gezielt ersetzen. Auch für die Tierhaltung werden Ansätze verfolgt, mit denen hygienische Anforderungen besser erfüllt und z. B. der Einsatz von Antibiotika reduziert werden können. Plasmatechnologien etablieren sich damit zunehmend zu einem wichtigen Werkzeug in der Bioökonomie.

Ein weiteres wichtiges Thema, das durch die COVID-19-Pandemie an Bedeutung gewonnen hat, ist die Bekämpfung der Verbreitung von Infektionskrankheiten, z. B. über die Raumluft oder durch Kontamination von Schutzausrüstung.

Die Wirkmechanismen, die für verschiedene Anwendungen und Aufgaben durch ein Plasma zur Verfügung gestellt werden, sind neben chemisch reaktiven Spezies ultraviolette Strahlung, elektrische Felder und in Flüssigkeiten auch Stoßwellen. Durch die in einer geeigneten Weise bereitgestellte Energie und die Betriebsparameter können diese Prozesse gezielt gesteuert werden. Gemeinsam ist dabei allen Ansätzen, dass sie eine Behandlung bei relativ geringem Temperaturanstieg ermöglichen und so insbesondere für die Anwendung auf temperaturempfindliche Güter, wie z. B. pflanzliches Material, geeignet sind. Darüber hinaus sind v. a. für Plasmen, die in Umgebungsluft oder Wasser erzeugt werden, keine langlebigen, schädlichen Reaktionsprodukte zu erwarten.

## Anwendungsorientierter Ausblick

### Themenfeld Clean Air

Das Forschungsthema widmet sich der Entwicklung neuer Verfahren zum Abbau von Schadstoffen und Keimen in Gasströmen und Umgebungsluft. So werden gegenwärtig die Behandlung von Abgasen für die Bearbeitung verschiedener Materialien in Laserschneidprozessen untersucht. Durch die Kombination einer Plasmaelektrode mit einem Ionenwind konnte gezeigt werden, dass sich speziell auch aerosolgetragene Keime in der Umgebungsluft, z. B. in Krankenhäusern, effizient abbauen lassen.

Inzwischen wird dieser Ansatz auch für die Luftaufbereitung in Tierställen untersucht. Zum Einsatz in der plasmagestützten Innenraumlufthygiene (Plasmafiltern) widmet sich der Forschungsschwerpunkt nun auch verstärkt Normungsverfahren, d. h. die Entwicklung einer DIN SPEC. Derzeit gibt es noch keine DIN-Normen, die einen Vergleich der verschiedenen am Markt angebotenen Systeme auf Basis der Plasmatechnologie erlaubt.

### Themenfeld Clean Water

Über den in diesem Forschungsthema in der Vergangenheit gezeigten effizienten Abbau pharmazeutischer Rückstände hinaus werden entsprechende Verfahren inzwischen auch zum Abbau von Pflanzenschutzmitteln und natürlicher Giftstoffe, z. B. Cyanotoxinen, die bedingt durch den Klimawandel verstärkt auftreten, untersucht. Daneben rückt der Abbau antibiotikaresistenter Bakterien, Viren und Sporen im Wasser immer mehr in den Vordergrund, um etwa die Verbreitung von Zoonosen zu vermeiden. Gezielte Anwendungen fokussieren sich auf „Hot-spots“, d. h. dem Eintragungsort von Kontaminationen.

Neben Abwässern, z. B. aus Krankenhäusern, schließt das die Aufbereitung von Prozesswasser für eine umfassende Kreislaufführung ein. Von besonderem Interesse sind dabei die Lebensmittelindustrie, Aquakulturanlagen oder Wäschereien. Im Vordergrund stehen Untersuchungen an Anlagen, die unter realen Bedingungen arbeiten.

### Themenfeld Clean Food

In diesem Forschungsthema werden Plasmabehandlungen für die Lebensmittelindustrie erforscht. Verpackungen sowie Obst und Gemüse sollen mikrobiell sauber gehalten und die Haltbarkeit verarbeiteter Lebensmittel auf schonende Weise verlängert werden. Die zunehmende Verbreitung von „Convenience Food“ Produkten im deutschen Markt erhöht den Stellenwert von Hygiene- und Sicherheitsmaßnahmen. Die



Plasmamodul in einem Demonstrator für die Behandlung von Prozess- bzw. Abwasser in der Zuckerfabrik Anklam. Zusammen mit anderen Verfahren, z. B. Ultraschall, Ultrafiltration, Ozonung und Aktivkohlefiltern, ist es das Ziel, das Wasser möglichst vollständig aufzubereiten, um es dem Produktionsprozess wieder zuzuführen.

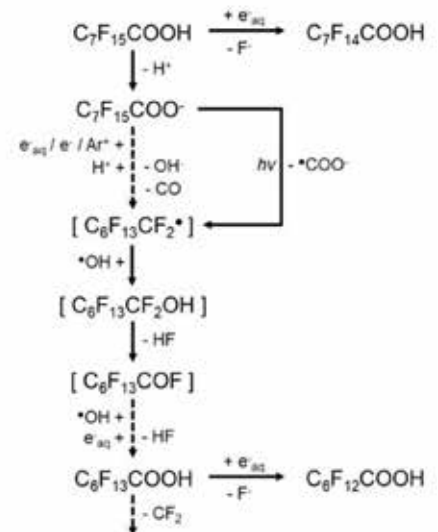
Unternehmen sehen durch die regulatorischen Bedingungen einen wachsenden Bedarf für neue Verfahren. Plasmaverfahren können eine dringend benötigte Alternative bieten, was z. B. bei der Umsetzung eines Plasmaverfahrens zur Wäsche von verzehrfähig abgepacktem Salat unter Produktionsbedingungen im Industriemaßstab bewiesen wurde. Bedarf besteht auch an neuen Aufschlussverfahren zur Gewinnung von Inhaltsstoffen, z. B. von Nahrungsergänzungsmitteln aus Algen. Dabei überzeugten Plasmaverfahren durch eine effizientere Freisetzung.

### Themenfeld Clean Health

Das Forschungsthema hat sich bisher mit den Möglichkeiten der plasmabasierten biologischen Dekontamination im Pflege- und medizinischen Bereich beschäftigt. Dazu gehört die Desinfektion von Oberflächen, Produkten und Systemen, z. B. Endoskopen, für die eine Autoklavierung nicht möglich ist. Ein wichtiges Ziel ist es die Verbreitung von nosokomialen Infektionen zu vermeiden. Die erfolgreiche Ausgründung der Nebula Biocides GmbH ist ein Ergebnis dieser Forschungen. Im Zuge der COVID-19-Pandemie gewannen plasmabasierte Verfahren für die Aufbereitung von Schutzausrüstung, z. B. FFP2-Masken, und in öffentlichen Räumen, z. B. Bussen oder Kreuzfahrtschiffen, zunehmend an Bedeutung. Inzwischen wurden verschiedene Verfahren außerdem für den Bereich der Tiergesundheit erschlossen, um wirkungsvolle Methoden der Bodendesinfektion in Ställen oder zur Vermeidung von Krankheiten am Tier bereitzustellen.

## Grundfinanziertes Projekt Plasmaprozesse als Werkzeuge der Bioökonomie

Die Untersuchungen des Forschungsschwerpunktes sind inzwischen stark von der Entwicklung verschiedenster Plasmaverfahren und -technologien in Anwendungsfeldern der Bioökonomie geprägt. Während die anwendungsorientierten Drittmittelprojekte darauf abzielen, wirtschaftliche Vorteile der Plasmaverfahren zu erarbeiten, bemüht sich das begleitende grundfinanzierte Projekt darum, die Zusammenhänge zwischen der Art und Weise, wie ein Plasma eingesetzt wird, mit den grundlegend damit möglichen Prozessen im Detail zu verstehen. Überwiegend stehen dabei Mechanismen und Reaktionen von durch das Plasma bereitgestellte Wirkkomponenten mit organischem Material, d. h. Pflanzenzellen, Algen und Mikroorganismen, und entsprechende molekulare Prozesse in wässrigen Lösungen im Vordergrund. Für viele Anwendungen sind dabei die gebildeten chemisch reaktiven Spezies entscheidend. Entsprechend wird für verschiedene Methoden ermittelt, wie sich Betriebsparameter, speziell die Art und Weise, wie elektrische Energie zugeführt wird, auf die Bildung von reaktiven Spezies, wie z. B. Hydroxylradikalen oder Wasserstoffperoxid, auswirkt.



Experimentelles Plasmasystem zur detaillierten Untersuchung von Oxidations- und Reduktionsprozessen und wie sie etwa zum Abbau von Perfluorooctansäure beitragen. Betriebsparameter und plasmachemische Prozesse können gezielt miteinander in Beziehung gesetzt werden.

So wurde etwa der Entladungsaufbau von gepulsten Entladungen in Abhängigkeit von Pulsdauer und Pulsspannung sowie dem Leitwert des Wassers mit einer Zeitauflösung von nur wenigen Nanosekunden charakterisiert und mit den jeweiligen Bildungsraten in Beziehung gesetzt. Im Ergebnis hat sich gezeigt, dass kürzere Pulsdauern mit höherer Effizienz einhergehen, da es für längere Ausbreitungszeiten zunehmend schwieriger, d. h. verlustreicher, wird, das Entladungsvolumen zu vergrößern.

Die Ergebnisse können unmittelbar die ebenfalls abnehmen- de Effizienz zum Abbau pharmazeutischer Rückstände erklären. Ähnliche Beziehungen wurden für den Abbau von Vernetzungen von Polymerstrukturen in einem Biomasse- modelsubstrat durch ein Plasma, das mit einer Mikrowellen- anregung erzeugt wurde, gefunden. Für die Inaktivierung von Mikroorganismen hat sich die mittelbare Reaktionsche- mie, die aus dem von einem Plasma in die Flüssigkeit ein- getragenen Plasmas, als entscheidend erwiesen. Insbeson- dere das aus Wasserstoffperoxid und Stickoxiden gebildete Peroxynitrit ist effektiver als die Ausgangskomponenten. Al- lerdings kann diese Substanz unter Umständen wieder sehr schnell zerfallen, ohne wirksam zu werden. Daher wurden die Bildung und der Abbau mittels zeitaufgelöster In-situ- Spektroskopie ermittelt. Bildungsraten und Verweildauern

von Peroxynitrit hängen stark von der Pufferkapazität der wässrigen Lösung ab und bestimmen dadurch die antimik-robielle Wirksamkeit. Das Verständnis dieser Abläufe bietet umgekehrt die Möglichkeit, die Erzeugungsprozesse, d. h. die Betriebsparameter für das Plasma so einzustellen, dass optimale Ergebnisse erzielt werden. Dazu gehören neben Oxidations- und Reduktionsprozessen auch Wirkmecha- nismen wie gepulste elektrische Felder und Stoßwellen, die sich z. B. in Funkenentladungen gezielt durch die elektrische Ansteuerung verstärken lassen. Diese Methode hat sich, mit Drücken deutlich über der Belastungsgrenze der Zellwand, speziell für die Extraktion von temperaturempfindlichen In- haltsstoffen aus robusten Mikroalgen bewährt. Die Reakti- onsschemie und Temperaturen spielen umgekehrt nur eine untergeordnete Rolle und haben keinen schädlichen Einfluss auf die extrahierten Substanzen. Neben diesen direkten Pro- zessen werden zukünftig v. a. auch indirekte Wirkungen, wie der Einfluss auf biologische Prozesse, eine größere Rolle spielen.



## Drittmittelfinanzierte Projekte zum Aufschluss von Biomasse zur Inhaltsstoffgewinnung und energetischen Verwertung

Ein sich rasch und erfolgreich entwickeltes Thema mit direktem Bezug zur Bioökonomie ist der Aufschluss und die Aufwertung von Biomasse durch die Unterstützung plasmabasierter Verfahren. Naheliegender war dabei die Behandlung von Fermentationsrückständen, insbesondere von Gülle, um diese mit einem besseren Aufschluss der weiteren energetischen Verwertung in Biogasanlagen zuzuführen. Dazu müssen relativ stabile polymere Strukturen möglichst umfassend aufgebrochen werden. Gemeinsam mit der Power Recycling Energyservice (PRE) GmbH wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem ein bereits eingesetztes Ultraschallverfahren mit einer Plasmabehandlung kombiniert wurde. Das Plasma wird dafür durch Mikrowelleneinstrahlung direkt im Biomasse-substrat im Ultraschallfeld gezündet und aufrechterhalten. Während der Ultraschall v. a. mechanisch auf Zellwände wirkt, stellt das Plasma durch verschiedene gebildete Radikale einen weiteren effizienten Mechanismus zum Aufbruch zur Verfügung. Dies erfolgt bei Normaldruck, Raumtemperatur und ohne den Zusatz von Chemikalien. Die Wirksamkeit wird unmittelbar in einem Absinken der Viskosität deutlich und lässt Synergien vermuten, die zu wesentlichen Energieeinsparungen führen könnten. Im Ergebnis können die Mikroorganismen den so behandelten Fermentationsrückstand nach Rückführung in die Biogasanlage besser verwerten und die Energieausbeute insgesamt gesteigert werden. Das entwickelte Verfahren bietet darüber hinaus weitere Vorteile und Möglichkeiten. Neben der energetischen Verwertung können so z. B. Substratreste als stickstoffreicher Biodünger aufgewertet werden.

Wesentlich subtiler müssen Aufschlüsse sein, wenn wertvolle und oft empfindliche Inhaltsstoffe aus biologischem Material gewonnen werden sollen. Die Zellstrukturen müssen soweit aufgebrochen werden, dass die Zielsubstanz möglichst vollständig, rein und mit einem vertretbaren Aufwand extrahiert werden kann und dabei in ihrer Struktur erhalten bleibt. Ein besonderes Potential für hochwirksame Inhaltsstoffe schlummert in unterschiedlichen Mikroalgen. Viele davon haben eine besonders feste Zellwand, und es müssen Verfahren entwickelt werden, diese effizient und schonend aufzubrechen. Ein am INP entwickelter neuer Ansatz nutzt dazu Funkenentladungen. Diese werden durch Hochspannungsimpulse ausgelöst. Die Funken werden dabei direkt in der Algensuspension gezündet und erzeugen Stoßwellen mit einem Druck von etwa 500 MPa in unmittelbarer Nähe der Entladung, der die Zellwand mechanisch aufbricht. Die-

ses Verfahren ist besonders geeignet zur Extraktion hitzeempfindlicher Verbindungen und wurde dafür zusammen mit dem Institut für Getreideverarbeitung (IGV) GmbH für die effizientere Gewinnung von Grundstoffen für Nahrungsergänzungsmittel untersucht. Weitere Möglichkeiten sind die Extraktion von Carotinoiden oder natürlichen Farbstoffen wie Phycocyanin.

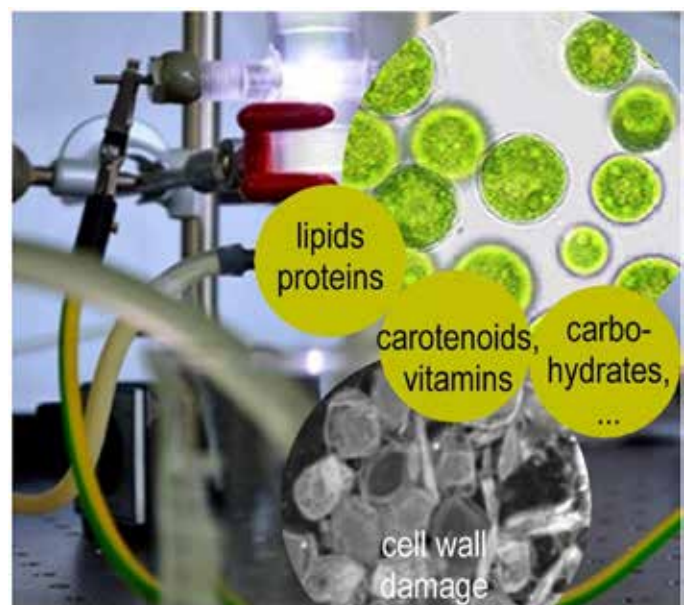
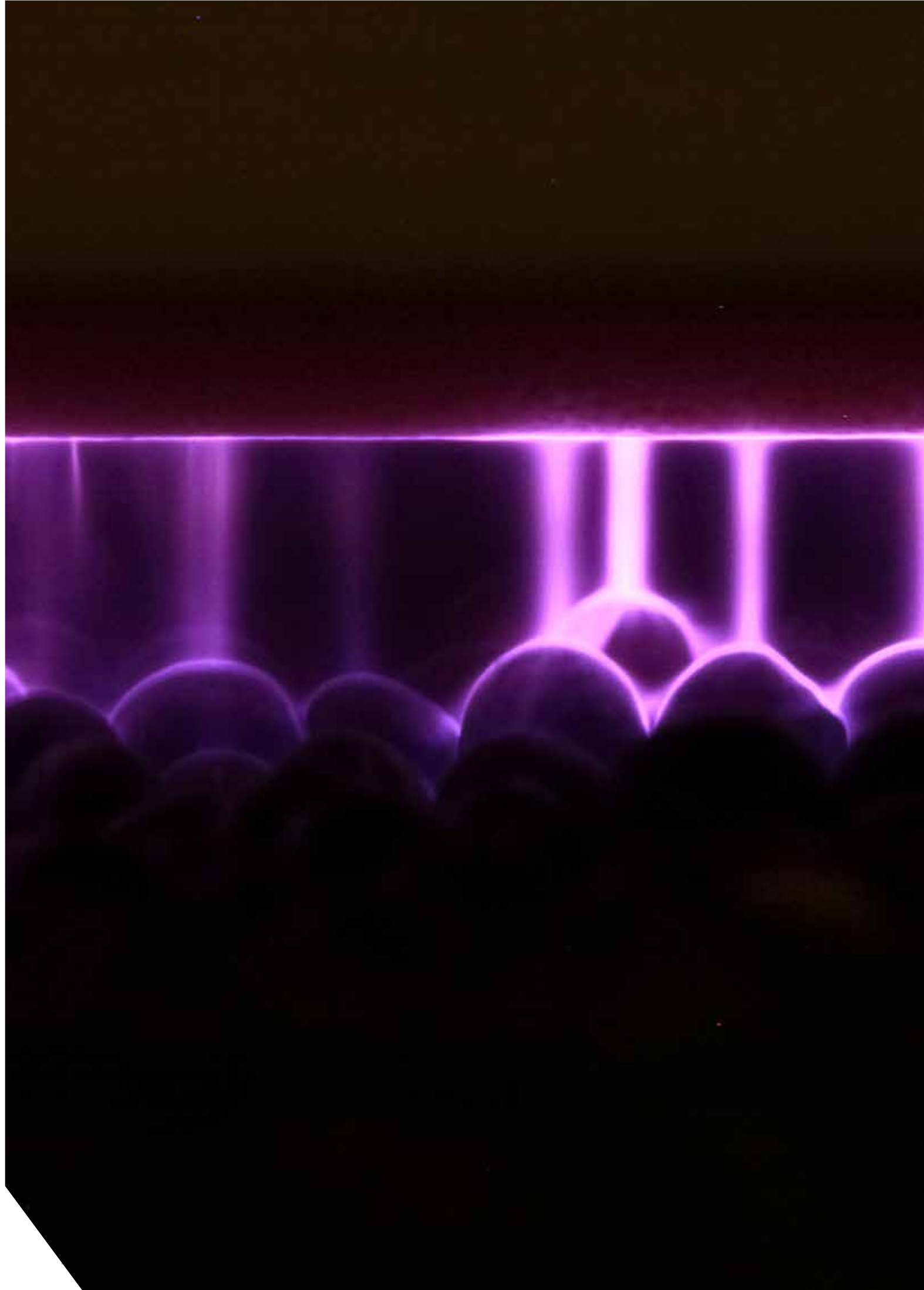


Illustration des schonenden Aufschlusses von Mikroalgen durch Funkenentladungen, die in der Suspension mit 100-ns Hochspannungspulsen erzeugt werden. Durch die Stoßwellen können verschiedene temperatur-empfindliche Inhaltsstoffe freigesetzt werden.

### KONTAKT



Prof. Dr. Jürgen Kolb  
Tel.: +49 3834 / 554 3950  
juergen.kolb@inp-greifswald.de



# FORSCHER-GRUPPEN

## Überblick

Die erfolgreiche Forschungsarbeit des Zentrums für Innovationskompetenz „plasmatis“ wird in seiner zweiten Förderphase mit den beiden Nachwuchsforschergруппen „Plasma-Flüssigkeits-Effekte“ und „Plasma-Redox-Effekte“ fortgesetzt. Die Forschendengruppen der ersten Förderphase wurden verstetigt sowie zusätzlich eine aus Eigenmitteln finanzierte Nachwuchsforschendengruppe auf dem Gebiet der biosensorischen Oberflächen installiert.

Die Nachwuchsforschendengruppen verfolgen weitgehend unabhängig interdisziplinäre Forschungsthemen außerhalb operativer Tätigkeiten bzw. Forschungsaufträge - eine Chance und Förderung für Nachwuchskräfte, erste Führungserfahrung zu sammeln und ein eigenes Profil aufzubauen.

ZIK plasmatis - Plasma-Redox-Effekte

ZIK plasmatis - Plasma-Flüssigkeits-Effekte

Biosensorische Oberflächen

Plasmaquellen-Konzepte

Plasmawundheilung

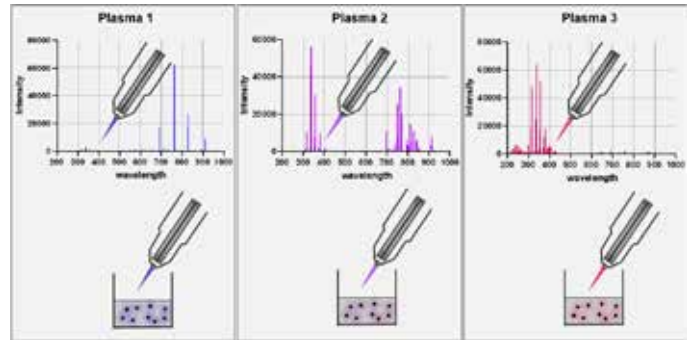
Plasma-Agrarkultur

Materialien für die Energietechnik

## ZIK plasmatis Plasma-Redox-Effekte

Die Gasplasma-Behandlung ist ein inzwischen etabliertes Verfahren in der Klinik bei der Behandlung von chronischen und infizierten Wunden und Ulzera. Bei der Behandlung generiert die Technologie einen Mix verschiedener Komponenten, von denen reaktiven Sauerstoff- und Stickstoffspezies (ROS/RNS) eine zentrale Rolle in der Vermittlung der Wirksamkeit zufällt. ROS/RNS sind nicht nur evolutionär konservierte und aus vielen Bereichen bekannte antimikrobielle Agenzien, sondern nehmen auch bei der Signalübertragung in Zellen und Wundheilungsmechanismen einen maßgeblichen Platz ein. Präklinische Studien in Tiermodellen sowie klinische Erkenntnisse der letzten Jahre lassen darüber hinaus den Schluss zu, dass die wundheilungsfördernden Eigenschaften der Gasplasma-Behandlung auch losgelöst von antimikrobiellen Effekten stattfinden. Dies deutet darauf hin, dass direkte Zellveränderungen durch die gasplasmagenerierten ROS/RNS möglich sind, wodurch sich eine Reihe von neuen Anwendungsfeldern für die medizinische Plasmatechnologie erschließen.

Die Identifikation und Untersuchung solcher neuen Anwendungsfelder über die deskriptive Wundheilung hinaus zu den Mechanismen und Konzepten therapeutischer Radikale der Gasplasma-Technologie sowie Redox-Effekten in Zellen ist die Hauptaufgabe der Forschendengruppe „Plasma-Redox-Effekte“ des INP, welche im Jahr 2021 aus der über 5 Jahre bestehenden Nachwuchsforschendengruppe „Plasma-Redox-Effekte“ hervorging. Die Forschendengruppe konnte im Rahmen von durch verschiedene Mittelgeber (bspw. BMBF, EU, DFG, Landesmittel Mecklenburg-Vorpommern, Stiftung Tumorforschung Kopf-Hals, Ferdinand-Eisenberger Stiftung, Gerhard-Domagk-Stiftung) geförderten Projekten unterschiedliche Themengebiete erforschen. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt im Bereich der Onkologie und Tumor-Immunologie, welche in diesem Bericht fokussiert werden. Weitere aktive Forschungsarbeiten erfolgen auf den Gebieten der Toxizitätsassoziierten Redox-Effekte nach Polymer-Exposition, antiviralen Effekten der Gasplasma-Technologie, sowie deren Optimierung im Rahmen redoxchemieangepasster Inaktivierung für die Bekämpfung antibiotika-resistenter Keime in Wunden.

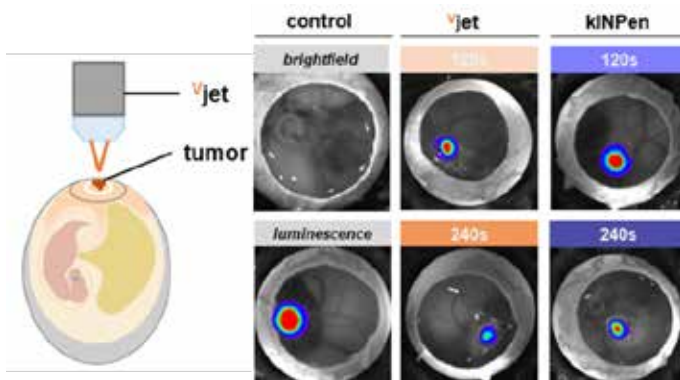


Prinzip der Anpassung der gasplasmagenerierten ROS/RNS durch Änderung der Arbeitsgas-zufuhr in einen Plasmajet, welche zu unterschiedlichem ROS/RNS-Eintrag in behandelte Proben führt. Schematische, nicht maßstabsgetreue Abbildung. DOI: 10.3390/vaccines9050527

Ein zentrales Ergebnis der Forschendengruppe „Plasma-Redox-Effekte“ war die Aufstellung eines neuen Dogmas als Erklärungsgrundlage für die Sensitivität oder Resistenz verschiedener Tumorzelltypen auf den gasplasmainduzierten Zelltod. So konnte in einem breit angelegten Screening von über 35 Zelllinien gezeigt werden, dass die basale metabolische Aktivität am stärksten Prädiktiv für die Resistenz gegenüber der gasplasmavermittelten Tumorzell-Inaktivierung war (Free Radical Biology and Medicine, DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2021.02.035). In dieser Studie konnten zudem zwei bisherige Dogmen nicht bestätigt werden, welche die zellmembranbasierte Expression von Aquaporinen sowie die ROS/RNS-produzierenden und redoxregulierenden Proteine und Enzyme als prädiktive Faktoren proposierten. Zudem relativiert die Studie die oftmals angenommene jedoch selten systematisch untersuchte Selektivität der Gasplasma-Behandlung auf Tumorzellen gegenüber Nicht-Tumorzellen. In dem Screening gab es sowohl empfindlichere als auch resistere Tumorzell-Typen im Vergleich zu gesunden Zellen.

Darüber hinaus konnte ein besseres Verständnis über die Redox-Regulation gasplasmabehandelter Tumorzellen gewonnen werden. So verleiht die Überexpression Antiporters xCT einen besseren Schutz vor der gasplasmainduzierten Inaktivierung, da vermehrt antioxidativ wirkendes Glutathion gebildet werden kann (Redox Biology, DOI: 10.1016/j.redox.2019.101423).





Neue v-Jet-Plasmaquelle und Antitumor-Wirkung im Benchmark-Vergleich gegen den kINPen in vaskularisierten 3D Tumor-Organoiden im TUM-CAM-Modell. Beide Quellen zeigten tumortoxische Aktivität. DOI: 10.1038/s41598-020-80512-w

Entscheidende Fortschritte gelangen auf dem Gebiet der Tumor-Immunologie. Es konnte zum einen gezeigt werden, dass die Zusammensetzung des Arbeitsgases des kINPen Plasmajets nicht nur einen entscheidenden Einfluss auf die Antitumor-Wirkung in einem syngenem Melanommodell der Maus hat, sondern auch die Infiltration von Immunzellen in das Tumorgewebe dadurch maßgeblich verändert wird. Dabei wurden sogar additiv stimulierende Effekte der Immunzell-Infiltration durch Kombinationsbehandlung mit Gasplasma und einem klinisch relevanten Antitumor-Verfahren erzielt. Darüber hinaus erzielte die Impfung gesunder Mäuse mit durch Gasplasma inaktivierten Melanomzellen einen signifikanten Schutz vor dem Anwachsen von später injizierten, lebenden Tumorzellen. Die Gasplasma-Therapie von Melanomen kann also den immunogenen Zelltod (ICD) induzieren (Advanced Science, DOI: 10.1002/adv.201903438).

Um erstmals ein grundlegendes Verständnis der immunologisch relevanten Wirkung der Gasplasma-Behandlung in biologischen Systemen zu erhalten, wurde in einer weiteren Studie die Immunogenität gasplasmagenerierter ROS/RNS auf ein Modellprotein untersucht. Wieder konnte erstmalig der konzeptionelle Beweis erbracht werden, dass dieser Effekt steuerbar ist, indem die Zumischungsgase in den Plasmajet variiert und somit das Profil der produzierten ROS/RNS verändert wird. Die Proteinmodifikation der ROS/RNS führte zu einer erhöhten T-Zell-Aktivierung in speziell für das Modellprotein reaktiven T-Zellen der Maus. Wenn Mäuse mit gasplasmabehandeltem Protein geimpft wurden, um einen Immunschutz gegen das Modellprotein zu etablieren, waren diese Mäuse signifikant besser geschützt vor dem Wachstum von Melanomzellen, welche gentechnisch verändert waren, um dieses Modellprotein artifiziell zu exprimieren (Advanced Science: 10.1002/adv.202003395).

## KONTAKT



**Dr. Sander Bekeschus**  
Tel.: +49 3834 / 554 3948  
sander.bekeschus@inp-greifswald.de

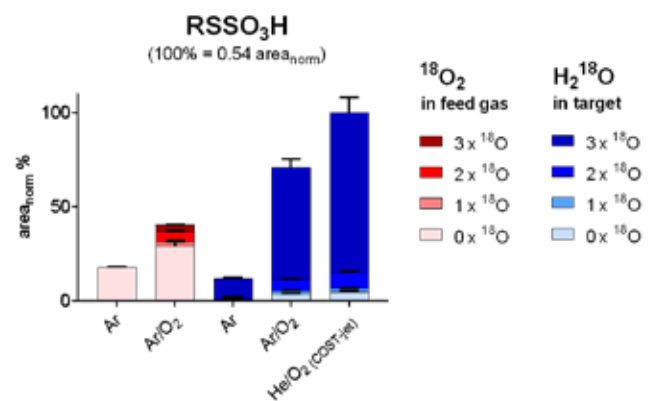
## ZIK plasmatis Plasma-Flüssigkeits-Effekte

Die Nachwuchsgruppe "Plasma-Flüssigkeits-Effekte" untersucht die Interaktion zwischen kalten Plasmen und den von ihnen emittierten Spezies bzw. Photonen auf Biomoleküle, insbesondere Proteine und Lipide. Dahinter steht die Idee, anhand der nachweisbaren Modifikation der Moleküle Rückschlüsse auf die chemisch aktiven reaktiven Spezies ziehen zu können. Zum anderen wird die Hypothese überprüft, inwiefern Modifikationen im biomedizinisch-klinischen Kontext zur Wirksamkeit kalter Plasmen beitragen.

Kalte Plasmen zeigen eine gute Wirksamkeit sowohl bei der Stimulation der Wundheilung wie auch bei der Bekämpfung von malignen Erkrankungen. Daneben verfügen sie über eine ausgeprägte antimikrobielle Eigenschaft, die allerdings klinisch von untergeordneter Rolle zu sein scheint. Wie die Forschungsarbeiten der letzten Jahre gezeigt haben stehen diese Merkmale nur scheinbar im Widerspruch zueinander. Sie sind vielmehr Ausdruck für die Interaktion der plasmagenerierten reaktiven Sauer- und Stickstoffspezies (ROS/RNS) mit zellulären Redoxsignalprozessen, die als Modulator und Verstärker der plasmagenerierten ROS/RNS fungieren (siehe auch Bericht der FG Plasma-Redox-Effekte). Die Zusammensetzung des Effluents des Argonplasmajets KIN-Pen variiert in Abhängigkeit vom Abstand zur aktiven Zone. Von besonderer Relevanz für die chemischen Prozesse am behandelten Target ist der Singulett-Sauerstoff, der Komplex aus atomarem Sauerstoff und Hydroxylradikalen sowie Stickstoffmonoxid.

Um die Chemie der kurzlebigen Spezies besser zu verstehen, wurden die chemischen Reaktionen an der Gas-Flüssigkeit-Grenzschicht untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass es an der Interphase zu einem intensiven Austausch zwischen den Molekülen/Ionen der flüssigen Phase und denen aus der Gasphase kommt. Mittels Elektronenspinresonanzspektroskopie und Farbstoffexperimenten konnte nachgewiesen werden, dass hier eine Vielzahl an Reaktionen zum Auf- und Abbau von Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid und Peroxynitrit ablaufen (Jablonowski 2018, Lackmann 2019, Breen 2020). Stickstoffmonoxid bildet dabei einen zentralen Punkt, um den herum durch Interaktion u. a. von atomarem Sauerstoff und Hydroxylradikalen die chemisch aktiveren RNS gebildet

werden. Unter Verwendung von Cystein und Tyrosin (Lackmann 2019, Bruno 2020) oder Peptiden (Wenske 2020, 2021) konnte gezeigt werden, dass Nitrierungen und Nitrosylierungen insbesondere am phenolischen Ring des Tyrosins oder den elektronenreichen Heterozyklen des Tryptophans stattfinden. Der Umfang des Auftretens derartiger Modifikationen ist im Vergleich zu den chemischen Gruppen, die durch ROS hervorgerufen werden, ist jedoch gering ( $\leq 5\%$ ) vermutlich wegen Abbauprozessen, die durch ROS verursacht werden.



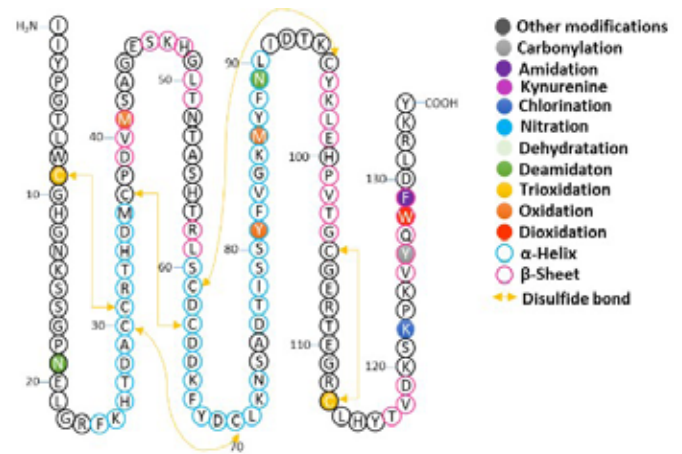
Direkte Behandlung von Cystein (Wende 2020). Die molekulare Komposition der Verbindung Cystein-S-sulfonat ( $\text{RSSO}_3\text{H}$ ) nach Markierung der Gasphase mit  $^{18}\text{O}_2$  (rot) bzw. der flüssigen Phase mit  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  (blau). Es wird deutlich, dass der Anteil der Sauerstoffatome aus dem Target den aus der Gasphase überwiegt.

Ein an der Gas-Flüssigkeits-Grenzschicht besonders aktives ROS ist der atomare Sauerstoff. Er reagiert mit allen in der Grenzschicht vorhandenen Molekülen (u. a. Wasser, Stickstoffmonoxid (s. o.), Aminosäuren, Peptiden, Proteinen) entweder unter Bildung von Produkten (Sgonina 2021) oder sekundären reaktiven Spezies (Wende 2015, Wende 2020). Zu diesen zählen Hydroxylradikale und Hypochloritionen (in Anwesenheit von Chloridionen). Da letztere relativ langlebig sind, führen sie auch nach Beendigung der Plasmabehandlung zu Oxidations- und Chlorierungsprozessen an freien Aminogruppen, Alkylresten und aromatischen Ringen sowohl in Peptiden als auch Proteinen (u.a. Wenske 2021). Der Umfang liegt bei 1 bis 10% und wird stark durch das Angebot von Chloridionen moduliert. Die sekundären Hydroxylradikale reagieren ihrerseits mit vorhandenen Molekülen und führen zu vergleichbaren Modifikationen. Unter Nutzung von schweren Sauerstoffisotopen konnte gezeigt werden, dass primäre und sekundäre Spezies in Produktmo-

leküle eingebaut werden. Das Verhältnis zwischen beiden unterscheidet sich jedoch, und zeigt so unterschiedliche Reaktionswege sowohl an der Grenzschicht als auch im Flüssigkeitskörper an (Wende 2020). Für diese Untersuchungen wurden Aminosäuren verwendet, Versuche mit Proteinen und Lipiden sind aktuell im Gange. Erste Ergebnisse sind vielversprechend und deuten auf Unterschiede hin.

Aufgrund seiner besonderen elektronischen Struktur ist Singulett-Sauerstoff ein weiterer wichtiger Reaktionspartner mit einer relativ hohen Selektivität. Durch ihn werden vermutlich keine sekundären Spezies aus den Molekülen an der Grenzfläche gebildet, sondern es kommt zumeist zu 4+2 Cycloadditionsreaktionen mit geeigneten Strukturen. Zu diesen zählen vor allem die heterozyklischen Ringe des Tryptophans und des Histidins und die Bildung von ringoffenen Oxidationsprodukten (u. a. Kynureninderivate) (Wenske 2021, Nasrin 2021). Zumeist sind Aminosäuren die an der Oberfläche des Proteins zu finden, von derartigen Veränderungen getroffen, da die kurze Lebenszeit (einige  $\mu$ s) von Singulett-Sauerstoff kein weiteres Eindringen in das Protein möglich macht. Gezeigt werden konnte dies am Enzym Phospholipase A2 (PLA2), dessen Aktivität durch die Plasmabehandlung einbricht. Verursacht wird dies durch die von Singulett-Sauerstoff verursachte Ringöffnung an Tryptophan 128 und der damit einhergehenden Veränderung der Sekundärstruktur mit Verlust der Bindefähigkeit an die Lipidmembran. Diese Inaktivierung kann im Zuge der Krebsbekämpfung von Interesse sein, da die aktive PLA2 pro-inflammatorische und pro-carcinogene Effekte verursacht. Auch für weitere Proteine zeichnet sich ein deutlicher Einfluss der Plasmabehandlung auf ihre physiologische Wertigkeit ab (Clemen 2021, Krüger in prep., Yu in prep.).

Auch Lipide werden von plasma-generierten Spezies oxidiert. Unter Nutzung von SLBs unterschiedlicher Komposition konnte gezeigt werden, dass die indirekte Plasmabehandlung ein wesentlich geringeres chemisches Potenzial aufweist als die direkte Behandlung. Dennoch kommt es zum Verlust der Membraneigenschaften durch die Ausbildung von Poren und Veränderungen der Molekülorientierung (Ravandeh 2020, 2021, Nasri 2022). Es kann angenommen werden, dass auch die Zellmembran eukaryotischer Zellen ein solches Verhalten zeigt.



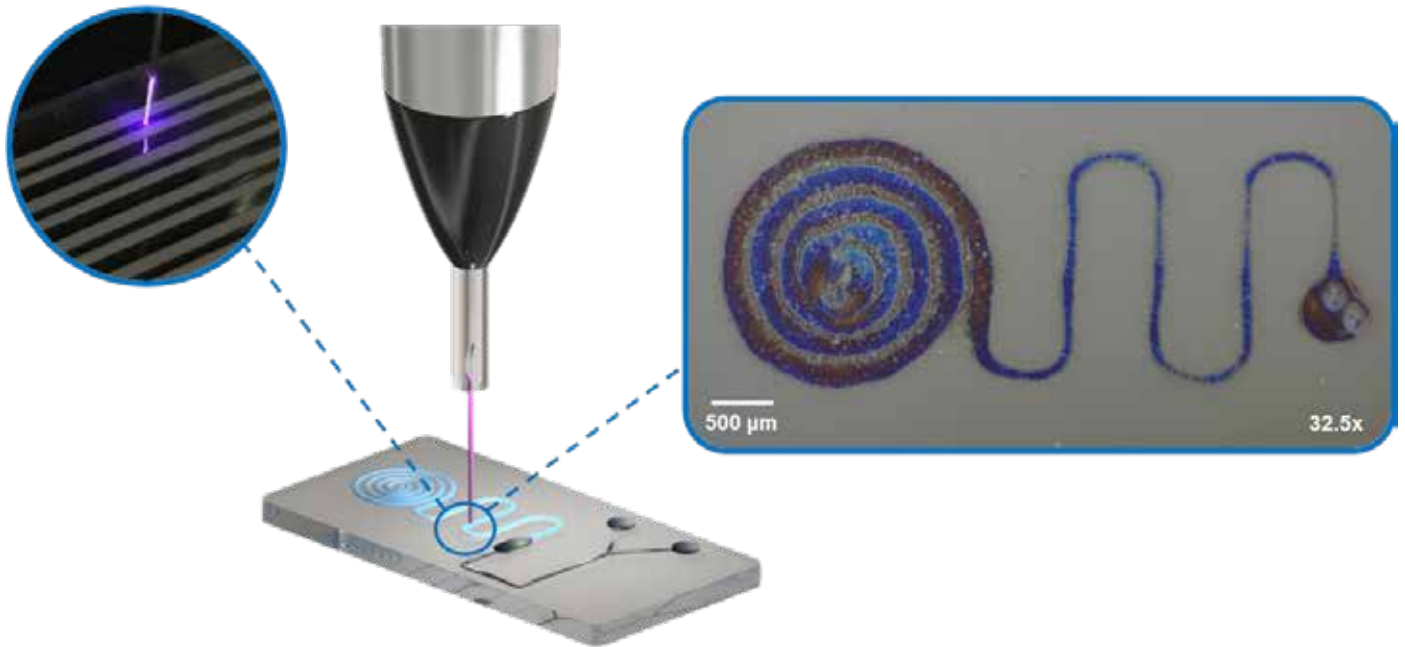
Nicht-enzymatische post-translationale Modifikationen im Protein Phospholipase A2 nach direkter Behandlung mit dem kINPen. Durch Veränderung der Sekundärstruktur verliert das Protein seine Aktivität (Nasri 2021).

## KONTAKT



**Dr. Kristian Wende**  
Tel.: +49 3834 / 554 3923  
plasmatis@inp-greifswald.de

## Biosensorische Oberflächen



Schematische Darstellung des SurfAP3® Plasmadruckers zur strukturierten Erzeugung von Funktionsschichten und Hydrogelen mit fotografischen Aufnahmen der Plasmaentladung auf einem offenen mikrofluidischen Kanal und einer mit SurfAP3® erzeugten chemischen Struktur auf einem Siliziumwafer

Die Nachwuchsforschendengruppe Biosensorische Oberflächen (BSO) beschäftigt sich in einem interdisziplinären Forschungsumfeld an der Schnittstelle von Polymerchemie, Materialwissenschaften und Plasmatechnologie mit der Entwicklung und Charakterisierung von neuartigen Funktionsschichten für Anwendungen in der Medizin, Biotechnologie, Umweltanalytik und Lebensmitteltechnologie.

Für biosensorische und mikrofluidische Anwendungen ist die Steuerung der physikalischen, chemischen und biologischen Grenzflächeneigenschaften essenziell, um die bestmögliche Performance bei der Interaktion mit der biologischen Umgebung zu gewährleisten. Plasmagestützte Oberflächenmodifizierungsverfahren sind hier ein innovativer Ansatz für die gezielte Erzeugung gewünschter Oberflächenfunktionalitäten oder für die Realisierung völlig neuer Oberflächeneigenschaften durch die Abscheidung dünner Schichten.

### Plasma Printing

Chemisch strukturierte Oberflächen im Submillimeter- bis Mikrometer-Bereich sind eine besonders wertvolle Plattform in der Mikrofluidik. Typische Flüssigkeitsvolumen bei Chip-Laboren (lab-on-a-chip) liegen im Mikroliter- oder sogar Nanoliterbereich. Unter Anwendung von Technologien der Mikrofluidik können damit die Proben- und Reagenzienmengen drastisch reduziert werden, Reaktionen schneller ablaufen, der Durchsatz gesteigert und Ressourcen schonende Messungen ermöglicht werden. Besonderes Inte-

resse gilt daher dem Einsatz von Multiplex-Arrays für den simultanen Einsatz einer großen Anzahl von Analyten auf einem einzigen Mikro-Labor-Chip. Dies erfordert Bereiche definierter chemischer und physikalischer Eigenschaften auf der Oberfläche, die beispielsweise mittels eines in der Nachwuchsforschendengruppe Biosensorische Oberflächen entwickelten Plasma-Printing-Verfahrens auf jedem beliebigen Substrat erzeugt werden können.

Dieses innovative Verfahren ermöglicht eine ortsselektive Abscheidung von Plasmapolymerschichtungen mit Strukturgrößen von 50 bis 250 µm und Schichtdicken im Bereich von 20 bis 150 nm. Hierbei kommt ein spezieller, am INP entwickelter Atmosphärendruckplasmajet zum Einsatz. Die proprietäre Plasmadrucktechnologie und das Verfahren SurfAP3® wurden zum europäischen Patent angemeldet. Darüber hinaus ermöglichte die technische Weiterentwicklung der Plasmadrucktechnologie eine bessere Reproduzierbarkeit, eine schnellere Bearbeitung und die Abscheidung auf verschiedenen Substratmaterialien, wie sie in der Mikrofluidik- und Biosensorikindustrie häufig zur Anwendung kommen.

### Funktionsschichten

Das Kernstück eines jeden Biosensors ist die biologische Erkennungsstruktur, die aus einem Enzym, einem Antikörper, DNA oder aus ganzen Zellen bestehen kann.



Um den Analyten in der Probe selektiv nachweisen zu können, ist eine Oberflächenmodifizierung der biologischen Erkennungsschicht erforderlich. Dabei ist die Oberflächenchemie der Erkennungsstruktur so zu wählen, dass möglichst keine unspezifischen Wechselwirkungen auftreten und gleichzeitig eine gezielte Ankopplung des Analyt-Bindungspartners auf der Sensoroberfläche realisiert wird. Vor allem für Messungen in Realproben ist es entscheidend, dass die funktionalisierte Oberfläche eine ausreichende Immobilisierungsdichte und eine genügend hohe Bindungsaktivität besitzt, so dass auch geringe Konzentrationen detektiert werden können. Ein Schwerpunkt der Arbeiten der Nachwuchsforschendengruppe BSO ist daher die Erzeugung dünner plasmapolymersierter Schichten, die mit sauerstoffhaltigen funktionellen Gruppen angereichert sind und mit denen die effiziente Ankopplung des Analyten zuverlässig realisiert werden kann. Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung, Morphologie und Stabilität der plasmapolymersierten Schichten im wässrigen Milieu zeigten eine einzigartige Funktionalität und eine hervorragende Haftung auf den Substraten und unterstrichen die besondere Eignung des gewählten Ansatzes.

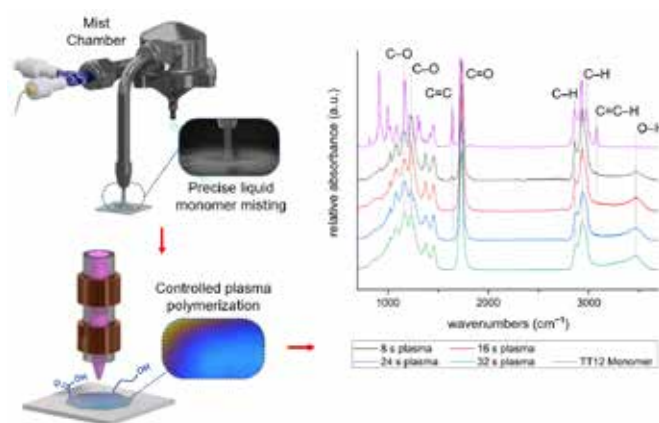
Im Rahmen der Arbeiten der Nachwuchsgruppe wurden Anlagen und Methoden zur plasmabasierten Synthese funktioneller Dünnschichten aus flüssigen Ausgangsstoffen entworfen, entwickelt und bewertet. Insbesondere die Entwicklung einer maßgeschneiderten Nebelkammer ermöglichte die reproduzierbare Herstellung homogener dünner Plasmapolymerschichtungen. Erstmals gelang die Demonstration eines kontrollierbaren Prozesses, mit dem der Vernetzungsgrad der Polymerketten von Plasmapolymere bei Atmosphärendruckplasmaprozessen gezielt eingestellt werden kann.

## Synthese dünner Hydrogelschichten

Hydrogele sind aufgrund ihrer stimuli-responsiven Eigenschaften prädestiniert für Anwendungen in der Mikrofluidik und Medizintechnik. Zudem eignen sich Hydrogelschichten aufgrund ihres hohen Wassergehalts und ihrer gewebeartigen mechanischen Eigenschaften und der damit einhergehenden Biokompatibilität für die Entwicklung biomedizinischer Sensoren.

Die Nachwuchsforschendengruppe BSO untersuchte insbesondere die Synthese von Hydrogelschichten mittels Plasmapolymersation bei Atmosphärendruck. Es konnten acrylatbasierte Hydrogelschichten von Dicken bis zu 10 µm generiert werden, die in Abhängigkeit vom pH-Wert der

verwendeten Pufferlösung ein kontrolliertes und reversibles Quellungsverhalten zeigen. Weitere Untersuchungen ergaben, dass die gezielte Einstellung der Schichtdicke und der damit verbundenen charakteristischen Faltenbildung die Immobilisierung von Biomolekülen begünstigt. Diese Schichten konnten mit hoher Reproduzierbarkeit und Langzeitstabilität erzeugt werden. Die Charakterisierung der Schichten und ihre Abscheidung auf siebgedruckten Elektroden zeigte ihre praktische Anwendbarkeit in der elektrochemischen Biosensorik, zum Beispiel für den Nachweis von Glukose und dem parasympathomimetischen Alkaloid Esterin.



Schematische Darstellung eines Teils des automatisierten Prozesses zur Herstellung plasmapolymersierter Dünnschichten bei Atmosphärendruck. Die FTIR-Spektren eines verwendeten Monomers auf Acrylatbasis und der entsprechenden plasmapolymersierten Filme, die bei unterschiedlichen Polymerisationszeiten erhalten wurden, zeigen, dass das Verfahren eine Abstimmung der vernetzten Polymerketten ermöglicht.

## KONTAKT



**Dr. Katja Fricke**  
Tel.: +49 3834 / 554 3841  
k.fricke@inp-greifswald.de

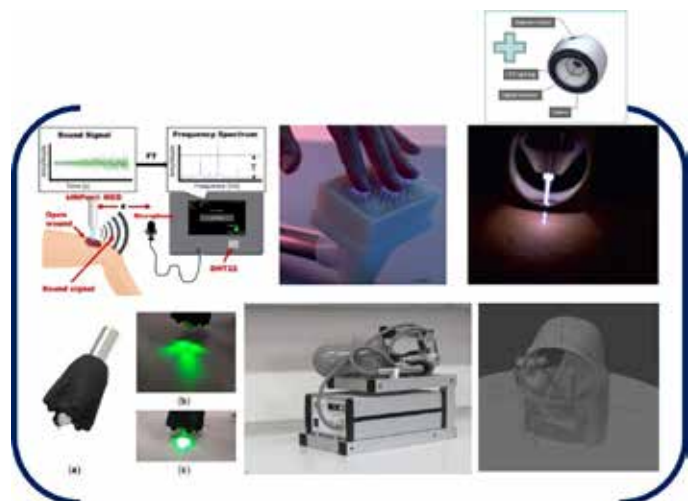
## Plasmaquellen-Konzepte

Die Forschendengruppe „Plasmaquellen-Konzepte“ ist Bestandteil des ZIK plasmatis und geht aus der früheren ZIK-Nachwuchsgruppe „Extrazelluläre Effekte“ hervor. Zielsetzung der Forschendengruppe sind die Fragestellungen rund um kalte Plasmaquellen bei Atmosphärendruck (CAPs). Diese reichen von den Grundlagen, der Charakterisierung bis zur Entwicklung und Fertigung vom Drahtigel über das Funktionsmuster bis zum Prototyp. Mit den jetzt vorliegenden Erkenntnissen der Grundlagenforschung gibt es einen fundierten wissenschaftlichen Ansatz, um neue Plasmaquellen zu konzipieren, die auf die klinischen Bedürfnisse bedarfsgerecht abgestimmt sind.

Die Arbeiten in der Forschendengruppe fokussieren sich stark auf die Plasmamedizin, mit Geräteentwicklung und Weiterentwicklung für plasma-medizinische Anwendungen sowie die Grundlagen. Darüber hinaus ist in enger Kooperation mit der Gruppe Plasmaquellen des INP auch eine Überführung des Know-hows der Quellen-Konzepte in fast alle Forschungsschwerpunkte am INP erfolgt. Entweder befinden sich Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter oder von ihnen entwickelte Plasmaquellen in den Forschungsschwerpunkten „Plasmachemische Prozesse“, „Bioaktive Oberflächen“ und „Dekontamination“. Die Quellenentwicklung oder Optimierung wird synergetisch mit dem im „ZIK plasmatis“ generierten Know-how auf die Gebiete der Schadstoffbeseitigung und Oberflächenfunktionalisierung appliziert.

Während die Know-how Übertragung in andere Forschungsschwerpunkte dort Impulse weitertreiben kann, werden besonders auf dem Gebiet der Medizin am Kompetenzzentrum Karlsburg die medizintechnischen Kompetenzen in die Breite erweitert. So werden Sensorik und Robotik-Impulse für die Verbesserung der Anwendungsakzeptanz aufgegriffen sowie neue Trends, wie die Anwendung neuronaler Netze zur Wundflächenbestimmung durch studentische Qualifikationsarbeiten, erprobt. Die Nutzung künstlicher Intelligenz im Rahmen einer Kooperation mit der Dermatologie in Rostock unter Prof. Steffen Emmert konnte dabei den dritten Platz beim „inspired“-Ideenwettbewerb in Mecklenburg-Vorpommern belegen.

Neben dem eigenen direkten Themenspektrum wird in Kooperation besonders mit den drei weiteren „ZIK plasmatis“-Gruppen sowohl in Projekten als auch im Bereich besonders der Grundlagen intensiv kooperiert. Mit der Nachwuchsforschendengruppe „Plasma-Redox-Effekte“ wurden gemeinsam verschiedene Projekte beantragt. In diesem Zusammenhang wurde das Projekt „Plasma Plus Corona“ beim BMBF positiv beschieden. Gemeinsam erfolgen so Untersuchungen mit verschiedenen Plasmaquellen und deren Optimierung zur antiviralen Wirksamkeit. Des Weiteren wird mit beiden Nachwuchsforschendengruppen „Plasma-Redox-Effekte“ und „Plasma-Flüssigkeits-Effekte“ im Hinblick auf Grundlagenphänomene der verwendeten Plasmaquellen in den Versuchsroutinen geforscht und gemeinsam publiziert. Nicht zuletzt laufen mit der Forschendengruppe „Plasma-wundheilung“ zwei gemeinsame bilaterale Förderprojekte zur Entwicklung eines auf skalierten Plasma-Jet-Arrays „Multijet“ mit der neoplas med GmbH sowie zur Entwicklung einer begleitenden ambulanten Sensoreinheit für die mobile Behandlungsdokumentation mit der Orthopädie-Technik-Service aktiv GmbH in Greifswald.



Gerätekonzept im Projekt Ambuplas - Kombination aus akustischer Betriebszeiterkennung, Visualisierung der Wirkfläche sowie Kompatibilität mit verschiedenen Plasmaquellen

Im Bereich der Plasmaquellen erfolgten weiterhin verschiedene Arbeiten in Projekten sowie studentische Abschlussarbeiten. Dabei sind Konzepte der dielektrisch behinderten Entladungen (DBEs) sowie von Plasmajets weiter untersucht, teilweise neu entwickelt und patentiert worden. Im Bereich der DBEs wird schwerpunktmäßig die Anwendung zum Abbau von Erdgasgeruchsstoffen (PlasmODOR) sowie zur Abluftbehandlung bei Lasercuttern (SafeCutter) angewendet. Beide Projekte sowie die umfangreichen Arbeiten in der Forschendengruppe motivieren eine intensivere Auseinandersetzung mit der Plasma-Gasfluss-Wechselwirkung. So wurden als Brücke aus den Grundlagenuntersuchungen zur Plasma-Gasfluss Wechselwirkung als auch für die Anwendungsoptimierung ein Particle-Image-Velocimetry-(PIV) System in Betrieb genommen sowie eine Bachelorarbeit zur Untersuchung der Wirbelbildung durch Plasmazündung in einer DBE-Abluftbehandlungsanordnung erfolgreich abgeschlossen.

Neben der DBE-basierten Projektvielfalt läuft bereits seit 2017 ein Projekt zur Entwicklung einer dentalen Plasmaquelle in Kombination mit einem Wasserstrahlgerät (PeriPlas). Dieses Projekt hat im November 2021 mit einer multizentrischen Studie begonnen mitsamt einer von der Forschendengruppe POK entwickelten Plasmaquelle „periINPlas“, die eine vorläufige CE-Prüfung bestanden hat. Die Studie soll mindestens ein Jahr dauern.

Zur weiteren konzeptionellen Entwicklung besonders von Plasmajets aber auch DBEs wurde die Anwendung des 3D Keramikdrucks vertieft. Es wurden neue Konzepte entwickelt, die noch experimentell erprobt und verifiziert werden müssen. Neben dem 3D Keramikdruck verschiedenster Materialien wurde ein System zum detaillierten 3D Scanning angeschafft, welches zum Beispiel Wundareale von Patienten einscannen und mittels 3D Druckslabortechnisch reproduzierbar zur Verfügung stellen kann.

Abschließend konnten im genannten Zeitraum erfolgreich eine Publikation sowie ein positiver Förderbescheid zur Charakterisierung von CAPs hinsichtlich der Ionendichten bei der DFG erzielt werden. Die DFG fördert mit einer Promotionsstelle sowie mit einem/einer wissenschaftlichen Mitarbeiter(in) im Bereich der Plasmamodellierung des INP die Arbeiten zur Ionendichtemessung mittels hochfrequenter Signale aus dem Plasma.



Plasmaquelle periINPlas im Revisionsstand 2.1 in den Voruntersuchungen zur multizentrischen klinischen Studie, die im November 2021 begonnen hat.

### KONTAKT



**Dr. Torsten Gerling**  
Tel.: +49 3834 / 554 3852  
[gerling@inp-greifswald.de](mailto:gerling@inp-greifswald.de)

## Plasmawundheilung

Die Forschungsgruppe (FG) "Plasmawundheilung" befasst sich mit der Frage: Ist die wundheilungsfördernde Wirkung kalter Plasmen abhängig von der Ätiologie der Wunden oder auch von dem Spektrum der mikrobiologischen Besiedlung? Weiterhin stellt die individuell optimierte Plasmabehandlung der verschiedenen Patient(inn)en und ihrer spezifischen Wunden eine zentrale Rolle in der angewandten klinischen Forschung dar.

Kalte Plasmen sind komplexe Gemische aus freien Elektronen und Ionen, UV-Strahlung, sichtbarem Licht, Wärme sowie zahlreichen angeregten Spezies. Vor allem die angeregten Sauerstoff- und Stickstoffspezies zusammen mit UV-Strahlung und elektrischen Feldern sind für die biologische Wirksamkeit der Plasmen verantwortlich. Diese kalten Plasmen beeinflussen die zelluläre Redoxbalance und können in Abhängigkeit von Zusammensetzung und Behandlungsdauer so eingestellt werden, dass sie entweder Zellen stimulieren oder abtöten. Hierbei unterscheiden sich die Sensitivitäten der behandelten Zellen stark voneinander, was auf unterschiedliche antioxidative Potenziale der verschiedenen Zellarten sowie deren Fähigkeit zur Regeneration zurückzuführen ist. Daher sind kalte Plasmen dazu geeignet, Bakterien abzutöten. Hierbei zeigen multiresistente Keime die gleichen Reduktionsraten wie nicht-resistente Stämme. Es konnte gezeigt werden, dass eine ausgewogene Plasmabehandlung von humanen Zellen auch zu deren Stimulation führen kann.



Plasmabehandlung eines diabetischen Fußes mit chronisch infizierter Wunde

Ziel der FG "Plasmawundheilung" ist die Überführung der Grundlagenergebnisse in die klinische Praxis der Wundbehandlung. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Vertiefung und Anpassung der Forschungsergebnisse des „ZIK plasmatis“ zur Wundheilung durch das Auffinden von Unterschieden zwischen menschlichen Zellen und den in den chronischen Wunden befindlichen Mikroorganismen. Hierbei sollen molekulare Unterschiede in der Radikalabwehr, im Stoffwechsel und der Zellreparatur zwischen humanen Zellen der Haut und des Immunsystems bzw. den in der Wunde befindlichen Mikroorganismen identifiziert werden. Hierfür werden Wundabstriche, sogenannte Exsudate, gewonnen und auf ihre zellulären und löslichen Bestandteile hin untersucht.

Für diese Untersuchungen wird in enger Kooperation mit dem Klinikum Karlsburg im Rahmen des Kompetenzzentrum Diabetes Karlsburg (KDK) zusammengearbeitet. Ziel ist es, eine auf den/die Patienten/in bzw. die Wunde abgestimmte Plasmabehandlung zu entwickeln, um so die Wundheilung mithilfe kalter Plasmen weiter zu optimieren.

Die klinischen Untersuchungen umfassen detaillierte Analysen der Wundexsudate sowohl durch Bildgebung und mikrobiologische Abstriche als auch durch die Analyse der Botenstoffe (Wachstumshormone, Zytokine). Dies soll helfen, das Kamerasystem (BacteriaCam) zu optimieren und Informationen zu liefern, ob eine Plasmabehandlung zu einer Stimulation des Wachstums führt.



Die neueren Forschungsaktivitäten befassen sich mit dem Einfluss von kaltem Atmosphärendruckplasma auf Stammzellen. In einem vom tBi geförderten Projekt werden hierfür Vorläuferzellen aus dem Bauchfett von Patient(inn)en mit chronischen Wunden isoliert und aufgearbeitet. Zusammen mit der Firma HumanMed soll im Rahmen des Projektes „ActiHeal“ geprüft werden, ob der Einsatz von kaltem Atmosphärendruckplasma die Isolation und Kultivierung von Stammzellen aus menschlichem Bauchfettgewebe begünstigen kann.

Dabei soll Plasma einerseits zu einer verbesserten Isolation führen, indem es die Vereinzelung der Zellen aus den abgesaugten Zellclustern positiv beeinflusst. Dies basiert auf den Erkenntnissen aus der Zellkultur, dass sich durch eine Plasmabehandlung die Adhärenz von Zellen beeinflussen lässt. Damit könnte es zukünftig den derzeitigen Einsatz von Enzymen reduzieren oder gar ersetzen.

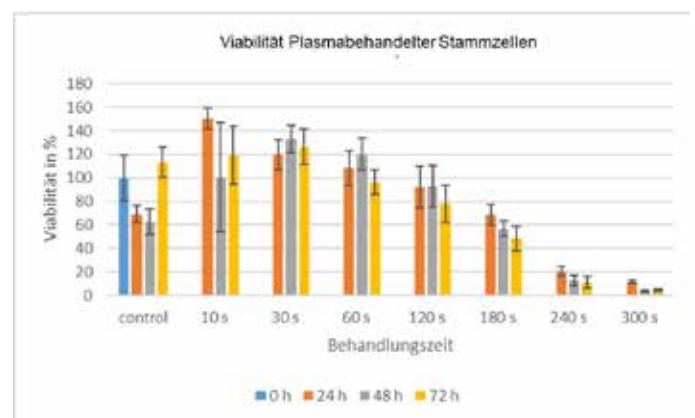
Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Untersuchung der mit Plasma behandelten Vorläuferzellen nachdem sie in Kultur genommen wurden. Hierbei stehen Fragen nach der Verträglichkeit der Plasmabehandlung im Vordergrund. Weiterhin soll untersucht werden, ob die Proliferation der isolierten Vorläuferzellen positiv durch eine Behandlung mit kaltem Plasma moduliert werden kann. Erste Versuche zeigen vielversprechende Ergebnisse. Zukünftig soll analysiert werden, welche Signale durch die Plasmabehandlung in den Stammzellen ausgelöst werden. Hierfür sollen in erster Linie die von den Zellen sezernierten Wachstumsfaktoren und Zytokine analysiert werden. Durch diese Daten erhoffen wir uns einen Einblick darüber wie diese Zellen auf eine Plasmabehandlung reagieren, um diese optimal auf die Stammzellen abstimmen zu können.

Zukünftig soll geprüft werden, ob kaltes Plasma möglicherweise auch einen Einfluss auf die Differenzierung von Stammzellen ausübt. Dafür soll mithilfe der Durchflusszytometrie und der Histologie sowie dem Einsatz spezifischer Marker analysiert werden, ob sich die plasmabehandelten Vorläuferzellen, z. B. in Zellen des Bindegewebes oder der Haut, differenzieren können.

Es konnte gezeigt werden, dass kaltes Plasma einen posi-

ven Einfluss auf das Wachstum von Stammzellen hat, die aus humanem Fettgewebe isoliert wurden.

Basierend auf diesen Daten soll zukünftig geprüft werden, ob die plasmabehandelten Zellen die Wundheilung positiv beeinflussen können, indem die von den Patient(inn)en entnommenen Stammzellen zunächst isoliert und aufgereinigt und im Anschluss aufkonzentriert auf die Wunde aufgetragen werden. Durch den Einsatz körpereigener Zellen sollte es so zu einer beschleunigten Wundheilung führen.



Kurze Behandlungszeiten mit kaltem Plasma führen zu einer gesteigerten Zellproliferation von Stammzellen.

## KONTAKT



**Dr. Kai Masur**  
Tel.: +49 3834 / 554 3322  
kai.masur@inp-greifswald.de

## Plasma-Agrarkultur



Kleinskalige Saatgutbehandlung mittels Coronaentladung (Trichter-Plasmaquelle)

Die Forschungsgruppe (FG) „Plasma-Agrarkultur“ (PAK) entwickelt innovative Plasma-Verfahren mit dem Ziel, in der Vorernte die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegenüber abiotischen und biotischen Stressfaktoren zu erhöhen, einhergehend mit einer potenziellen Sicherung von Wachstum und Ertrag. Hierzu gehören auch plasmabasierte Dekontaminationsverfahren von Saatgut, mit denen die Saatgutgesundheit, die Lagerung und der Transport von Saatgut verbessert werden können. Zusätzlich kann eine Plasmabehandlung stimulierend auf die Pflanzenkeimung wirken. Die zu Grunde liegenden Prozesse der stimulierten Saatgutkeimung und verbesserten Widerstandsfähigkeit von Pflanzen werden sowohl in grundlagenorientierter Forschung als auch in der anwendungsorientierten Forschung untersucht. Die Forschung nimmt Bezug auf die in der Plasmamedizin gewonnenen Erkenntnisse zu den stimulierenden Effekten von Kaltplasma auf RONS-basierte physiologische Prozesse wie der Wundheilung.

Der Fokus der Forschungsgruppe liegt zunächst auf der Untersuchung der Wirkungen von direkten und indirekten Kaltplasmaverfahren auf Pflanzen einhergehend mit der Entwicklung geeigneter Plasmaquellen im Labormaßstab. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen bilden die Grundlage für potenzielle Anwendungen in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Vor dem Hintergrund der geplanten verschärften EU-Regelungen für Pflanzenschutzmittel und der Klimaveränderungen sollen Alternativen erarbeitet werden, die es ermöglichen, den Einsatz von Chemie auf den Feldern zu reduzieren oder, wo bereits Verbote existieren, eine Alternative zu bieten.

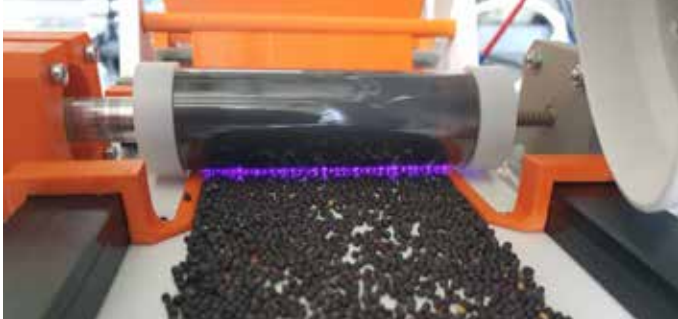
Wichtig bei Kaltplasmaverfahren, die auf eine mikrobielle Dekontamination der Saatgutoberfläche abzielen, ist der gleichzeitige Erhalt der Saatgutkeimungsfähigkeit. Daher umfassen die Laboranalysen der Forschungsgruppe PAK einerseits mikrobiologische Arbeiten zur Testung der Dekontamination durch Kaltplasma auf der Saatgutoberfläche.

Bei diesen werden zunächst bakterielle Sporen als Modellorganismen für phytopathogene Pilz- und Schimmelsporen genutzt. Andererseits werden standardisierte Saatgutkeimungstests durchgeführt. Hinzu kommen Analysen zur Saatgutoberfläche wie Hydrophilitests, Elementanalysen und die Wasseraufnahme während der Keimung.

Um Untersuchungen zu Effekten von plasmabehandeltem Wasser auf das Pflanzenwachstum und die Stressanpassung durchführen zu können, war es zunächst notwendig geeignete Anzuchtbedingungen sowie die plasmabasierte Wasser-(PBW-) Applikation für Lupine und Gerste zu etablieren. Hierzu wurden zwei CLF-Klimaschränke angeschafft, bei denen sich Temperatur, Luftfeuchtigkeit und LED-Beleuchtung im Tagesverlauf genau steuern lassen. Des Weiteren wurden Analysen zur Erfassung von Biomasseparametern und biochemischen Parametern gestartet. Im Dezember 2021 konnte die FG PAK zudem ein neues Labor beziehen, in dem die pflanzenbiologischen und biochemischen Arbeiten zur Erfassung der zellulären Effekte der Plasmabehandlung auf Pflanzen intensiviert werden können. Hier finden in Zukunft die Extraktion verschiedener Zellinhaltsstoffe sowie deren qualitativer und quantitativer Analyse auf u. a. Protein-, RNA- und Metabolitebene statt. Ein Schwerpunkt ist dabei, Veränderungen in der Enzymaktivität des pflanzlichen antioxidativen Systems zu untersuchen.

Im Jahr 2020 starteten die Umsetzungsprojekte des Verbundprojekts „Physics for Food – Eine Region denkt um!“, einer Initiative des BMBF-Programms „WIR! – Wandel durch Innovation in der Region“. Die FG PAK ist mit Projekten zur Saatgutbehandlung („Physics for Seeds“) und der Behandlung wachsender Pflanzen („Physics for Crops“) mit beteiligt. Im Zuge der Saatgut- sowie Pflanzenbehandlung fanden Parzellenversuche unter Realbedingungen bei Industriepartnern an insgesamt 10 verschiedenen Standorten statt, bei denen Wintergetreide, Raps und Lupine ausgebracht wurden. Insgesamt 225 kg Getreide, ~2 kg Raps und 18 kg Lupine wurden jeweils im Jahr 2020 und 2021 behandelt und an die Partner zur Aussaat geliefert sowie pro Feldversuchsjahr mehr als 600 Liter plasmabehandeltes Wasser (PBW) für die Spritzanwendung produziert. Zudem wurden wichtige phytopathologische Arbeiten durch eine externe Firma auf Laborskala zur Inaktivierung von ertragsmindernden Mikroorganismen, wie dem Erreger der Blattdürre bei Weizen und dem Erreger der Wurzelhals- und Stängelfäule bei Lupine, initiiert. Die Ergebnisse zeigen eine erfolgreiche Reduktion der Erreger bis hin zur kompletten Inaktivierung auf dem Saatgut.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Arbeiten sind die Konstruktion, der Bau und die Anwendung von Plasmaquellen mit unterschiedlichen elektrischen Parametern, die Charak-



Kontinuierliche Behandlung von Rapssaatgut mittels dielektrisch-behinderter Entladung (Förderband-Plasmaquelle)

terisierung der Plasmaquellen bezüglich Temperatur, reaktiver Spezies, pH-Wert sowie physikalischer Größen. Hinzu kommt die Erstellung brauchbarer Konzepte zur Aufskalierung und Integration in gängige Verfahrenstechniken von Kaltplasmaverfahren mit dem Ziel der Anwendung in der Landwirtschaft und Industrie. Die Arbeiten sind ebenfalls eingebettet in das laufende Projekt „Physics for Food“ und werden ermöglicht durch die gute Zusammenarbeit mit den INP-Abteilungen Plasmabiotechnik und Plasmaquellen innerhalb des Forschungsschwerpunktes Dekontamination.

Im Jahr 2021 erfolgte zudem die Bewilligung eines Sonderetats für das „Physics for Food“-Projekt. Mehrere Großgeräte konnten hier für das INP angeschafft werden, unter anderem Brutschränke zur Bestimmung der pflanzlichen Keimung unter kontrollierten und standardisierten Bedingungen sowie ein Ultra-Tiefkühlschrank zur Lagerung von pflanzlichen Probenmaterial.

Die Ende 2019 ausgebrochene Covid-19-Pandemie stellte auch die Arbeiten der Forschendengruppe PAK vor Herausforderungen. Diese führte, wie vielerorts, zu Einschränkungen in der Personenanzahl pro Labor- und Bürofläche, was getaktetes Arbeiten erforderte. Darüber hinaus verlagerte sich der wissenschaftliche Austausch vorrangig auf den digitalen Bereich. In dieser Zeit wurden drei Publikationen zu den wesentlichen Arbeiten innerhalb der Forschendengruppe in anwendungsorientierten Journalen veröffentlicht (Nishime et al., 2020; Brust et al., 2021; Wannicke et al., 2021). Zudem konnten 2021 zwei Masterarbeiten zu den Themen „Einfluss von plasmabehandeltem Wasser auf wachsende Pflanzen“ sowie „Einfluss von Kaltplasma auf Saatguthygiene und Saatgutvitalität“ erfolgreich durchgeführt und abgeschlossen werden. Ein für 2020 geplanter einjähriger Gastbesuch einer chinesischen Studentin konnte erfolgreich im Februar 2021 starten und die Forschungsgruppe bei den mikrobiologischen Arbeiten unterstützen. Auch bedingt durch die Kontaktbeschränkungen während der Pandemie musste der ursprünglich am INP als Präsenzveranstaltung für das Jahr 2020 geplante 3<sup>rd</sup> International Workshop on

Plasma Agriculture – IWOPA verschoben werden. Dieser fand 2021 als Online-Veranstaltung mit 67 Teilnehmer(inne)n aus 19 verschiedenen Ländern und insgesamt 56 Beiträgen statt mit Vorträgen, aufgezeichneten Präsentationen und Postern. Die FG PAK war Mitorganisator der Konferenz und mit Postern und einem eingeladenen Vortrag zu dem Thema „Plasma-derived nitrogen-species: Fertilizers or signaling factors in plant growth and development?“ vertreten.

2021 startete auch das durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) geförderte Drittmittelprojekt „LuzNutz“. Bis 2024 werden Untersuchungen zur Eignung der Plasmatechnologie für Luzerne in Kooperation mit dem Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI), dem Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) und der Saat-zucht Steinach GmbH & Co KG durchgeführt. Ebenfalls bis zum Jahr 2024 laufend, bietet das im Oktober 2020 gestartete EU COST-Netzwerk PIAGri sehr gute Möglichkeiten die laufenden Themen zur Vorernte am INP sichtbar zu machen und auch international zu vernetzen, wenn dies auch 2020 und 2021 lediglich digital zu realisieren war.



Großversuch im Rahmen von „Physics for Food“ zum Keimungsverhalten von plasmabehandeltem Rotklee-Saatgut in den Gewächshäusern des IPK in Malchow auf der Insel Poel; junge Lupinen- und Gerstenpflanzen für PBW-Applikation im CLF-Klimaschrank

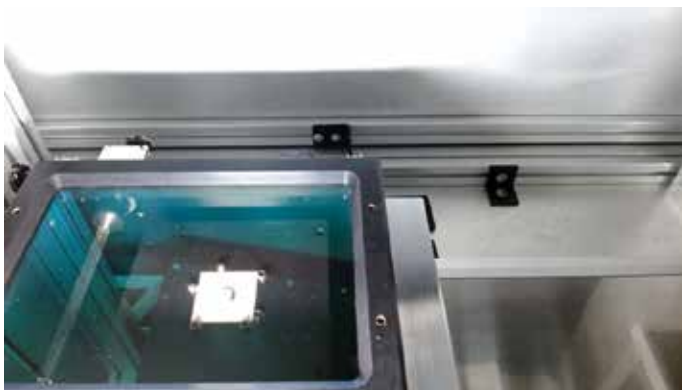
## KONTAKT



**Dr. Henrike Brust**  
Tel.: +49 3834 554 3971  
henrike.brust@inp-greifswald.de

## Materialien für die Energietechnik

Im Bereich der Materialien für die Energietechnik (MET) wurden im Berichtszeitraum die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an neuartigen Verfahren für die Erzeugung von Nanomaterialien für die Energietechnik weiter ausgebaut. Im Rahmen von Verbundprojekten des BMBF-WIR!-Bündnisses „CAMPFIRE“ entwickelt die Arbeitsgruppe eine Reihe von Kerninnovationen des Bündnisses: keramische Dünnschichten, Katalysatoren, Membranen und redoxaktive Materialien für die zukünftige Wasserstoffwirtschaft auf der Basis von Ammoniak. Anwendungen sind Elektrolyseure, Brennstoffzellen und Batterien sowie Katalysatoren für chemische Stoffumwandlungen wie Ammoniak-Cracker und Mikro-Haber-Bosch-Prozesse. Das Partnernetzwerk aus Unternehmens- und Institutspartnern wurde in enger Vernetzung mit den CAMPFIRE-Partnern weiter ausgebaut und ein stärkerer Anwendungsfokus für die Materialien- und Prozessentwicklung wurde gesetzt. Die Verbundprojekte werden vor allem durch das BMBF-WIR-Programm und das BMBF-TransHyDE-Leitvorhaben sowie im Rahmen von BMWK, AiF, IGF gefördert. In Horizont 2020 FETProActiv wurde ein EU-Projekt mit fünf weiteren europäischen Partner eingeworben und erfolgreich auf den Weg gebracht. Befördert durch eine BMBF WIR! CAMPFIRE wurden durch die Arbeitsgruppe für das CAMPFIRE Open Innovation Lab (COIL) die Reaktionstechnik und analytische Infrastruktur signifikant erweitert. Beispiele neuer Verfahren sind das selektive Laser-Annealing in Kombination mit Co-Sputterprozessen sowie modulare Strömungsreaktoren für die Erzeugung von Nanopartikel-Suspensionen mittels Plasma-in-Liquid-Verfahren (PiL). Eine weitere wichtige neue Expertise wurde für die Erzeugung von ammoniak- und wasserstoffresistenten Beschichtungen auf der Basis von plasmaelektrolytischen Depositionsprozessen erarbeitet.



Selektives Laser-Annealing zur Erzeugung von Perowskitmembranen als Elektrolytmaterialien für Hochtemperatur-Elektrolyseure und Brennstoffzellen.



Co-Sputterprozesse

### Keramische Dünnschichten, Katalysatoren und redoxaktive Materialien

Mittels Co-Sputterverfahren sowie Plasma-in-Liquid-Verfahren werden komplexe Oxide und Karbide, beispielweise Perowskite und MAX-Phasen, erzeugt. Dabei liegt der Fokus der Entwicklungsarbeiten auf der Homogenität der komplexen Materialien, die aus geordneten Kristallstrukturen auf der Basis von mehreren Kationen bestehen. Perowskite,  $\text{ABO}_3$ , stellen dabei die besondere Herausforderung, dass in Abhängigkeit von der Stöchiometrie und Dotierung auch die Defektstruktur des Anionengitters für die gewünschten Eigenschaften (Protonenleitung, Sauerstoffionenleitung, elektronische Leitung oder katalytische Aktivität) optimiert werden muss. Ein weiterer neuer Forschungsansatz in der Arbeitsgruppe ist die Erzeugung von keramischen Dünnschichten auf hochtemperaturempfindlichen Substraten. Dabei muss die keramische Dünnschicht eine hohe Kristallinität und Phasenreinheit auch ohne die Durchführung von traditionellen Sinterprozessen besitzen. So wurden für die Optimierung von Perowskitmembranen für Membran-Elektroden-Einheiten für metallgetragte Hochtemperatur-Brennstoffzellen und Elektrolyseure sowie Korrosionsschutzschichten auf metallische Bipolarplatten neuartige Selektive Laser-Annealing-Verfahren entwickelt. Weitere signifikante Fortschritte wurden im Bereich der Erzeugung von graphenbasierten Membran- und Elektrodenmaterialien sowie der Synthese von Katalysatoren mittels kombinierter PVD/CVD- und PiL-Verfahren erzielt. So wurde der PiL-Batchreaktor in einen modularen Strömungsreaktor überführt und dabei die Ausbeute und Prozesssicherheit für die Erzeugung von Na-



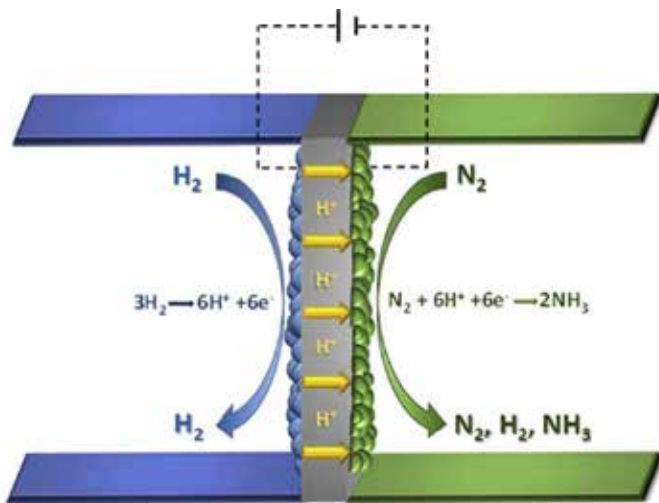
nohybriden signifikant verbessert. Für die Herstellung von Membran-Elektroden-Einheiten bzw. Reaktor-Komponenten mittels der PiL-Suspensionen wurden Screen-Printing und Dip-Coating-Verfahren entwickelt, wobei neue Ansätze für die Suspensionsstabilisierung in enger Zusammenarbeit mit Partnern entwickelt werden. Anwendungen finden diese Nanomaterialien in Polymermembran-Brennstoffzellen, Batterien und Katalysatoren für Kellogg-Advanced-Ammonia-Prozesse für die dezentrale Ammoniaksynthese.

## Struktur und Eigenschaften

Für die Charakterisierung der Eigenschaften der mittels Plasmaverfahren erzeugten Nanomaterialien hat die Arbeitsgruppe das am Institut vorhandene Analytik-Portfolio weiter ausgebaut. Hervorzuheben an neuen Charakterisierungsmethoden sind physikalische und chemische Gasadsorption, Permeation, thermische Gravimetrie, Dilatometrie, Elektronenmikroskopie mit in situ Focussed Ion Beam (FIB) für die Präparation und Untersuchungen von Querschnitten, Profilometrie sowie Messjigs und Gasanalytik für die Untersuchung von Leitfähigkeit, Impedanz, katalytischer Aktivität und Redoxaktivität.



Protonenleitende elektrokeramische Dünnschichtmembran

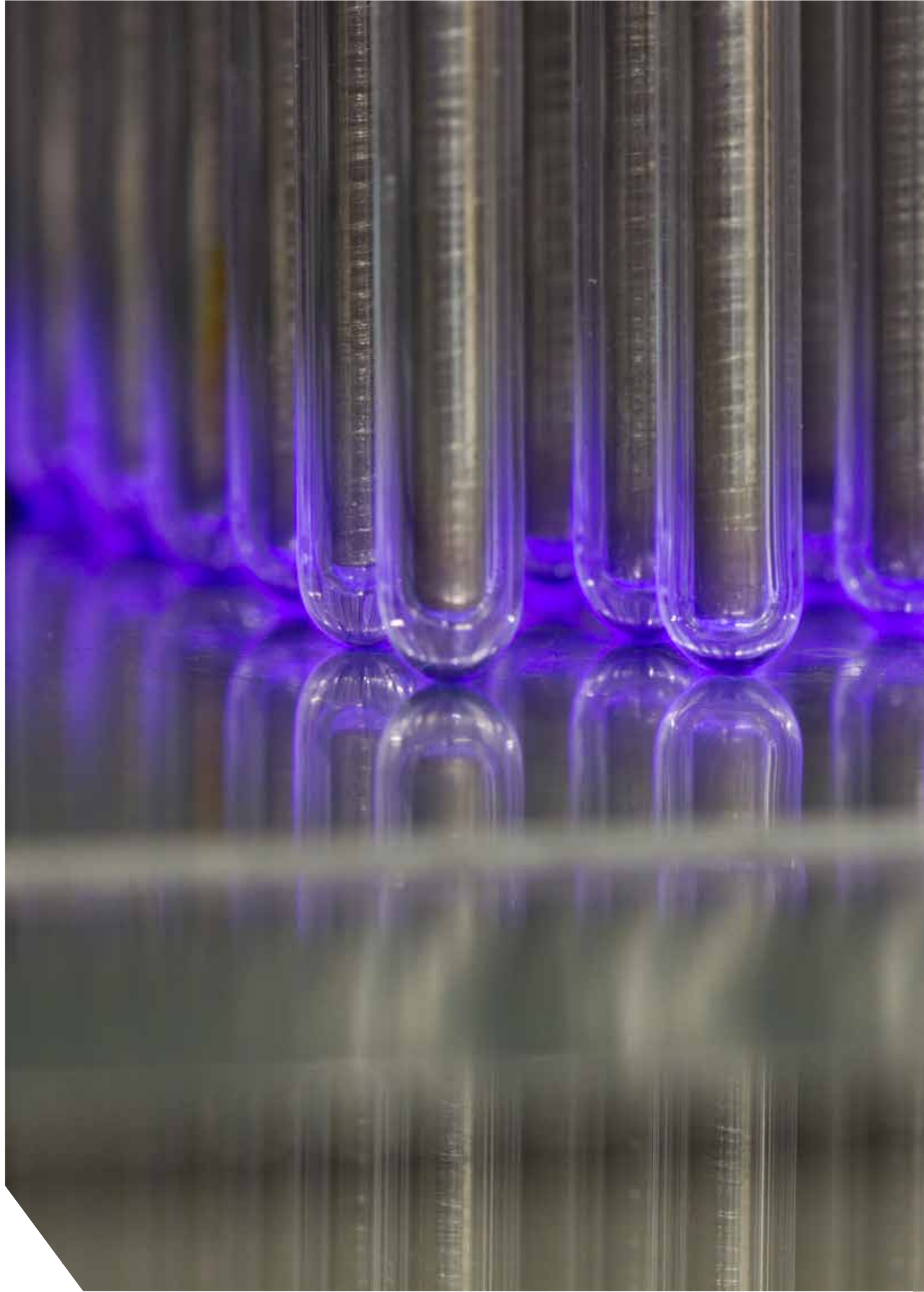


Schema einer Membran-Elektroden-Einheit für die Festkörpersynthese von Ammoniak.

## KONTAKT



**Dr. Angela Kruth**  
Tel.: +49 3834 554 3860  
angela.kruth@inp-greifswald.de





# KOMPETENZEN

## Plasmabiotechnik

Die Abteilung Plasmabiotechnik bündelt die Kompetenzen in der Verfahrensentwicklung von Prozessen, die auf der Wechselwirkung von Plasma mit biologischem Material beruhen.

Dazu wird die Expertise sowohl in der Entwicklung, Abstimmung und Diagnostik von speziellen, auf die Aufgabenstellung hin optimierten Plasmaquellen als auch in der Diagnostik des behandelten biologischen Systems vorgehalten.

Darüber hinaus stellt die Optimierung der erforderlichen Verfahren einen weiteren Schwerpunkt dar.

Derzeitige thematische Schwerpunkte stellen die Entwicklung von Plasmaprozessen zur Hygienisierung im Post-Harvest-Bereich mit einer Fokussierung auf den Lebensmittel-sektor sowie innovative Methoden zur Prozessanalyse und -überwachung dar.

Beispiele für die aktuellen Aktivitäten der Abteilung Plasmabiotechnik sind:

- die Entwicklung eines auf Reactive Nitrogen Species (RNS) beruhenden Hygienisierungsverfahrens, dass mittels eines Basisgerätes sowohl eine Trocken- als auch eine Nassbehandlung ermöglicht;
- die Entwicklung von optischen Sensoren zur Prozessüberwachung auf Basis von speziellen Diodenlasersystemen

Die applikationsorientierte Forschungsarbeit erfolgt überwiegend auf Basis von Verbundprojekten unter maßgeblicher Industriebeteiligung.

## Technologische Ausstattung

### Auxillary Decontamination Unit (ADU)

Zweistufiger selbstzündender atmosphärischer mikrowellenangeregter Plasmatorch zur RNS-Prozessgasgenerierung (Plasma Processed Air – PPA) mit Prozesssteuerung zum Betrieb von Peripheriegeräten, Kapazität: 100 slm. Einheiten zur Erzeugung von plasmaprozessiertem Wasser (PPW)

Gesamtkapazität: 2.000 l

### Diverse Peripheriegeräte zur Trocken- und Nassbehandlung

z. B. von Schüttgütern, Obst und Gemüse sowie von Fleischprodukten bis 200 kg Chargen



Wirbelschichttrockner mit Plasma-Gasgeneratoren (ADU)

### MinMIP

Kleiner mikrowellenangeregter Plasmatorch für chemische Diagnostik und biologische Applikationen

#### Mikrobiologische Standardmethoden

- Proliferationsassays
- Lebend-Tod-Bestimmung
- Biofilme
- Mikroorganismen der Risikogruppen 1 und 2

#### Standardmethoden des Qualitätsmonitoring

- Wassergehalt
- Zuckergehalt
- Farbänderung (Labor-System)
- Texturmessung





Behandlungsvorrichtung für Produkte in RPC (Reusable Plastic Container) mit Plasma-Gasgenerator (ADU)

## Optische Messtechnik

- Optische Emissionsspektroskopie (OES)
- Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FTIR)
- Thermometrie
- Laserdiodenabsorptionsspektroskopie
- Fluoreszenzmikroskopie

## Hochfrequenz-Messtechnik

- Diverse Spektrum- und Netzwerkanalysatoren von 10 Hz bis 50 GHz
- Mikrowelleninterferometer

## Strömungssimulation

- Numerische Strömungssimulation auf Basis von StarCCM+

## CAD-Konstruktion

## KONTAKT



**Dr. Jörg Ehlbeck**  
Tel.: +49 3834 / 554 458  
ehlbeck@inp-greifswald.de

## Plasmadiagnostik

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Abteilung Plasmadiagnostik stellen Untersuchungen zur Prozessüberwachung und Prozesskontrolle insbesondere bei molekularen Plasmaprozessen in den Mittelpunkt ihrer anwendungsorientierten Forschungsaktivitäten. Hierbei werden sowohl grundlegende als auch anwendungsrelevante Fragestellungen im Bereich der Materialien und Energie bearbeitet. Der Fokus liegt dabei auf der zeit- und orts aufgelösten, qualitativen und quantitativen chemischen Analyse von molekularen Plasmen sowohl in der Gasphase als auch an Oberflächen.

Die Abteilung Plasmadiagnostik arbeitet dabei mit modernsten Methoden und erweitert stetig das vorhandene Know-how sowie das Spektrum an Messgeräten und Methoden, insbesondere der laserbasierten Plasmadiagnostik. Spektroskopische Fragestellungen werden dabei im Spektralbereich von Ultraviolett bis Terahertz bearbeitet.

Die Anwendung moderner Methoden der Plasmadiagnostik ist der Schlüssel zum Verständnis komplexer Plasmen. Insbesondere molekulare Plasmen, die eine Vielzahl verschiedener Spezies enthalten, zeichnen sich durch eine Reihe interessanter und nützlicher Eigenschaften aus. Ihre breit gefächerten technologischen Anwendungen reichen von ressourcenschonenden Oberflächenbehandlungen, beispielsweise in der Halbleiterindustrie, bis hin zu Desinfektions- und Sterilisationsprozessen, Abgasreinigung und Gaswäsche, Partikelabbau als auch der Behandlung von Wasser, Luft und Sondermüll.

Die Plasmadiagnostik erlaubt die absolute Messung von Energie- und Temperaturverteilungen sowie Dichten von stabilen und transienten Spezies im Plasma mittels Sonden-diagnostik, Absorptionsspektroskopie und optischer Emissionsspektroskopie sie ermöglicht damit die Bestimmung und Aufklärung aller relevanten chemischen Prozesse.

Neben der Charakterisierung von Plasmaprozessen zur Beantwortung grundlegender und anwendungsrelevanter Fragestellungen werden in der Abteilung diagnostische Methoden zur Überwachung und Steuerung von technologischen Plasmaprozessen eingesetzt und weiterentwickelt. Durch die erstmalige Nutzung von hochmodernen Frequenzkammsystemen (FCs) im Spektralbereich des mittleren Infrarot soll ein vollkommen neuer Zugang zur Aufklärung von Plas-

ma-Oberflächen-Wechselwirkungen eröffnet werden. FCs sollen als Strahlungsquellen in der breitbandigen, resonanzgestützten, direkten Frequenzkammspektroskopie (CED-FCS) eingesetzt werden. Diese Methode wird es erlauben, eine große Gruppe transients Reaktionspartner simultan in der unmittelbaren Nähe zur Oberfläche zu detektieren. Zu diesem Zweck wurden in den letzten Jahren neuartige Nachweismethoden entwickelt, die FCs als Lichtquellen nutzen. Dies betrifft sowohl die frequenzkammbasierte Fourier-Transform-Spektroskopie als auch ein Virtually Imaged Phased Array (VIPA)-Spektrometer.

In einem von der Leibniz-Gemeinschaft geförderten SAW Projekt Leibniz-Kooperative Exzellenz wurde ein kompaktes THz-Spektrometer auf der Basis der THz-Quantenkaskadenlasertechnologie entwickelt. Das System wird in unterschiedlichsten Einsatzszenarien der hochsensitiven Detektion von Atomen und Molekülen in Plasmen einsetzbar sein.

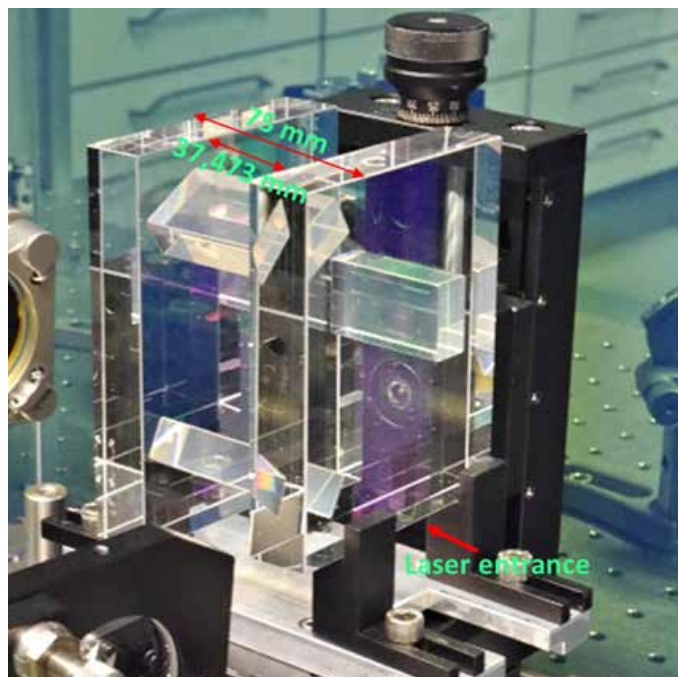


Foto eines air-spaced VIPAs mit Lasereinkopplung im unteren Teil des Kopplungsfensters

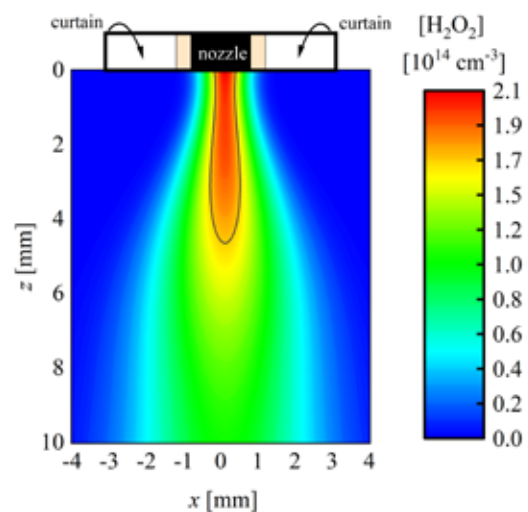
## APPLIKATIONSLABOR PLASMADIAGNOSTIK

Für die Untersuchungen stehen speziell ausgerüstete Labore für die Diagnostik an praxisnah nachgebildeten chemischen Plasmaprozessen mit modernster Messgeräteausrüstung zur Verfügung. Zur quantitativen Bestimmung wichtiger Kenngrößen wie die der Speziesdichten und deren Temperaturen, der Energieverteilung geladener Teilchen sowie zur Charakterisierung aller relevanten chemischen Reaktionspfade kommen folgenden Methoden zum Einsatz:

- Laserinduzierte Fluoreszenz und Absorptionsspektroskopie mit kohärenten Lichtquellen in den Spektralbereichen:
  - UV-VIS: gepulster Farbstofflaser
  - Mid-IR: Diodenlaser, Quantenkaskadenlaser, Interbandkaskadenlaser, Bleisalzlaser, Frequenzkammlasersystem
  - THz: Quantenkaskadenlaser, Terahertz Time-Domain Spectroscopy
- Resonatorbasierte Laserspektroskopie:
  - CRDS - Cavity Ring-down Spectroscopy
  - CEAS - Cavity-Enhanced Absorption Spectroscopy
  - OF-CEAS - Optical Feedback Cavity-Enhanced Absorption Spectroscopy
  - CEATRS - Cavity-enhanced Attenuated Total Reflectance Spectroscopy
- Absorptionsspektroskopie mit nicht-kohärenten Lichtquellen (FTIR-Spektroskopie von VIS bis mittleres IR)
- Optische Emissionsspektroskopie (UV-VIS: Gitterspektrographen mit CCD- und iCCD-Kameras)
- Sondendiagnostik (Langmuirsonde auch für zeitauflösende Messungen geeignet)
- Massenspektrometrie (Quadrupol bis 200 amu)

Die Diagnostikmethoden sind dabei auch für den mobilen Einsatz geeignet und können daher für externe Messungen direkt beim Kunden eingesetzt werden.

In 2019 wurde das erste Applikationslabor Plasmadiagnostik mit Schwerpunkt auf Atmosphärendruckquellen am INP etabliert. In diesem Labor werden verschiedene Diagnostiken des Instituts an einem Ort gebündelt, um eine zentrale Anlaufstelle zur Charakterisierung von Atmosphärendruckplasmen bereitzustellen. Zukünftig werden hier wichtige Kenngrößen wie beispielsweise die Elektronendichte oder atomare und molekulare Teilchendichten in unterschiedlichen Quellen quantifiziert werden.



Konturdarstellung der  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Teilchendichten im Effluent des kINPen-sci

## KONTAKT



**Dr. Jean-Pierre van Helden**  
 Tel.: +49 3834 / 554 3811  
 jean-pierre.vanhelden  
 @inp-greifswald.de

## Plasma Life Science

In der Abteilung Plasma Life Science werden die Wirkungen und Nutzungsmöglichkeiten von kaltem Atmosphärendruckplasma auf biologische Systeme mit dem Fokus auf die biologischen Effekte untersucht. Die untersuchten Medien sind in diesem Zusammenhang vielfältig und erstrecken sich von Bakterien über Mikroalgen und Zellen bis hin zu Geweben. Hier ist besonders die anwendungsorientierte Forschung von Interesse. Dabei werden die Grundlagen des Einsatzes von Plasma für diverse Nutzungen untersucht. Die antibakterielle Wirkung von Plasma steht im Fokus für die Dekontamination und die Inaktivierung von Bakterien und Pilzen in verschiedenen Umgebungen (Flüssigkeiten, Luft) oder auf Oberflächen. Neuere Ansätze kombinieren Plasma- und Biotechnologie im Bereich Biopharmazie und Umweltchemie. Dabei werden Möglichkeiten untersucht, Mikroalgen aufzuschließen, um deren bioaktive Komponenten zu gewinnen. Weiterhin werden plasmagestützte Verfahren erforscht, die den Abbau von Umweltchemikalien zum Ziel haben. Im zellbiologischen Bereich geht es vor allem um Untersuchungen, die klinische Anwendungen begleiten, um deren Grundlagen besser zu verstehen bzw. neue Anwendungen erschließen zu können. Darüber hinaus werden neue Plasmaquellen mit standardisierten Tests hinsichtlich ihrer biologischen Wirksamkeit oder antimikrobiellen Effektivität getestet. Flankierend verfolgt die Abteilung Plasma Life Science die Modellierungen der Plasmawechselwirkungen für lebenswissenschaftliche Fragestellungen.

## Technologische Ausstattung

### Mikrobiologie

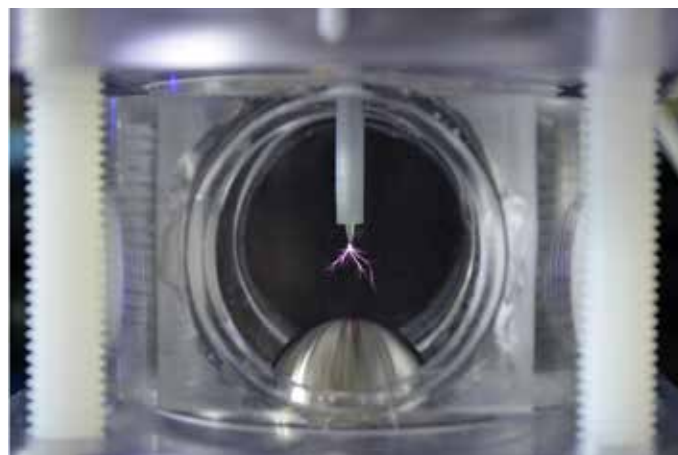
Durchführung aller gängigen mikrobiologischen Untersuchungen z. B. quantitative Lebendzellzahlbestimmung mittels Spiralplattensystem, Sicherheitswerkbänke zum sterilen Arbeiten, Spektralphotometer zur Bestimmung der optischen Dichte. Eine vorhandene Stammsammlung umfasst eine Vielzahl an Bakterien (auch Risikogruppe L2), Hefen und Pilzen. Zu testende Plasmaquellen können in den Laboren aufgebaut und an die Gasversorgung des Hauses angeschlossen werden. Als Untersuchungsmedien dienen Flüssigkeiten, Lebensmittel oder Oberflächen.

### Flüssigkeitsanalytik

Verschiedene Chromatographie-Systeme (IC-Ionen-Chromatographie, HPLC-Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie) stehen zur Verfügung. Veränderungen der Ionenzusammensetzung (z. B. Nitrat, Nitrit) oder auch spezieller Substanzen wie Aminosäuren in plasmabehandelten Flüssigkeiten können untersucht werden. Die anwendungsnahe Analyse umfasst auch chemische Analysen aus beispielsweise Industrieabwässern.

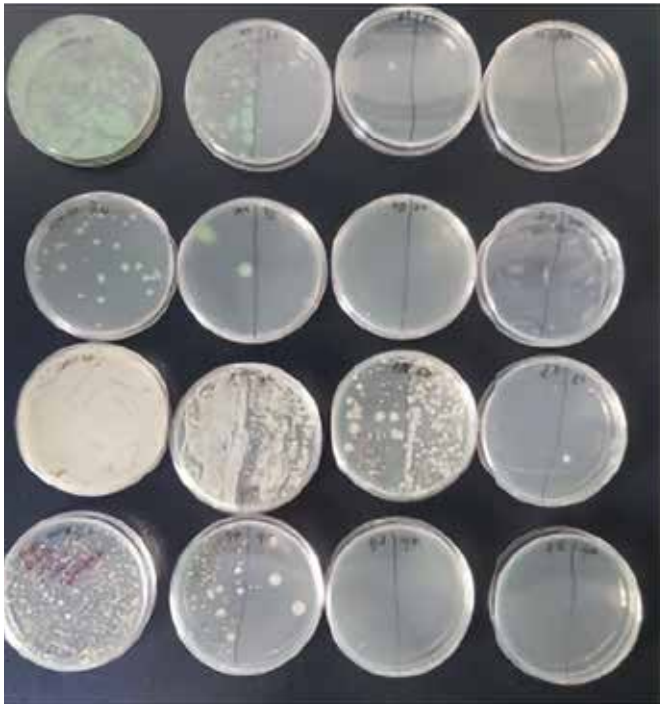
### Proteinanalytik

Diverse Techniken zur quantitativen und qualitativen Analyse von Proteinen. Neben Standardmethoden des Proteinnachweises im Multiplattenformat (ELISA, photometrische Assays) stehen Western Blots mittels Membrantransfer sowie ein Hochdurchsatzkapillarsystem zur Verfügung. Mit gut etablierten Protokollen können Proben für die massenspektrometrischen Analysen im ZIK erzeugt werden.



Darstellung einer Entladung in Wasser zwischen einer Nadel und einer Halbkugelelektrode. Sie wurde mit einem 100 ns Spannungspuls mit einer Amplitude von ca. 60 kV erzeugt.





Nachweis von Bakterien in Abstrichen aus chronischen diabetischen Wunden vor (Reihe 1 und 3) und nach Behandlung mit kaltem physikalischen Plasma (Reihe 2 und 4)

### Gentechnik

Die Expertise und Ausstattung zur Durchführung von gentechnischen Arbeiten der Sicherheitstufe S1 und S2 stehen zur Verfügung. So können nicht-virale und adenovirale Gentransfersysteme hergestellt werden. Eine Therapiewirkung wird durch die Übertragung von Genen mit Hilfe von Überexpressionsvektoren bzw. Geninhibitoren (siRNA) erreicht. Diese Therapiegene können bei der Behandlung von akuten und chronischen Wunden sowie verschiedener Tumore (z. B. Hauttumore) eingesetzt werden. Nicht-virale Gentransfersysteme besitzen eine transiente (zeitlich begrenzte) Wirkung in Zellsystems. Dagegen stellen adenovirale Vektoren das derzeit effizienteste Gentransfersystem dar, da sie vor allem in vivo die höchsten Transduktionsraten aufweisen und bis zu drei Monate das zu übertragende Genprodukt exprimieren. Neben einer umfangreichen Expertise zur Genexpression kommen Methoden wie quantitative real-time PCR und globale Mikroarrayanalysen zur Anwendung.

### Zellkultur und Histologie

Expertise und Ausstattung zur Durchführung von histologischen Analysen. Durch enge Kooperationen mit klinischen Partnern sind wir in der Lage, auch patientennahe Forschung zu betreiben und zu begleiten. Aus exzidierten Gewebeproben werden mittels Gefriermikrotom oder Mikrotom Gewebedünnschnitte hergestellt. Daran schließen sich immunhistochemische Färbungen bzw. Immunfluoreszenzfärbungen an. Auch für tierexperimentelle Arbeiten, die durch Kooperationen realisiert werden, kommen diese histologischen Techniken zum Einsatz.

### Mikroskopie

Besonders zur Analyse von Fluoreszenz-markierten Gewebeschnitten kommt die Fluoreszenzmikroskopie zum Einsatz. Darüber hinaus steht ein konfokales Laser-Scanning-Mikroskop zur Verfügung.

Die Rasterkraftmikroskopie (AFM, engl. atomic force microscopy) kommt zum Einsatz, um Oberflächen zerstörungsfrei mit hoher Auflösung auch an lebenden Zellen abzubilden und die mechanischen Eigenschaften einer Probe zu bestimmen. Mit dieser Technik können Elastizitätsmodule bestimmt werden.

### Ausblick

Das breite Spektrum an Methoden eröffnet der Abteilung vielfältige Themengebiete von der kliniknahen bis hin zur industriellen Forschung. Die meisten der vorhandenen Methoden und Expertisen lassen sich hervorragend miteinander kombinieren und ergänzen. Daraus ergibt sich eine Vielzahl weiterer Untersuchungsmöglichkeiten für die Forschung im Bereich Plasma Life Science.

### KONTAKT



**Dr. Sybille Hasse**

Tel.: +49 3834 / 554 3921

sybille.hasse@inp-greifswald.de

# Plasmodmodellierung

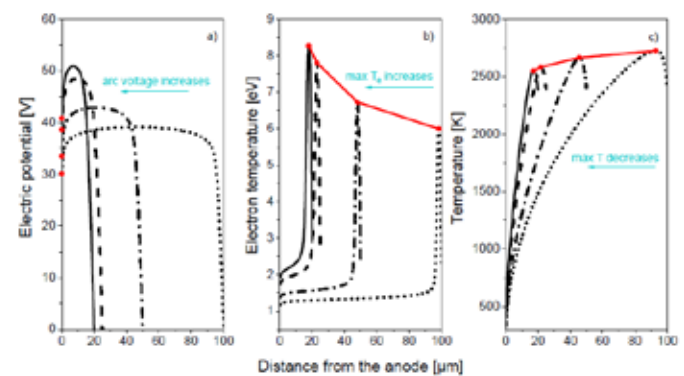
Die Modellierung und Simulation von Plasmaquellen und Plasmaprozessen stellt in der Plasmaforschung eine wesentliche Ergänzung zu Laborexperimenten dar. Modellbasierte Parameterstudien machen es möglich, technologische Plasmen gezielt zu optimieren sowie neue Anwendungsbereiche zu erschließen. Dadurch kann die praktische Durchführung kostenaufwndiger und zeitintensiver Experimente reduziert werden. Zudem ermöglichen die Modellrechnungen es auch, experimentell nicht oder nur schwer zugängliche physikalische Groen zu bestimmen. So können grundlegende Phänomene untersucht und das Verständnis von Messdaten unterstützt werden.

Am INP werden Modelle von Niedertemperaturplasmen bei Atmosphären- und Niederdruck mit wissenschaftlichem und technologischem Nutzungspotenzial entwickelt und angewendet. Das Spektrum der Modelle erstreckt sich von der Beschreibung einzelner Plasmaeffekte bis hin zu einer vollständigen Modellierung von Plasmaquellen und Plasmaprozessen. Im Fokus stehen hierbei aktuell die Plasmaoberflächentechnik sowie Vorhaben zur Unterstützung der Energiewende, des Umweltschutzes und der Gesundheit. Anwendungsbeispiele sind Plasmaprozesse zur Schichtabscheidung, zum Abbau bzw. zur Umwandlung von Schadstoffen und zur kontrollierten Erzeugung reaktiver Spezies für plasmamedizinische Anwendungen sowie Schweiß-, Schneid- und Schaltprozesse. Im Sinne eines nachhaltigen und FAIRen (d. h. Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) Umgangs mit gewonnenen Daten wird die Speicherung, Vernetzung und Nachnutzung von Forschungsdaten durch Erforschung und Entwicklung von Lösungen für das Forschungsdatenmanagement unterstützt.

Die Modellierung von Plasmen erfordert verschiedene Teilschritte. Dazu zählen zuerst die Entwicklung eines adäquaten Modells, die Formulierung von hydrodynamischen bzw. kinetischen Gleichungen für die Plasmaspezies, die Erstellung entsprechender Gleichungen für das elektrische und magnetische Feld und die Erarbeitung geeigneter Bedingungen an den Rändern des Lösungsgebietes. Ferner müssen die problemspezifischen Eingabedaten recherchiert, bewertet und aufbereitet werden. Die Komplexität der Gesamtbeschreibung von Plasmaprozessen bedingt, dass Teilprobleme, wie z. B. die plasmachemische Modellierung von reaktiven Plasmen, die Bestimmung der elektrischen Feldkonfiguration, die kinetische Beschreibung der Elektronen und Ionen und die Behandlung des Strahlungstransportes, zum Teil separat behandelt werden. Vorrangig wird jedoch eine so genann-

te selbstkonsistente Modellierung angestrebt. Hier werden alle relevanten Phänomene gekoppelt gelöst. So können die Wechselwirkungen der Teilprobleme adäquat erfasst und prädiktive Ergebnisse erzielt werden.

Zur Lösung des resultierenden Systems von gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen, welches die unterschiedlichen physikalischen Phänomene modelliert und miteinander koppelt, sind geeignete numerische Verfahren zu entwickeln bzw. zu adaptieren und adäquat einzusetzen. Je nach Problemstellung kommen hierfür kommerzielle Software-Pakete, Open-Source-Programme oder selbst entwickelte In-house-Codes zum Einsatz. Die Ergebnisse der Modellrechnungen sind im Anschluss inhaltlich zu interpretieren, adäquat zu visualisieren und u. a. in referierten Journalen zu publizieren.



Ergebnisse der Modellierung eines thermischen Mikro-Lichtbogens im Rahmen des DFG-Projekts „Theoretische Beschreibung und Modellierung von Lichtbögen bei kleinen Strömen und kleinen Elektrodenabständen“ (Projektnummer 390828847). Zu sehen ist der räumliche Verlauf des elektrischen Potenzials (links), der Elektronentemperatur (Mitte) und der Gastemperatur (rechts) bei Variation des Elektrodenabstandes und einer Stromdichte von  $10^6 \text{ A/m}^2$ .

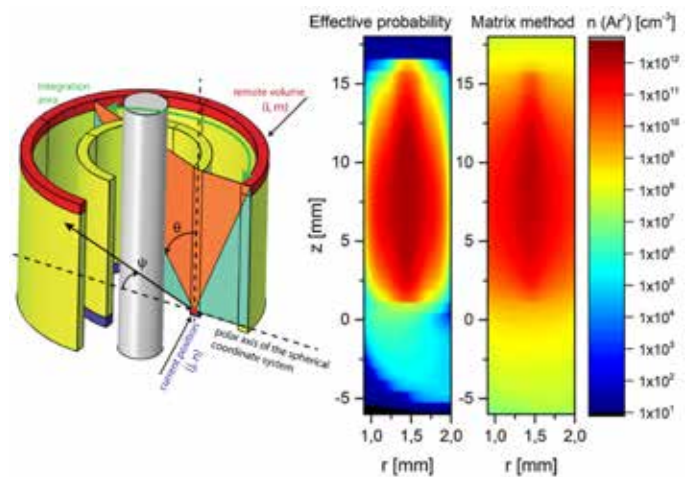
Die problemspezifisch adaptierten Modelle und numerischen Verfahren des INP zeichnen sich durch hohe Effizienz, Stabilität und Genauigkeit aus. Verifikation, Validierung und Benchmarking von Modellen und Programmen werden fortlaufend eingesetzt, um die Qualität der entwickelten Modelle und Programme zu prüfen und zu wahren. Die Modellrechnungen und Plasmasimulationen werden auf eigenen Hochleistungsrechen-Clustern durchgeführt, deren Verfügbarkeit die Behandlung komplexer, mehrdimensionaler Problemstellungen erst ermöglicht.

Es werden sowohl thermische als auch für nicht-thermische Plasmen modelliert. Dabei richten sich die Untersuchungen an den aktuellen Themen der Forschungsschwerpunkte am INP aus und finden oft in enger Kopplung mit experimentellen Arbeiten sowie in Kooperation mit nationalen und internationalen Partnern aus Forschungseinrichtungen und der Industrie statt.

Die Untersuchungen dienen u.a. dem physikalischen Verständnis und der quantitativen Erfassung der zeitlichen und räumlichen Änderung einzelner Plasmakomponenten, der sich im Plasma einstellenden Felder, der Stoß- und Strahlungsprozesse sowie der Wechselwirkung von Plasmaspezies mit Wänden, Elektroden und organischen Komponenten.

Im Bereich der thermischen Plasmen liegt der Fokus gegenwärtig auf Plasmaspritzprozessen und Untersuchungen zu kleinskaligen Bogenplasmen. Während bei ersteren die Optimierung von Anwendungen im Vordergrund steht, werden zu letzteren auch fundamentale Untersuchungen durchgeführt, wie etwa zur Wechselwirkung des Plasmas mit den Elektroden. Dafür wurden neue Modelle entwickelt, die eine konsistente Nichtgleichgewichtsbeschreibung von Plasma und Randschicht ermöglichen.

Untersuchungen zu nicht-thermischen Plasmen erstrecken sich vordergründig über Barrierenentladungen, Plasmaionenquellen und Plasma-Jets. Im Vordergrund stehen Studien zur Optimierung von plasmachemischen Prozessen, zu Plasma-Oberflächenwechselwirkungen und zur Stabilität von filamentierten Entladungen. Auch hier fanden grundlegende Modellentwicklungen statt, die u.a. eine genauere und räumlich mehrdimensionale Beschreibung plasmaphysikalischer Effekte, wie etwa dem Strahlungstransport, ermöglichen.



Ergebnisse der Modellierung eines nicht-thermischen Plasma-Jets in Argon bei Atmosphärendruck aus S. Valin et al., Plasma Sources Sci. Technol. 30 (2021) 115001. Zu sehen ist die geometrische Abhängigkeit von betrachtetem Volumenelement und nichtlokalen Strahlungsbeiträgen im Plasma-Jet (links) sowie ein Vergleich der Dichte der Resonanzatome bei Approximation des Strahlungstransportes durch effektive Lebensdauer (Mitte) und bei Berechnung mittels Matrix-Methode (rechts).

Ferner hat sich der Bereich des Forschungsdatenmanagements weiter in der Abteilung etabliert. In enger Zusammenarbeit mit allen Forschungsschwerpunkten werden schrittweise Standards zur Ablage und Dokumentation von Forschungsdaten aus den vielfältigen Untersuchungsmethoden am INP entwickelt. Damit werden nicht nur die neuen Anforderungen an ein nachhaltiges Datenmanagement im Sinne der FAIR-Prinzipien erfüllt, sondern es wird insbesondere auch der breitere Einsatz moderner datenwissenschaftlicher Methoden ermöglicht.

## KONTAKT



Priv.-Doz. Dr.  
Detlef Loffhagen  
Tel.: +49 3834 / 554 320  
loffhagen@inp-greifswald.de

## Plasmaoberflächentechnik

In der Abteilung Plasmaoberflächentechnik werden plasmagestützte Prozesse zur Modifizierung von Oberflächen untersucht, die in unterschiedlichen Branchen Anwendung finden. Sowohl im High-Tech-Sektor, wie z. B. in den Bereichen Automobilbau, Luft- und Raumfahrtindustrie, der Energiewandlung, Photonik, Mikroelektronik, Werkzeugbeschichtung, Textilindustrie oder der Kunststoffverarbeitung, als auch im Life-Science-Bereich, beispielsweise in der Biomedizintechnik bei Implantaten, medizinischen Instrumenten, Biosensoren oder in der Lebensmittelindustrie, spielen Plasmaprozesse bei der gezielten Einstellung von Oberflächeneigenschaften eine zentrale Rolle.

Plasmaverfahren in der Oberflächentechnik spannen das Spektrum vom strukturierten Materialabtrag, wie beim Ätzen oder der Feinreinigung, über die Einstellung der Grenzflächeneigenschaften z. B. zur Steuerung der Verklebbarkeit oder Bedruckbarkeit, bis hin zur Herstellung von dünnen Funktionsschichten mit Anwendungen zum Schutz vor Korrosion, Wärme oder mechanischem Abrieb, elektrochemische Anwendungen wie Elektroden oder Membranmaterialien sowie Schichten für optische Systeme. Prozesstechnische Vorteile von Plasmaverfahren sind z. B. eine niedrige thermische Belastung der Bauteile, vergleichsweise verbesserte Umweltfreundlichkeit, präzise Steuerbarkeit sowie eine äußerst geringe Beeinflussung der Grundmaterialeigenschaften.

Die Expertise umfasst:

### Interface-Engineering

- Modifizierung von Metall-, Keramik-, Glas- und Kunststoffoberflächen
- Antimikrobielle Oberflächen
- Einstellung der Adhäsion bei Materialverbünden
- Hydrophile / hydrophobe Oberflächen
- Biokompatible Oberflächen
- Zelladhäsive / zellantiadhäsive Oberflächen
- Textilbehandlung

### Prozessentwicklung für die Abscheidung dünner Schichten

- Hartstoffe
- Verschleißschutz
- Korrosions- und Oxidationsschutz
- Optische Schichten
- Kratzfeste Oberflächen
- Photokatalytisch wirksame Oberflächen
- Dekorative Schichten, Oberflächenfinish
- Plasmafeinreinigung
- Plasmabasiertes Polieren, Entgraten und Reinigen von Metallen
- Polieren 3D-gedruckter Metallbauteile

## Technologische Ausstattung

Es kommen verschiedene Plasmaverfahren unter Nieder- und Normaldruckbedingungen zum Einsatz, die ständig weiterentwickelt werden. Hierfür stehen sowohl Anlagen im Labor- als auch Industriemaßstab zur Verfügung, teilweise Mehrkammersysteme gekoppelt an Schleusen und Quasi-In-situ-Oberflächenanalytik (XPS):

- Prozesse in DC-, DC-gepulsten, Hochfrequenz- und Mikrowellenplasmen
- Ionenimplantation (PIII und PIII&D)
- Magnetronsputtern
- High Power Impulse Magnetron Sputtering (HiPIMS)
- Plasmaspritzen
- Plasmaelektrolytische Oxidations- und Polierprozesse
- Plasma ion assisted deposition (PIAD)
- Plasmagestützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD)
- Oberflächenmodifizierung mittels Atmosphärendruckentladungen (DBD, Plasmajet)



Thermisches Atmosphärendruck-Plasmasprayverfahren zur Herstellung von Funktionsschichten. Hier gezeigt: Oxidschicht auf metallischem Implantat



Die Oberflächenanalytik ist eines der Spezialgebiete des INP. Das vorhandene Spektrum an diagnostischen Verfahren, das Know-how bei der Bedienung sowie die Methodik zur Auswertung der Messdaten werden stetig erweitert und verbessert.

## Analyse von Topographie und Morphologie

### Hochauflösende Rasterelektronenmikroskopie (HR-SEM)

- Transmissions-Rasterelektronenmikroskopie (STEM)
- Rasterkraftmikroskopie (AFM)
- Profilometrie
- Weißlichtinterferometrie
- Lichtmikroskopie mit 3D-Funktion

### Bestimmung der chemischen Zusammensetzung, Bindung und Struktur

- Hochauflösende Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS)
- Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)
- Röntgendiffraktometrie (XRD)
- FTIR-Spektroskopie

### Bestimmung der Verschleißfestigkeit

- Abrasionstest
- Kalottenschliffverfahren

### Untersuchung von mechanischen Eigenschaften

- Mikroindenter
- Nanoindenter
- Messung der Haftfestigkeit von Verklebungen

### Bestimmung von Kontaktwinkel und Oberflächenenergie

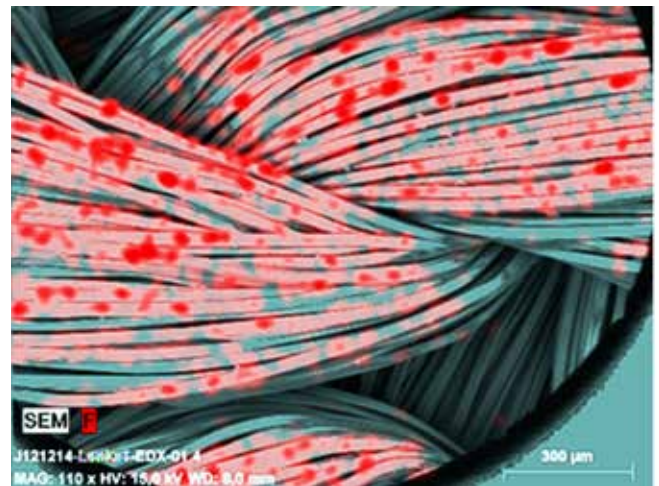
- Kontaktwinkelmessgeräte

### Bestimmung der optischen Eigenschaften

- UV-Vis-Spektralphotometrie
- Optische Ellipsometrie

Folgende Themenfelder sind Gegenstand aktueller Entwicklungen bei der Anwendung von Verfahren zur Plasmaoberflächentechnik am INP:

- Oberflächenfinish 3D-gedruckter Werkstücke
- Plasmagläätten leitfähiger Oberflächen
- Entwicklung moderner Plasmaverfahren für die Schichtabscheidung unter Normaldruck
- Hochrateabscheideverfahren unter Normaldruck (Plasmaspraying)
- Einsatz von plasmabasierten Methoden zur Prozesskontrolle und -regelung
- Einsatz von in situ Oberflächenanalytik



Elektronenmikroskopische Aufnahme eines textilen Gewebes. Überlagert ist das Signal aus der chemischen Analyse mittels energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX). In roter Falschfarbe dargestellt sind Spuren von siliziumhaltigen Aggregaten, die während der Plasmabehandlung im Textil deponiert wurden.

## KONTAKT



**Dr. Rüdiger Foest**  
Tel.: +49 3834 / 554 3835  
foest@inp-greifswald.de

## Plasmaprozessstechnik

Im zurückliegenden Berichtszeitraum wurden Expertisen zu der plasmachemischen CO<sub>2</sub>-Reduktion, der Biomassebehandlung und den plasmagestützten Vakuumverfahren zur Erzeugung hochporöser Schichten für die Elektrokatalyse erweitert bzw. vertieft.

Für die Spaltung und Reduktion von CO<sub>2</sub> sind nichtthermische Plasmen grundsätzlich geeignet, die hohen Aktivierungsenergien der Reaktionen zu überwinden. Dielektrische Barrierentladungen (DBE) spielen hier eine besondere Rolle, da diese den Einsatz von Katalysatoren auf einfache Weise erlauben. Dazu sind verschiedene Anordnungen, wie Singlestack-, Multystack- und coaxiale Bauweisen, gefertigt worden, die sowohl im Atmosphären- als auch im Hochdruckbereich einsetzbar sind. Der Hochdruckbereich ist vor allem für die chemische Industrie interessant, da unter diesen Bedingungen viele Synthesen durchgeführt werden.

Für die Konstruktion dieser Plasmaquellen bzw. einzelner Komponenten wurden 3D Druckverfahren auf Kunstharzbasis getestet. Nach derzeitigen Erkenntnissen erweisen sich die Kunstharze für die Verwendung in der Gegenwart als ausreichend stabil.

Für die Behandlung von Biomasse wurde ein Verfahren entwickelt, das eine Kombination aus einer Mikrowellenentladung und einer Ultraschallquelle mit gemeinsamem Wirkungsfeld gewährleistet. Beide Quellen zusammen erzeugen Synergieeffekte, die vor allem für die Wiederverwendung von Gärresten aus Biogasanlagen für die nochmalige Vergärung und somit zusätzliche Methanerzeugung zum Tragen kommen. Dieses Verfahren steht in Form eines 40-Liter-Demonstrators, der sowohl für den Batchbetrieb als auch für kontinuierliche Fahrweise geeignet ist.

Für elektrochemische Anwendungen in der Elektrolyse oder in Brennstoffzellen werden katalytische Schichten mit Hilfe vakuumbasierter Methoden synthetisiert. Dabei kommen insbesondere patentierte Verfahren wie die PVD (Physical Vapour Deposition), z. B. Magnetron-Sputtern und Plasmalonen gestützte Deposition, zum Einsatz. Erst durch die Kombination dieser Beschichtungen mit chemischen oder elektrochemischen Leachingprozessen gelingt es, hochporöse Metallschichten zu erzeugen, die bezogen auf ihre Flächenmasse sehr hohe elektrokatalytische Aktivitäten besitzen. Komplementär dazu stehen elektrochemische und oberflächenanalytische Charakterisierungsmethoden zur Verfügung. Insbesondere wurde ein Verfahren zur Untersuchung von Gasdiffusionselektroden in einer Halbzellenanordnung eingeführt.

### Plasmaquellen für die chemische Synthese

- Dielektrische Barrierentladungen
  - Singlestackreaktor
  - Multystackreaktor
  - coaxiale Anordnungen für Hochdrucksynthesen

### Biomassebehandlung

- KombiMax-Demonstrator; umfasst zwei 1 kW Ultraschallquellen, eine 500 W Mikrowellenquelle und einen 40 L Rezipienten

### MEA-Fertigung

- ND-SP Ultraschall-Spritzbeschichter® 11/3 voll integriert, X-Y-Arbeitsbereich von 300 x 300 mm
- LaboPress P150H, 150mm x 150mm

### Experimentelle Ausstattung Plasmatechnik PVD, PECVD

- PIAD-Vakuumbeschichtungsanlage, M 900
- UNIVEX 400 mit Loadlock

### Plasmatechnik Pulvermodifizierung

- Drehtrommelreaktor, HF- oder Mikrowellenanregung, Vakuumprozess: Aktivierung oder Beschichtung (PECVD) von Schüttgütern, Pyrolyse von Schüttgütern



Poröse Platinschicht auf einer Gasdiffusionsschicht

## Charakterisierung Nanostruktur, Morphologie, Kristallstruktur, Molekülstruktur, Porosität

- Digitalmikroskop Keyence: 2D- und 3-Aufnahmen mit bis zu 1000-facher Vergrößerung
- BET-Sorptionsmessung, Quantachrome NOVA2000: Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Stickstoff-Adsorption
- FTIR-Spektrometer: Bruker VERTEX 70v: digitales FTIR-Vakuum-Spektrometer für Messungen im MIR- (8000 bis  $350\text{ cm}^{-1}$ ) und FIR-Bereich ( $600$  bis  $50\text{ cm}^{-1}$ )
- MasterSizer 2000 von Malvern Instruments: Messung der Korngrößenverteilung von Pulvern im Bereich von  $20\text{ nm}$  bis  $2\text{ mm}$
- Bruker D8 Advance Röntgendiffraktometer mit hochauflösendem LYNXEYE Detektor:
  - Röntgendiffraktometrie (XRD) an polykristallinen Schichten und Pulvern zur Identifizierung von Kristallphasen und Kristallitgrößenbestimmung. Röntgenreflektometrie (XRR) zur Bestimmung von Schichtdicke und Rauigkeit. Rietveld-Analyse
- Rasterelektronenmikroskopie/EDX, Joel (Germany) GmbH, dazu Cross section polisher, IB-09010CP, Joel (Germany) GmbH: Querschnittspoliergerät zur Erzeugung spiegelglatter Oberflächen, welche nicht mechanisch poliert werden können

## Charakterisierung optischer, elektrochemischer und photochemischer Eigenschaften

- PerkinElmer Lambda 850 UV/Vis Spektrophotometer mit L6020322  $150\text{ mm}$  integrierender Kugel: Messung von Transmission, Streuung und Reflexion
- $\mu$ -Autolab 2 Potentiostat, elektrochemische Messungen
- Autolab Bipotentiostat 302N, elektrochemische Aktivitätsmessungen
- ATV In-line-4-Point-Probe mit Keithley 2400 Sourceme-ter, Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes von Oberflächen und dünnen Schichten
- Im6e Potentiostat, Zahner GmbH, elektrochemische Charakterisierung
- PCS photoelektrochemisches Photo Current Spectra System, Zahner GmbH
- CIMPS Fast Light Intensity Transient System, Zahner GmbH, photoelektrochemische Messung
- COLT Coating and Laminate Tester, Zahner GmbH, ACDC-AC Tests an Beschichtungen und Laminierungen
- Nordic Electrochemistry Potentiostat mit positivem Feedback zur iR-Kompensation bei hohen Strömen für GDE-Messungen

## Ausblick auf künftige Schwerpunkte

- Entwicklung und Verstetigung von Methoden zur Erzeugung hochporöser Katalysatorschichten für die Elektrokatalyse
- plasmachemische Stoffumwandlung in Gasen und in Flüssigkeiten für die  $\text{CO}_2$ -Nutzung
- Kombination von Plasma- und Elektrokatalyse für die Synthese
- chemische Speicherung von elektrischer Energie
- Kombination von Plasma und Ultraschall für die Desintegration von biologischen Substraten



KombiMax-Demonstrator beim Feldtest an einer Biogasanlage

## KONTAKT

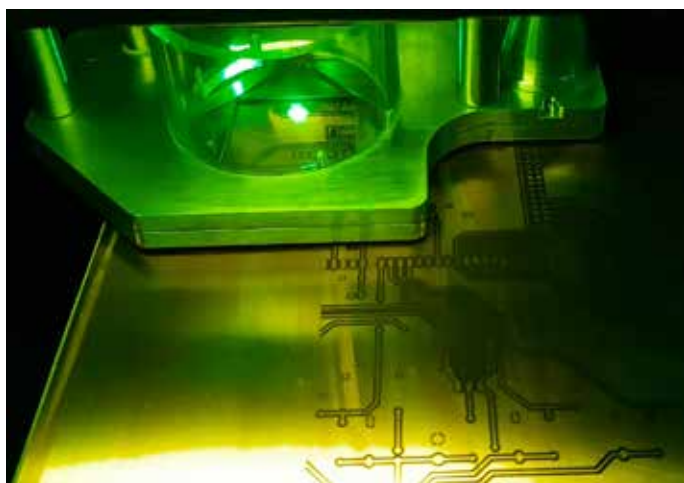


**Dr. Volker Brüser**  
Tel.: +49 3834 / 554 3808  
brueser@inp-greifswald.de

## Plasmaquellen

Die Entwicklung und Charakterisierung von Plasmaquellen und -systemen stellt eine Kernkompetenz des INP dar. Die Abteilung Plasmaquellen stellt für diese Aufgaben ein breites Spektrum an Fach- und Methodenkompetenz im technischen, ingenieurwissenschaftlichen und physikalischen Bereich zur Verfügung. Geräte und Systeme werden in enger Abstimmung mit den Forschungsschwerpunkten zielgerichtet nach den Anforderungen der jeweiligen Anwendungen entwickelt. Zusätzlich zur Plasmaquellenentwicklung wird eine grundlegende Charakterisierung von Plasmaquellen vorgenommen. Ebenso erfolgen die Integration in Komplettsysteme und die Entwicklung peripherer Baugruppen wie Hochspannungsgeneratoren.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf Aktivitäten zur Entwicklung von Atmosphärendruckplasmasystemen. Diagnose-, Steuerungs- und Regelungssysteme können integraler Bestandteil der Geräte sein. Für die Entwicklung der Geräte verfügt das INP über spezielle Labore, in denen die Plasmaquellen entworfen, hergestellt und charakterisiert werden. Bauteile und Baugruppen können vor Ort direkt durch Rapid-Prototyping-Technologien wie 3D-Druck- und Laserschneidverfahren gefertigt werden. Dies ermöglicht eine direkte Implementierung neuartiger Plasmaquellenkonzepte in Geräte.



Die Lötseite einer Leiterplatte wird präzise in einem Laserprozess strukturiert.

Bis hin zu mittleren Technologie-Reifegraden (TRL, Technology Readiness) d. h. Prototypenstadium, arbeitet die Abteilung Plasmaquellen häufig hauptverantwortlich. Bei der Entwicklung wird auch mit Partnern aus der Industrie zusammengearbeitet und ein Technologietransfer wird realisiert. Alle entwickelten Geräte und Systeme werden schon vom Konzeptstadium an konsequent nach den Anforderungen der jeweiligen Anwendung entwickelt.

Zum Aufgabenspektrum der Abteilung Plasmaquellen gehören die Konzeption und Konstruktion elektrischer und mechanischer Baugruppen. Elektrische und elektronische Schaltungen werden entworfen und funktional simuliert. Außerdem erfolgt die Implementierung von Schaltungen in Leiterplatten, die vor Ort selbst gefertigt werden. Seit 2021 steht dafür ein hochmodernes Laser-System zur Verfügung, das in der Abbildung dargestellt ist. Mechanische Baugruppen werden in CAD-Workflows entwickelt und abhängig von den Anforderungen an Materialien und konstruktive Besonderheiten mit der jeweils optimalen Technologie gefertigt.

Modernste 3D-Druck- und Laserschnitt-Verfahren ergänzen hier klassische Verfahren, für deren Durchführung die Abteilung Plasmaquellen eng mit der mechanischen Werkstatt des INP kooperiert.

Die grundlegende Charakterisierung der entwickelten Plasmasysteme erfolgt durch elektrische, optische und spektroskopische Untersuchungen. In diesen Bereich fällt die FTIR-Spektroskopie zur Gasphasenanalytik, mit der plasma-generierte reaktive Spezies (z. B.  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ) bis in den ppb-Bereich nachgewiesen werden können.

Neben der Entwicklung und Fertigung von Geräten und Systemen erfolgen in der Abteilung Plasmaquellen auch Prüfungen für das gesamte INP, Wartung und Reparatur von Geräten sowie die technische Betreuung der Partner. Die Einsatzzwecke der entwickelten, bereitgestellten und betreuten Geräte ist breit. Wichtige Beispiele dafür sind:

### Medizinische Plasmaquellen

Wie alle Produkte, die in der Medizin eingesetzt werden, werden auch an die Entwicklung medizinischer Plasmaquellen erhöhte Anforderungen gestellt.



Diesem Anspruch wird begegnet, indem die rechtlichen Anforderungen (z. B. Normen zur Elektrosicherheit) bereits bei der Entwicklung berücksichtigt werden. Zudem werden Analysen von zulassungsrelevanten Parametern wie Bestrahlungsstärken und Ableitströmen durchgeführt.

## Agrarkultur

Für Forschungszwecke in der Agrarkultur werden Plasmaquellen zur Behandlung von Saatgut verwendet, beispielsweise zur Verbesserung der Keimfähigkeit. Weiterhin werden Plasmasysteme zur Behandlung von Flüssigkeiten genutzt. Zu den zentralen ingenieurtechnischen Herausforderungen der Systementwicklung in diesem Bereich zählt die Skalierung der Systeme. Für Vorversuche im Labormaßstab sind kleine Funktionsdemonstratoren optimal. Für Anwendungen darüber hinaus, auch im Forschungsumfeld, ist eine erhebliche Hochskalierung unter Beibehaltung vieler kritischer Betriebsparameter erforderlich.

## Dekontamination

Plasmaquellen zur Behandlung chemischer oder mikrobiologischer Kontaminationen werden als Baugruppen zur Integration in anwendungsspezifische Geräte und Systeme konzipiert. Damit können Anwendungen in der Raumlufthygiene, Abgasbehandlung und Dekontamination von Oberflächen umgesetzt werden. So wurde kürzlich im Rahmen eines ZIM-Projekts gemeinschaftlich mit Partnern aus der Industrie ein Plasma-Applikator zur Dekontamination von Haltestangen und Geländern entwickelt. Weiterhin werden Plasmaanordnungen zum Abbau von Kontaminationen in Wasser (z. B. pharmazeutische Rückstände) sowie Systeme zur Gewinnung von thermosensitiven Stoffen aus Mikroalgen mittels Funkenentladungen entwickelt.

## Periphere Geräte und Systeme

In größeren Systemen kann eine Interaktion der Plasmaquellen mit anderen Modulen für Diagnose-, Steuerungs- und Regelungszwecke notwendig sein. Um eine optimale Kompatibilität zwischen unterschiedlichen Komponenten sicherzustellen, erfolgt bei der Entwicklung stets eine enge Abstimmung mit Projekt- und Forschungspartnern. Weiterhin werden zusätzlich zu den Plasmaquellen bedarfsweise auch periphere Geräte und Systeme selbst entwickelt. Die Abbildung zeigt ein Materialerkennungssystem, das mittels einer Kamera und einem trainierten künstlichen neuronalen Netz das Material von Werkstücken für einen Desktop-Lasercutter bestimmt. Zur Reinigung der Abgase des Lasercutters wird parallel ein Plasmaprozess entwickelt, der durch die Kommunikation mit dem peripheren Materialerkennungssystem angepasst werden kann.

Aufgrund der Vielzahl und Vielfalt der entwickelten und betreuten Systeme wurden besonders in den Jahren 2020 und 2021 Systeme zum abteilungsinternen Datenmanagement ausgebaut. Neben einem umfassenden Plasmaquellenkatalog, der in Teilen auch extern zugänglich ist, werden hier besonders auch Patente berücksichtigt.



Kamerabasiertes Materialerkennungssystem. Die obere Abdeckung wurde entfernt, um den Blick auf die Kamera freizugeben.

## KONTAKT



**Dr. Robert Bansemer**  
Tel.: +49 3834 / 554 3976  
robert.bansemer@  
inp-greifswald.de

## Plasmastrahlungstechnik

Die Abteilung widmet sich der experimentellen Analyse von technologischen Plasmen in verschiedenen Anwendungen der elektrischen Energietechnik (Hochstrom-, Hochspannung- und Schaltgerätetechnik) und der Verfahrenstechnik (Schweißtechnik, thermische Konditionierung metallischer Oberflächen). Dabei werden elektrische und optische Diagnostikverfahren für die quantitative Analyse eingesetzt. Einen Schwerpunkt bildet die Emissionsspektroskopie. Im Fokus der Forschung stehen aktuell Untersuchungen von Schaltlichtbögen in Ableitern und Schützen, Vakuumlichtbögen in Leistungsschaltern, Lichtbögen in der Schweißtechnik sowie Mikrolichtbögen und Funkenentladungen.

Die Weiterentwicklung von Methoden der Hochgeschwindigkeitskinematografie gekoppelt mit der optischen Emissions- und Absorptionsspektroskopie dient der Optimierung physikalischer Eigenschaften der zu untersuchenden Plasmen in praxisnahen Modellanordnungen und Laborexperimenten. Dabei stehen die Erhöhung der Empfindlichkeit und räumlichen Auflösung optischer Methoden, die Erweiterung der Anwendbarkeit auf kalte Randschichten und Oberflächen, die Erfassung und Charakterisierung räumlich unsymmetrischer Plasmen mit hoher Dynamik, die Robustheit gegenüber Störungen in realen Anwendungen und der flexible sowie mobile Einsatz im Vordergrund. Neben der Quantifizierung lokaler Eigenschaften im Lichtbogen ist auch die Bestimmung von Oberflächentemperaturen und anderen Eigenschaften, etwa von Elektroden, in den verschiedenen Lichtbogenanwendungen von Interesse.

Aufbauend auf der Expertise in der Diagnostik werden anwendungsspezifische nichtinvasive Sensor- und Kontrollsysteme entwickelt. Der Abteilung steht neben modernsten Diagnostiksystemen entsprechende Ausrüstung der Schweißtechnik, der Hochstrom- und Hochspannungstechnik sowie der Vakuumtechnik zur Verfügung.



Ein Blick ins Lichtbogenlabor: Synthetischer Prüfkreis (rechts im Bild, Eigenentwicklung vom INP), Vakuumkammer mit Pumpensystem und Antrieb (links im Bild).

## Technologische Ausstattung

### Lichtbogenlabor

- Synthetischer Prüfkreis für Schaltgeräte mit maximalem Strom bis zu 80 kA und Wiederkehrspannung bis zu 42 kV
- Stoßstrom-Generator mit variabler Stromform (AC variabler Frequenz 16-1000 Hz, gepulste DC, Blitzstromimpuls)
- Vakuumkammer für Untersuchungen an Hochstrom-Vakuumlichtbögen
- Elektrische und optische Messtechnik

### Schweißlichtbogenlabor

- Versuchsstände mit fester Brennerhalterung und flexibler Bewegung von Testwerkstücken unter dem Brenner einschließlich Gasversorgung, Absaugung und Strahlungsschutz
- Stromquellen verschiedener Hersteller sowie eine frei programmierbare Quelle
- ein 5 kW Wasserdampfbrenner
- Elektrische und optische Messtechnik

### Hochspannungslabor

- HV-Generator für Wechselspannungen bis 100 kV, Gleichspannung bis 130 kV, Impulsspannung bis 135 kV
- Teilentladungsdiagnostik (konventionell nach IEC 60270, Frequenzganganalyse, akustische Sensoren, UHF-Sensoren, Messung der dielektrischen Antwort, Widerstandsmessgeräte)

## Dauerstromlabor (Standort Universität Rostock)

- Dauerstromversuchsstände (max. 3000 A)
- Klimakammer mit Klimakammer für Abkühl- und Erwärmungszyklen (-70 - +180 °C) und Wärmeschranken (+250 °C)
- Thermographie-Kamera
- Thermosonden
- Widerstandsmessgeräte (nΩ bis μΩ)

## Niederspannungsschalter- und Funkendiagnostik-Labore

- Versuchsstände mit geeigneten Stromgeneratoren zur Nachstellung eines realistischen Betriebs
- Messplätze für optische Untersuchungen an kleinskaligen und lichtschwachen Objekten (Mikrolichtbögen, Teilentladungen, Blitzstromentladungen)
- Optische Kalibrierungsquellen

## Ausrüstungen für optische Messungen

Allen Laboren stehen folgende Ausrüstungen für optische Messungen zur Verfügung:

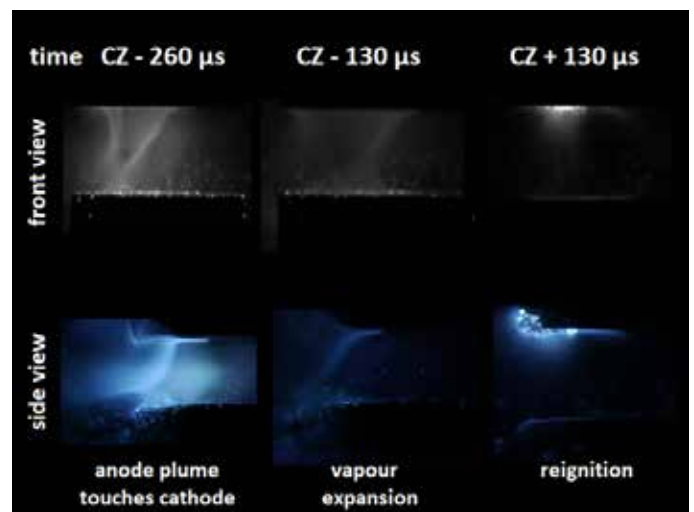
- mobile und stationäre Messplätze für abbildende optische Emissionsspektroskopie und optische Absorptionsspektroskopie
- Hoch- und Höchstgeschwindigkeitskamertechnik
- Technik für Thermografie/Pyrometrie

Die Abteilung verfügt über eine Röntgenanlage für Computertomografie zur zerstörungsfreien Diagnostik von Elektroden oder Werkstoffproben.

## Künftige Schwerpunkte

- Erweiterung der bestehenden Expertise im Bereich thermischer Plasmen auf das Thema Plasmapyrolyse und thermisches Gasreforming
- Ausbau der Expertise in den Bereichen Green Switching Technology, autonome Stromnetze und Elektromobilität
- Weiterentwicklung quantitativer Diagnostik in dem Bereich von Hoch- und Höchstdrucklichtbögen
- Adaption der vorhandenen optischen Messmethoden für Temperaturen unter dem Schmelzpunkt für Studien der Abkühlodynamik von metallischen Oberflächen und Analyse derer Energiebilanz
- Aufbau und Inbetriebnahme eines Energielabors im Center for Life Science einschließlich diverser Hochstromgeneratoren, Hochleistungs-Batterie 5 kV/ 1000A und passender Messtechnik

- Aufbau eines Messplatzes mit Plasmabrenner für Studien an Plasma-Trennung-Verfahren zur Abfallbeseitigung und Materialumwandlung
- Direkte Messungen der Teilchendichten mit Hilfe von spektroskopischen Methoden und Bestimmung der Gas-temperatur für quantitative Untersuchungen zur Charakterisierung thermischer Nichtgleichgewichtsplasmen



Momentaufnahmen eines Vakuumlichtbogens um den Stromnulldurchgang (CZ) bei thermischer Wiederzündung infolge starker Elektrodenmaterialverdampfung. Strom 10 kA.

## KONTAKT



**Dr. Sergey Gortschakow**  
Tel.: +49 3834 / 554 3820  
sergey.gortschakow@inp-greifswald.de

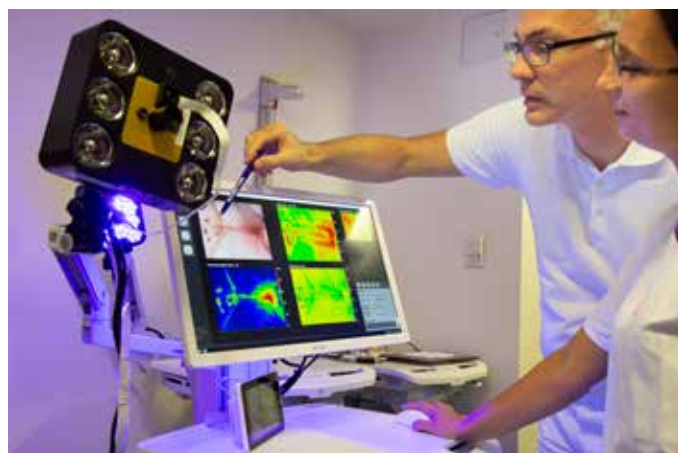
### Kompetenzzentrum Diabetes Karlsburg

Das Kompetenzzentrum Diabetes Karlsburg (KDK) ist eine Kooperationsinitiative des Klinikums Karlsburg und des INP. Es steht für klinische Verbundforschung und unterstützt die Entwicklung innovativer Medizinprodukte, Verfahren, Technologien und Diagnostiken im Bereich Wundheilung und Plasmamedizin. Dazu wurden im Klinikum Karlsburg neue Labore geschaffen. Die kurzen Wege zwischen Klinik und Forschung sichern den direkten Austausch zwischen Klinikpersonal und Patient(inn)en sowie Forscher(inne)n und Industriekunden. Dadurch wird eine schnelle Produktentwicklung mit kurzen Iterationsschritten von der Idee bis zur Marktzulassung und direkten Feedbackschleifen möglich. So können Forschungsergebnisse im Zusammenspiel mit Unternehmen aus der Medizinbranche deutlich schneller in die klinische Anwendung übertragen werden, was den Patient(inn)en zugute kommt.

Die strukturelle Ausstattung des Kompetenzzentrums Diabetes Karlsburg wurde vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Gesundheit des Landes Mecklenburg-Vorpommern und von der EU mit rund 2,5 Millionen Euro aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung der Europäischen Union gefördert.

Das KDK wird sich zukünftig strategisch auf „Forschung und Entwicklung“ mit dem Transfer in die industrielle und medizinische Praxis sowie „marktgerechte Dienstleistungen und Service“ fokussieren. Die Basis dafür bilden die bereits vorhandenen praktischen Erfahrungen und fachlichen Expertisen sowie der Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems. Im Vordergrund stand in den letzten zwei Jahren der weitere Ausbau von Expertisen für die klinische anwendungsorientierte Forschung als tragende Säule im Bereich der Diabetologie und Wundheilung maßgeblich durch Verbundprojekte z. B. in den Bereichen Plasmamedizin, Wundtherapie, Diagnostik und Prävention. In einer klinischen bizenitrischen Studie unter Federführung des Herz- und Diabeteszentrums NRW wurde die Kaltplasmatherapie am KDK an Diabetes-Patient(inn)en mit oberflächlichen, infizierten, chronischen Wunden genauer untersucht. Der dabei nachgewiesene statistisch signifikante positive Einfluss von kaltem Plasma auf die Wundheilung wurde 2020 publiziert.

In dem von der Technologie-Beratungs-Institut GmbH (TBI) geförderten Verbundprojekt „Sensorsohle“ wurde zusammen mit der OTaktiv GmbH und dem Institut für Diabetes „Gerhardt Katsch“ e.V. Karlsburg (IDK) eine sensorbasierte Schuheinlegesohle, die zu einer hochauflösenden Überwachung der Fußsohlentemperatur fähig ist, entwickelt und erforscht. Die Temperaturüberwachung der Fußsohle soll drohende Entzündungen frühzeitig erkennen. In einer Pilotstudie wurde der Prototyp im KDK an neuropathischen Patient(inn)en mit diabetischem Fußsyndrom auf seine Funktionalität und Handhabung geprüft. Anhand der gewonnenen Temperaturmessdaten unterschiedlichster Vergleichsgruppen konnte ein Algorithmus entwickelt werden, der echte Temperatur-Hotspots als Hinweis auf vorhandene Entzündungen detektieren kann. Eine Etablierung dieser neuen Temperaturmessmethode soll im Rahmen einer klinischen Studie stattfinden, indem erste Kleinserien von verschiedenen großen Einlegesohlen von Temperatursensoren gefertigt und mit Diabetes-Patient(inn)en in der Alltagsanwendung getestet werden sollen.



In Kooperation mit der Diaspective Vision GmbH, der Uni-medizin Greifswald und der Hochschule Wismar wurde in einem vom TBI geförderten Verbundprojekt „BacCAM“ ein spektrometerbasiertes System zur Beurteilung und Dokumentation des Keimbefalles von Wunden während des Wundheilungsverlaufes entwickelt und klinisch erprobt. In



einer bizentrischen Studie des KDK und der Klinik und Poliklinik für Hautkrankheiten der Universitätsmedizin Greifswald (UMG) an Patienten mit infiziertem diabetischen Ulkus bzw. Ulcus cruris wurde das neue Verfahren auf Basis der hyperspektralen Bildgebung im Fluoreszenzmodus mit einer Anregungswellenlänge von 405 nm erfolgreich zum direkten Nachweis von Bakterien in Wunden eingesetzt.

Weitere Verbundprojekte sind 2020 und 2021 gestartet wie zum Beispiel das Verbundprojekt „ActiHeal“ zusammen mit der Human Med AG, der Universitätsmedizin Rostock und der Universität Rostock, das Verbundprojekt „Neue Diagnosemöglichkeiten des Diabetes mellitus Typ 1“ zusammen mit der Euroimmun AG und der Universitätsmedizin Greifswald oder „AmbuPlas“ in Kooperation mit der OT aktiv GmbH und der Universitätsmedizin Rostock.



Basierend auf diesen Themen und Projekten werden die Bedürfnisse der Industrie bei der Entwicklung von innovativen Medizinprodukten und Diagnostiken ermittelt und gleichzeitig die Kompetenzen des KDK weiterentwickelt. Parallel werden basierend auf dem fachlichen Spektrum des Klinikums Karlsburg auch neue Anwendungsgebiete erschlossen. So wurden bereits erste Kontakte zur Herzchirurgie aufgebaut, die in mögliche Projektanträge fließen.

Langfristig werden gefragte Dienstleistungen und präklinische Testungen nach entsprechenden DIN-/ISO-Normen zertifiziert. In den nächsten Jahren wird innerhalb des KDK ein präklinisches Testzentrum für Medizinprodukte in Kooperation mit weiteren lokalen Partnern aufgebaut, das vornehmlich auf den Bedarf von Kunden im Rahmen der Medizinproduktezulassung ausgerichtet ist und einen Service zur schnellen Umsetzung von zulassungsrelevanten Fragestellungen sowie zur Erfüllung der normativen und gesetzlichen Produkthanforderungen bietet. Speziell bei Verbundprojekten können Produkte und Diagnostiken ge-

mäß den geltenden Regularien unter Berücksichtigung der entsprechenden DIN-/ISO-Normen entwickelt und getestet werden. Besonders die Einbeziehung der ISO-Norm 13485 für das Qualitätsmanagement mit Fokus auf die Medizinproduktentwicklung betont die besondere Charakteristik des KDK für Projekte mit kleinen und mittleren Unternehmen und Spin-Offs, aber auch größeren Unternehmen.

Zur Sichtbarmachung der Kompetenzen nach außen wurde eine eigene Homepage aufgebaut, die seit Januar 2022 online ist.

Unter dem Link <https://kompetenzzentrum-karlsburg.de> finden Sie weitere Informationen zum KDK.

### KONTAKT



**Dr. Jana Kuhn**  
Tel.: +49 38355 / 702151  
[jana.kuhn@inp-greifswald.de](mailto:jana.kuhn@inp-greifswald.de)



**Dr. Uwe Netz**  
Tel.: +49 38355 / 702151  
[uwe.netz@inp-greifswald.de](mailto:uwe.netz@inp-greifswald.de)

## Organisation, Infrastruktur, Management und Unterstützung für die Wissenschaft

Moderne Forschungseinrichtungen verlangen nach einem professionellen Wissenschaftsmanagement, einer schlan-ken, effizienten Verwaltung und einer modernen auf die Bedürfnisse einer Forschungseinrichtung zugeschnittenen Infrastruktur. Am INP wird das in den Organisationseinheiten, Verwaltung und Infrastruktur, dem Stab und seit 2020 zusätzlich in spezialisierten Leitungsreferaten, die direkt der Leitung unterstellt sind, professionell gewährleistet.

Diese Organisationseinheiten verstehen sich als Service-Einheiten für die Forschenden und haben somit einen wichtigen Anteil am Erfolg des Institutes.

### Verwaltung und Infrastruktur

Als wesentliche Ergänzung und zur organisatorischen Unterstützung der Fachabteilungen und -gruppen gibt es am INP die Abteilung „Verwaltung/Infrastruktur“. Sie organisiert den reibungslosen Betriebsablauf und umfasst die vier Sachgebiete „Personal“ (inkl. Reisekostenmanagement), „Finanzen“ (mit Beschaffung, Buchhaltung, Anlagen- und Drittmittelverwaltung), das Sachgebiet „Infrastruktur“ (mit Facility Management und mechanischer Werkstatt) und das Sachgebiet „IT“.

Für die Datenverarbeitung unterhält das INP ein Datennetz, baut es beständig aus und pflegt die Anbindung des INP-Netzes an externe Netze. Die Bereitstellung einer modernen, leistungsfähigen und vor allem sicheren IT-Infrastruktur ist für ein Forschungsinstitut wie das INP essenziell. Die weitere Digitalisierung von Verwaltungsabläufen wird in den kommenden Jahren einen noch wichtigeren Stellenwert einnehmen.

Die Komplexität der geltenden Rechtsvorschriften in den Bereichen Vergaberecht, Beschaffung, Finanzbuchhaltung, Steuern, rechnerischer Abschluss der kaufmännischen Geschäftsjahre und Drittmittelverwaltung, die ein modernes Forschungsinstitut umsetzen muss, haben in den letzten Jahren stetig zugenommen. Daher ist eine wichtige Aufgabe der Verwaltung speziell des Sachgebietes „Finanzen“, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern bei der Umsetzung der administrativen Aufgabenstellungen adäquat zu unterstützen und Hilfestellungen zu geben, damit diese sich auf ihre Forschungsaufgaben konzentrieren können.

	2020	2021
Anzahl laufender Projekte	115	137
Drittmittelvolumen	10,2 Mio. €	10,1 Mio. €
Anzahl Vergabeverfahren	80	85
Anzahl Bestellungen	2500	2900
Anzahl Vorgänge Finanzbuchhaltung	4495	4517
Anzahl Buchungen Finanzbuchhaltung	26000	28000

Das Sachgebiet „Infrastruktur“ betreut die Gebäudetechnik, die Anlagen und das Gebäude des Institutes sowie alle Baumaßnahmen für die technische Ausstattung und die reibungslose Einbindung der neuen Arbeitsflächen im Zentrum für Life Science und Plasmatechnologie, welches 2023 in Betrieb gehen soll. Außerdem gehört zum Sachgebiet „Infrastruktur“ die mechanische Werkstatt des Institutes, in der Werkstücke für die wissenschaftlichen Experimente gefertigt werden.

Das Team des Sachgebietes „Personal“ ist für alle administrativen Aufgaben zuständig, die unsere Mitarbeitenden betreffen. Neben der Koordinierung von Stellenausschreibungen, Arbeitsverträgen, Lohnbuchhaltung, Unterstützung beim Onboarding neuer Kolleginnen und Kollegen haben die Kolleginnen auch die Gesundheit der Belegschaft im Blick und organisieren die verpflichtenden und zusätzlichen betrieblichen Vorsorgeuntersuchungen sowie weitere zusätzliche Gesundheitsangebote.

## Wissenschaftsmanagement Stab und Referate der Leitung

Etwa die Hälfte des Gesamtbudgets des INP sind kompetitiv eingeworbene Drittmittel von Bundes- und Landesministerien, der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Europäischen Union und der Industrie. Die Organisationseinheit „Stab“ berät den Vorstand, die Forschungsbereichsleitungen und die Forschungsschwerpunktsteilungen in forschungsstrategischen und forschungspolitischen Angelegenheiten. Sie hat die Aufgabe, die Wissenschaftler/innen des INP bei der Einwerbung von Drittmitteln zu beraten und zu unterstützen. Dabei informiert sie über neue Förderrichtlinien und ist für die Erstellung von Anträgen mitverantwortlich. Sie agiert dabei aus Sicht der Fördermittelgeber und leistet so einen Beitrag zur Erhöhung der Qualität der INP-Projektanträge. Darüber hinaus unterstützt der Stab den Technologie- und Wissenstransfer sowie das Prozessmanagement und verantwortet eigene Projekte. Der Stab unterstützt das Haus außerdem bei der Umsetzung von Großprojekten durch den Einsatz von Projektkoordinatoren/innen.

Seit 2020 sind in zentral, unterstützenden Leitungsreferaten verschiedene übergeordnete Spezialaufgaben angesiedelt. Im Einzelnen sind das das Referat „Kommunikation“ mit den Aufgaben der Öffentlichkeitsarbeit, der internen Kommunikation und des Veranstaltungsmanagements, das Referat „Recht und Patente“ verantwortlich für juristische Fragestellungen und Patentangelegenheiten, das Referat „Forschungskoordination“, das forschungsbereichsübergreifend in den Bereichen Akquise, Networking, Recherchen und der Ansprache potenzieller Projektpartner und Fördergeber sowie für die Koordination der Abläufe innerhalb der Forschungsbereiche tätig ist und das Referat „Sonderaufgaben“ in dem z. B. die Geschäftsführungen von Großprojekten angesiedelt sind.

## Wissens- & Technologietransfer

Das Institutsmotto – VON DER IDEE ZUM PROTOTYP – skizziert nicht nur den satzungsgemäßen Auftrag, anwendungsorientierte Grundlagenforschung zu betreiben, sondern auch die Verwendung der erzielten Forschungsergebnisse. Das INP führt Projekte der öffentlichen Forschungsförderung durch, um Wissen für gesellschaftlich relevante Themen zu mehrern. Die Ergebnisse dieser Projekte veröffentlicht das Institut kontinuierlich in referierten Fachzeitschriften, auf nationalen und internationalen Konferenzen und bei Veranstaltungen für die breite Öffentlichkeit.

Für anwendungsrelevante Themenstellungen, die wirtschaftlich von Interesse sind, stellt das INP sein Wissen im Sinne eines Dienstleisters als Kundenlösung zur Verfügung. Diese zumeist bilateralen Industrieprojekte helfen unseren Wirtschaftspartner(inne)n, direkt von den neuesten Erkenntnissen der Forschungsarbeiten am INP zu profitieren.

Zum eigenen Technologietransfer hat das INP als erstes Leibniz-Institut überhaupt eine eigene Firma, die neoplas GmbH ([www.neoplas.eu](http://www.neoplas.eu)), ausgegründet. Nach dem Motto „Vom Prototyp zum Produkt“ werden in der Gründungsphase beispielsweise spätere Pilotkunden in die Entwicklungsarbeit mit einbezogen. Haben sich bestimmte Verwertungsaktivitäten als ökonomisch tragbar erwiesen, können diese in weitere Ausgründungen münden. Wissen, das wirtschaftlich verwertbar ist und zunächst nicht als Kundenlösung angeboten werden soll, kann so in einer neuen Ausgründung bis zur Marktreife entwickelt werden: „Vom Prototyp zum Markt“. In den vergangenen Jahren folgten nach diesem Prinzip vier weitere Ausgründungen, die Nebula Biocides GmbH 2019 als jüngste.





# APPLIKATIONS- LABORE



## Applikationslabore am INP

Das INP verfügt über vielfältige Diagnostik-Methoden zur Analyse von Plasmaprozessen und Plasmaquellen mit einem speziellen Fokus für Anwendungen und für Anwender. Hier erhalten Sie einen Überblick über unsere Applikationslabore:



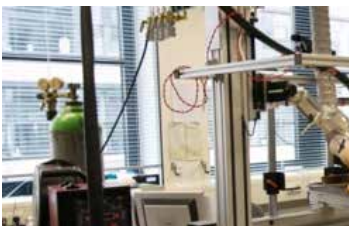
### Labor für Oberflächendiagnostik

Das Labor verfügt über modernste technische Ausstattung für die Analyse der Eigenschaften von Materialien und der Wechselwirkung dieser Materialien mit ihrer Umgebung. Außerdem werden hier neuartige Materialoberflächen mittels Plasmatechnologie hergestellt, die spezielle Funktionen aufweisen.



### Lichtbogenlabor

Mit spezifischen Versuchsanordnungen und der einzigartigen Ankopplung spezifischer Diagnostiken können Aussagen zur Zuverlässigkeit und Lebensdauer von Schaltgeräten in der Nieder-, Mittel- oder Hochspannungstechnik getroffen werden.



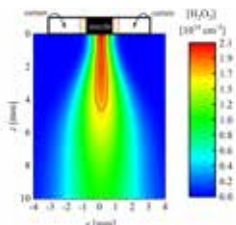
### Schweißlichtbogenlabor

Im Labor werden praxisnah Schweißprozesse nachgebildet, um mit modernster Messgeräteausstattung Untersuchungen zur Prozesssicherheit, Stabilität und Effizienz beim Lichtbogenschweißen durchzuführen.



### Hochstrom-/ Hochspannungslabor

Im Fokus steht die Entwicklung von Methoden und Verfahren, die die Lebensdauer und Zuverlässigkeit von elektrotechnischen Betriebsmitteln erhöht unter besonderer Berücksichtigung der Umweltverträglichkeit und Energieeffizienz.



### Plasmadiagnostisches Labor

Der Schwerpunkt dieses Labors liegt auf unterschiedlichen Diagnostiken speziell für die Charakterisierung von Atmosphärendruckplasmen. Beispielsweise werden hier wichtige Kenngrößen wie die Elektronendichte oder atomare und molekulare Teilchendichten in unterschiedlichen Quellen quantifiziert.



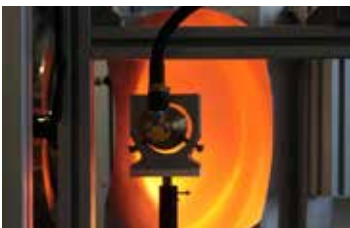
### Mikrobiologisches Labor

Das mikrobiologische Labor ist ein Labor der Sicherheitsstufe 2 nach § 44 Infektionsschutzgesetz (IfSG), das Tätigkeiten mit Krankheitserregern gemäß § 49 IfSG und § 13 Biostoffverordnung erlaubt. Darüber hinaus ist das Labor über Kooperationen mit akkreditierten und zertifizierten Prüflaboren im Bereich der Hygiene sehr gut vernetzt und kann so auf vielfältige Expertisen zurückgreifen.



### Labor für Plasmadekontamination

In diesem Labor werden Plasmaquellen und Plasmaverfahren zur Desinfektion und Sterilisation von biorelevanten Materialien und Medizinprodukten entwickelt. Besonders die Hygienisierung von Lebensmittelprodukten stehen hier im Fokus. Neben verschiedenen plasmadiagnostischen Methoden (OES, LIF, MW-Interferometrie) stehen zur Untersuchung und Optimierung der Anlagen hausinterne mikrobiologische Labore zur Verfügung.



### Labor für Hochfrequenztechnik

Das Labor konzentriert sich auf die Bereitstellung, Optimierung und Entwicklung von Methoden und Systemen der Hochfrequenztechnik. Ihr Einsatz erstreckt sich vom Kleinsignalbereich für diagnostische Anwendungen bis hin zum Großsignalbereich zum Treiben von Mikrowellenplasmaquellen.

### Neue Applikationslabore am INP

#### Labor für Materialcharakterisierung

Das Labor für Materialcharakterisierung bietet eine umfassende Auswahl an analytischen Techniken zur Präparation und Untersuchung von Materialien. Dazu können unter anderem die kristallographischen Eigenschaften, wie Phasenzusammensetzung, Kristallitgröße, Zellgeometrie und Besetzung von Gitterplätzen, untersucht werden. Weiterhin können durch elektrochemische Methoden die Leitfähigkeit der Materialien in Bezug auf ihre Körnung und Korngrößen und die zugrundeliegenden Transportprozesse aufgelöst werden. Eine Erweiterung im Portfolio stellen Aufbauten zur Ermittlung der Gaspermeation (Wasserstoff, Sauerstoff) in Materialien dar.

#### Plasma-in-Flüssigkeiten(PiL) Materialienlabor

Das „PiL Materialienlabor“ ist ein Anwendungslabor mit einer Reihe von Batch- und Durchflussreaktoren sowie einem Portfolio von gepulsten Hochspannungsgeneratoren für die schnelle Synthese von Nanopartikelsuspensionen aus flüssigen oder festen Prekursoren bei Atmosphärendruck. Eine einzigartige Kombination von Expertisen in Chemie, Physik und Ingenieurwesen ermöglicht die präzise Anpassung modularer Syntheserouten für Hybride und komplexe Nanomaterialien, wie Elektroden- und Membranmaterialien und Katalysatoren.



## Syntheselabor für grüne Ammoniak-Materialien

Das Institut hat seine langjährige Expertise hinsichtlich Dünnschicht- und Nanomaterialsynthese mittels plasmabasierter Vakuumprozesse zur Materialsynthese in diesem neuen Applikationslabor konzentriert. Genutzt werden u. a. Reaktoren für simultanes Multitarget-Sputtering in Unbalanced Closed-Field Konfigurationen oder Materialbehandlung mittels Selective Laser Annealing. In Kombination mit hauseigener ingenieurtechnischer Kompetenz werden hier Wege zu neuartigem Material- und Schichtdesign für nachhaltige Ammoniaktechnologien und Energieanwendungen, Korrosionsschutz sowie Barrierebeschichtungen geebnet.

## Applikationslabor für Life Science

Das Labor stellt eine umfassende Ausstattung für moderne analytische und molekulare Technologien bereit. Die umfangreiche instrumentelle Ausstattung ermöglicht eine gründliche und vielschichtige Bearbeitung von aktuellen Forschungsfragen im Life-Science-Bereich. Der Einfluss des Plasmas auf biologische Systeme kann auf allen Ebenen untersucht werden, beginnend von Organismen, Geweben (Organen), Zellen bis hin zu subzellulären Molekülen.

Link: <https://www.inp-greifswald.de/de/kompetenzen/applikationslabore/>

**Wir sehen uns als die führende Einrichtung Deutschlands auf dem Gebiet der Plasmaforschung und Technologie in der umfassenden Kombination von Grundlagen und Anwendungen.**

Als Teil der Leibniz-Gemeinschaft ist das INP eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung, die sich mit anwendungsorientierter Grundlagenforschung zur Niedertemperatur-Plasmaphysik beschäftigt.

## GUTE WISSENSCHAFTLICHE PRAXIS

**Wir erbringen Spitzenleistungen in Wissenschaft und Technologie durch gute wissenschaftliche Praxis.**

Unsere Forschungsarbeit erfolgt im Einklang mit den Leitlinien zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis der Leibniz-Gemeinschaft und der DFG. Dies umfasst u. a. die konsequente Orientierung am internationalen Stand der Forschung und Technik und die kontinuierliche Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Methoden, eine gründliche Arbeitsweise einschließlich des stets kritischen Hinterfragens der eigenen Ergebnisse, die Achtung der wissenschaftlichen Arbeiten des Einzelnen und die Förderung der breiten Zusammenarbeit.

## STRATEGIE

**Die Verwirklichung langfristiger Ziele und nachhaltiger Ergebnisse ist Strategie des Institutes.**

Das Institut sichert ein kreatives Umfeld mit dem Anspruch, seinen Mitarbeitenden bestmögliche Arbeitsbedingungen zu bieten und neue Perspektiven zu eröffnen. Zukunftsorientierte Themen von gesamtgesellschaftlicher, internationaler Relevanz und mit hohem wissenschaftlichen Anspruch stehen im Mittelpunkt unserer Arbeit. Auf Grundlage einer fundierten Gesamtstrategie ist es so möglich, Trends in Politik, Wirtschaft und Forschung mitzugestalten.

## CHANCENGLEICHHEIT

**Wir bieten gerechte und ausgewogene Lebens- und Zugangschancen für alle.**

Das INP setzt sich aktiv für die Gleichstellung sowohl von Frauen und Männern als auch von Personen mit Behinderung ein und schafft familienfreundliche Arbeitsbedingungen. Die Themen Chancengleichheit, Diskriminierungsfreiheit, Familienfreundlichkeit und Vereinbarkeit von Familie und Beruf sind fester Bestandteil der Institutskultur auf allen Organisationsebenen. Wir verstehen es als unser aller Verantwortung, diese zu leben und zu sichern.

## KOMMUNIKATION UND TEAMGEIST

**Wir sind miteinander offen, fair und respektvoll.**

Wir begegnen uns und unseren Partnerinnen und Partnern mit Wertschätzung und achten die kulturelle Vielfalt. Interdisziplinarität und institutsinterne Zusammenarbeit sind die Grundlage unseres Erfolgs. Wir setzen auf eigenverantwortliches Handeln und Mitentscheiden aller Mitarbeitenden in den basierend auf der Matrixstruktur definierten Aufgabenbereichen.

## NACHWUCHSFÖRDERUNG

**Wir fördern den Nachwuchs auf allen Institutsebenen und darüber hinaus.**

Im Wettbewerb um die „Besten Köpfe“ ist uns die Nachwuchsförderung in allen Tätigkeitsfeldern ein besonderes Anliegen. Mit unserer anwendungsorientierten Grundlagenforschung begeistern wir den Nachwuchs für gesamtgesellschaftlich relevante Themen. Wir ermöglichen konkrete Erfahrungen in der Forschung und in der Zusammenarbeit mit Industriepartnern. Nachwuchsförderung schließt für uns alle Qualifizierungsphasen ein – von der Schule über Studium und Lehre bis zum Beruf.

## INTERNATIONALISIERUNG

**Wir agieren national und international erfolgreich.**

Von Greifswald aus kooperieren wir mit weltweit anerkannten Forschungseinrichtungen. Wir unterstützen unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei der Wahrnehmung internationaler Austauschmöglichkeiten und fördern den Forschungsaufenthalt internationaler Kolleginnen und Kollegen an unserem Institut. Die aktive Mitgestaltung des europäischen Forschungsraums ist einer unserer Schwerpunkte.

## TRANSFER VON FORSCHUNGSLEISTUNGEN

**Die Ergebnisse unserer Forschung sind gesellschaftlich und wirtschaftlich wertbar.**

Unsere Forschung wird in konkreten Anwendungen realisiert. Dies umfasst die Publikation wissenschaftlicher Ergebnisse und deren Überführung in Produkte und Dienstleistungen.

## Gleichstellung und Vereinbarkeit von Familie und Beruf

Anspruchsvolle und qualitativ hochwertige Ergebnisse können an einem Forschungsinstitut nur mit hochmotivierten Mitarbeitenden erbracht werden. Sie müssen in ihrer beruflichen und persönlichen Entwicklung durch ihre Führungskräfte bestmöglich gefördert und bei der Vereinbarkeit von Berufs- und Privatleben durch das Institut maßgeblich unterstützt werden. Das INP setzt sich daher aktiv für die Gleichstellung von Frauen und Männern ein. Dies ist fester Bestandteil der Philosophie des INP und ist in der Satzung und in den Leitlinien des Institutes verankert. Dieses Thema erfährt durch die Institutsleitung und die Führungskräfte sehr hohe Aufmerksamkeit und umfassende Unterstützung sowohl bei der strategischen Planung zur Gleichstellung als auch bei der Durchführung einzelner Aktivitäten. So konnte in den vergangenen zwei Jahren der Frauenanteil weiter bei etwa 40% gehalten werden.

Weil gutes Engagement für die Gleichstellung von Frauen und Männern mehr als Quoten und Gesetze ist, schaffen das INP konkrete familienfreundliche Arbeitsbedingungen. Die Angebote an unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erstrecken sich von individuellen Arbeitszeit- und Arbeitsortvereinbarungen inklusive einer aktuell in Kraft getretenen Vereinbarung zum „Mobilen Arbeiten“ bis hin zum Eltern-Kind-Zimmer, dass bei Betreuungsengpässen genutzt werden kann.



Das INP steht für Chancengleichheit ebenso wie für Diskriminierungsfreiheit auf allen institutsspezifischen Ebenen mit Beschäftigten aus unterschiedlichen Nationen und mit vielfältigen Lebensläufen ein. Es unterstützt seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter durch individuell angepasste Personalentwicklungsmaßnahmen, die gemeinsam in regelmäßigen Gesprächen besprochen und zusammengestellt werden. In 2021 hat die Gleichstellung bei der erfolgreichen Bewerbung für den „HR Excellence in Research“ Award der Europäischen Kommission Unterstützung gefunden. Die Auszeichnung ist ein Zeichen dafür, dass es dem INP wichtig ist, ein ideales Arbeitsumfeld für exzellente Forschung zu schaffen.

Für seine Gleichstellungsarbeit wurde das INP bereits dreimal mit dem TOTAL E-QUALITY Prädikat ausgezeichnet. In 2020 hat sich das INP um eine weitere Verlängerung beworben und konnten die Jury erneut mit seiner Gleichstellungsarbeit überzeugen. Der Verein TOTAL E-QUALITY Deutschland e.V. vergibt Prädikate und bestätigt damit Unternehmen und Organisationen für ihr erfolgreiches und nachhaltiges Engagement für die Chancengleichheit von Frauen und Männern im Beruf. Das Prädikat wurde mit Hilfe des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und der Europäischen Union entwickelt und wird für beispielhaftes Handeln im Sinne einer an Chancengleichheit ausgerichteten Personalführung vergeben.

Die Arbeit der Gleichstellungsbeauftragten ist ein wichtiger Motor für die weitere Stärkung der Gleichstellung am INP. Im Frühjahr 2022 sind die Neuwahlen für die Position der Gleichstellungsbeauftragten und ihrer Stellvertretung geplant. Die Gleichstellungsbeauftragte verfügt über ein eigenes Budget, mit dem sie Schwerpunkte in ihrer Arbeit setzen kann. In enger Zusammenarbeit mit der Institutsleitung und dem Betriebsrat organisiert sie Workshops und berät Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter u. a. bei Fragen zur Vereinbarkeit von Familie und Beruf.



Prädikat für erfolgreich umgesetzte Chancengleichheit von Frauen und Männern, verliehen durch den Verein TOTAL E-QUALITY Deutschland e.V.

## LEIBNIZ-INSTITUT FÜR PLASMAFORSCHUNG UND TECHNOLOGIE E.V.



Rostock	Greifswald	Karlsburg
Mitgliederversammlung Vorsitzender: Dr. Blank	Wissenschaftlicher Beirat Vorsitzender: Dr. Kaltenborn	Kuratorium Vorsitzender: Dr. Schulte
Vorstand Vorstandsvorsitzender und Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Weltmann & Kaufmännischer Direktor: Herr Berger Wissenschaftliche Vorstandsmitglieder: Prof. Uhrlandt & Prof. von Woedtke		

### Forschungsbereiche und Forschungsschwerpunkte

Materialien & Energie Prof. Uhrlandt			Umwelt & Gesundheit Prof. Weltmann		
Materialien/Oberflächen Dr. Foest	Plasmachemische Prozesse Prof. Brandenburg	Schweißen/Schalten Dr. Gonzalez	Bioaktive Oberflächen Dr. Fricke	Plasmamedizin Prof. v. Woedtke	Dekontamination Prof. Kolb

### Wissenschaftliche Abteilungen

Plasma-biotechnik Dr. Ehlbeck	Plasma-diagnostik Dr. van Helden	Plasma Life Science Dr. Hasse	Plasma-modellierung PD Dr. Loffhagen	Plasma-oberflächentechnik Dr. Foest a.J.	Plasma-prozesstechnik Dr. Brüser	Plasma-quellen Dr. Barsemer	Plasma-strahlungstechnik Dr. Gertschakow
----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	---	---	-------------------------------------	--------------------------------	---

### Nachwuchsforscherguppen

Biosensorische Oberfl. Dr. Fricke	Plasma-Flüssigkeits-Effekte Dr. Wendt	Plasma-Redox-Effekte Dr. Bekeschus
--------------------------------------	--	---------------------------------------

### Forscherguppen

Plasmaquellen-Konzepte Dr. Gerling	Plasmawundheilung Dr. Masur	Plasma-Agrarkultur Dr. Brust	Materialien f. Energietechn. Dr. Kruth
---------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---

### Administrative und unterstützende Abteilungen

Stab Dr. Sawade	Leitungsreferate Vorstand	Verwaltung & Infrastruktur Herr Berger
--------------------	------------------------------	---

## Kuratorium

Das Kuratorium ist das Aufsichtsgremium des INP, in das auch die Mitglieder Land und Bund ihre Vertreter entsenden.

Es entscheidet über alle wesentlichen wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und organisatorischen Fragen des INP.

## Mitglieder (2021)

**Dr. Björn Schulte**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung

**Woldemar Venohr**  
Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur  
Mecklenburg-Vorpommern

**Prof. Dr. Wolfgang Schareck**  
Universität Rostock

**Prof. Dr. med. Wolfgang Motz**  
Klinikum Karlsburg

**Dr. Christiane Gebhardt**  
BLUE CITY Development  
Drees & Sommer

**Prof. Dr. Albert Sickmann**  
Leibniz-Institut für Analytische Wissenschaften  
– ISAS – e.V.



## Wissenschaftlicher Beirat

Der Wissenschaftliche Beirat ist das Beratungsgremium des INP. Die Mitglieder sind auf dem Forschungsgebiet des Instituts tätig, international angesehene Wissenschaftler aus der universitären und außeruniversitären Forschung sowie aus der Industrie. Der Wissenschaftliche Beirat berät das Kuratorium und den Vorstand in allen bedeutsamen wissenschaftlichen und organisatorischen Fragen, insbesondere bei der langfristigen Forschungsplanung.

### Mitglieder (Status 2021)

---

**Dr. Uwe Kaltenborn (Vorsitzender)**  
HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH  
Dresden

**Ernst Miklos**  
The Linde Group, Unterschleißheim

**Prof. Dr. Dr.-Ing. Jürgen Lademann**  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

**Dr. Jean-Michele Pouvesle**  
GREMI - Université d'Orleans, Frankreich

**Prof. Dr. med. Wolfgang Motz**  
Klinikum Karlsruhe

**Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Thumm**  
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

**Prof. Dr. Satoshi Hamaguchi**  
Osaka University - Center for Atomic  
and Molecular Technologies (CAMT)

**Prof. Dr. Annemie Bogaerts**  
University of Antwerp

**Prof. Dr. rer. nat. habil. Ursula van Rienen**  
Fakultät für Informatik und Elektrotechnik,  
Universität Rostock

**Prof. Dr. Alexander Fridman**  
Drexel University

**Dr. Anne Bourdon**  
Ecole Polytechnique - Laboratoire de Physique des Plasmas  
(LPP) Palaiseau

## Mitgliederversammlung

Die Mitgliederversammlung ist das höchste Beschlussgremium des INP. Sie wählt das Kuratorium, beschließt Satzungsänderungen, nimmt den Bericht des Vorstands zur allgemeinen Lage des INP entgegen und entlastet den Vorstand.

### Mitglieder (Status 2021)

---

**Dr. Wolfgang Blank (Chair)**  
WITENO GmbH

**Dr. Bjoern Schulte**  
Bundesministerium für Bildung und Forschung

**Woldemar Venohr**  
Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur  
Mecklenburg-Vorpommern

**Prof. Dr. Dagmar Braun**  
Braun Beteiligungs GmbH, Greifswald

**Prof. Dr. André Melzer**  
Universität Greifswald

**Dr. Stefan Fassbinder**  
Oberbürgermeister Universitäts- und Hansestadt Greifswald

**Mario Kokowsky**  
DEN GmbH

**Prof. Dr. Jürgen Meichsner**  
Universität Greifswald

**Dr. Arthur König**  
Ehemaliger Oberbürgermeister Universitäts- und Hansestadt  
Greifswald

## Zahlen und Fakten

### Haushalt:

Der Gesamthaushalt umfasste im Berichtsjahr 2020 ein Volumen von 20,1 Mio. € und 20,3 Mio. € im Berichtsjahr 2021. Der Personalaufwand betrug 11,4 Mio. € (2020) und 12,4 Mio. € (2021), der Sachaufwand 5,5 Mio. € (2020) und 4,4 Mio. € (2021). Insgesamt wurden in 2020 2,8 Mio. € und in 2021 3,6 Mio. € in die Ausstattung des INP investiert.

### Personal:

Am INP sind mit Stand vom Juni 2021 insgesamt 214 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig, davon 137 im wissenschaftlichen und technischen Bereich und 77 im wissenschaftsunterstützenden Bereich. Der Frauenanteil beträgt 39,6 Prozent.



### Mitarbeitende (2021)

214 Beschäftigte (Juni 2021)



### Umsatz in € (2020)



### Wissenschaftliche Artikel (2021)



## Mitgliedschaften des INP

- RWI - Regionale Wirtschaftsinitiative Ost Mecklenburg-Vorpommern e.V.
- Deutscher Bibliotheksverband e.V.
- idw - Informationsdienst Wissenschaft
- German Water Partnership e. V.
- HYPOS Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany e.V.
- Nationales Zentrum für Plasmamedizin e.V.
- Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V.
- enviMV e.V. - Umwelttechnologienetzwerk aus Mecklenburg-Vorpommern
- Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.
- Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.
- Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS
- DECHEMA - Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
- IUTA - Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V.
- Carbon Concrete Composite e.V.
- BdP - Bundesverband deutscher Pressesprecher e.V.
- INPLAS - Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik e.V.
- BVMW - Bundesverband mittelständische Wirtschaft, Unternehmerverband Deutschlands e.V.
- WTI - Wasserstofftechnologie-Initiative e.V.
- Hydrogen Europe Research association (former N.ERGHY)
- Greifswald University Club e.V.
- GFal - Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V.
- Initiative Chronische Wunden e.V.
- Forum MedTech Pharma e.V.
- Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V.

- AJ Drexel Plasma Institute
- Albutec GmbH, Rostock
- Alpes Lasers SA
- Brno University of Technology, Czech Republic
- C3 e.V.
- CentraleSupélec, University Paris-Saclay
- Centre for Mathematical Plasma-Astrophysics
- Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique
- Centrum Wiskunde & Informatica
- Charité Berlin
- Chongqing University, China
- Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- CINOGY GmbH, Duderstedt
- College of Electrical and Information Engineering, Hunan University
- Comenius University in Bratislava, Slovakia
- Costa Rica institute of Technology
- Cosun Beet Company
- CSIRO Manufacturing
- Cytocentrics Bioscience GmbH
- Deutsche Zentralbibliothek für Wirtschaftswissenschaften (ZBW)
- DLR - German Aerospace Center
- DLR-Institute of Networked Energy Systems
- Dockweiler AG
- DST Diagnostische Systeme & Technologien GmbH
- Dutch Institute for Fundamental Energy Research (DIFFER)
- EFDS - European Society of Thin Films
- Eindhoven University of Technology TU/e
- Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Plasma & Coating Group
- Hochschule Stralsund
- Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH), Berlin
- Forschungsverbund Mecklenburg-Vorpommern e.V.
- Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering IOF
- Fraunhofer Institute for Electronic Nano Systems
- Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM
- Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS
- Fraunhofer Institute for Organic Electronics, Electron Beam and Plasma Technology FEP
- Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST, Braunschweig
- Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST, DOC Dortmunder OberflächenCentrum GmbH
- Fraunhofer Institute for Technology and Advanced Materials IFAM
- Fraunhofer-Research Institution for Large Structures in Production Engineering IGP
- Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Fudan University, China
- Greifswald
- Groupe des Couches Minces (GCM) and Department of Engineering Physics, Polytechnique Montreal
- Helmholtz-Zentrum Rossendorf, Dresden
- Hochschule Neubrandenburg
- Holon Institute of Technology, Israel
- IHK Neubrandenburg



- INM – Leibniz Institute for New Materials
- Innovent e.V.
- INPLAS - Network of Competence Industrial Plasma Surface Technology
- Institut für Energietechnik, Energieverfahrenstechnik und Umwandlungstechniken regenerativer Energien (EVUR)
- Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb, TU Berlin
- Institute for Solid State Physics and Optics, Wigner Research Centre for Physics, Budapest, Hungary
- Institute of High Current Electronics
- Institute of Plasma Physics of the Czech Academy of Science, Czech Republic
- Instituto de Astrofisica de Andalucia (IAA-CSIC)
- Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear
- Instituto Superior Técnico
- International Sakharov Environmental University, Belarus, Russia
- Justus-Liebig Universität
- Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe
- Kaunas University of Technology, Lithuania
- Klinikum Karlsburg
- KTH Royal Institute of Technology Stockholm
- Kwangwoon University; Seoul, South-Korea
- Laboratory on plasma and conversion of energy, Toulouse, France
- Leibniz Institute for Baltic Sea Research (IOW)
- Leibniz Institute for Catalysis (LIKAT)
- Leibniz Institute for Crystal Growth
- Leibniz Institute for Farm Animal Biology (FBN), Dummerstorf
- Leibniz Institute of Photonic Technology (IPHT), Jena
- Maritime University of Szczecin, Poland
- Masaryk University, Brno, Czech Republic
- Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH
- Menlo Systems GmbH
- Ministerium für Wirtschaft, Bau und Tourismus MV
- Nagoya University, Japan
- National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucharest, Romania
- neoplas GmbH
- Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland
- North Carolina State University
- Old Dominion University Norfolk, Virginia
- Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik (PDI)
- PBRC, Kwangwoon University, Seoul, Korea
- Peking University, China
- Plasma Advanced Research Center, University Iasi, Romania
- PlasmaMedic LTD, Israel
- Preparatory Institute of Engineering Studies of Monastir
- PTB Braunschweig
- Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
- Research Center Borstel - Leibniz Lung Center
- Riga Technical University, Latvia
- Rübig GmbH & Co KG
- Rübig GmbH & Co KG Wels
- Ruhr-Universität Bochum
- RWTH Aachen University

- São Paulo State University (UNESP)
- Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Rostock (SLV)
- Sirona Dental Systems GmbH Bensheim
- St. Petersburg State University, Russia
- St.Petersburg Polytechnic University
- Stadtwerke Netzgesellschaft mbH, Rostock
- Strahlenklinik des Universitätsklinikums Erlangen
- Szewalski Institute of Fluid Flow Machinery, Gdansk, Poland
- Technical University Denmark
- Technical University of Denmark, Roskilde, Denmark
- Technical University of Eindhoven, Netherlands
- Technische Universität Bergakademie Freiberg
- Technische Universität Berlin
- Technische Universität Braunschweig
- Technische Universität Dresden
- Technische Universität Ilmenau
- Technological University Dublin, College of Sciences and Health, School of Food Science and Environmental Health
- TH Brandenburg
- The hydrogen and fuel cell center ZBT GmbH
- Tomsk Polytechnic University
- Tsinghua University
- Universidade de Lisboa
- Universidade Estadual de Londrina
- Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, Sao Paulo, Brazil
- Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari, Italy
- Universität Rostock, Universitätsmedizin
- Universität zu Lübeck
- Universitätsklinikum des Saarlandes
- Universitätsmedizin Essen
- Universite de Pau, France
- Université d'Orléans, France
- Université PARIS-SUD, Orsay
- University Bari
- University of Antwerp
- University of Applied Sciences and Arts, Göttingen
- University of Belgrade, Serbia
- University of Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina
- University of Cambridge, UK
- University of Greifswald
- University of Greifswald, University Medicine
- University of Madeira
- University of Minnesota, Minneapolis, USA
- University of Monastir, National School of Engineering of Monastir
- University of Oxford, UK
- University Sorbonne Paris Nord
- University of Pavia
- University of Purdue, West Lafayette, Indiana
- University of Rostock
- University of Sheffield
- University of Tartu, Estonia
- University of York
- Uppsala University, Sweden

- West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland
- Xi'an Jiaotong University
- XION GmbH
- ZAL Center of Applied Aeronautical Research
- Zentrum für Ernährung und Lebensmitteltechnologie gGmbH
- Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
- Taras Shevchenko National University of Kyiv
- University of Applied Sciences, Technology, Business and Design
- Medical School of Panepistimio Thessalias
- VTT Technical Research Centre of Finland
- National Technical University of Athens
- 'Grigore T. Popa' University of Medicine and Pharmacy Iasi
- Neoplas med
- Orthopädie-Technik-Service aktiv GmbH
- Leibniz-Institut für Experimentelle Virologie
- Politecnico di Milano
- University of the Basque Country
- Wageningen University
- University of Malta
- DIL
- Sense Test
- Elea Technology GmbH
- University of Reading
- Institut national de la recherche agronomique (INRA)
- National Institute of Standards & Technology (NIST)
- University of Maryland (UMD)
- Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e.V. (IAP)
- Chemnitz University of Technology
- Justus-Liebig Universität Gießen
- Human Med AG
- Euroimmun Medizinische Labordiagnostika AG
- Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen  
Universitätsklinik der Ruhr-Universität Bochum
- Leibniz Institut für Astronomie (AIP)
- Central European Institute of Technology (CEITEC)
- Leibniz Institut für Informationsinfrastruktur (FIZ)
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW)
- Leibniz-Institut für Neue Materialien gGmbH (INM)
- Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien (IWT)
- Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e.V. Rosenhof



## MONOGRAPHIEN 2020

Bauer, G.; Bekeschus, S.: **Biochemistry of Plasma in Cancer Therapy**. In: Keidar, M.: (eds.), *Plasma Cancer Therapy*. Cham, Springer (2020) pp. 91-142, ISBN: 978-3-030-49965-5

Bekeschus, S.; Bauer, G.; Miller, V.: **Immunology in Plasma Cancer Treatment**. In: Keidar, M.: (eds.), *Plasma Cancer Therapy*. Cham, Springer (2020) pp. 209-222, ISBN: 978-3-030-49965-5

Bekeschus, S.: **Gas Plasma - Innovative Cancer Therapy and Cellular Differentiation in Immuno-Oncology**. In: Berndt, C.; Lillig, C. H.: (eds.), *Redox Regulation of Differentiation and De-Differentiation*, DOI:10.1201/9781003204091 Boca Raton, CRC Press (2021), ISBN: 9781003204091.

Brandenburg, R.: **Reaktoren für spezielle technisch-chemische Prozesse: Plasmachemische Reaktoren**. In: Reschtilowski, W.: (eds.), *Handbuch Chemische Reaktoren*. Berlin, Heidelberg, Springer (2020) pp. 1085-1111, ISBN: 978-3-662-56433-2, DOI: 10.1007/978-3-662-56434-9 39

Herausgeberschaft

Kaushik, N. K.; Bekeschus, S.; Tanaka, H.; Lin, A.; Choi, E. H.: (eds.), **Plasma Medicine Technologies**, DOI:10.3390/app1104584, *Applied Sciences* 11 (2021) 4584 (2021)

Metelmann, H.-R.; v. Woedtke, T.; Masur, K.; Hyckel, P.; Bekeschus, S.; Podmelle, F.; Seebauer, C.: **Immunotherapy and Immunosurveillance of Oral Cancers: Perspectives of Plasma Medicine and Mistletoe**. In: Rezaei, N.: (eds.), *Cancer Immunology*. Cham, Springer (2020) pp. 355-362, ISBN: 978-3-030-57948-7, DOI: 10.1007/978-3-030-57949-4 14

Miron, C.; Sava, I.; Sacarescu, L.; Ishizaki, T.; Kolb, J. F.; Lungu, C. P.: **Structural Modifications of Polymers by Pulsed Electrical Discharges in Liquids**. In: Miron, C.; Mele, P.; Kaneko, S.; Endo, T.: (eds.), *Carbon-Related Materials*. Cham, Springer (2020) pp. 103-133, ISBN: 978-3-030-44229-3, DOI: 10.1007/978-3-030-44230-9 6

Ojha, S.; Fröhling, A.; Durek, J.; Ehlbeck, J.; Tiwari, B. K.; Schlüter, O. K.; Bußler, S.: **Principles and Application of Cold Plasma in Food Processing**. In: Knoerzer, K.; Muthukumarappan, K.: (eds.), *Innovative Food Processing Technologies*. Oxford, Elsevier (2021) pp. 519-540, ISBN: 978-0-12-815782-4, DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.23033-3

Tanaka, H.; Laroussi, M.; Bekeschus, S.; Yan, D.; Hori, M.; Keidar, M.: **Plasma-Activated Solution in Cancer Treatment**. In: Keidar, M.: (eds.), *Plasma Cancer Therapy*. Cham, Springer (2020) pp. 143-168, ISBN: 978-3-030-49965-5



Herausgeberschaft

Weltmann, K.-D.; Ito, M.; Reuter, S.; Wertheimer, M. R.: (eds.), **Special Issue: Plasma and agriculture II**, DOI:10.1002/ppap.202170005. Plasma Processes and Polymers 18 (2021) pp. 2170005.

## MONOGRAPHIEN 2021

Bauer, G.; Bekeschus, S.: **Biochemistry of Plasma in Cancer Therapy**. In: Keidar, M.: (eds.), Plasma Cancer Therapy. Cham, Springer (2020) pp. 91-142, ISBN: 978-3-030-49965-5

Bekeschus, S.; Bauer, G.; Miller, V.: **Immunology in Plasma Cancer Treatment**. In: Keidar, M.: (eds.), Plasma Cancer Therapy. Cham, Springer (2020) pp. 209-222, ISBN: 978-3-030-49965-5

Bekeschus, S.: **Gas Plasma - Innovative Cancer Therapy and Cellular Differentiation in Immuno-Oncology**. In: Berndt, C.; Lillig, C. H.: (eds.), Redox Regulation of Differentiation and De-Differentiation, DOI:10.1201/9781003204091. Boca Raton, CRC Press (2021), ISBN: 9781003204091

Brandenburg, R.: **Reaktoren für spezielle technisch-chemische Prozesse: Plasmachemische Reaktoren**. In: Reschetalowski, W.: (eds.), Handbuch Chemische Reaktoren. Berlin, Heidelberg, Springer (2020) pp. 1085-1111, ISBN: 978-3-662-56433-2, DOI: 10.1007/978-3-662-56434-9 39

Herausgeberschaft

Kaushik, N. K.; Bekeschus, S.; Tanaka, H.; Lin, A.; Choi, E. H.: (eds.), **Plasma Medicine Technologies**. DOI:10.3390/app1104584, Applied Sciences 11 (2021) 4584 (2021)

Metelmann, H.-R.; v. Woedtke, T.; Masur, K.; Hyckel, P.; Bekeschus, S.; Podmelle, F.; Seebauer, C.: **Immunotherapy and Immunosurveillance of Oral Cancers: Perspectives of Plasma Medicine and Mistletoe**. In: Rezaei, N.: (eds.), Cancer Immunology. Cham, Springer (2020) pp. 355-362, ISBN: 978-3-030-57948-7, DOI: 10.1007/978-3-030-57949-4 14

Miron, C.; Sava, I.; Sacarescu, L.; Ishizaki, T.; Kolb, J. F.; Lungu, C. P.: **Structural Modifications of Polymers by Pulsed Electrical Discharges in Liquids**. In: Miron, C.; Mele, P.; Kaneko, S.; Endo, T.: (eds.), Carbon-Related Materials. Cham, Springer (2020) pp. 103-133, ISBN: 978-3-030-44229-3, DOI: 10.1007/978-3-030-44230-9 6

Ojha, S.; Fröhling, A.; Durek, J.; Ehlbeck, J.; Tiwari, B. K.; Schlüter, O. K.; Bußler, S.: **Principles and Application of Cold Plasma in Food Processing**. In: Knoerzer, K.; Muthukumarappan, K.: (eds.), Innovative Food Processing Technologies. Oxford, Elsevier (2021) pp. 519-540, ISBN: 978-0-12-815782-4, DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.23033-3

Tanaka, H.; Laroussi, M.; Bekeschus, S.; Yan, D.; Hori, M.; Keidar, M.: **Plasma-Activated Solution in Cancer Treatment**. In: Keidar, M.: (eds.), Plasma Cancer Therapy. Cham, Springer (2020) pp. 143-168, ISBN: 978-3-030-49965-5

Herausgeberschaft

Weltmann, K.-D.; Ito, M.; Reuter, S.; Wertheimer, M. R.: (eds.), **Special Issue: Plasma and agriculture II**, DOI:10.1002/ppap.202170005. Plasma Processes and Polymers 18 (2021) pp. 2170005

## PAPER 2020

Albrecht, D.; Ittermann, T.; Thamm, M.; Grabe, H.-J.; Bahls, M.; Völzke, H.: **The association between thyroid function biomarkers and attention deficit hyperactivity disorder**, Sci. Rep. 10 (2020) 18285. DOI:10.1038/s41598-020-75228-w

Alimohammadi, M.; Golpur, M.; Sohbatzadeh, F.; Hadavi, S.; Bekeschus, S.; Niaki, H. A.; Valadan, R.; Rafiei, A.: **Cold Atmospheric Plasma Is a Potent Tool to Improve Chemotherapy in Melanoma In Vitro and In Vivo**, Biomolecules 10 (2020) 1011. DOI:10.3390/biom10071011

Ariza, D.; Hollertz, R.; Methling, R.; Gortschakow, S.: **Positive streamers: inception and propagation along mineral-oil/solid interfaces**, J. Phys. Commun. 4 (2020) 25008. DOI:10.1088/2399-6528/ab7358

Baeva, M.; Loffhagen, D.; Becker, M. M.; Siewert, E.; Uhrlandt, D.: **Plasma parameters of microarcs towards minuscule discharge gap**, Contrib. Plasma Phys. 60 (2020) e202000033. DOI:10.1002/ctpp.202000033

Baeva, M.; Uhrlandt, D.; Loffhagen, D.: **Unified modelling of non-equilibrium microarcs in atmospheric pressure argon: potentials and limitations of one-dimensional models in comparison to two-dimensional models**, Jpn. J. Appl. Phys. 59 (2020) SHHC05. DOI:10.35848/1347-4065/ab71da

Bansemer, R.; Vilardell Scholten, L.; Winter, J.; Weltmann, K.-D.: **Spectroscopic investigation of a neon-operated DBD at atmospheric and intermediate pressure**, Plasma Res. Express. 2 (2020) 35011. DOI:10.1088/2516-1067/abb4c3

Bansemer, R.; Winter, J.; Schmidt-Bleker, A.; Weltmann, K.-D.: **On the Ar(1s<sub>5</sub>) density distribution in a flow-driven DBD at intermediate pressure**, Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 35026. DOI:10.1088/1361-6595/ab73df

Barillas, L.; Makhneva, E.; Weltmann, K.-D.; Seitz, H.; Fricke, K.: **Plasma printing - direct local patterning with functional polymer coatings for biosensing and microfluidics applications.** *Microelectron. Eng.* 233 (2020) 111431. DOI:10.1016/j.mee.2020.111431

Bekeschus, S.; Clemen, R.; Nießner, F.; Sagwal, S. K.; Freund, E.; Schmidt, A.: **Medical Gas Plasma Jet Technology Targets Murine Melanoma in an Immunogenic Fashion.** *Adv. Sci.* 7 (2020) 1903438. DOI:10.1002/advs.201903438

Bekeschus, S.; Eisenmann, S.; Sagwal, S. K.; Bodnar, Y.; Moritz, J.; Poschkamp, B.; Stoffels, I.; Emmert, S.; Madesh, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Gandhirajan, R. K.: **xCT (SLC7A11) expression confers intrinsic resistance to physical plasma treatment in tumor cells.** *Redox Biol.* 30 (2020) 101423. DOI:10.1016/j.redox.2019.101423

Bekeschus, S.; Kramer, A.; Suffredini, E.; von Woedtke, T.; Colombo, V.: **Gas Plasma Technology - An Asset to Healthcare During Viral Pandemics Such as the COVID-19 Crisis?** *IEEE Trans. Radiat. Plasma Med. Sci.* 4 (2020) 391-399. DOI:10.1109/TRPMS.2020.3002658

Bekeschus, S.; Moritz, J.; Helfrich, I.; Boeckmann, L.; Weltmann, K.-D.; Emmert, S.; Metelmann, H.-R.; Stoffels, I.; von Woedtke, T.: **Ex Vivo Exposure of Human Melanoma Tissue to Cold Physical Plasma Elicits Apoptosis and Modulates Inflammation.** *Appl. Sci.* 10 (2020) 1971. DOI:10.3390/app10061971

Bekeschus, S.; Ressel, V.; Freund, E.; Gelbrich, N.; Mustea, A.; Stope, M. B.: **Gas Plasma-Treated Prostate Cancer Cells Augment Myeloid Cell Activity and Cytotoxicity.** *Antioxidants* 9 (2020) 323. DOI:10.3390/antiox9040323

Berner, J.; Seebauer, C.; Sagwal, S. K.; Boeckmann, L.; Emmert, S.; Metelmann, H.-R.; Bekeschus, S.: **Medical Gas Plasma Treatment in Head and Neck Cancer - Challenges and Opportunities.** *Appl. Sci.* 10 (2020) 1944. DOI:10.3390/app10061944

Bigelmayr, M.; Pieterse, P.; Uhrlandt, D.: **Energy dissipation and efficiency of exploding stainless steel wires of various lengths and diameters.** *J. Phys. D: Appl. Phys.* 54 (2020) 45202. DOI:10.1088/1361-6463/abbe4c

Böcker, J.; Puth, A.; Dalke, A.; Röpcke, J.; van Helden, J. H.; Biermann, H.: **Influence of the Active Screen Plasma Power during Afterglow Nitrocarburizing on the Surface Modification of AISI 316L.** *Coatings* 10 (2020) 1112. DOI:10.3390/coatings10111112

Bodnar, W.; Schiorlin, M.; Frank, A.; Schulz, T.; Wöhr, N.; Miron, C.; Scheu, C.; Kolb, J. F.; Kruth, A.: **Synthesis of graphene-related carbon nanoparticles from a liquid isopropanol precursor by a one-step atmospheric plasma process.** *Appl. Surf. Sci.* 514 (2020) 145926. DOI:10.1016/j.apsusc.2020.145926

Boeckmann, L.; Bernhardt, T.; Schäfer, M.; Semmler, M. L.; Kordt, M.; Waldner, A.-C.; Wendt, F.; Sagwal, S.; Bekeschus, S.; Berner, J.; Kwiatek, E.; Frey, A.; Fischer, T.; Emmert, S.: **Aktuelle Indikationen der Plasmatherapie in der Dermatologie.** *Der Hautarzt* 71 (2020) 109-113. DOI:10.1007/s00105-019-04530-0

Boeckmann, L.; Schäfer, M.; Bernhardt, T.; Semmler, M. L.; Jung, O.; Ojak, G.; Fischer, T.; Peters, K.; Nebe, B.; Müller-Hilke, B.; Seebauer, C.; Bekeschus, S.; Emmert, S.: **Cold Atmospheric Pressure Plasma in Wound Healing and Cancer Treatment.** *Appl. Sci.* 10 (2020) 6898. DOI:10.3390/app10196898

Breen, C.; Pal, R.; Elsegood, M. R. J.; Teat, S. J.; Iza, F.; Wende, K.; Buckley, B. R.; Butler, S. J.: **Time-resolved luminescence detection of peroxynitrite using a reactivity-based lanthanide probe.** *Chem. Sci.* 11 (2020) 3164-3170. DOI:10.1039/C9SC06053G

Brust, H.; Orzechowski, S.; Fettke, J.: **Starch and Glycogen Analyses: Methods and Techniques.** *Biomolecules* 10 (2020) 1020. DOI:10.3390/biom10071020

Budak, Ö.; Geißler, M.; Becker, D.; Kruth, A.; Quade, A.; Haberkorn, R.; Kickelbick, G.; Etzold, B. J. M.; Presser, V.: **Carbide-Derived Niobium Pentoxide with Enhanced Charge Storage Capacity for Use as a Lithium-Ion Battery Electrode.** *ACS Appl. Energy Mater.* 3 (2020) 4275-4285. DOI:10.1021/acsaem.9b02549

Clemen, R.; Bekeschus, S.: **Oxidatively Modified Proteins: Cause and Control of Diseases.** *Appl. Sci.* 10 (2020) 6419. DOI:10.3390/app10186419

Clemen, R.; Heirman, P.; Lin, A.; Bogaerts, A.; Bekeschus, S.: **Physical Plasma-Treated Skin Cancer Cells Amplify Tumor Cytotoxicity of Human Natural Killer (NK) Cells.** *Cancers* 12 (2020) 3575. DOI:10.3390/cancers12123575

Dekkar, D.; Puth, A.; Bisceglia, E.; Moreira, P. W. P.; Pipa, A. V.; Lombardi, G.; Röpcke, J.; van Helden, J. H.; Benedic, F.: **Effect of the admixture of N<sub>2</sub> to low pressure, low temperature H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> microwave plasmas used for large area deposition of nanocrystalline diamond films.** *J. Phys. D: Appl. Phys.* 53 (2020) 455204. DOI:10.1088/1361-6463/aba7df

- Ellis, J.; Branson, J.; Niemi, K.; Wagenaars, E.; Gans, T.: **Influence of surface materials on the volume production of negative ions in a radio-frequency driven hydrogen plasma.** J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020) 485202. DOI:10.1088/1361-6463/abae93
- Emmert, S.; van Welzen, A.; Masur, K.; Gerling, T.; Bekeschus, S.; Eschenburg, C.; Wahl, P.; Bernhardt, T.; Schäfer, M.; Semmler, M. L.; Grabow, N.; Fischer, T.; Thiem, A.; Jung, O.; Boeckmann, L.: **Kaltes Atmosphärendruckplasma zur Behandlung akuter und chronischer Wunden.** Der Hautarzt 71 (2020) 855-862. DOI:10.1007/s00105-020-04696-y
- Franke, S.; Methling, R.; Uhrlandt, D.; Gortschakow, S.; Reichert, F.; Petchanka, A.: **Arc temperatures in a circuit breaker experiment from iterative analysis of emission spectra.** J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020) 385204. DOI:10.1088/1361-6463/ab936c
- Franke, S.; Paulet, L.; Schäfer, J.; O'Connell, D.; Becker, M. M.: **Plasma-MDS, a metadata schema for plasma science with examples from plasma technology.** Sci. Data 7 (2020) 439. DOI:10.1038/s41597-020-00771-0
- Freund, E.; Liedtke, K.-R.; Miebach, L.; Wende, K.; Heidecke, A.; Kaushik, N. K.; Ha Choi, E.; Partecke, L.-I.; Bekeschus, S.: **Identification of Two Kinase Inhibitors with Synergistic Toxicity with Low-Dose Hydrogen Peroxide in Colorectal Cancer Cells in vitro.** Cancers 12 (2020) 122. DOI:10.3390/cancers12010122
- Freund, E.; Spadola, C.; Schmidt, A.; Privat-Maldonado, A.; Bogaerts, A.; v. Woedtke, T.; Weltmann, K.-D.; Heidecke, C.-D.; Partecke, L.-I.; Käding, A.; Bekeschus, S.: **Risk evaluation of EMT and inflammation in metastatic pancreatic cancer cells following plasma treatment.** Front. Phys. 8 (2020) 450. DOI:10.3389/fphy.2020.569618
- Gelbrich, N.; Stope, M. B.; Bekeschus, S.; Weigel, M.; Burchardt, M.; Zimmermann, U.: **BK virus-induced nephritis and cystitis after matched unrelated donor stem cell transplantation: A case report.** Clin. Case Rep. 8 (2020) 2839-2842. DOI:10.1002/ccr3.3246
- Gellert, M.; Richter, E.; Mostertz, J.; Kantz, L.; Masur, K.; Hanschmann, E.-M.; Ribback, S.; Kroeger, N.; Schaeffeler, E.; Winter, S.; Hochgräfe, F.; Schwab, M.; Lillig, C. H.: **The cytosolic isoform of glutaredoxin 2 promotes cell migration and invasion.** Biochim. Biophys. Acta - Gen. Subj. 1864 (2020) 129599. DOI:10.1016/j.bbagen.2020.129599
- Ghosh, S.; Bräser, V.; Kaplan-Ashiri, I.; Popovitz-Biro, R.; Peglow, S.; Martinez, J. I.; Alonso, J. A.; Zak, A.: **Cathodoluminescence in single and multiwall WS<sub>2</sub> nanotubes: Evidence for quantum confinement and strain effect.** Appl. Phys. Rev. 7 (2020) 41401. DOI:10.1063/5.0019913
- Giardina, A.; Schiorlin, M.; Marotta, E.; Paradisi, C.: **Atmospheric Pressure Non-thermal Plasma for Air Purification: Ions and Ionic Reactions Induced by dc+ Corona Discharges in Air Contaminated with Acetone and Methanol.** Plasma Chem. Plasma Process. 40 (2020) 1091-1107. DOI:10.1007/s11090-020-10087-x
- Goett, G.; Gericke, A.; Henkel, K.-M.; Uhrlandt, D.: **Determining the arc temperature in submerged arc welding using the Bartels method.** J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020) 435208. DOI:10.1088/1361-6463/aba01f
- Gonzalez, D.; Gortschakow, S.; Methling, R.; Franke, S.; Yu, S.; Werner, F.: **Switching Behavior of a Gas-Filled Model DC-Contactor Under Different Conditions.** IEEE Trans. Plasma Sci. 48 (2020) 2515-2522. DOI:10.1109/TPS.2020.3003525
- Gortschakow, S.; Franke, S.; Methling, R.; Gonzalez, D.; Lawall, A.; Taylor, E. D.; Graskowski, F.: **Properties of Vacuum Arcs Generated by Switching RMF Contacts at Different Ignition Positions.** Energies 13 (2020) 5596. DOI:10.3390/en13215596
- Gruening, M.; Neuber, S.; Fricke, K.; Helm, C. A.; Nebe, B.: **Cell-Material Interaction - Spreading Course correlates with Surface Charge.** Am. J. Biomed. Sci. Res. 9 (2020) 1341. DOI:10.34297/AJBSR.2020.09.001341
- Gruening, M.; Neuber, S.; Nestler, P.; Lehnfeld, J.; Dubs, M.; Fricke, K.; Schnabelrauch, M.; Helm, C. A.; Müller, R.; Staehlke, S.; Nebe, J. B.: **Enhancement of Intracellular Calcium Ion Mobilization by Moderately but Not Highly Positive Material Surface Charges.** Front. Bioeng. Biotechnol. 8 (2020) 1016. DOI:10.3389/fbioe.2020.01016
- Haase, M.; Melzer, M.; Lang, N.; Ecke, R.; Zimmermann, S.; van Helden, J. H.; Schulz, S. E.: **On the relationship between SiF<sub>4</sub> plasma species and sample properties in ultra low-k etching processes.** AIP Adv. 10 (2020) 65212. DOI:10.1063/1.5125498
- Hader, M.; Savcigil, D. P.; Rosin, A.; Ponfick, P.; Gekle, S.; Wadepohl, M.; Bekeschus, S.; Fietkau, R.; Frey, B.; Schlücker, E.; Gaipl, U. S.: **Differences of the Immune Phenotype of Breast Cancer Cells after Ex Vivo Hyperthermia by Warm-Water or Microwave Radiation in a Closed-Loop System Alone or in Combination with Radiotherapy.** Cancers 12 (2020) 1082. DOI:10.3390/cancers12051082
- Hahn, V.; Grollmisch, D.; Bendt, H.; von Woedtke, T.; Nestler, B.; Weltmann, K.-D.; Gerling, T.: **Concept for Improved Handling Ensures Effective Contactless Plasma Treatment of Patients with kINPen MED.** Appl. Sci. 10 (2020) 6133. DOI:10.3390/app10176133

Hahn, V.; Mikolasch, A.; Weitemeyer, J.; Petters, S.; Davids, T.; Lalk, M.; Lackmann, J.-W.; Schauer, F.: **Ring-Closure Mechanisms Mediated by Laccase to Synthesize Phenothiazines, Phenoxazines, and Phenazines**. ACS Omega 5 (2020) 14324-14339. DOI:10.1021/acsomega.0c00719

Handorf, O.; Below, H.; Schnabel, U.; Riedel, K.; Ehlbeck, J.: **Investigation of the chemical composition of plasma-treated water by MidiPlexc and its antimicrobial effect on L. monocytogenes and Pseudomonas fluorescens monospecies suspension cultures**. J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020) 305204. DOI:10.1088/1361-6463/ab866b

Handorf, O.; Pauker, V. I.; Schnabel, U.; Weihe, T.; Freund, E.; Bekeschus, S.; Riedel, K.; Ehlbeck, J.: **Characterization of Antimicrobial Effects of Plasma-Treated Water (PTW) Produced by Microwave-Induced Plasma (MidiPlexc) on Pseudomonas fluorescens Biofilms**. Appl. Sci. 10 (2020) 3118. DOI:10.3390/app10093118

Haralambiev, L.; Bandyopadhyay, A.; Suchy, B.; Weiss, M.; Kramer, A.; Bekeschus, S.; Ekkernkamp, A.; Mustea, A.; Kaderali, L.; Stope, M. B.: **Determination of Immediate vs. Kinetic Growth Retardation in Physically Plasma-Treated Cells by Experimental and Modelling Data**. Anticancer Res. 40 (2020) 3743-3749. DOI:10.21873/anticancer.14363

Haralambiev, L.; Neuffer, O.; Nitsch, A.; Kross, N. C.; Bekeschus, S.; Hinz, P.; Mustea, A.; Ekkernkamp, A.; Gümbel, D.; Stope, M. B.: **Inhibition of Angiogenesis by Treatment with Cold Atmospheric Plasma as a Promising Therapeutic Approach in Oncology**. Int. J. Mol. Sci. 21 (2020) 7098. DOI:10.3390/ijms21197098

Haralambiev, L.; Nitsch, A.; Jacoby, J. M.; Strakeljahn, S.; Bekeschus, S.; Mustea, A.; Ekkernkamp, A.; Stope, M. B.: **Cold Atmospheric Plasma Treatment of Chondrosarcoma Cells Affects Proliferation and Cell Membrane Permeability**. Int. J. Mol. Sci. 21 (2020) 2291. DOI:10.3390/ijms21072291

Hasse, S.; Meder, T.; Freund, E.; von Woedtke, T.; Bekeschus, S.: **Plasma Treatment Limits Human Melanoma Spheroid Growth and Metastasis Independent of the Ambient Gas Composition**. Cancers 12 (2020) 2570. DOI:10.3390/cancers12092570

Hidalgo, S.; Barillas, L.; Weltmann, K.-D.; Fricke, K.: **Influence of the design of a mist chamber for the deposition of nanometric thin liquid films - proof-of-concept**. Technol. Marcha 33 (2020) 130-142. DOI:10.18845/tm.v33i6.5174

Hink, R.; Pipa, A. V.; Schäfer, J.; Caspari, R.; Weichwald, R.; Foest, R.; Brandenburg, R.: **Influence of dielectric thickness and electrode structure on the ion wind generation by micro-fabricated plasma actuators**. J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020) 405201. DOI:10.1088/1361-6463/ab96ea

Höft, H.; Becker, M. M.; Kolb, J. F.; Huiskamp, T.: **Double-propagation mode in short-gap spark discharges driven by HV pulses with sub-ns rise time**. Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 85002. DOI:10.1088/1361-6595/aba112

Höft, H.; Kettlitz, M.; Becker, M. M.; Brandenburg, R.: **Impact of N<sub>2</sub>O admixture on the characteristics of pulsed dielectric barrier discharges in N<sub>2</sub> at atmospheric pressure**. J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020) 25203. DOI:10.1088/1361-6463/ab4944

Honnorat, B.; Brüser, V.; Kolb, J. F.: **Microwave plasma discharges for biomass pretreatment: Degradation of a sodium carboxymethyl cellulose model**. AIP Adv. 10 (2020) 95025. DOI:10.1063/5.0018626

Hornschuh, M.; Zwicker, P.; Schmidt, T.; Finke, B.; Kramer, A.; Müller, G.: **Poly (hexamethylene biguanide), adsorbed onto Ti-Al-V alloys, kills slime-producing Staphylococci and Pseudomonas aeruginosa without inhibiting SaOs-2 cell differentiation**. J. Biomed. Mater. Res. B 108 (2020) 1801-1813. DOI:10.1002/jbm.b.34522

Husmann, S.; Budak, Ö.; Quade, A.; Frank, A.; Kruth, A.; Scheu, C.; Tolosa, A.; Presser, V.: **Electrospun vanadium sulfide / carbon hybrid fibers obtained via one-step thermal sulfidation for use as lithium-ion battery electrodes**. J. Power Sources 450 (2020) 227674. DOI:10.1016/j.jpowsour.2019.227674

Husmann, S.; Budak, Ö.; Shim, H.; Liang, K.; Aslan, M.; Kruth, A.; Quade, A.; Naguib, M.; Presser, V.: **Ionic liquid-based synthesis of MXene**. Chem. Commun. 56 (2020) 11082-11085. DOI:10.1039/d0cc03189e

Hu, Y.; Peglow, S.; Longwitz, L.; Frank, M.; Epping, J. D.; Brüser, V.; Werner, T.: **Plasma-Assisted Immobilization of a Phosphonium Salt and Its Use as a Catalyst in the Valorization of CO<sub>2</sub>**. ChemSusChem 13 (2020) 1825-1833. DOI:10.1002/cssc.201903384

Ittermann, T.; Albrecht, D.; Arohonka, P.; Bilek, R.; De Castro, J. J.; Dahl, L.; Filipsson nystrom, H.; Gaberscek, S.; Garcia-Fuentes, E.; Gheorghiu, M. L.; Hubalewska-Dydejczyk, A.; Hunziker, S.; Jukic, T.; Karanfilski, B.; Koskinen, S.; et. al: **Standardized Map of Iodine Status in Europe**. Thyroid 30 (2020) 1346-1354. DOI:10.1089/thy.2019.0353

Jacoby, J. M.; Strakeljahn, S.; Nitsch, A.; Bekeschus, S.; Hinz, P.; Mustea, A.; Ekkernkamp, A.; Tzvetkov, M. V.; Haralambiev, L.; Stope, M. B.: **An Innovative Therapeutic Option for the Treatment of Skeletal Sarcomas: Elimination of Osteo- and Ewings Sarcoma Cells Using Physical Gas Plasma**. Int. J. Mol. Sci. 21 (2020) 4460. DOI:10.3390/ijms21124460



- Jafarpour, S.; Puth, A.; Dalke, A.; Böcker, J.; Pipa, A.; Röpcke, J.; van Helden, J. H.; Biermann, H.: **Solid carbon active screen plasma nitrocarburizing of AISI 316L stainless steel in cold wall reactor: influence of plasma conditions.** J. Mater. Res. Technol. 9 (2020) 9195-9205. DOI:10.1016/j.jmrt.2020.06.041
- Jahanbakhsh, S.; Brüser, V.; Brandenburg, R.: **Experimental investigation of single microdischarges in a barrier corona arrangement with a cathodic metal pin.** Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 15001. DOI:10.1088/1361-6595/ab52e9
- Jensen, A. W.; Sievers, G. W.; Jensen, K. D.; Quinson, J.; Armínio-Ravelo, J. A.; Brüser, V.; Arenz, M.; Escudero-Escribano, M.: **Self-supported nanostructured iridium-based networks as highly active electrocatalysts for oxygen evolution in acidic media.** J. Mater. Chem. A 8 (2020) 1066-1071. DOI:10.1039/C9TA12796H
- Kerlikowski, A.; Matthes, R.; Pink, C.; Steffen, H.; Schlüter, R.; Holtfreter, B.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Kocher, T.; Jablonowski, L.: **Effects of cold atmospheric pressure plasma and disinfecting agents on Candida albicans in root canals of extracted human teeth.** J. Biophotonics 13 (2020) e202000221. DOI:10.1002/jbio.202000221
- Kettlitz, M.; Klink, R.; Höft, H.; Brandenburg, R.: **Discharge propagation on a dielectric surface in a single-filament arrangement.** Eur. Phys. J. D 74 (2020) 110. DOI:10.1140/epjd/e2020-10082-y
- Kettlitz, M.; van Rooij, O.; Höft, H.; Brandenburg, R.; Sobota, A.: **Effect of a high-voltage mesh electrode on the volume and surface characteristics of pulsed dielectric barrier discharges.** J. Appl. Phys. 128 (2020) 233302. DOI:10.1063/5.0032342
- Klages, C.-P.; Martinovs, A.; Bröcker, L.; Loffhagen, D.: **Does the energy transfer from Ar(1s) atoms to N<sub>2</sub> lead to dissociation?** Plasma Process. Polym. 17 (2020) 2000070. DOI:10.1002/ppap.202000070
- Kletschkus, K.; Gelbrich, N.; Burchardt, M.; Kramer, A.; Bekešchus, S.; Stope, M. B.: **Emission of Ultraviolet Radiation from 220 to 280 NM by a Cold Physical Plasma Generating Device.** Health Phys. 119 (2020) 153-159. DOI:10.1097/HP.0000000000001276
- Kletschkus, K.; Haralambiev, L.; Mustea, A.; Bekešchus, S.; Stope, M. B.: **Review of Innovative Physical Therapy Methods: Introduction to the Principles of Cold Physical Plasma.** In Vivo 34 (2020) 3103-3107. DOI:10.21873/invivo.12143
- Kletschkus, K.; Haralambiev, L.; Nitsch, A.; Pfister, F.; Klinkmann, G.; Kramer, A.; Bekešchus, S.; Mustea, A.; Stope, M. B.: **The Application of a Low-temperature Physical Plasma Device Operating Under Atmospheric Pressure Leads to the Production of Toxic NO<sub>2</sub>.** Anticancer Res. 40 (2020) 2591-2599. DOI:10.21873/anticancer.14230
- Klose, S.-J.; Ellis, J.; Riedel, F.; Schröter, S.; Niemi, K.; Semenov, I. L.; Weltmann, K.-D.; Gans, T.; O'Connell, D.; van Helden, J. H.: **The spatial distribution of hydrogen and oxygen atoms in a cold atmospheric pressure plasma jet.** Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 125018. DOI:10.1088/1361-6595/abcc4f
- Klose, S.-J.; Manfred, K. M.; Norman, H. C.; Ritchie, G. A. D.; van Helden, J. H.: **The spatial distribution of HO<sub>2</sub> in an atmospheric pressure plasma jet investigated by cavity ring-down spectroscopy.** Plasma Sources Sci. Technol. 29 (2020) 85011. DOI:10.1088/1361-6595/aba206
- Kousal, J.; Krtous, Z.; Raskova, Z. K.; Sedlaoikova, J.; Schäfer, J.; Kucerova, L.; Shelemin, A.; Solar, P.; Hurajova, A.; Biederman, H.; Lehocky, M.: **Degradable plasma polymers films with tailored hydrolysis behaviour.** Vacuum 173 (2020) 109062. DOI:10.1016/j.vacuum.2019.109062
- Levien, M.; Fricke, K.: **Fabrication of hydrogel coatings by atmospheric-pressure plasma polymerization: Function by structure and chemistry.** Mater. Today 41 (2020) 316-317. DOI:10.1016/j.mattod.2020.10.020
- Liedtke, K.-R.; Freund, E.; Hermes, M.; Oswald, S.; Heidecke, C.-D.; Partecke, L.-I.; Bekešchus, S.: **Gas Plasma-Conditioned Ringers Lactate Enhances the Cytotoxic Activity of Cisplatin and Gemcitabine in Pancreatic Cancer In Vitro and In Ovo.** Cancers 12 (2020) 123. DOI:10.3390/cancers12010123
- Liu, H.; Shi, F.; Tang, X.; Zheng, S.; Kolb, J.; Yao, C.: **Application of bioimpedance spectroscopy to characterize chemoresistant tumor cell selectivity of nanosecond pulse stimulation.** Bioelectrochem. 135 (2020) 107570. DOI:10.1016/j.bioelechem.2020.107570
- Loffhagen, D.; Becker, M. M.; Hegemann, D.; Nisol, B.; Watson, S.; Wertheimer, M. R.; Klages, C.-P.: **Large-area atmospheric pressure dielectric barrier discharges in ArHMDSO mixtures: Experiments and fluid modelling.** Plasma Process. Polym. 17 (2020) 1900169. DOI:10.1002/ppap.201900169
- Makhneva, E.; Barillas, L.; Farka, Z.; Pastucha, M.; Skldal, P.; Weltmann, K.-D.; Fricke, K.: **Functional Plasma Polymerized Surfaces for Biosensing.** ACS Appl. Mater. Interfaces 12 (2020) 17100-17112. DOI:10.1021/acsami.0c01443
- Makhneva, E.; Barillas, L.; Weltmann, K.-D.; Fricke, K.: **Stability of oxygen-rich plasma-polymerized coatings in aqueous environment.** Biointerphases 15 (2020) 61001. DOI:10.1116/6.0000582
- Methling, R.; Götte, N.; Uhrlandt, D.: **Ablation-Dominated Arcs in CO<sub>2</sub> Atmosphere - Part II: Molecule Emission and Absorption.** Energies 13 (2020) 4720. DOI:10.3390/en13184720

Methling, R.; Khakpour, A.; Götte, N.; Uhrlandt, D.: **Ablation-Dominated Arcs in CO<sub>2</sub> Atmosphere - Part I: Temperature Determination near Current Zero**. *Energies* 13 (2020) 4714. DOI:10.3390/en13184714

Mitra, S.; Bhartiya, P.; Kaushik, N.; Nguyen, L. N.; Wahab, R.; Bekeschus, S.; Choi, E. H.; Kaushik, N. K.: **Plasma-Treated *Flammulina velutipes*-Derived Extract Showed Anticancer Potential in Human Breast Cancer Cells**. *Appl. Sci.* 10 (2020) 8395. DOI:10.3390/app10238395

Mohsni, C.; Baeva, M.; Franke, S.; Gortschakow, S.; Araoud, Z.; Charrada, K.: **Effect of a bidirectional coupling of an LTE arc column to a refractory cathode in atmospheric pressure argon**. *Phys. Plasmas* 27 (2020) 73514. DOI:10.1063/5.0013397

Moritz, J.; Metelmann, H.-R.; Bekeschus, S.: **Physical plasma treatment of 8 human cancer cell lines demarcates upregulation of CD112 as a common immunomodulatory response element**. *IEEE Trans. Radiat. Plasma Med. Sci.* 4 (2020) 343-349. DOI:10.1109/TRPMS.2019.2936790

Najam, A.; Pieterse, P.; Uhrlandt, D.: **Electrical Modelling of Switching Arcs in a Low Voltage Relay at Low Currents**. *Energies* 13 (2020) 6377. DOI:10.3390/en13236377

Nishime, T. M. C.; Wagner, R.; Kostov, K. G.: **Study of Modified Area of Polymer Samples Exposed to a He Atmospheric Pressure Plasma Jet Using Different Treatment Conditions**. *Polymers* 12 (2020) 1028. DOI:10.3390/polym12051028

Nishime, T. M. C.; Wannicke, N.; Horn, S.; Weltmann, K.-D.; Brust, H.: **A Coaxial Dielectric Barrier Discharge Reactor for Treatment of Winter Wheat Seeds**. *Appl. Sci.* 10 (2020) 7133. DOI:10.3390/app10207133

Pasqual-Melo, G.; Bernardes, S. S.; Souza-Neto, F. P.; Carrara, I. M.; Ramalho, L. N. Z.; Marinello, P. C.; Luiz, R. C.; Cecchini, R.; Bekeschus, S.; Cecchini, A. L.: **The progression of metastatic melanoma augments a pro-oxidative milieu locally but not systemically**. *Pathol. Res. Pract.* 216 (2020) 153218. DOI:10.1016/j.prp.2020.153218

Pasqual-Melo, G.; Nascimento, T.; Sanches, L. J.; Blegniski, F. P.; Bianchi, J. K.; Sagwal, S. K.; Berner, J.; Schmidt, A.; Emmert, S.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Gandhirajan, R. K.; Cecchini, A. L.; Bekeschus, S.: **Plasma Treatment Limits Cutaneous Squamous Cell Carcinoma Development In Vitro and In Vivo**. *Cancers* 12 (2020) 1993. DOI:10.3390/cancers12071993

Pasqual-Melo, G.; Sagwal, S. K.; Freund, E.; Gandhirajan, R. K.; Frey, B.; von Woedtke, T.; Gaip, U.; Bekeschus, S.: **Combination of Gas Plasma and Radiotherapy Has Immunostimulatory Potential and Additive Toxicity in Murine Melanoma Cells in Vitro**. *Int. J. Mol. Sci.* 21 (2020) 1379. DOI:10.3390/ijms21041379

Pinho, N. R.; Loffhagen, D.; Vass, M.; Hartmann, P.; Korolov, I.; Dujko, S.; Bonjakovic, D.; Donk, Z.: **Electron swarm parameters in C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>: measurements and kinetic calculations**. *Plasma Sources Sci. Technol.* 29 (2020) 45009. DOI:10.1088/1361-6595/ab7841

Pipa, A. V.; Hink, R.; Foest, R.; Brandenburg, R.: **Dependence of dissipated power on applied voltage for surface barrier discharge from simplest equivalent circuit**. *Plasma Sources Sci. Technol.* 29 (2020) 12LT01. DOI:10.1088/1361-6595/abc415

Prehn, F.; Timmermann, E.; Kettlitz, M.; Schaufler, K.; Günther, S.; Hahn, V.: **Inactivation of airborne bacteria by plasma treatment and ionic wind for indoor air cleaning**. *Plasma Process. Polym.* 17 (2020) 2000027. DOI:10.1002/ppap.202000027

Puth, A.; Kusyn, L.; Pipa, A. V.; Burlacov, I.; Dalke, A.; Hamann, S.; van Helden, J. H.; Biermann, H.; Röpcke, J.: **Spectroscopic study of plasma nitrocarburizing processes with an industrial-scale carbon active screen**. *Plasma Sources Sci. Technol.* 29 (2020) 35001. DOI:10.1088/1361-6595/ab6e58

Rafiei, A.; Sohbatazadeh, F.; Hadavi, S.; Bekeschus, S.; Alimohammadi, M.; Valadan, R.: **Inhibition of murine melanoma tumor growth in vitro and in vivo using an argon-based plasma jet**. *Clin. Plasma Med.* 19-20 (2020) 100102. DOI:10.1016/j.cpm.2020.100102

Ranieri, P.; Mohamed, H.; Myers, B.; Dobossy, L.; Beyries, K.; Tro-san, D.; Krebs, F. C.; Miller, V.; Stapelmann, K.: **GSH Modification as a Marker for Plasma Source and Biological Response Comparison to Plasma Treatment**. *Appl. Sci.* 10 (2020) 2025. DOI:10.3390/app10062025

Ravandeh, M.; Kahlert, H.; Jablonowski, H.; Lackmann, J.-W.; Striesow, J.; Agmo Hernandez, V.; Wende, K.: **A combination of electrochemistry and mass spectrometry to monitor the interaction of reactive species with supported lipid bilayers**. *Sci. Rep.* 10 (2020) 18683. DOI:10.1038/s41598-020-75514-7

Riaz, A.; Witte, K.; Bodnar, W.; Burkel, E.: **Pseudo-piezoelectricity in calcium titanate - towards novel implant materials**. *Scr. Mater.* 188 (2020) 274-278. DOI:10.1016/j.scriptamat.2020.07.043

Rohr, N.; Fricke, K.; Bergemann, C.; Nebe, J. B.; Fischer, J.: **Efficacy of Plasma-Polymerized Allylamine Coating of Zirconia after Five Years**. *J. Clin. Med.* 9 (2020) 2776. DOI:10.3390/jcm9092776

Rutkowski, R.; Daeschlein, G.; von Woedtke, T.; Smeets, R.; Gosau, M.; Metelmann, H.-R.: **Long-term Risk Assessment for Medical Application of Cold Atmospheric Pressure Plasma**. *Diagnostics* 10 (2020) 210. DOI:10.3390/diagnostics10040210

- Sadiek, I.; Hjalten, A.; Senna Vieira, F.; Lu, C.; Stuhr, M.; Foltynowicz, A.: **Line positions and intensities of the v4 band of methyl iodide using mid-infrared optical frequency comb Fourier transform spectroscopy.** *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* 255 (2020) 107263. DOI:10.1016/j.jqsrt.2020.107263
- Salazar, A.; Linke, A.; Eckelt, R.; Quade, A.; Kragl, U.; Meja, E.: **Oxidative Esterification of 5-Hydroxymethylfurfural under Flow Conditions Using a Bimetallic Co/Ru Catalyst.** *ChemCatChem* 12 (2020) 1-9. DOI:10.1002/cctc.202000205
- Savastenko, N. A.; Filatova, I. I.; Lyushkevich, V. A.; Chubrik, N. I.; Brüser, V.; Shcherbovich, A. A.; Maskevich, S. A.: **Effect of impregnation by silver nanoparticles on the efficiency of plasma-treated ZnO-based photocatalysts.** *High Temp. Mater. Process.* 24 (2020) 21-45. DOI:10.1615/HighTempMat-Proc.2020033434
- Schäfer, J.; Quade, A.; Abrams, K. J.; Sigeneger, F.; Becker, M. M.; Majewski, C.; Rodenburg, C.: **HelixJet: An innovative plasma source for next-generation additive manufacturing (3D printing).** *Plasma Process. Polym.* 17 (2020) 1900099. DOI:10.1002/ppap.201900099
- Schmidt, A.; Liebelt, G.; Striesow, J.; Freund, E.; von Woedtke, T.; Wende, K.; Bekeschus, S.: **The molecular and physiological consequences of cold plasma treatment in murine skin and its barrier function.** *Free Radic. Biol. Med.* 161 (2020) 32-49. DOI:10.1016/j.freeradbiomed.2020.09.026
- Schnabel, U.; Yarova, K.; Zessin, B.; Stachowiak, J.; Ehlbeck, J.: **The Combination of Plasma-Processed Air (PPA) and Plasma-Treated Water (PTW) Causes Synergistic Inactivation of *Candida albicans* SC5314.** *Appl. Sci.* 10 (2020) 3303. DOI:10.3390/app10093303
- Schneider, M.; Rataj, R.; Kolb, J. F.; Blaha, L.: **Cylindrospermopsin is effectively degraded in water by pulsed corona-like and dielectric barrier discharges.** *Environ. Pollut.* 266 (2020) 115423. DOI:10.1016/j.envpol.2020.115423
- Schrottke, L.; Lü, X.; Röben, B.; Biermann, K.; Hagelschuer, T.; Wienold, M.; Hübers, H.-W.; Hannemann, M.; van Helden, J. H.; Röpcke, J.; Grahn, H. T.: **High-Performance GaAs/AlAs Terahertz Quantum-Cascade Lasers For Spectroscopic Applications.** *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.* 10 (2020) 133-140. DOI:10.1109/TTHZ.2019.2957456
- Semenov, I. L.; Weltmann, K.-D.: **Modelling of turbulent reacting flow for a cold atmospheric pressure argon plasma jet.** *Plasma Sources Sci. Technol.* 29 (2020) 55001. DOI:10.1088/1361-6595/ab8273
- Semmler, M. L.; Bekeschus, S.; Schäfer, M.; Bernhardt, T.; Fischer, T.; Witzke, K.; Seebauer, C.; Rebl, H.; Grambow, E.; Vollmar, B.; Nebe, J. B.; Metelmann, H.-R.; von Woedtke, T.; Emmert, S.; Boeckmann, L.: **Molecular Mechanisms of the Efficacy of Cold Atmospheric Pressure Plasma (CAP) in Cancer Treatment.** *Cancers* 12 (2020) 269. DOI:10.3390/cancers12020269
- Shi, F.; Kolb, J. F.: **Enhanced resolution impedimetric analysis of cell responses from the distribution of relaxation times.** *Biosens. Bioelectron.* 157 (2020) 112149. DOI:10.1016/j.bios.2020.112149
- Shome, D.; von Woedtke, T.; Riedel, K.; Masur, K.: **The HIPPO Transducer YAP and Its Targets CTGF and Cyr61 Drive a Paracrine Signalling in Cold Atmospheric Plasma-Mediated Wound Healing.** *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2020 (2020) 4910280. DOI:10.1155/2020/4910280
- Smith, G. J.; Ellis, J.; Moussaoui, R.; Pardanaud, C.; Martin, C.; Achard, J.; Issaoui, R.; Gans, T.; Dedrick, J. P.; Cartry, G.: **Enhancing surface production of negative ions using nitrogen doped diamond in a deuterium plasma.** *J. Phys. D: Appl. Phys.* 53 (2020) 465204. DOI:10.1088/1361-6463/aba6b6
- Souza-Neto, F. P.; Marinello, P. C.; Melo, G. P.; Ramalho, L. Z. N.; Cela, E. M.; Campo, V. E.; Gonzalez-Maglio, D. H.; Cecchini, R.; Cecchini, A. L.: **Metformin inhibits the inflammatory and oxidative stress response induced by skin UVB-irradiation and provides 4-hydroxy-2-nonenal and nitrotyrosine formation and p53 protein activation.** *J. Dermatol. Sci.* 100 (2020) 152-155. DOI:10.1016/j.jdermsci.2020.05.012
- Stamenkovic, S. N.; Markovic, V. L.; Stankov, M. N.; Jovanovic, A. P.: **Statistical and numerical analysis of secondary electron avalanches with ion-induced electron emission in air.** *Eur. Phys. J. Plus* 135 (2020) 51. DOI:10.1140/epjp/s13360-019-00053-8
- Stankov, M.; Becker, M. M.; Bansemer, R.; Weltmann, K.-D.; Löffhagen, D.: **Influence of surface parameters on dielectric-barrier discharges in argon at subatmospheric pressure.** *Plasma Sources Sci. Technol.* 29 (2020) 125009. DOI:10.1088/1361-6595/abc5a3
- Stoffels, I.; Alt, C.; Bekeschus, S.; Klode, J.: **Moderne Ulkuschirurgie,** *Der Hautarzt* 71 (2020) 843-849. DOI:10.1007/s00105-020-04691-3
- Stratmann, B.; Costea, T.-C.; Nolte, C.; Hiller, J.; Schmidt, J.; Rein-del, J.; Masur, K.; Motz, W.; Timm, J.; Kerner, W.; Tschöepe, D.: **Effect of Cold Atmospheric Plasma Therapy vs Standard Therapy Placebo on Wound Healing in Patients With Diabetic Foot Ulcers: A Randomized Clinical Trial.** *JAMA Netw. Open* 3 (2020) e2010411. DOI:10.1001/jamanetworkopen.2020.10411

Timmermann, E.; Bansemer, R.; Gerling, T.; Hahn, V.; Weltmann, K.-D.; Nettesheim, S.; Puff, M.: **Piezoelectric-driven plasma pen with multiple nozzles used as a medical device: risk estimation and antimicrobial efficacy.** J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2020) 25201. DOI:10.1088/1361-6463/abb900

Trautvetter, T.; Schäfer, J.; Benzine, O.; Methling, R.; Baierl, H.; Reichel, V.; Dellith, J.; Köpp, D.; Hempel, F.; Stankov, M.; Baeva, M.; Foest, R.; Wondraczek, L.; Wondraczek, K.; Bartelt, H.: **Plasma-based VAD process for multiply doped glass powders and high-performance fiber preforms with outstanding homogeneity.** Plasma Process. Polym. 17 (2020) 2000140. DOI:10.1002/ppap.202000140

von Woedtke, T.; Emmert, S.; Metelmann, H.-R.; Rupf, S.; Weltmann, K.-D.: **Perspectives on cold atmospheric plasma (CAP) applications in medicine.** Phys. Plasmas 27 (2020) 70601. DOI:10.1063/5.0008093

Wallis, J.; Kruth, A.; Silva, I. d.; Krzystyniak, M.: **Nuclear dynamics in BaZr<sub>0.7</sub>Ce<sub>0.2</sub>Y<sub>0.1</sub>O<sub>3-delta</sub> proton conductor as observed by neutron diffraction and Compton scattering.** J. Phys. Commun. 4 (2020) 45004. DOI:10.1088/2399-6528/ab852d

Wallis, J.; Urban, L.; Grimmer, C.; Bodnar, W.; Zimmermann, R.; Ricote, S.; Weltmann, K.-D.; Burkel, E.; Kruth, A.: **Structural and electrical properties of BaZr<sub>0.7</sub>Ce<sub>0.2</sub>Y<sub>0.1</sub>O<sub>3-delta</sub> proton conducting ceramic fabricated by spark plasma sintering.** Solid State Ionics 345 (2020) 115118. DOI:10.1016/j.ssi.2019.115118

Wegner, T.; Geiger, B.; Foest, R.; Jansen van Vuuren, A.; Winters, V. R.; Biedermann, C.; Burhenn, R.; Buttenschön, B.; Cseh, G.; Joda, I.; Kocsis, G.; Kunkel, F.; Quade, A.; Schäfer, J.; Schmitz, O.; Szepesi, T.: **Preparation, analysis, and application of coated glass targets for the Wendelstein 7-X laser blow-off system.** Rev. Sci. Instrum. 91 (2020) 83503. DOI:10.1063/1.5144943

Wende, K.; Bruno, G.; Lalk, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Bekeschus, S.; Lackmann, J.-W.: **On a heavy path - determining cold plasma-derived short-lived species chemistry using isotopic labelling.** RSC Adv. 10 (2020) 11598-11607. DOI:10.1039/C9RA08745A

Wenske, S.; Lackmann, J.-W.; Bekeschus, S.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Wende, K.: **Nonenzymatic post-translational modifications in peptides by cold plasma-derived reactive oxygen and nitrogen species.** Biointerphases 15 (2020) 61008. DOI:10.1116/6.0000529

Witzke, K.; Seebauer, C.; Jesse, K.; Kwiatek, E.; Berner, J.; Semmler, M.-L.; Boeckmann, L.; Emmert, S.; Weltmann, K.-D.; Metelmann, H.-R.; Bekeschus, S.: **Plasma medical oncology: Immunological interpretation of head and neck squamous cell carcinoma.** Plasma Process. Polym. 17 (2020) 1900258. DOI:10.1002/ppap.201900258

Wolff, C. M.; Kolb, J. F.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Bekeschus, S.: **Combination Treatment with Cold Physical Plasma and Pulsed Electric Fields Augments ROS Production and Cytotoxicity in Lymphoma.** Cancers 12 (2020) 845. DOI:10.3390/cancers12040845

Wunschik, D. S.; Ingenbosch, K. N.; Süß, P.; Liebelt, U.; Quint, S.; Dyllick-Brenzinger, M.; Zuhse, R.; Menyes, U.; Hoffmann-Jacobsen, K.; Opwis, K.; Gutmann, J. S.: **Enzymatic epoxidation of cyclohexene by peroxidase immobilization on a textile and an adapted reactor design.** Enzyme Microb Technol. 136 (2020) 109512. DOI:10.1016/j.enzmictec.2020.109512

Zhang, G.; Goett, G.; Uhrlandt, D.: **Study of the anode energy in gas metal arc welding.** J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020) 395202. DOI:10.1088/1361-6463/ab93f7

Zhang, G.; Gött, G.; Uhrlandt, D.; Lozano, P.; Sharma, R.: **A simplified voltage model in GMAW.** Weld. World 64 (2020) 1625-1634. DOI:10.1007/s40194-020-00943-x

Zhao, J.; Liebscher, M.; Michel, A.; Schneider, K.; Foest, R.; Fröhlich, M.; Quade, A.; Mechtcherine, V.: **Plasma-generated silicon oxide coatings of carbon fibres for improved bonding to mineral-based impregnation materials and concrete matrices.** Cem. Concr. Compos. 114 (2020) 103667. DOI:10.1016/j.cemconcomp.2020.103667

Zocher, K.; Banaschik, R.; Kolb, J. F.; Lindequist, U.: **Enhancing the Extraction Yield from Shiitake Culinary-Medicinal Mushroom, Lentinus edodes (Agaricomycetes), by Pulsed Electric Fields Treatment.** Int. J. Med. Mushrooms 22 (2020) 1225-1235. DOI:10.1615/IntJMedMushrooms.2020036998

Zocher, K.; Rataj, R.; Steuer, A.; Weltmann, K.-D.; Kolb, J. F.: **Mechanism of microalgae disintegration by spark discharge treatment for compound extraction.** J. Phys. D: Appl. Phys. 53 (2020) 215402. DOI:10.1088/1361-6463/ab768b

## PAPER 2021

Akbari, Z.; Saadati, F.; Mahdikia, H.; Freund, E.; Abbasvandi, F.; Shokri, B.; Zali, H.; Bekeschus, S.: **Antitumor Effects in Gas Plasma-Treated Patient-Derived Microtissues - An Adjuvant Therapy for Ulcerating Breast Cancer?.** Appl. Sci. 11 (2021) 4527. DOI:10.3390/app11104527

An, S.; Foest, R.; Fricke, K.; Riemer, H.; Fröhlich, M.; Quade, A.; Schäfer, J.; Weltmann, K.-D.; Kersten, H.: **Pretreatment of cutting tools by plasma electrolytic polishing (PEP) for enhanced adhesion of hard coatings.** Surf. Coat. Technol. 405 (2021) 126504. DOI:10.1016/j.surfcoat.2020.126504



- Ariza, D.; Beroual, A.; Methling, R.; Gortschakow, S.; Chamorro, H. R.: **Electrical Conduction Currents Prior to Negative Streamer Inception in Mineral-Oil/Solid Interfaces.** IEEE Trans. Dielectr. and Electr. Insul. 28 (2021) 1300-1307. DOI:10.1109/TDEI.2021.009661
- Ariza, D.; Beroual, A.; Methling, R.; Gortschakow, S.; Chamorro, H. R.: **First-mode of negative streamers: Inception at liquid/solid interfaces.** High Volt. 6 (2021) 1069-1078. DOI:10.1049/hve2.12105
- Baeva, M.; Boretskij, V. F.; Gonzalez, D.; Methling, R.; Murmantsev, O.; Uhrlandt, D.; Veklich, A.: **Unified modelling of low-current short-length arcs between copper electrodes.** J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2021) 25203. DOI:10.1088/1361-6463/abba5d
- Baeva, M.; Methling, R.; Uhrlandt, D.: **Unified modelling of tig microarcs with evaporation from copper anode.** Plasma Phys. Technol. 8 (2021) 1-4. DOI:10.14311/ppt.2021.1.1
- Baeva, M.; Stankov, M.; Trautvetter, T.; Methling, R.; Hempel, F.; Loffhagen, D.; Foest, R.: **The effect of oxygen admixture on the properties of microwave generated plasma in Ar.** J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2021) 355205. DOI:10.1088/1361-6463/ac08cc
- Baeva, M.; Zhu, T.; Kewitz, T.; Testrich, H.; Foest, R.: **Self-Consistent CathodePlasma Coupling and Role of the Fluid Flow Approach in Torch Modeling.** J. Therm. Spray Technol. 30 (2021) 1737-1750. DOI:10.1007/s11666-021-01261-4
- Balazinski, M.; Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; von Woedtke, T.: **Peroxyinitrous Acid Generated In Situ from Acidified H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and NaNO<sub>2</sub>. A Suitable Novel Antimicrobial Agent?.** Antibiotics 10 (2021) 1003. DOI:10.3390/antibiotics10081003
- Barillas, L.; Makhneva, E.; An, S.; Fricke, K.: **Functional Thin Films Synthesized from Liquid Precursors by Combining Mist Chambers and Atmospheric-Pressure Plasma Polymerization.** Coatings 11 (2021) 1336. DOI:10.3390/coatings11111336
- Bekeschus, S.; Clemen, R.; Haralambiev, L.; Niessner, F.; Grabarczyk, P.; Weltmann, K.-D.; Menz, J.; Stope, M.; von Woedtke, T.; Gandhirajan, R.; Schmidt, A.: **The Plasma-Induced Leukemia Cell Death is Dictated by the ROS Chemistry and the HO-1/CXCL8 Axis.** IEEE Trans. Radiat. Plasma Med. Sci. 5 (2021) 398-411. DOI:10.1109/TRPMS.2020.3020686
- Bekeschus, S.: **Combined Toxicity of Gas Plasma Treatment and Nanoparticles Exposure in Melanoma Cells In Vitro.** Nanomaterials 11 (2021) 806. DOI:10.3390/nano11030806
- Bekeschus, S.; Iseni, S.; Lüttjohann, P.; Weltmann, K.-D.: **Tailored Power of an RF Plasma Jet With Admixture of Nitrogen or Oxygen and Its Effects on Human Immune Cells.** IEEE Trans. Plasma Sci. 49 (2021) 3336-3343. DOI:10.1109/TPS.2021.3087199
- Bekeschus, S.; Kramer, A.; Schmidt, A.: **Gas Plasma-Augmented Wound Healing in Animal Models and Veterinary Medicine.** Molecules 26 (2021) 5682. DOI:10.3390/molecules26185682
- Bekeschus, S.; Liebelt, G.; Menz, J.; Berner, J.; Sagwal, S. K.; Wende, K.; Weltmann, K.-D.; Boeckmann, L.; von Woedtke, T.; Metelmann, H.-R.; Emmert, S.; Schmidt, A.: **Tumor cell metabolism correlates with resistance to gas plasma treatment: The evaluation of three dogmas.** Free Radic. Biol. Med. 167 (2021) 12-28. DOI:10.1016/j.freeradbiomed.2021.02.035
- Bekeschus, S.; Meyer, D.; Arlt, K.; von Woedtke, T.; Miebach, L.; Freund, E.; Clemen, R.: **Argon Plasma Exposure Augments Costimulatory Ligands and Cytokine Release in Human Monocyte-Derived Dendritic Cells.** Int. J. Mol. Sci. 22 (2021) 3790. DOI:10.3390/ijms22073790
- Bekeschus, S.; Poschkamp, B.; van der Linde, J.: **Medical gas plasma promotes blood coagulation via platelet activation.** Biomaterials 278 (2021) 120433. DOI:10.1016/j.biomaterials.2020.120433
- Bekeschus, S.; von Woedtke, T.; Emmert, S.; Schmidt, A.: **Medical gas plasma-stimulated wound healing: Evidence and mechanisms.** Redox Biol. 46 (2021) 102116. DOI:10.1016/j.redox.2021.102116
- Bhartiya, P.; Masur, K.; Shome, D.; Kaushik, N.; Nguyen, L. N.; Kaushik, N. K.; Choi, E. H.: **Influence of Redox Stress on Crosstalk between Fibroblasts and Keratinocytes.** Biology 10 (2021) 1338. DOI:10.3390/biology10121338
- Böcker, J.; Dalke, A.; Puth, A.; Schimpf, C.; Röpcke, J.; van Helden, J. H.; Biermann, H.: **Influence of Oxygen Admixture on Plasma Nitrocarburizing Process and Monitoring of an Active Screen Plasma Treatment.** Appl. Sci. 11 (2021) 9918. DOI:10.3390/app11219918
- Brito, W. A. S.; Freund, E.; Nascimento, T. D. H. d.; Pasqual-Melo, G.; Sanches, L. J.; Dionisio, J. H. R.; Fumegali, W. C.; Miebach, L.; Cecchini, A. L.; Bekeschus, S.: **The Anticancer Efficacy of Plasma-Oxidized Saline (POS) in the Ehrlich Ascites Carcinoma Model In Vitro and In Vivo.** Biomedicines 9 (2021) 932. DOI:10.3390/biomedicines9080932
- Brust, H.; Nishime, T. M. C.; Wannicke, N.; Mui, T. S. M.; Horn, S.; Quade, A.; Weltmann, K.-D.: **A medium-scale volume dielectric barrier discharge system for short-term treatment of cereal seeds indicates improved germination performance with long-term effects.** J. Appl. Phys. 129 (2021) 44904. DOI:10.1063/5.0033369

Buxadera-Palomero, J.; Fricke, K.; Reuter, S.; Gil, F. J.; Rodriguez, D.; Canal, C.: **One-Step Liquid Phase Polymerization of HEMA by Atmospheric-Pressure Plasma Discharges for Ti Dental Implants.** Appl. Sci. 11 (2021) 662. DOI:10.3390/app11020662

Clemen, R.; Bekeschus, S.: **ROS Cocktails as an Adjuvant for Personalized Antitumor Vaccination?** Vaccines 9 (2021) 527. DOI:10.3390/vaccines9050527

Clemen, R.; Freund, E.; Mrochen, D.; Miebach, L.; Schmidt, A.; Rauch, B. H.; Lackmann, J.-W.; Martens, U.; Wende, K.; Lalk, M.; Delcea, M.; Bröker, B. M.; Bekeschus, S.: **Gas Plasma Technology Augments Ovalbumin Immunogenicity and OT-II T Cell Activation Conferring Tumor Protection in Mice.** Adv. Sci. 8 (2021) 2003395. DOI:10.1002/advs.202003395

Diesinger, T.; Lautwein, A.; Bergler, S.; Buckert, D.; Renz, C.; Dvorsky, R.; Buko, V.; Kirko, S.; Schneider, E.; Kuchenbauer, F.; Kumar, M.; Günes, C.; Genze, F.; Büchele, B.; Simmet, T.; Haslbeck, M.; Masur, K.; Barth, T.; Müller-Enoch, D.; Wirth, T.; Haehner, T.: **A New CYP2E1 Inhibitor, 12-Imidazolyl-1-dodecanol, Represents a Potential Treatment for Hepatocellular Carcinoma.** Can. J. Gastroenterol. Hepatol. 2021 (2021) 8854432. DOI:10.1155/2021/8854432

Distler, T.; Polley, C.; Shi, F.; Schneidereit, D.; Ashton, M. D.; Friedrich, O.; Kolb, J. F.; Hardy, J. G.; Detsch, R.; Seitz, H.; Boccaccini, A. R.: **Electrically Conductive and 3D-Printable Oxidized Alginate-Gelatin Polypyrrole:PSS Hydrogels for Tissue Engineering.** Adv. Healthc. Mater. 10 (2021) 2001876. DOI:10.1002/adhm.202001876

Ellis, J.; Köpp, D.; Lang, N.; van Helden, J. H.: **Evidence of the dominant production mechanism of ammonia in a hydrogen plasma with parts per million of nitrogen.** Appl. Phys. Lett. 119 (2021) 241601. DOI:10.1063/5.0072534

Emmert, S.; Pantermehl, S.; Foth, A.; Waletzko-Hellwig, J.; Hellwig, G.; Bader, R.; Illner, S.; Grabow, N.; Bekeschus, S.; Weltmann, K.-D.; Jung, O.; Boeckmann, L.: **Combining Biocompatible and Biodegradable Scaffolds and Cold Atmospheric Plasma for Chronic Wound Regeneration.** Int. J. Mol. Sci. 22 (2021) 9199. DOI:10.3390/ijms22179199

Evert, K.; Kocher, T.; Schindler, A.; Müller, M.; Müller, K.; Pink, C.; Holtfreter, B.; Schmidt, A.; Dombrowski, F.; Schubert, A.; von Woedtke, T.; Rupf, S.; Calvisi, D. F.; Bekeschus, S.; Jablonowski, L.: **Repeated exposure of the oral mucosa over 12 months with cold plasma is not carcinogenic in mice.** Sci. Rep. 11 (2021) 20672. DOI:10.1038/s41598-021-99924-3

Farr, N.; Thanarak, J.; Schäfer, J.; Quade, A.; Claeysens, F.; Green, N.; Rodenburg, C.: **Understanding Surface Modifications Induced via Argon Plasma Treatment through Secondary Electron Hyperspectral Imaging.** Adv. Sci. 8 (2021) 2003762. DOI:10.1002/advs.202003762

Farr, N. T. H.; Roman, S.; Schäfer, J.; Quade, A.; Lester, D.; Hearn-den, V.; Macneil, S.; Rodenburg, C.: **A novel characterisation approach to reveal the mechano-chemical effects of oxidation and dynamic distension on polypropylene surgical mesh.** RSC Adv. 11 (2021) 34710-34723. DOI:10.1039/D1RA05944K

Fernandes de Oliveira, L. M.; Steindorff, M.; Darisipudi, M. N.; Mrochen, D. M.; Trübe, P.; Bröker, B. M.; Brönstrup, M.; Tegge, W.; Holtfreter, S.: **Discovery of Staphylococcus aureus Adhesion Inhibitors by Automated Imaging and Their Characterization in a Mouse Model of Persistent Nasal Colonization.** Microorganisms 9 (2021) 631. DOI:10.3390/microorganisms9030631

Frank, A.; Dias, M.; Hieke, S.; Kruth, A.; Scheu, C.: **Spontaneous fluctuations in a plasma ion assisted deposition - correlation between deposition conditions and vanadium oxide thin film growth.** Thin Solid Films 722 (2021) 138574. DOI:10.1016/j.tsf.2021.138574

Freund, E.; Bekeschus, S.: **Gas Plasma-Oxidized Liquids for Cancer Treatment: Preclinical Relevance, Immuno-Oncology, and Clinical Obstacles.** IEEE Trans. Radiat. Plasma Med. Sci. 5 (2021) 761-774. DOI:10.1109/TRPMS.2020.3029982

Freund, E.; Miebach, L.; Clemen, R.; Schmidt, M.; Heidecke, A.; von Woedtke, T.; Weltmann, K.-D.; Kersting, S.; Bekeschus, S.: **Large volume spark discharge and plasma jet-technology for generating plasma-oxidized saline targeting colon cancer in vitro and in vivo.** J. Appl. Phys. 129 (2021) 53301. DOI:10.1063/5.0033406

Freund, E.; Miebach, L.; Stope, M.; Bekeschus, S.: **Hypochlorous acid selectively promotes toxicity and the expression of danger signals in human abdominal cancer cells.** Oncol. Rep. 45 (2021) 71. DOI:10.3892/or.2021.8022

Gandhirajan, R. K.; Endlich, N.; Bekeschus, S.: **Zebrafish larvae as a toxicity model in plasma medicine.** Plasma Process. Polym. 18 (2021) e2000188. DOI:10.1002/ppap.202000188

Gandhirajan, R. K.; Meyer, D.; Sagwal, S. K.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Bekeschus, S.: **The amino acid metabolism is essential for evading physical plasma-induced tumour cell death.** Br. J. Cancer 124 (2021) 1854-1863. DOI:10.1038/s41416-021-01335-8

Gerling, T.; Wilke, C.; Becker, M. M.: **Fast electrical diagnostics and dispersion relation for ion density determination in an atmospheric pressure argon plasma.** J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2021) 85201. DOI:10.1088/1361-6463/abc5e8

- Gomes, R. F. A.; Cavaca, L. A. S.; Goncalves, J. M.; Ramos, R.; Peixoto, A. F.; Arias-Serrano, B. I.; Afonso, C. A. M.: **Silica-Supported Copper for the Preparation of trans-4,5-Diamino-Cyclopent-2-Enones under Continuous Flow Conditions.** ACS Sustain. Chem. Eng. 9 (2021) 16038-16043. DOI:10.1021/acssuschemeng.1c00884
- Goncalves, R. A.; da Silva Barros, H. H.; Araujo, L. S.; Antunes, E. F.; Quade, A.; Teodoro, M. D.; Baldan, M. R.; Berengue, O. M.: **Suppression of vapor-liquid-solid (VLS) mechanism in the growth of a-Sb<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanobelts by a vapor-deposition approach.** Mater. Sci. Semicond. Process 134 (2021) 106006. DOI:10.1016/j.mssp.2021.106006
- Gonzalez, D.; Franke, S.; Gortschakow, S.; Methling, R.; Uhrlandt, D.: **Observed Oscillating Anodic Plasma Plume Phenomena in High Current Vacuum Arcs.** IEEE Trans. Plasma Sci. 49 (2021) 2498-2504. DOI:10.1109/TPS.2021.3077393
- Gortschakow, S.; Franke, S.; Methling, R.; Gonzalez, D.; Uhrlandt, D.; Popov, S.; Batrakov, A.: **Advanced Optical Diagnostics for Characterization of Arc Plasmas.** IEEE Trans. Plasma Sci. 49 (2021) 2505-2515. DOI:10.1109/TPS.2021.3096289
- Graf, A. C.; Striesow, J.; Pane-Farre, J.; Sura, T.; Wurster, M.; Lalk, M.; Pieper, D. H.; Becher, D.; Kahl, B. C.; Riedel, K.: **An Innovative Protocol for Metaproteomic Analyses of Microbial Pathogens in Cystic Fibrosis Sputum.** Front. Cell. Infect. Microbiol. 11 (2021) 809. DOI:10.3389/fcimb.2021.724569
- Gruening, M.; Dawson, J. E.; Voelkner, C.; Neuber, S.; Fricke, K.; van Rienen, U.; Speller, S.; Helm, C. A.; Nebe, J. B.: **Automatic Actin Filament Quantification and Cell Shape Modeling of Osteoblasts on Charged Ti Surfaces.** Appl. Sci. 11 (2021) 5689. DOI:10.3390/app11125689
- Hader, M.; Streit, S.; Rosin, A.; Gerdes, T.; Wadepohl, M.; Bekeschus, S.; Fietkau, R.; Frey, B.; Schlücker, E.; Gekle, S.; Gaipl, U. S.: **In Vitro Examinations of Cell Death Induction and the Immune Phenotype of Cancer Cells Following Radiative-Based Hyperthermia with 915 MHz in Combination with Radiotherapy.** Cells 10 (2021) 1436. DOI:10.3390/cells10061436
- Handorf, O.; Pauker, V. I.; Weihe, T.; Schäfer, J.; Freund, E.; Schnabel, U.; Bekeschus, S.; Riedel, K.; Ehlbeck, J.: **Plasma-Treated Water Affects *Listeria monocytogenes* Vitality and Biofilm Structure.** Front. Microbiol. 12 (2021) 929. DOI:10.3389/fmicb.2021.652481
- Hinzke, T.; Kleiner, M.; Meister, M.; Schlüter, R.; Hentschker, C.; Pan-Farr, J.; Hildebrandt, P.; Felbeck, H.; Sievert, S. M.; Bonn, F.; Völker, U.; Becher, D.; Schweder, T.; Markert, S.: **Bacterial symbiont subpopulations have different roles in a deep-sea symbiosis.** eLife 10 (2021) e58371. DOI:10.7554/eLife.58371
- Hippler, R.; Cada, M.; Ksirova, P.; Olejnicek, J.; Jiricek, P.; Houdkova, J.; Wulff, H.; Kruth, A.; Helm, C.; Hubicka, Z.: **Deposition of cobalt oxide films by reactive pulsed magnetron sputtering.** Surf. Coat. Technol. 405 (2021) 126590. DOI:10.1016/j.surfcoat.2020.126590
- Höft, H.; Kettlitz, M.; Brandenburg, R.: **The role of a dielectric barrier in single-filament discharge over a water surface.** J. Appl. Phys. 129 (2021) 43301. DOI:10.1063/5.0035186
- Hong, Y. J.; Lim, J.; Choi, J. S.; Weltmann, K. D.; Choi, E. H.: **Measurement of nitrogen dioxide and nitric oxide densities by using CEAS (cavity-enhanced absorption spectroscopy) in nonthermal atmospheric pressure air plasma.** Plasma Process. Polym. 18 (2021) 2000168. DOI:10.1002/ppap.202000168
- Ingenbosch, K. N.; Quint, S.; Dyllick-Brenzinger, M.; Wunschik, D. S.; Kiebitz, J.; Süß, P.; Liebelt, U.; Zuhse, R.; Menyes, U.; Scheibner, K.; Mayer, C.; Opwis, K.; Gutmann, J. S.; Hoffmann-Jacobsen, K.: **Singlet-Oxygen Generation by Peroxidases and Peroxygenases for Chemoenzymatic Synthesis.** ChemBioChem 22 (2021) 398-407. DOI:10.1002/cbic.202000326
- Jafarpour, S. M.; Pipa, A. V.; Puth, A.; Dalke, A.; Röpcke, J.; van Helden, J. H.; Biermann, H.: **Effects of Plasma-Chemical Composition on AISI 316L Surface Modification by Active Screen Nitrocarburizing Using Gaseous and Solid Carbon Precursors.** Metals 11 (2021) 1411. DOI:10.3390/met11091411
- Jansky, J.; Bessieres, D.; Brandenburg, R.; Paillol, J.; Hoder, T.: **Electric field development in positive and negative streamers on dielectric surface.** Plasma Sources Sci. Technol. 30 (2021) 105008. DOI:10.1088/1361-6595/ac2043
- Jovanovic, A. P.; Stankov, M. N.; Loffhagen, D.; Becker, M. M.: **Automated Fluid Model Generation and Numerical Analysis of Dielectric Barrier Discharges Using Comsol.** IEEE Trans. Plasma Sci. 49 (2021) 3710-3718. DOI:10.1109/TPS.2021.3120507
- Kalanov, D.; Kozakov, R.; Gortschakow, S.: **Spatially resolved LAAS diagnostics of a free-burning arc: Analysis of line broadening.** J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf. 265 (2021) 107564. DOI:10.1016/j.jqsrt.2021.107564
- Kewitz, T.; Regula, C.; Fröhlich, M.; Ihde, J.; Kersten, H.: **Influence of the nozzle head geometry on the energy flux of an atmospheric pressure plasma jet.** EPJ Techn. Instrument. 8 (2021) 1. DOI:10.1140/epjti/s40485-020-00061-4
- Khabipov, A.; Freund, E.; Liedtke, K. R.; Käding, A.; Riese, J.; Van der linde, J.; Kersting, S.; Partecke, L.-I.; Bekeschus, S.: **Murine Macrophages Modulate Their Inflammatory Profile in Response to Gas Plasma-Inactivated Pancreatic Cancer Cells.** Cancers 13 (2021) 2525. DOI:10.3390/cancers13112525

Ki, S. H.; Masur, K.; Baik, K. Y.; Choi, E. H.: **UV Absorption Spectroscopy for the Diffusion of Plasma-Generated Reactive Species through a Skin Model.** Appl. Sci. 11 (2021) 7958. DOI:10.3390/app11177958

Klose, S.-J.; Bansemer, R.; Brandenburg, R.; van Helden, J. H.: **Ar metastable densities (3P2) in the effluent of a filamentary atmospheric pressure plasma jet with humidified feed gas.** J. Appl. Phys. 129 (2021) 63304. DOI:10.1063/5.0037695

Koppe, C.; Hoene, A.; Walschus, U.; Finke, B.; Testrich, H.; Pohl, C.; Brandt, N.; Patrzyk, M.; Meichsner, J.; Nebe, B.; Schlosser, M.: **Local Inflammatory Response after Intramuscularly Implantation of Anti-Adhesive Plasma-Fluorocarbon-Polymer Coated Ti6Al4V Discs in Rats.** Polymers 13 (2021) 2684. DOI:10.3390/polym13162684

Kordt, M.; Trautmann, I.; Schlie, C.; Lindner, T.; Stenzel, J.; Schildt, A.; Boeckmann, L.; Bekeschus, S.; Kurth, J.; Krause, B. J.; Vollmar, B.; Grambow, E.: **Multimodal Imaging Techniques to Evaluate the Anticancer Effect of Cold Atmospheric Pressure Plasma.** Cancers 13 (2021) 2483. DOI:10.3390/cancers13102483

Kusyn, L.; Synek, P.; Becker, M. M.; Hoder, T.: **Remote streamer initiation on dielectric surface.** Plasma Sources Sci. Technol. 30 (2021) 03LT02. DOI:10.1088/1361-6595/abe4e2

Lässig, F.; Klann, A.; Bekeschus, S.; Lendeckel, U.; Wolke, C.: **Expression of canonical transient receptor potential channels in U-2 OS and MNNG-HOS osteosarcoma cell lines.** Oncol. Lett. 21 (2021) 307. DOI:10.3892/ol.2021.12568

Leite, L. D. P.; Oliveira, M. A. C.; Vegian, M. R. C.; Sampaio, A. G.; Nishime, T. M. C.; Kostov, K. G.; Koga-Ito, C. Y.: **Effect of Cold Atmospheric Plasma Jet Associated to Polyene Antifungals on Candida albicans Biofilms.** Molecules 26 (2021) 5815. DOI:10.3390/molecules26195815

Liedtke, K. R.; Käding, C.; Döring, P.; Bekeschus, S.; Glitsch, A. S.: **A case of giant retroperitoneal lymphangioma and IgG4-positive fibrosis: Causality or coincidence?** SAGE Open Med. Case Rep. 9 (2021) 1. DOI:10.1177/2050313X211016993

Li, H.; Liebscher, M.; Michel, A.; Quade, A.; Foest, R.; Mechtcherine, V.: **Oxygen plasma modification of carbon fiber rovings for enhanced interaction toward mineral-based impregnation materials and concrete matrices.** Constr. Build. Mater. 273 (2021) 121950. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.121950

Lima, G. M. G.; Borges, A. C.; Nishime, T. M. C.; Santana-Melo, G. F.; Kostov, K. G.; Mayer, M. P. A.; Koga-Ito, C. Y.: **Cold Atmospheric Plasma Jet as a Possible Adjuvant Therapy for Periodontal Disease.** Molecules 26 (2021) 5590. DOI:10.3390/molecules26185590

Lindner, M.; Pipa, A. V.; Karpen, N.; Hink, R.; Berndt, D.; Foest, R.; Bonaccorso, E.; Weichwald, R.; Friedberger, A.; Caspari, R.; Brandenburg, R.; Schreiner, R.: **Icing Mitigation by MEMS-Fabricated Surface Dielectric Barrier Discharge.** Appl. Sci. 11 (2021) 11106. DOI:10.3390/app112311106

Loffhagen, D.; Becker, M. M.; Czerny, A. K.; Klages, C.-P.: **Modeling of Atmospheric-Pressure Dielectric Barrier Discharges in Argon with Small Admixtures of Tetramethylsilane.** Plasma Chem. Plasma Process. 41 (2021) 289-334. DOI:10.1007/s11090-020-10121-y

Mahdikia, H.; Saadati, F.; Freund, E.; Gaip, U. S.; Majidzadeh-a, K.; Shokri, B.; Bekeschus, S.: **Gas plasma irradiation of breast cancers promotes immunogenicity, tumor reduction, and an abscopal effect in vivo.** Oncoimmunology 10 (2021) 1859731. DOI:10.1080/2162402X.2020.1859731

Miebach, L.; Freund, E.; Horn, S.; Niessner, F.; Sagwal, S. K.; von Woedtk, T.; Emmert, S.; Weltmann, K.-D.; Clemen, R.; Schmidt, A.; Gerling, T.; Bekeschus, S.: **Tumor cytotoxicity and immunogenicity of a novel V-jet neon plasma source compared to the kINPen.** Sci. Rep. 11 (2021) 136. DOI:10.1038/s41598-020-80512-w

Mikolasch, A.; Berzhanova, R.; Omirbekova, A.; Reinhard, A.; Zühlke, D.; Meister, M.; Mukasheva, T.; Riedel, K.; Urich, T.; Schauer, F.: **Moniliella spathulata, an oil-degrading yeast, which promotes growth of barley in oil-polluted soil.** Appl. Microbiol. Biotechnol. 105 (2021) 401-415. DOI:10.1007/s00253-020-11011-1

Mikolasch, A.; Hahn, V.: **Laccase-Catalyzed Derivatization of Antibiotics with Sulfonamide or Sulfone Structures.** Microorganisms 9 (2021) 2199. DOI:10.3390/microorganisms9112199

Mohamed, H.; Clemen, R.; Freund, E.; Lackmann, J.-W.; Wende, K.; Connors, J.; Haddad, E. K.; Dampier, W.; Wigdahl, B.; Miller, V.; Bekeschus, S.; Krebs, F. C.: **Non-thermal plasma modulates cellular markers associated with immunogenicity in a model of latent HIV-1 infection.** PLoS One 16 (2021) e0247125. DOI:10.1371/journal.pone.0247125

Moritz, M.; Wiacek, C.; Weihe, T.; Ehlbeck, J.; Weltmann, K.-D.; Braun, P. G.: **Effect of cold atmospheric pressure plasma treatment of eggshells on the total bacterial count and isolated Salmonella Enteritidis and selected quality parameters.** Plasma Process. Polym. 18 (2021) 2000061. DOI:10.1002/ppap.202000061

Mrochen, D. M.; Trübe, P.; Jorde, I.; Domanska, G.; van den Brandt, C.; Bröker, B. M.: **Immune Polarization Potential of the S. aureus Virulence Factors SplB and GlpQ and Modulation by Adjuvants.** Front. Immunol. 12 (2021) 1301. DOI:10.3389/fimmu.2021.642802



- Much, C. D.; Sendtner, B. S.; Schwefel, K.; Freund, E.; Beke-schus, S.; Otto, O.; Pagenstecher, A.; Felbor, U.; Rath, M.; Spieg-ler, S.: **Inactivation of Cerebral Cavernous Malformation Genes Results in Accumulation of von Willebrand Factor and Redistribution of Weibel-Palade Bodies in Endo-thelial Cells.** *Front. Mol. Biosci.* 8 (2021) 640. DOI:10.3389/fmolb.2021.622547
- Nasri, Z.; Bruno, G.; Bekeschus, S.; Weltmann, K.-D.; von Wo-edtke, T.; Wende, K.: **Development of an electrochemical sensor for in-situ monitoring of reactive species produced by cold physical plasma.** *Sens. Actuators B Chem.* 326 (2021) 129007. DOI:10.1016/j.snb.2020.129007
- Nasri, Z.; Memari, S.; Wenske, S.; Clemen, R.; Martens, U.; Delcea, M.; Bekeschus, S.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Wende, K.: **Singlet-Oxygen-Induced Phospholipase A2 In-hibition: A Major Role for Interfacial Tryptophan Dioxi-dation.** *Chem.-Eur. J.* 27 (2021) 14702-14710. DOI:10.1002/chem.202102306
- Natoli, A.; Arias-Serrano, B. I.; Rodriguez-Castellon, E.; Zurawska, A.; Frade, J. R.; Yaremchenko, A. A.: **Mixed Ionic-Electronic Conductivity, Redox Behavior and Thermochemical Ex-pansion of Mn-Substituted 5YSZ as an Interlayer Materi-al for Reversible Solid Oxide Cells.** *Materials* 14 (2021) 641. DOI:10.3390/ma14030641
- Oliveira, M. A. C.; Lima, G. M. G.; Nishime, T. M. C.; Gontijo, A. V. L.; Menezes, B. R. C.; Caliani, M. V.; Kostov, K. G.; Koga-lto, C. Y.: **Inhibitory Effect of Cold Atmospheric Plasma on Chronic Wound-Related Multispecies Biofilms.** *Appl. Sci.* 11 (2021) 5441. DOI:10.3390/app11125441
- Pikalev, A.; Semenov, I.; Pustynnik, M.; R  th, C.; Thomas, H.: **Dim and bright void regimes in capacitively-coupled RF com-plex plasmas.** *Plasma Sources Sci. Technol.* 30 (2021) 35014. DOI:10.1088/1361-6595/abe0a2
- Pustynnik, M. Y.; Pikalev, A. A.; Zobnin, A. V.; Semenov, I. L.; Thomas, H. M.; Petrov, O. F.: **Physical aspects of dust-plas-ma interactions.** *Contrib. Plasma Phys.* 61 (2021) e202100126. DOI:10.1002/ctpp.202100126
- Rasouli, M.; Fallah, N.; Bekeschus, S.: **Combining Nano-technology and Gas Plasma as an Emerging Platform for Cancer Therapy: Mechanism and Therapeutic Im-plication.** *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2021 (2021) 2990326. DOI:10.1155/2021/2990326
- Ravandeh, M.; Coliva, G.; Kahlert, H.; Azinfar, A.; Helm, C. A.; Fedorova, M.; Wende, K.: **Protective Role of Sphingomye-lin in Eye Lens Cell Membrane Model against Oxidative Stress.** *Biomolecules* 11 (2021) 276. DOI:10.3390/biom11020276
- Riaz, A.; Witte, K.; Bodnar, W.; Hantusch, M.; Schell, N.; Springer, A.; Burkel, E.: **Structural changes and pseudo-piezoelectric behaviour of field assisted sintered calcium titanate.** *Mate-rialia* 15 (2021) 100998. DOI:10.1016/j.mtla.2021.100998
- Riaz, A.; Witte, K.; Bodnar, W.; Seitz, H.; Schell, N.; Springer, A.; Burkel, E.: **Tunable Pseudo-Piezoelectric Effect in Doped Calcium Titanate for Bone Tissue Engineering.** *Materials* 14 (2021) 1495. DOI:10.3390/ma14061495
- Saadati, F.; Moritz, J.; Berner, J.; Freund, E.; Miebach, L.; Helfrich, I.; Stoffels, I.; Emmert, S.; Bekeschus, S.: **Patient-Derived Hu-man Basal and Cutaneous Squamous Cell Carcinoma Tis-sues Display Apoptosis and Immunomodulation Following Gas Plasma Exposure with a Certified Argon Jet.** *Int. J. Mol. Sci.* 22 (2021) 11446. DOI:10.3390/ijms222111446
- Sadiek, I.; Friedrichs, G.; Sakai, Y.: **Ab Initio and RRKM/Master Equation Analysis of the Photolysis and Thermal Unimole-cular Decomposition of Bromoacetaldehyde.** *J. Phys. Chem. A* 125 (2021) 8282-8293. DOI:10.1021/acs.jpca.1c04347
- Sagwal, S. K.; Bekeschus, S.: **ROS Pleiotropy in Melanoma and Local Therapy with Physical Modalities.** *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2021 (2021) 6816214. DOI:10.1155/2021/6816214
- Savastenko, N. A.; Shcherbovich, A. A.; Miadzvetski, A. V.; Plak-hodzka, V. R.; Br  ser, V.; Maskevich, S. A.: **Plasma-assisted synthesis of polymer-capped dye-sensitized TiO  -based photocatalysts for methyl orange and caffeine photo-degradation.** *High Temp. Mater. Process.* 25 (2021) 59-74. DOI:10.1615/HighTempMatProc.2021041325
- Sch  fer, M.; Semmler, M. L.; Bernhardt, T.; Fischer, T.; Kakkassery, V.; Ramer, R.; Hein, M.; Bekeschus, S.; Langer, P.; Hinz, B.; Em-mert, S.; Boeckmann, L.: **Small Molecules in the Treatment of Squamous Cell Carcinomas: Focus on Indirubins.** *Cancers* 13 (2021) 1770. DOI:10.3390/cancers13081770
- Schmidt, A.; Liebelt, G.; Nie  ner, F.; von Woedtke, T.; Bekeschus, S.: **Gas plasma-spurred wound healing is accompanied by regulation of focal adhesion, matrix remodeling, and tis-sue oxygenation.** *Redox Biol.* 38 (2021) 101809. DOI:10.1016/j.redox.2020.101809
- Schmidt, A.; Nie  ner, F.; von Woedtke, T.; Bekeschus, S.: **Hyper-spectral Imaging of Wounds Reveals Augmented Tissue Oxygenation Following Cold Physical Plasma Treatment in Vivo.** *IEEE Trans. Radiat. Plasma Med. Sci.* 5 (2021) 412-419. DOI:10.1109/TRPMS.2020.3009913
- Schmidt, M.; Kettlitz, M.; Kolb, J. F.: **How activated carbon im-proves the performance of non-thermal plasma removing methyl ethyl ketone from a gas stream.** *J. Clean. Prod.* 4 (2021) 100234. DOI:10.1016/j.det.2021.100234

Schnabel, U.; Balazinski, M.; Wagner, R.; Stachowiak, J.; Boehm, D.; Andrasch, M.; Bourke, P.; Ehlbeck, J.: **Optimizing the application of plasma functionalised water (PFW) for microbial safety in fresh-cut endive processing.** *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 72 (2021) 102745. DOI:10.1016/j.ifset.2021.102745

Schnabel, U.; Handorf, O.; Stachowiak, J.; Boehm, D.; Weit, C.; Weihe, T.; Schäfer, J.; Below, H.; Bourke, P.; Ehlbeck, J.: **Plasma-Functionalized Water: from Bench to Prototype for Fresh-Cut Lettuce.** *Food Eng. Rev.* 13 (2021) 115-135. DOI:10.1007/s12393-020-09238-9

Schnabel, U.; Handorf, O.; Winter, H.; Weihe, T.; Weit, C.; Schäfer, J.; Stachowiak, J.; Boehm, D.; Below, H.; Bourke, P.; Ehlbeck, J.: **The Effect of Plasma Treated Water Unit Processes on the Food Quality Characteristics of Fresh-Cut Endive.** *Front. Nutr.* 7 (2021) 382. DOI:10.3389/fnut.2020.627483

Schütz, C. S.; Stope, M. B.; Bekeschus, S.: **H<sub>2</sub>A.X Phosphorylation in Oxidative Stress and Risk Assessment in Plasma Medicine.** *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2021 (2021) 2060986. DOI:10.1155/2021/2060986

Seebauer, C.; Freund, E.; Hasse, S.; Miller, V.; Segebarth, M.; Lucas, C.; Kindler, S.; Dieke, T.; Metelmann, H.-R.; Daeschlein, G.; Jesse, K.; Weltmann, K.-D.; Bekeschus, S.: **Effects of cold physical plasma on oral lichen planus: An in vitro study (Effects of CAP on OLP).** *Oral Dis.* 27 (2021) 1728-1737. DOI:10.1111/odi.13697

Sezemsy, P.; Burnat, D.; Kratochvil, J.; Wulff, H.; Kruth, A.; Lechowicz, K.; Janik, M.; Bogdanowicz, R.; Cada, M.; Hubicka, Z.; Niedzialkowski, P.; Bialobrzaska, W.; Stranak, V.; Smietana, M.: **Tailoring properties of indium tin oxide thin films for their work in both electrochemical and optical label-free sensing systems.** *Sens. Actuators B Chem.* 343 (2021) 130173. DOI:10.1016/j.snb.2021.130173

Sgonina, K.; Bruno, G.; Wyprich, S.; Wende, K.; Benedikt, J.: **Reactions of plasma-generated atomic oxygen at the surface of aqueous phenol solution: Experimental and modeling study.** *J. Appl. Phys.* 130 (2021) 43303. DOI:10.1063/5.0049809

Sievers, G.W.; Jensen, A.W.; Quinson, J.; Zana, A.; Bizzotto, F.; Oezaslan, M.; Dworzak, A.; Kirkensgaard, J.J.K.; Smitshuysen, T.E.L.; Kadkhodazadeh, S.; Juelsholt, M.; Jensen, K.M.; Anklam, K.; Wan, H.; Schäfer, J.; Cepe, K.; Escudero-Escribano, M.; et al.: **Self-supported PtCoO networks combining high specific activity with high surface area for oxygen reduction.** *Nat. Mater.* 20 (2021) 208-213. DOI:10.1038/s41563-020-0775-8

Simon, M.; Mokrov, O.; Sharma, R.; Reisgen, U.; Zhang, G.; Gött, G.; Uhrlandt, D.: **Validation of evaporation-determined model of arc-cathode coupling in the peak current phase in pulsed GMA welding.** *J. Phys. D: Appl. Phys.* 55 (2021) 105204. DOI:10.1088/1361-6463/ac3daa

Sommer, M.-C.; Balazinski, M.; Rataj, R.; Wenske, S.; Kolb, J. F.; Zocher, K.: **Assessment of Phycocyanin Extraction from *Cyanidium caldarium* by Spark Discharges, Compared to Freeze-Thaw Cycles, Sonication, and Pulsed Electric Fields.** *Microorganisms* 9 (2021) 1452. DOI:10.3390/microorganisms9071452

Sremacki, I.; Bruno, G.; Jablonowski, H.; Leys, C.; Nikiforov, A.; Wende, K.: **Influence of aerosol injection on the liquid chemistry induced by an RF argon plasma jet.** *Plasma Sources Sci. Technol.* 30 (2021) 95018. DOI:10.1088/1361-6595/abe176

Tanaka, H.; Bekeschus, S.; Yan, D.; Hori, M.; Keidar, M.; Laroussi, M.: **Plasma-Treated Solutions (PTS) in Cancer Therapy.** *Cancers* 13 (2021) 1737. DOI:10.3390/cancers13071737

Tyl, C.; Martin, S.; Combettes, C.; Brillat, G.; Bley, V.; Belinger, A.; Dap, S.; Brandenburg, R.; Naud, N.: **New local electrical diagnostic tool for dielectric barrier discharge (DBD).** *Rev. Sci. Instrum.* 92 (2021) 53552. DOI:10.1063/5.0045654

Über, C.; Franke, S.; Hilbert, M.; Uhrlandt, D.; Lienesch, F.: **Untersuchung des Übergangs von elektrischen Kontaktöffnungsentladungen zur Flammfront eines H<sub>2</sub>-Luft-Gemisches.** *tm-Tech. Mess.* 88 (2021) 633-639. DOI:10.1515/teme-2021-0040

Valin, S.; Golubovskii, Y.; Gortschakow, S.; Sigeneger, F.: **Influence of radiation transport on discharge characteristics of an atmospheric pressure plasma jet in argon.** *Plasma Sources Sci. Technol.* 30 (2021) 125003. DOI:10.1088/1361-6595/ac3591

Voss, M.; Asmala, E.; Bartl, I.; Carstensen, J.; Conley, D. J.; Dippner, J. W.; Humborg, C.; Lukkari, K.; Petkuvienė, J.; Reader, H.; Stedmon, C.; Vybernaite-Lubienė, I.; Wannicke, N.; Zilius, M.: **Origin and fate of dissolved organic matter in four shallow Baltic Sea estuaries.** *Biogeochemistry* 154 (2021) 385-403. DOI:10.1007/s10533-020-00703-5

Wallis, J.; Ricote, S.; Weltmann, K.-D.; Burkel, E.; Kruth, A.: **The influence of the sintering temperature on BaZr<sub>0.7</sub>Ce<sub>0.2</sub>Y<sub>0.1</sub>O<sub>3-d</sub> proton conductors prepared by Spark Plasma Sintering.** *Ceram. Int.* 47 (2021) 15349-15356. DOI:10.1016/j.ceramint.2021.02.100

Wannicke, N.; Herrmann, A.; Gehringer, M. M.: **Atmospheric CO<sub>2</sub> availability induces varying responses in net photosynthesis, toxin production and N<sub>2</sub> fixation rates in heterocystous filamentous Cyanobacteria (*Nostoc* and *Nodularia*).** *Aquat. Sci.* 83 (2021) 33. DOI:10.1007/s00027-021-00788-6

Wannicke, N.; Wagner, R.; Stachowiak, J.; Nishime, T. M. C.; Ehlbeck, J.; Weltmann, K.-D.; Brust, H.: **Efficiency of plasma-processed air for biological decontamination of crop seeds on the premise of unimpaired seed germination.** Plasma Process. Polym. 18 (2021) 2000207. DOI:10.1002/ppap.202000207

Weihe, T.; Schnabel, U.; Winter, H.; Möller, T.; Stachowiak, J.; Neumann, S.; Schlüter, O.; Ehlbeck, J.: **Reduce and refine: Plasma treated water vs conventional disinfectants for conveyor-belt cleaning in sustainable food-production lines.** J. Appl. Phys. 129 (2021) 223304. DOI:10.1063/5.0047112

Wei, W.; Shi, F.; Kolb, J. F.: **Impedimetric Analysis of Trabecular Bone Based on Cole and Linear Discriminant Analysis.** Front. Phys. 8 (2021) 662. DOI:10.3389/fphy.2020.576191

Wei, W.; Shi, F.; Zhuang, J.; Kolb, J. F.: **Comprehensive characterization of osseous tissues from impedance measurements by effective medium approximation.** AIP Adv. 11 (2021) 105316. DOI:10.1063/5.0070182

Wenske, S.; Lackmann, J.-W.; Busch, L. M.; Bekeschus, S.; von Woedtke, T.; Wende, K.: **Reactive species driven oxidative modifications of peptides Tracing physical plasma liquid chemistry.** J. Appl. Phys. 129 (2021) 193305. DOI:10.1063/5.0046685

Wickmann, C.; Benz, C.; Heyer, H.; Witte-Bodnar, K.; Schäfer, J.; Sander, M.: **Internal Crack Initiation and Growth Starting from Artificially Generated Defects in Additively Manufactured Ti6Al4V Specimen in the VHCF Regime.** Materials 14 (2021) 5315. DOI:10.3390/ma14185315

Wilm, T. P.; Tanton, H.; Mutter, F.; Foisor, V.; Middlehurst, B.; Ward, K.; Benamer, T.; Hastie, N.; Wilm, B.: **Restricted differentiative capacity of Wt1-expressing peritoneal mesothelium in postnatal and adult mice.** Sci. Rep. 11 (2021) 15940. DOI:10.1038/s41598-021-95380-1

Yang, Z.; Wang, L.; Gortschakow, S.: **Numerical simulation and experimental investigation of transient anode surface temperature in vacuum arc.** J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2021) 505201. DOI:10.1088/1361-6463/ac25b0

Zhang, L.; Shi, F.; Guo, J.; Wang, Q.; Kolb, J. F.; Wang, W.; Wu, X.; Zhuang, J.: **Impedimetric characterization of normal and cancer cell responses after nano-pulse stimulation.** J. Phys. D: Appl. Phys. 54 (2021) 185401. DOI:10.1088/1361-6463/abdd69

Zocher, K.; Gros, P.; Werneburg, M.; Brüser, V.; Kolb, J. F.; Leinweber, P.: **Degradation of glyphosate in water by the application of surface corona discharges.** Water Sci. Technol. 84 (2021) 1293-1301. DOI:10.2166/wst.2021.320

## EINGELADENE VORTRÄGE 2020

1. Baeva, M.: **Arcs of short length between copper electrodes - challenges in their modelling and diagnostics.** 7th Plasma Science Entrepreneurship Workshop, Virtual Event/Internet 2020

2. van Helden, J.H.: **Comprehensive quantitative plasma diagnostic using a mid-infrared frequency comb to analyse industrial plasma processes.** 47th Intern. Conf. on Plasma Science (ICOPS), Virtual Event/Internet 2020

3. Wende, K.: **Data reprocessing in omics-driven approaches in plasma medicine.** 73rd GEC, Virtual Event/Internet 2020

4. Makhneva, E.; Barillas, L.; Farka, Z.; Pastucha, M.; Skldal, P.; Weltmann, K.-D.; Fricke, K.: **Fabrication of biosensing coatings with tailored functionality by using atmospheric-pressure plasma polymerization.** 7th Intern. Congr. on Energy Fluxes and Radiation Effects, Virtual Event/Internet 2020

5. Baeva, M.: **Modelling of atmospheric-pressure direct-current arcs.** Int. Conf. Phys. Low Temp. Plasma (PLTP), Virtual Event/Internet 2020

6. Gortschakow, S.; Franke, St.; Gonzalez, D.; Methling, R.; Uhrlandt, D.; Batrakov, A.; Popov, S.: **Optical diagnostics of vacuum arc discharges for switching applications.** 7th Intern. Congr. on Energy Fluxes and Radiation Effects, Virtual Event/Internet 2020

7. Weltmann, K.-D.: **Physical Applications in Life Science.** Int. Symp. Phys. Ion. Gases (SPIG2020), Virtual Event/Internet 2020

8. Gortschakow, S.: **Properties of Vacuum Arcs Generated by Switching RMF Contacts at Different Ignition Positions.** 7th ITG Intern. Vacuum Electronics Workshop (IVEW) Virtual Meeting/Internet 2020

## EINGELADENE VORTRÄGE 2021

1. Baeva, M.: **An overview of the theoretical description and modelling of low-current arcs at small gap distances.** DPG-Tagung Sektion SMuk, Virtual Event/Internet 2021

2. Höft, H.; Becker, M.; Kolb, J.; Huiskamp, T.: **Breakdown and development of sub-ns pulsed sparks in short gaps.** IEEE Pulsed Power and Plasma Science Conference, Virtual Event/Internet 2021

3. Bekeschus, S.: **Challenges and opportunities of gas plasma technology in oncology and immunology.** Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021

4. von Woedtke, T.: **Cold atmospheric pressure plasma for wound healing: state-of-the-art and perspectives (keynote lecture).** Plasma Processing and Technology Int. Conf., Virtual Event/Internet 2021

5. Bekeschus, S.: **Cold plasma technology for targeting cancer - role of redox and immunity.** 4th Int. Symp. of Experimental Pathology, Virtual Event/Internet 2021

6. Kolb, J. F.; Zocher, K.; Schneider, M.; Gros, P.; Rataj, R.; Hahn, V.; Schulz, T.; Schmidt, M.; Honnorat, B.; Brüser, V.; Leinweber, P.; Weltmann, K.-D.: **Degradation of Residual Agrochemicals by Non-thermal Plasma.** 3rd Intern. Workshop on Plasma Agriculture (IWOPA), Virtual Event/Internet 2021

7. Brandenburg, R.; Kolb, J.; Weltmann, K.-D.: **Future in Plasma Science: Environment and Gas Conversion.** 38. ak-adp Workshop, Virtual Event/Internet 2021

8. Masur, K.: **Influence of Cold Atmospheric Pressure Plasma on Wound Healing.** 9th Intern. Symp. on Functional Materials, Virtual Event/Internet 2021

9. van Helden, J.H.: **Infrared laser spectroscopy to characterize low and atmospheric pressure plasmas.** 48th Intern. Conf. on Plasma Science (ICOPS), Virtual Event/Internet 2021

10. Miebach, L.; Sliker, B.H.; Mohamed, H.; Nießner, F.; Snook, A.E.; Bowne, W.B.; Miller, V.; Bekeschus S.; Campbell, P.M.: **Non-thermal plasma initiates immune cell activation and response in models of pancreatic adenocarcinoma.** 7th Intern. Workshop on Plasma for Cancer Treatment (IWPCT), Virtual Event/Internet 2021

11. von Woedtke, T., Kolb, J.: **Physical Plasma: Innovative Concepts for Hygiene.** 3rd InnoPIP Network Meeting, Virtual Event/Internet 2021

12. Brust, H.; Wannicke, N.; Nishime, T.; Wagner, R.; Bousselmi, S.; Bretschneider, E. S.; Werner, J.; Horn, S.; Ehlbeck, J.; Timm, M.; Bendt, H.; Kolb, J. F.; von Woedtke, T.; Weltmann, K.-D.: **Plasma derived nitrogen species: Fertilizers or signaling factors in plant growth and development?** 3rd Intern. Workshop on Plasma Agriculture (IWOPA), Virtual Event/Internet 2021

13. van Helden, J.H.: **Recent progress in infrared laser spectroscopy to characterize low and atmospheric pressure plasmas.** 74th GEC, Virtual Event/Internet 2021

14. Bekeschus, S.; Menz, J.; Freund, E.; Wende, K.; von Woedtke, T.; Schmidt, A.: **The surface marker and gene expression signature linked to plasma-induced toxicity in cancer cells - a comprehensive screening.** 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021

15. von Woedtke, T.; Metelmann, H.-R.; Emmert, S.; Weltmann, K.-D.: **Wound treatment by cold atmospheric plasma: state of evidence.** 13th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Virtual Event/Internet 2021

16. Wende, K.; Nasri, Z.; Clemen, R.; Weltmann, K.D.; von Woedtke, T.; Bekeschus, S.: **Zur Rolle der Plasmachemie in der medizinischen Anwendung.** 7. Workshop Plasmamedizin des AK-ADP, Magdeburg/Deutschland 2021

## VORTRÄGE 2020

1. Masur, K.: **Cold Atmospheric Plasma (CAP) for biological and medical applications.** 30th European Wound Management Association Conf., Virtual Event/Internet 2020

2. von Woedtke, T.; Weltmann, K.D.: **Cold plasma for medical application.** Special PSE Conference, Erfurt/Germany 2020

3. Zhang, G.; Uhrlandt, D.; Gött, G.: **Comparison of fall voltages in GMAW with different shielding gases.** 73th IIW Annual Assembly and International Conference, Virtual Event/Internet 2020

4. Kolb, J.: **Degradation of a cyanobacterial toxin by non-thermal plasmas.** Natural Toxins: Environmental Fate and Safe Water Supply, Virtual Event/Internet 2020 .

5. Ravandeh, M.: **Effect of reactive species generated by cold physical plasma on biomimetic membranes.** Baltic Redox Workshop, Virtual Event/Internet 2020

6. Gortschakow, S.; Kozakov, R.; Pieterse, P.; Uhrlandt, D.; Hilbert, M. ; Kurrat, M. : **Electro-Optical Diagnostics of Single Partial Discharges.** Intern. Conf. on Dielectrics (ICD), Virtual Event/Internet 2020

7. Kolb, J.: **Functionalization of 3D printed, piezoelectric barium titanate-hydroxyapatite composite scaffolds with bioactive glass.** ELAINE 2020, Virtual Event/Internet 2020

8. Bruno, G.: **Gas plasmas as source of reactive species: cysteine as molecular beacon.** 22nd Paris Redox Conference, Virtual Event/Internet 2020



9. Bekeschus, S.; Menz, J.; Freund, E.; Wende, K.; Schmidt, A.: **Gene expression signatures associated with the sensitivity to oxidant-induced cell death in 30 cancer cell lines.** Baltic Redox Workshop, Virtual Event/Internet 2020
  10. Gonzalez, D.; Franke, St.; Khakpour, A.; Methling, R.; Gortschakow, S.; Uhrlandt, D.: **High-Speed Video Spectroscopy in a Vacuum Arc during High-Current Anode Modes.** 6th ITG Int. Vacuum Electronics Workshop, Bad Honnef/Germany 2018
  11. Masur, K.: **Kaltplasma (CAP) für biomedizinische Anwendungen.** 3. Nürnberger Wundkongress, Virtual Event/Internet 2020
  12. Wenske, S.: **Oxidative PTMs in peptides and proteins Identification strategies and physiological implications.** Baltic Redox Workshop, Virtual Event/Internet 2020
  13. Wenske, S.: **Oxidative PTMs in peptides Understanding the physiological consequences of physical plasma.** 19th Human Proteome Organization World Congress, Virtual Event/Internet 2020
  14. Bruno, G.: **Physical plasmas as source of reactive species: cysteine as molecular beacon.** Baltic Redox Workshop, Virtual Event/Internet 2020
  15. Schnabel, U.; Stachowiak, J.; Bourke, P.; Ehlbeck, J.: **Plasma treated water: From bench to prototype for fresh food safety.** 34th EFFoST Int. Conf., Virtual Event/Internet 2020
  16. Schnabel, U.; Stachowiak, J.; Bourke, P.; Ehlbeck, J.: **Plasma treated water: From bench to prototype for fresh food safety.** 6th Joint Conference of the DGHM VAAM, Leipzig/Germany 2020
  17. Schmidt-Bleker, A.: **Sporizides in situ Desinfektionsverfahren auf Basis kurzlebiger Wirkstoffe.** Aseptikon, Virtual Event/Internet 2020
  18. Kewitz, T.: **Study of the local segregation of multi-component powders during a plasma spray process..** 47th Intern. Conf. on Plasma Science (ICOPS), Virtual Event/Internet 2020
  19. Kewitz, T.; Testrich, H.; Quade, A.; Fricke, K.; Fröhlich, M.; Foest, R.; Weltmann, K.-D.: **Study of the local segregation of multi-component powders during a plasma spray process for biological applications.** Special PSE Conference, Erfurt/Germany 2020
  20. Nasri, Z.: **The impact of reactive species on the barrier properties of asymmetric lipid bilayer models.** Baltic Redox Workshop, Virtual Event/Internet 2020
  21. Sadiek, I.; Hjalten, A.; Foltynowicz, A.: **Towards a Transferable Standard for Nitrous Oxide Isotopomer Ratio.** Conference on Lasers and Electro-Optics, Virtual Event/Internet 2020
  22. Striesow, J.: **Tracing lipid oxidation by exogenous small reactive species.** 8th European Lipidomics Meeting, Virtual Event/Internet 2020
  23. Striesow, J.: **Tracing lipid oxidation by exogenous small reactive species.** Baltic Redox Workshop, Virtual Event/Internet 2020
- ## VORTRÄGE 2021
1. Berner, J.; Seebauer C.; Metelmann, H.-R.; Bekeschus, S.: **Adaptive Responses of Head and Neck Cancer Cells upon Repeated Exposure to Gas Plasma over Ten Weeks In Vitro.** Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021
  2. Gelbrich, N.; Burchardt, M.; Zimmermann, U.; Stope, M.; Bekeschus, S.: **Antineoplastische Effekte von kaltem atmosphärischen Plasma in der Uroonkologie: Neue Behandlungsmöglichkeiten für Harnblasenkrebs.** 15. Nordkongress Urologie, Oldenburg/Deutschland, 2021
  3. Weihe, T.; Schnepel, K.; Gründlich, B.; Schnabel, U.; Stachowiak, J.; Ehlbeck, J.: **A plasma-based process for the decontamination of cold-smoked salmon.** Alternative Food Processing Technologies - Science meets Industry (EFCE event), Virtual Event/Internet 2021
  4. Wei, W.; Kolb, J. F.: **Application of Deep Learning (DL) in EIS-based Analysis for Microstructural Information of Osseous Tissue.** 5th Intern. Conf. on Biomedical Engineering and Applications, Virtual Event/Internet 2021
  5. Bernhardt, T.; Manda, K.; Hildebrandt, G.; Stachs, O.; Bekeschus, S.; Vollmar, B.; Emmert, S.; Böckmann, L.: **Assessment of cold atmospheric pressure plasma as innovative therapy for treatment of radiation dermatitis using a mous emodel.** Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021
  6. Kruth, A.: **CAMPFIRE-Wind and Water to Ammonia Maritime Fuel and Energy Storage for a Zero Carbon Future, World Energy Storage Day Global Conference, online, 2021.** World Energy Storage Day Global Conference, Virtual Event/Internet 2021
  7. Bekeschus, S.: **Cancer Redox Biology.** 7th Intern. Workshop on Plasma for Cancer Treatment (IWPCT), Virtual Event/Internet 2021

8. Barrilas, L.: **Chemical surface patterning by maskless Atmospheric-Pressure Plasma Printing for biosensing applications.** 31st Anniversary World Congress on Biosensors, Virtual Event/Internet 2021
9. Wende, K.: **Cold plasma-driven biomolecule modifications - key or lock to effectiveness?.** 74th GEC, Virtual Event/Internet 2021
10. Wende, K.: **Cold plasma-driven biomolecule modifications - key or lock to effectiveness?.** 7. Workshop Plasmamedizin des AK-ADP, Magdeburg/Deutschland 2021
11. Sagwal, S.K.; Bekeschus, S.: **Combination therapy with cold physical plasma and novel molecules using the cutaneous and squamous melanoma in vitro.** Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021
12. Nasri, Z.; Memari, S.; Bekeschus, S.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Wende, K.: **Development of an Electrochemical Sensor for In-Situ Monitoring of Reactive Species Produced by Cold Physical Plasma.** 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021
13. Schäfer, M.; Semmler, M.L.; Bernhardt, T.; Glatzel, A.; Frey, A.; Sagwal, S.K.; Hein, M.; Langer, P.; Kaufmann, D.; von Woedtke, T.; Bekeschus, S.; Fischer, T.; Emmert, S.; Böckmann, L.: **DNA toxicity and mutagenicity of cold atmospheric pressure plasma and small molecules in skin cancer treatment.** Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021
14. Gerling, T.; Grollmisch, D.; Hahn, V.; von Woedtke, T.; Weltmann, K.-D.: **Effect of Treatment Angle on the Distribution of Plasma Cocktail Components.** 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021
15. Brust, H.; Wannicke, N.; Werner, J.; Bousselmi, S.; Pan, Y.; Wagner, R.; Stachowiak, J.; Ehlbeck, J.; Weltmann, K.-D.: **Effects of Plasma Treated Air and Plasma Treated Water on Plant Seed Germination and Inactivation Potential of Bacterial Cells and Spores.** 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021
16. Miebach, L.; Freund, E.; Liedtke, K.; Partecke, L.; Bekeschus, S.: **Efficiency and immunogenicity of plasma-oxidized saline in the treatment of peritoneal carcinomas.** Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021
17. Vilardell Scholten, L.; Hahn, V.; Weltmann, K.-D.; Gerling, T.: **Electric Field in Plasma Medicine: an Approach to Measurement and Effects in Wound Treatment.** 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021
18. Bekeschus, S.; Liebelt, G.; Menz, J.; Freund, E.; Wende, K.; Schmidt, A.: **Expression signatures of 34 tumor cell lines corresponding to sensitivity of physical plasma-induced cytotoxicity.** 7th Intern. Workshop on Plasma for Cancer Treatment (IWPCT), Virtual Event/Internet 2021
19. Höft, H.; Kettlitz, M.; Brandenburg, R.: **From single- to multi-filament arrangements for pulsed DBDs.** DPG-Frühjahrstagung Plasmaphysik, Virtual Event/Internet 2021
20. Freund, E.; Miebach, L.; Clemen, R.; Choi, E.H.; Weltmann, K.-D.; Heidecke, C.-D.; Bekeschus, S.: **Gas plasma-conditioned liquids: tumor-toxicity and immunogenicity from in vitro to in vivo studies.** 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021
21. Freund, E.; Saadati, F.; Bekeschus, S.: **Gas plasma irradiation of breast cancers promotes immunogenicity, tumor reduction, and an abscopal effect in vivo.** 7th Intern. Workshop on Plasma for Cancer Treatment (IWPCT), Virtual Event/Internet 2021
22. Clemen, R.; Bekeschus, S.: **Gas plasma-mediated oxidative modifications in immunobiology and cancer treatment.** Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021
23. Clemen, R.; Freund, E.; Miebach, L.; Bröker, B.; Bekeschus, S.: **Gas plasma technology augments ovalbumin immunogenicity and OT-II T cell activation conferring tumor protection in mice.** 18th CIMT Annual Meeting, Virtual Event/Internet 2021
24. Bekeschus, S.: **Gas Plasma Technology in Medicine – The Now and Future** 12th Asia-Pacific Int. Symp. on the Basics and Applications of Plasmas Technology (ASPTP), Virtual Event/Internet 2021
25. Arias-Serrano, B. I.; Wallis, J.; Mewafy, B.; Kruth, A.: **Hi-PowAR: HIGHLY EFFICIENT POWER PRODUCTION BY GREEN AMMONIA TOTAL OXIDATION IN A MEMBRANE REACTOR.** 18th Annual Ammonia Energy Conference, Virtual Event/Internet 2021
26. Clemen, R.: **Immunogenicity of oxidatively modified antigens.** 5th Meeting of the Study Group Dendritic Cells (DGfI), Virtual Event/Internet 2021
27. Bekeschus, S.; Clemen, R.; Freund, E.; Schmidt, A.: **Immunomodulation of melanoma in vitro and in vivo using reactive oxygen species.** 20th Meeting of the Soc. for Free Radical Research International (SFRR-I), Virtual Event/Internet 2021

28. Berner, J.; Seebauer, C.; Metelmann, H.-R.; Rau, A.; Bekeschus, S.: **Impact of repetitive gas plasma stress on adaptation processes of head and neck cancer cells.** 23rd Int. Conf. on Oxidative Stress Reduction, Redox Homeostasis, and Antioxidants (Paris Redox), Virtual Event/Internet 2021
29. Ehlbeck, J.: **Industrial Perspectives - Plasma.** Alternative Food Processing Technologies - Science meets Industry (EFCE event), Virtual Event/Internet 2021
30. Gortschakow, S.: **Influence of electrode material properties on the anode phenomena in switching vacuum arcs.** 30th Intern. Conf. on Electrical Contacts, Virtual Event/Internet 2021
31. Zhu, T.; Baeva, M.; Kewitz, T.; Testrich, H.; Loffhagen, D.; Foest, R.: **Influence of the fluid flow description on the characteristics of a plasma spray torch.** DPG-Tagung Sektion SMuk, Virtual Event/Internet 2021
32. Ravandeh, M.; Coliva, G.; Kahlert, H.; Azinfar, A.; Helm, C.A.; Fedorova, M.; Wende, K.: **International Online Symposium on Phospholipids in Pharmaceutical Research.** Intern. Online Symp. on Phospholipids in Pharmaceutical Research, Virtual Event/Internet 2021
33. Gelbrich, N.; Burchardt, M.; Zimmermann, U.; Stope, M.; Bekeschus, S.: **Kaltes atmosphärisches Plasma in der Uroonkologie - Neue Behandlungsoption für Harnblasenkrebs!?** 73. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Urologie (DGU), Stuttgart/Deutschland 2021
34. Bekeschus, S.; Poschkamp, B.; von Woedtke, T.; Weltmann, K.-D.; Kersting, S.; van der Linde, J.: **Kaltes Plasma in der Blutstillung.** 39. ak-adp Workshop: Physikalische Plasmen und plasmabehandelte Medien für die klinische Praxis, Magdeburg/Deutschland 2021
35. Bekeschus, S.; Clemen, R.; Freund, E.; Schmidt, A.: **Medical gas plasma as innovative ROS-technology for melanoma combination therapy.** 28th Conf. of the Society of Free Radical Biology and Medicine (SFRBM), Virtual Event/Internet 2021
36. Bekeschus, S.; Clemen, R.; Freund, E.; Schmidt, A.: **Medical Gas Plasma Jet Technology Targets Murine Melanoma in an Immunogenic Fashion.** 18th CIMT Annual Meeting, Virtual Event/Internet 2021
37. Bekeschus, S.; Poschkamp, B.; van der Linde, J.: **Medical gas plasma technology promotes platelet activation via hemolysis.** 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021
38. Bekeschus, S.; Clemen, R.; Emmert, S.: **Medizinisches Gas-Plasma als innovative Technologie in der Therapie und Immunmodulation von Hautkrebs.** 31. Deutscher Hautkrebskongress (ADO), Virtual Event/Internet 2021
39. Mohamed, H.; Clemen, R.; Poschkamp, B.; Freund, E.; Lackmann, J.-W.; Wende, K.; Dampier, B.; Miller, V.; Krebs, F.C.; Bekeschus, S.: **Non-thermal plasma as a tool for enhancing immunogenicity of acute t-lymphoblastic leukemia cells: towards a personalized cancer therapy.** 7th Intern. Workshop on Plasma for Cancer Treatment (IWPCT), Virtual Event/Internet 2021
40. Gonzalez, D.: **Observed characteristics of vacuum arc anode phenomena regarding the influence of electrode material.** 66th IEEE Holm Conf. on Electrical Contacts, Milwaukee/USA/Internet 2021
41. Wende, K.: **Plasma-driven biomolecule modification a lever system sparking non-linear cellular response?.** 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021
42. Sievers, G.; Brüser, V.: **Plasma-enhanced synthesis of nanostructured electro catalysts for fuel cell and electrolysis applications.** German-Czech Workshop on Nano Materials, Dresden/Germany/Internet 2021
43. Ehlbeck, J.; Andrasch, M.; Stachowiak, J.; Weit, C.; Schlüter, O.; Bourke, P.; Schnabel, U.: **PLASMA FUNCTIONALIZED WATER AND AIR: FROM BENCH TO PROTOTYPE FOR FRESH FOOD SAFETY.** 3rd Intern. Workshop on Plasma Agriculture (IWOPA), Virtual Event/Internet 2021
44. Jovanovic, A. P.; Loffhagen, D.; Becker, M. M.: **Plasma modelling using FEniCS and FEDM.** FEniCS 2021 conference, Virtual Event/Internet 2021
45. Seebauer, C.; Bekeschus, S.; von Woedtke, T.; Weltmann, K.-D.; Metelmann, H.-R.: **Plasma treatment of intraoral mucosal disorders: evaluation of safety.** Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021
46. Wende, K.: **Protein expression signatures of 36 tumor cell lines with differing CAP sensitivity.** 7th Intern. Workshop on Plasma for Cancer Treatment (IWPCT), Virtual Event/Internet 2021
47. Klose, S.-J.; Krös, L.; Semenov, I. L. ; van Helden, J. H. : **Reaction kinetics of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in a cold atmospheric pressure plasma jet.** DPG-Frühjahrstagung Plasmaphysik, Virtual Event/Internet 2021

48. Freund, E.; Clemen, R.; Miebach, L.; Schulze, T.; Kers-ting, S.; Bekeschus, S.: **ROS for tuning cancer vaccines in an immunogenic fashion: a possibility for targeting metastasis in the CNS?**. 1st Neurosurgery Medical Student World Congress „Boundless Thinking“, Kreta/Griechenland 2021

49. Kwiatek-Scholz, E.; Suhm, C.; Bekeschus, S.; Fischer, T.; Vollmar, B.; Metelmann, H.-R.; Witzke, K.: **Scientists re-reflecting on animal testing - guideline interviews with following qualitative content analysis**. Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021

50. Gonzalez, D.: **Spectroscopic investigation of the DC-arc in gas filled contactors under external magnetic fields regarding the effects on the arc-plasma proper-ties**. 30th Intern. Conf. on Electrical Contacts, Virtual Event/ Internet 2021

51. Franke, St.; Uhrlandt, D.; Uber, C.; Hilbert, M.; Lienesch, F.; Barbu, B.; Berger, F.: **Spectroscopic results on low-cur-rent micro-arcs between cadmium-tungsten contacts for intrinsic safety in explosion protection**. 74th GEC, Virtual Event/Internet 2021

52. Levien, M.: **Stimuli-responsive plasma-polymerized hydrogels for biosensing**. 31st Anniversary World Con-gress on Biosensors, Virtual Event/Internet 2021

53. Uhrlandt, D.: **Study of High-Current Anode Modes for Various Electrode Materials**. 29th ISDEIV, Virtual Event/Internet 2021

54. Barillas, L.: **SurfAP3 Plasma Printing for Local Sur-face Modification of Biosensors and Microfluidics**. 40. ak-adp Workshop: Atmosphärendruckplasma - Innovati-on für Oberflächen, Jena/Deutschland 2021 .

55. Mohamed, H.; Clemen, R.; Freund, E.; Lackmann, J.-W.; Wende, K.; Connors, J.; Haddad, E.K.; Dampier, W.; Gebski, E.; Reyes, R.; Beane, S.; Stapelmann, K.; Wigdahl, B.; Beke-schus, S.; Miller, V.: **Using non-thermal plasma to modu-late immunogenicity-associated markers in leukemic t lymphocytes**. Therapeutic ROS and Immunity in Cancer (TRIC), Virtual Event/Internet 2021

56. Bekeschus, S.; Sagwal, S.K.; Eisenmann, S.; von Woedt-ke, T.; Weltmann, K.-D.; Gandhirajan, R.K.: **xCT (SLC7A11) expression confers intrinsic resistance to physical plas-ma treatment in tumor cells**. 8th Int. Conf. on Plasma Medicine, Virtual Event/Internet 2021

## BACHELOR

1. Buckstöver, M: **Abbau von perfluorierten Kohlenstof-fen in Wasser** (Universität Greifswald, 31.09.2020)

2. Jonathan Zücker/PQK: **Visualization of ion wind im-pact on air flow** (TU Berlin, 01.01.-31.03.2021)

3. Kleiser, Felix: **In-/ Ex-Situ Messungen der Laserabsorp-tionsspektroskopie am Prozess der Biopyrolyse** (Uni Greifswald, 15.07.2021)

4. Maria Ansorge: **Wirt-Pathogen-Interaktion von Sta-phylococcus aureus und Immunzellen** (Universität Greifs-wald, 01.01.-31.06.2021)

5. Sturm, Tristan: **Untersuchung des Einflusses von nichtthermischen Plasmaquellen auf die elektrischen Parameter einer PEM-Zelle** (Universität Greifswald, 01.08.2020-31.01.2021)

## MASTER

1. Areeb, Abdullah: **Determination of Load on High Vol-tage Disconnectors during Switching Operations with Commutation Process** (Uni HRO, Elektrische Energietechnik, 22.10.2020)

2. Bousselmi, Sabrine: **Effekte von plasmabehandelten Wasser auf die Keimung und das Pflanzenwachstum von Lupine (Lupinus angustifolius L.), Gerste (Horde-um vulgare L.) und Raps (Brassica napus L.)** (Universität Greifswald, 01.05.2020- 31.12.2020)

3. Doi, Ujmir: **Evaluation of Corona Discharge for Vari-ous Conductor Materials** (Uni HRO, Elektrische Energie-technik, 16.07.2020)

4. Dokania, Ujjwal: **Evaluation of the electrical charac-teristics of a commercial high-pressure electrical feed-through connector** (Uni HRO, Elektrische Energietechnik, 24.01.2020)

5. Klemmstein, F.: **Elektrische Impedanzanalyse von Hyd-rogelen zur Diagnostik von Zelladhäsion und prolifera-tion** (Universität Rostock, 01.08.2019-01.12.2020)

6. Kollrepp, Vivian: **Der Einfluss von NTP und der APN-In-hibition auf die Side Population der Lungenkarzinom-Zelllinie A549** (Universität Greifswald, 31.03.2020)

7. Liebelt, G.: **Plasmainduzierte Änderungen der Haut-Barrierefunktion am murinen Modellsystem** (Universität Greifswald, 14.08.2020)



8. Najam, Ammar: **Electrical Modeling of Switching Sparks in Low Voltage Relays** (Uni HRO, Elektrische Energietechnik, 24.01.2020)
9. Florian Schweinsberger: **Makrophagen-Polarisation nach Plastikaufnahme** (Universität Greifswald, 01.04.-31.05.2021)
10. Jasmin Werner/PAK: **Inactivation of Bacillus atrophaeus spores on seed surfaces by direct cold plasma treatment and the impact of plasma on seed germination** (Uni Greifswald, Februar 2021 - 30. Juli 2021)
11. Opitz, Nevin: **Effects of synthetically generated compounds of plasma-treated water on Pseudomonas fluorescens biofilms** (Universität Greifswald/INP, 29.01.-16.09.2021)
12. Rielcke, J.: **Effekte physikalischen Plasmas auf das Antibiotikaresistenz- und Proteomprofil eines Escherichia coli Abwasserisolates** (Universität Greifswald, 21.04.2021)
13. Sabrine Bousselmi/PAK: **Effekte von plasmabehandelten Wasser auf die Keimung und das Pflanzenwachstum von Lupine (Lupinus angustifolius L.), Gerste (Hordeum vulgare L.) und Raps (Brassica napus L.)** (Uni Greifswald, 10.07.2020 - 10.01.2021)
14. Tomasi, Gianluca: **Charakterisierung von Protonenleitenden Festelektrolyten für anodengestützte Festelektrolytzellen** (Hochschule Stralsund, 01.10.2020-31.03.2021)
6. Puth, Alexander: **Charakterisierung der wesentlichen plasmachemischen Reaktionen unter Einbeziehung der Plasma-Wandwechselwirkung von N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>-Plasmen mit einem Aktivgitter** (Uni Greifswald, 1.3.2017 - 30.10.2020)
7. Schnabel, Uta: **Plasma Functionalised Liquids: From bench to prototype for safe fresh food preservation** (INP Greifswald, Germany / Technological University Dublin(TU Dublin), Ireland, 1.02.2019-28.02.2020)
8. Schneider, M.: **Degradation of cyanotoxins by non-thermal plasma** (Masaryk Univ., Brno, 30.11.2020)
9. Shi, F.: **Impedimetric Analysis of Biological Cell Monolayers before and after Exposure to Pulsed Electric Fields** (Universität Rostock, 09.07.2020)
10. Shome, Debarati: **The effect of Cold Atmospheric Plasma (CAP) on the molecular mechanism of wound healing (Promotion)** (Universität Greifswald, 02.11.2020)
11. Sommer, M.: **Der Einfluss von CAP auf die Melaninsynthese in humanen Melanozyten** (Universität Greifswald, 24.09.2020)
12. Völter, M.: **Nachweis von plasmainduzierten oxidativen Veränderungen an Biomolekülen mittels immunhistochemischer Methoden** (Universitätsmedizin Greifswald, 24.02-20.05.2020)
13. Bruno, Guiliana: **On the aqueous phase chemistry of atmospheric-pressure plasma jets for biomedical applications** (Universität Greifswald, 09.04.2021)

## PROMOTION

1. Bansemer, Robert: **Computer assisted development and optimization of a variable dielectric barrier discharge** (Universität Rostock, 30.09.2020)
2. Blakowski, T: **Die Effekte einer Behandlung mit kaltem Atmosphärendruckplasma auf die Zell-Zell-Kommunikation und den Nrf2-Signalweg in dermalen Fibroblasten aus Maushaut** (Universitätsmedizin Greifswald, 31.10.2020)
3. Jahanbakhsh, Sina: **Experimental Investigation of Single Microdischarges in a Sinusoidally Driven Barrier Corona Discharge** (Universität Greifswald, 01.07.2016-25.03.2020)
4. M. Segebarth: **Einfluss von CAP auf chronische Mundschleimhautrekrankungen mit besonderem Augenmerk auf die Immunantwort** (Universitätsmedizin Greifswald, 01.04.-30.09.2020)
5. Neuer, S.: **Electrically conductive multilayer films for implant surfaces** (Universität Greifswald, Juli 2020)
14. Gabriella Melo: **Physical plasma as adjuvant in melanoma treatment targeting mitochondria** (Universität Greifswald, 18.10.2021)
15. Handorf, Oliver: **Characterization of antimicrobial effects triggered by non-thermal atmospheric pressure plasmas on microbial biofilms relevant in food processing, preservation and packaging** (INP/Universität Greifswald, 1.03.2018-30.09.2021)
16. Schneider, Marcel: **Degradation of cyanotoxins by non-thermal plasma** (Masaryk Univ., Brno, 16.11.2021)
17. Wallis, Jan: **Structural and electrochemical investigation of BaZr<sub>0.7</sub>Ce<sub>0.2</sub>Y<sub>0.1</sub>O<sub>3-d</sub> proton conducting ceramics synthesized by spark plasma sintering** (Universität Rostock, 09/2017-02/2021)
18. Wenske, Sebastian: **Effect of Reactive Species Generated by Cold Physical Plasma on Model Membranes** (Universität Greifswald, 21.09.2021)

## PATENTE 2020

### Angemeldete Patente

1. Brüser, V.; Reuter, S.; Rossow, N.: Device and method for chemo-physical modification of particles of a suspension, US 17/102,486, angemeldet: 24.11.2020
2. Brüser, V.; Reuter, S.; Rossow, N.: Device and method for chemo-physical modification of particles of a suspension, CA 3,099,488, angemeldet: 17.11.2020
3. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Bendt, H.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2$  – in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff, AU 2019270515, angemeldet: 06.11.2020
4. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Bendt, H.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2$  – in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff, BR 11 2020 023445 1, angemeldet: 17.11.2020
5. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Bendt, H.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2$  – in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff, CA 3,099,881, angemeldet: 10.11.2020
6. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Bendt, H.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2$  – in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff, CN 2019800326401, angemeldet: 16.11.2020
7. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Bendt, H.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2$  – in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff, JP 2020-564657, angemeldet: 16.11.2020
8. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Bendt, H.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2$  – in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff, KR 10-2020-7036038, angemeldet: 15.12.2020
9. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Bendt, H.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2$  – in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff, US 16950929, angemeldet: 18.11.2020
10. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Bendt, H.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2$  – in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff, EP19728898.8, angemeldet: 20.11.2020
11. Turski, P.; Lembke, N.; Gerling, T.; Vilardell Scholten, L.; Horn, S.; Kohls, R.; Weltmann, K.-D.: System und Verfahren zum Betrieb einer Plasmajetkonfiguration, EP20161148.0, angemeldet: 05.03.2020

12. Turski, P.; Lembke, N.; Gerling, T.; Vilardell Scholten, L.; Horn, S.; Kohls, R.; Weltmann, K.-D.: System und Verfahren zum Betrieb einer Plasmajetkonfiguration, PCT/EP2020/077857, angemeldet: 05.10.2020

13. Brüser, V.; Reuter, S.; Rossow, N.: Device and method for chemo-physical modification of particles of a suspension, HK 42020004711.6, angemeldet: 23.03.2020

14. Honnorat, B.; Brüser, V.; Kolb, J.; Rataj, R.; Schulz, T.; Rossow, N.: Coupler for the generation of a microwave discharge in biomass, EP20196805.4, angemeldet: 18.09.2020

### Erteilte Patente

1. Weltmann, K.-D.; Stieber, M.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Winter, J.; Horn, S.; Schmidt, M.: Vorrichtung zur plasmagestützten Behandlung von Flüssigkeiten, EP3562276 B1, erteilt: 30.12.2020

2. Polak, M.; Weltmann, K.-D.; Ihrke, R.; Fröhlich, M.; Quade, A.: Method for polishing conductive metal surfaces, EP3488030 B1, erteilt: 16.12.2020

3. Ehlbeck, J.; Stachowiak, J.; Andrasch, M.; Schnabel, U.: Combination method for cleaning, decontamination, disinfection and sterilization of objects, EP3146983 B1, erteilt: 18.11.2020

4. Stieber, M.; Horn, S.; Brandenburg, R.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Bussiahn, R.; Krafczyk, S.; Mahrenholz, C.; Güra, T.: Device for generating a cold atmospheric pressure plasma, SG 112017027845, erteilt: 14.02.2020

5. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Turski, P.: Plasmaerzeugungsvorrichtung, Plasmaerzeugungssystem und Verfahren zur Erzeugung von Plasma, EP3171676 B1, erteilt: 24.06.2020

## PATENTE 2021

### Angemeldete Patente

1. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Device For Generating A Cold Atmospheric Pressure Plasma, SA 521430815, angemeldet: 10.11.2021

2. Winter, J.: Device and method for generating a plasma-jet, EP21209325.6, angemeldet: 19.11.2021

3. Sievers, G.; Brüser, V.; Anklam, K.; Collantes-Jiménez, P.: Method for forming a catalytically-active membrane or a membrane-electrode-assembly, EP21208765.4, angemeldet: 17.11.2021
4. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Weltmann, K.-D.; Bendt, H.: Disinfection Process Using an Active Disinfecting Substance Formed In Situ by Reacting  $H_2O_2$  and  $NO_2^-$ , HK 62021030811.5, angemeldet: 10.05.2021
5. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Weltmann, K.-D.: Desinfektionsverfahren mit einem durch Reaktion von  $H_2O_2$  und  $NO_2^-$  in situ gebildetem Desinfektionswirkstoff mit retardierter Wirkstofffreisetzung, HK 42021030812.8, angemeldet: 10.05.2021
6. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Weltmann, K.-D.: Disinfection Method Comprising A Disinfectant Formed By Reaction Of  $H_2O_2$  And  $NO_2$  In Situ With Retarded Release Of Active Substance, AU 2021266211, angemeldet: 09.11.2021
7. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Weltmann, K.-D.: Disinfection Method Comprising A Disinfectant Formed By Reaction Of  $H_2O_2$  And  $NO_2$  In Situ With Retarded Release Of Active Substance, CA 3,134,296, angemeldet: 14.10.2021
8. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Weltmann, K.-D.: Disinfection Method Comprising A Disinfectant Formed By Reaction Of  $H_2O_2$  And  $NO_2$  In Situ With Retarded Release Of Active Substance, US 17/509,201, angemeldet: 25.10.2021
9. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Device For Generating A Cold Atmospheric Pressure Plasma, EA 202191316, angemeldet: 08.06.2021
4. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Device For Generating A Cold Atmospheric Pressure Plasma SA8998 B1, erteilt: 03.12.2021
5. Baudler, J.-S.; Horn, S.; Weltmann, K.-D.; Turski, P.: Plasmaerzeugungseinrichtung, Plasmaerzeugungssystem, Verfahren zur Erzeugung von Plasma und Verfahren zur Desinfektion von Oberflächen, EP3051926 B1, erteilt: 27.10.2021
6. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Device For Generating A Cold Atmospheric Pressure Plasma, EA038650 B1, erteilt: 29.09.2021
7. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Device For Generating A Cold Atmospheric Pressure Plasma, IL251677A, erteilt: 01.09.2021
8. Ehlbeck, J.; Krohmann, U.; Lehmann, W.; Neumann, T.; Weltmann, K.-D.; Andrasch, M.; Schnabel, U.: Plasmageniertes Gas-Sterilisationsverfahren, EP2566524 B1, erteilt: 17.02.2021
9. Ehlbeck, J.; Stieber, M.; Weltmann, K.-D.: Verfahren und Vorrichtung zur Plasmabehandlung von Hohlkörpern, EP2964274 B1, erteilt: 05.05.2021
10. Stieber, M.; Ehlbeck, J.; Stachowiak, J.: Vorrichtung, System und Verfahren zur Behandlung eines Gegenstandes mit Plasma, EP3168858 B1, erteilt: 16.06.2021
11. Weltmann, K.-D.; Stieber, M.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Winter, J.; Horn, S.; Schmidt, M.: Device for the Plasma-Supported Treatment of Liquids, US10/995,018 B2, erteilt: 04.05.2021

#### Erteilte Patente

1. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Dispositif de production d'un plasma froid à pression atmosphérique, MA 40892, erteilt: 07.12.2021
2. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Device for generating a cold atmospheric pressure plasma, MX 385699, erteilt: 30.08.2021
3. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Vorrichtung zum Erzeugen eines kalten Atmosphärendruckplasmas, EP3205186 B1, erteilt: 08.12.2021
12. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Krafczyk, S.: Vorrichtung zur Plasmabehandlung von menschlichen, tierischen oder pflanzlichen Oberflächen, insbesondere von Haut oder Schleimhautarealen, EP2848097 B1, erteilt: 11.08.2021
13. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Krafczyk, S.: Vorrichtung zur biologischen Dekontamination von perkutanen Zugängen und Verfahren hierzu, EP3148464 B1, erteilt: 03.03.2021
14. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.: Device for the planar treatment of areas of human or animal skin or mucous membrane surfaces by means of a cold atmospheric pressure plasma, US11/006,995 B2, erteilt: 18.05.2021

15. Stieber, M.; Weltmann, K.-D.; von Woedtke, T.; Brandenburg, R.; Horn, S.; Krafczyk, S.; Bussiahn, R.; Güra, T.; Mahrenholz, C.: Device for generating a cold atmospheric pressure plasma, AU2015329934 B2, erteilt: 03.06.2021

16. Bansemer, R.; Reuter, S.; Weltmann, K.-D.: Multi Frequency Plasma Generating Device and Associated Method, EP3253184 B1, erteilt: 11.08.2021

17. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Weltmann, K.-D.: Modular Plasma Jet Treatment System, EP3474635 B1, erteilt: 18.08.2021

18. Schmidt-Bleker, A.; Winter, J.; Weltmann, K.-D.: Modular Plasma Jet Treatment System, US11/032,898 B2, erteilt: 08.06.2021



# ZWEIJAHRESBERICHT 2020/2021

LEIBNIZ-INSTITUT FÜR PLASMAFORSCHUNG UND TECHNOLOGIE E.V.

Felix-Hausdorff-Str. 2 // 17489 Greifswald // Germany

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

[www.leibniz-inp.de](http://www.leibniz-inp.de)

