

## Fachverband Plasmaphysik (P)

Ralf Peter Brinkmann  
 Ruhr-Universität Bochum  
 Lehrstuhl für Theor. Elektrotechnik  
 Universitätsstr. 150  
 44801 Bochum  
 ralf-peter.brinkmann@tet.rub.de

### Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen

(Hörsäle HS C und HS H; Poster Foyer)

#### Hauptvorträge

P 2.1	Mo	16:30–17:00	HS C	<b>ECRH in Fusionsplasmen: Anwendungen und Herausforderungen - von MW bis mW</b> — •JÖRG STOBER, HENDRIK HÖHNLE, ALBRECHT HERRMANN, WALTER KASPAREK, FRITZ LEUTERER, FRANCESCO MONACO, RUDOLF NEU, HARALD SCHÜTZ, DOMINIK SCHMID-LORCH, JOSEF SCHWEINZER, DIETMAR WAGNER, STEFAN VORBRUGG, DAS ASDEX UPGRADE TEAM
P 2.2	Mo	17:00–17:30	HS C	<b>Physikalische Phänomene bei Mikrowellenheizung überdichteter Plasmen</b> — •ALF KÖHN, GREGOR BIRKENMEIER, PETER DIEZ, HENDRIK HÖHNLE, EBERHARD HOLZHAUER, STEFAN MERLI, MIRKO RAMISCH, JAN SEIFERT, ULRICH STROTH
P 3.1	Di	10:30–11:00	HS H	<b>Spatially and temporally resolved spectroscopic investigations on a thin-cathode high current density micro-discharge</b> — •BEILEI DU, SEBASTIAN MOHR, YUSUF CELIK, DIRK LUGGENHÖLSCHER, MITSUTOSHI ARAMAKI, NADER SADEGHI, UWE CZARNETZKI
P 3.4	Di	11:30–12:00	HS H	<b>Dynamik kapazitiv gekoppelter Hochfrequenzplasmen in Sauerstoff</b> — •JÜRGEN MEICHSNER, CHRISTIAN KÜLLIG, KRISTIAN DITTMANN
P 4.1	Di	10:30–11:00	HS C	<b>Laser-matter and laser-vacuum interaction at extreme field strengths</b> — •HARTMUT RUHL
P 4.2	Di	11:00–11:30	HS C	<b>Eigenschaften Warmer, Dichter Materie - Physik auf dem Weg zur Laserfusion</b> — •DIRK O. GERICKE, DAVID CHAPMAN, DONALD EDIE, JAN VORBERGER, KATHRIN WÜNSCH
P 5.1	Di	14:00–14:30	HS H	<b>Nichtlineare Phänomene und Selbstorganisation in staubigen Plasmen</b> — •OLIVER ARP, KRISTOFFER OLE MENZEL, DAVID CALIEBE, CHRISTIAN SCHMIDT, TIM BOCKWOLDT, ALEXANDER PIEL
P 6.1	Di	14:00–14:30	HS C	<b>Three-dimensional magnetic perturbation fields in fusion plasmas: plasma edge transport and plasma surface interaction</b> — OLIVER SCHMITZ, •AND THE DIII-D ANDTEXTOR TEAMS
P 12.1	Mi	10:30–11:00	HS H	<b>Modellierung eines Radio-Frequenz Plasmabrückenneutralisators</b> — •FRANK SCHOLZE, MICHAEL TARTZ, HORST NEUMANN
P 13.1	Mi	10:30–11:00	HS C	<b>Dichte astrophysikalische Plasmen</b> — •RONALD REDMER
P 14.1	Mi	14:00–14:30	HS H	<b>Miniaturisierte Plasmajets für die Oberflächenbehandlung</b> — •RÜDIGER FOEST, JAN SCHÄFER, FLORIAN SIGENEGER, KLAUS-DIETER WELTMANN
P 15.1	Mi	14:00–14:30	HS C	<b>Multiscale effects in plasma microturbulence - from electron gyroradius to system size scales</b> — •TOBIAS GÖRLER
P 20.1	Do	10:30–11:00	HS H	<b>Zeitliche Struktur der Elektronenheizung in kapazitiven Entladungen</b> — •DENNIS ZIEGLER
P 20.2	Do	11:00–11:30	HS H	<b>First Principle Simulations of Strongly Correlated Classical and Quantum Plasmas</b> — •PATRICK LUDWIG
P 21.1	Do	10:30–11:00	HS C	<b>Wandmaterial im Grenzbereich - Einsatz von Wolfram in einem Fusionsreaktor</b> — •J.W. COENEN, DAS TEXTOR-TEAM
P 21.2	Do	11:00–11:30	HS C	<b>Oberflächenreaktionen an der ersten Wand von Fusionsmaschinen - Von den Einzelprozessen zur Modellierung</b> — •CHRISTIAN LINSMEIER, MATTHIAS REINELT, KLAUS SCHMID

**Fachsitzungen**

P 1.1–1.7	Mo	16:30–18:25	HS H	<b>Niedertemperaturplasmen / Grundlagen</b>
P 2.1–2.5	Mo	16:30–18:25	HS C	<b>Magnetischer Einschluss I</b>
P 3.1–3.8	Di	10:30–13:00	HS H	<b>Umwelttechnik / Mikroplasmen / Diagnostik</b>
P 4.1–4.8	Di	10:30–13:00	HS C	<b>Dichte Plasmen / Schwerionen- und Laserplasmen</b>
P 5.1–5.8	Di	14:00–16:25	HS H	<b>Komplexe / Staubige Plasmen</b>
P 6.1–6.8	Di	14:00–16:25	HS C	<b>Magnetischer Einschluss II / Lichttechnik</b>
P 7.1–7.13	Di	17:00–19:00	Foyer	<b>Poster: Modellierung und Simulation von Niederdruckplasmen</b>
P 8.1–8.14	Di	17:00–19:00	Foyer	<b>Poster: Staubige Plasmen: Experiment und Diagnostik</b>
P 9.1–9.17	Di	17:00–19:00	Foyer	<b>Poster: Diagnostik technischer Plasmen</b>
P 10.1–10.7	Di	17:00–19:00	Foyer	<b>Poster: Astro- und geophysikalische Plasmen, warme dichte Plasmen</b>
P 11.1–11.6	Di	17:00–19:00	Foyer	<b>Poster: Hochtemperaturplasmen: Theorie und Simulation</b>
P 12.1–12.7	Mi	10:30–12:30	HS H	<b>Plasmatechnologie I</b>
P 13.1–13.6	Mi	10:30–12:25	HS C	<b>Astrophysikalische Plasmen</b>
P 14.1–14.7	Mi	14:00–16:00	HS H	<b>Plasmatechnologie II</b>
P 15.1–15.6	Mi	14:00–15:55	HS C	<b>Theorie/Modellierung I</b>
P 16.1–16.14	Mi	16:30–18:30	Foyer	<b>Poster: Niedertemperaturplasmen</b>
P 17.1–17.23	Mi	16:30–18:30	Foyer	<b>Poster: Plasmatechnologie</b>
P 18.1–18.27	Mi	16:30–18:30	Foyer	<b>Poster: Theorie/Simulation dichter und stark gekoppelter Plasmen</b>
P 19.1–19.12	Mi	16:30–18:30	Foyer	<b>Poster: Hochtemperaturplasmen: Experiment und Diagnostik</b>
P 20.1–20.8	Do	10:30–13:00	HS H	<b>Simulationsverfahren / Theorie/Modellierung II</b>
P 21.1–21.7	Do	10:30–12:55	HS C	<b>Diagnostik / Plasma-Wand-Wechselwirkung</b>

**Mitgliederversammlung Fachverband Plasmaphysik**

Mittwoch 12:30–13:00 HS H

P 1: Niedertemperaturplasmen / Grundlagen

Zeit: Montag 16:30–18:25

Raum: HS H

**Fachvortrag**

P 1.1 Mo 16:30 HS H

**Secondary electrons in dual-frequency capacitive radio frequency discharges** — ●JULIAN SCHULZE<sup>1,2</sup>, ZOLTAN DONKO<sup>1</sup>, EDMUND SCHÜNGEL<sup>2</sup>, and UWE CZARNETZKI<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Research Institute for Solid State Physics and Optics of the Hungarian Academy for Science, Hungary — <sup>2</sup>Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, Germany

Two fundamentally different types of dual-frequency capacitive RF discharges can be used to realize separate control of the ion mean energy,  $\langle E_i \rangle$ , and the ion flux,  $\Gamma_i$ , at the electrodes: (i) Classical discharges operated at substantially different frequencies, where the low and high frequency voltage amplitudes,  $\phi_{lf}$  and  $\phi_{hf}$ , are used to control  $\langle E_i \rangle$  and  $\Gamma_i$ , respectively. (ii) Electrically asymmetric (EA) discharges operated at a fundamental frequency and its second harmonic with adjustable phase shift,  $\theta$ , between the driving frequencies. In EA discharges the voltage amplitudes are used to control  $\Gamma_i$ , whereas  $\theta$  is used to control  $\langle E_i \rangle$ . We study the effect of secondary electrons on the quality of this separate control in both discharge types in argon at different gas pressures by PIC/MCC simulations with focus on the effect of the control parameter for  $\langle E_i \rangle$  on  $\Gamma_i$  for different secondary yields,  $\gamma$ . A dramatic effect of tuning  $\phi_{lf}$  in classical discharges and essentially no effect of tuning  $\theta$  in EA discharges is observed. This is caused by a transition from  $\alpha$ - to  $\gamma$ -mode induced by changing  $\phi_{lf}$  and not induced by changing  $\theta$ . Thus, the quality of the separate control of ion energy and flux is generally better in electrically asymmetric compared to classical dual-frequency discharges.

P 1.2 Mo 16:55 HS H

**Power absorption in electrically asymmetric discharges** — ●EDMUND SCHÜNGEL<sup>1</sup>, JULIAN SCHULZE<sup>1,2</sup>, ZOLTAN DONKO<sup>2</sup>, and UWE CZARNETZKI<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum — <sup>2</sup>Research Institute for Solid State Physics and Optics, Hungarian Academy of Sciences

The Electrical Asymmetry Effect allows to control the symmetry of capacitive radio frequency discharges. Here, a fundamental frequency and its second harmonic are applied to the powered electrode. In such electrically asymmetric discharges the mean ion energies at both electrodes are controlled separately from the ion flux by tuning the phase angle  $\theta$  between the harmonics, while the voltage amplitudes are kept constant. The power absorbed by the electrons,  $P_e$ , is investigated as a function of  $\theta$  and time experimentally, by a Particle in Cell simulation, and an analytical model. The results show, that the dynamics of  $P_e$  is strongly affected by the choice of  $\theta$ . However, on time average  $P_e$  is almost constant for all  $\theta$ . In conclusion, the plasma density and the ion flux are nearly constant independent of  $\theta$ . The power absorbed by the ions is also constant, since the sum of the absolute values of the individual voltages across the powered and grounded electrode sheath remains constant. Thus, the total power absorbed by the discharge does not depend on  $\theta$ . This might be important for applications, where usually the applied power is kept constant.

P 1.3 Mo 17:10 HS H

**Mass resolved ion densities in a hydrogen rare gas inductively coupled plasma** — ●MAIK SODE, THOMAS SCHWARZ-SELINGER, WOLFGANG JACOB, and URSEL FANTZ — Max Planck Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching, EURATOM Assoziation

Ion densities are quantified for plasmas in pure hydrogen and mixtures of hydrogen with helium, neon or argon by an energy dispersive mass spectrometer and a Langmuir probe. The plasma is generated inductively at a radio frequency of 13.56 MHz by a planar coil. Standard plasma conditions are  $p = 1.0$  Pa and rf power 100 - 500 W. For pure  $H_2$  plasmas the dominant ion is  $H_3^+$ . For admixture with helium and neon  $H_3^+$  remains the dominant ion up to 60 % admixed rare gas. For higher fractions the noble gas ion becomes dominant. In contrast, in hydrogen argon plasmas the argon hydrogen molecular ion  $ArH^+$  is the most dominant ion species in a wide parameter space. For the  $Ar/H_2$  case the experimental data are compared to results from a rate equation model describing the reactions in the plasma and losses to the wall. The following experimental data were used as additional input for the model:  $T_e$ ,  $n_e$ , from Langmuir probe measurements and the  $H/H_2$  ratio and the gas temperature estimated by optical emission spectroscopy.

P 1.4 Mo 17:25 HS H

**Enhanced metastable densities by recombination into Rydberg states in the argon afterglow** — ●YUSUF CELIK<sup>1</sup>, TSANKO TSANKOV<sup>1</sup>, DIRK LUGGENHÖLSCHER<sup>1</sup>, UWE CZARNETZKI<sup>1</sup>, and MITSUTOSHI ARAMAKI<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum — <sup>2</sup>Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University, Japan

In the afterglow of low pressure plasmas electrons can be cooled efficiently by "evaporation cooling" to temperatures close to the gas temperature. This enhances recombination in general but especially three-body recombination ( $e + e + Ar^+$ ). There, recombination occurs dominantly into Rydberg states. Under our experimental conditions (1 Pa,  $10^{11} \text{ cm}^{-3}$ , 0.1 eV) the upper quantum state is limited by the ionic micro field (Ingliš-Teller). Measurements of the plasma density decay rate agree well with an analytical model. Further, by radiative decay the Rydberg atoms are relaxing either to the ground or the metastable states. Since the plasma density is an order of magnitude higher than the initial metastable density, this can enhance substantially the late metastable density. This can be expected to be of high importance for applications in pulsed plasmas as in HPPMS.

P 1.5 Mo 17:40 HS H

**Optische Diagnostik Helikon-ähnlicher Entladungen in Wasserstoff und Deuterium** — ●WOLFGANG BÖHM<sup>1</sup> and URSEL FANTZ<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

Die Verwendung von Helikon-Entladungen gilt als aussichtsreiche Möglichkeit zur Reduzierung der in Quellen negativer Wasserstoffionen ( $H^-$ ,  $D^-$ ) zur Plasmaerzeugung benötigten Leistungsdichte. Im Gegensatz zu den derzeit eingesetzten induktiv gekoppelten Plasmen, zeichnen sie sich durch eine höhere Effizienz und der gleichzeitigen Betriebsmöglichkeit bei niedrigem Druck aus, sind für Wasserstoff und Deuterium als Arbeitsgas bisher aber kaum erforscht.

Um die Eignung von Helikonentladungen für den Einsatz in Ionenquellen zu untersuchen, soll ein schrittweiser Übergang von typischen Edelgas-Helikonentladungen in langen, dünnen Gefäßen ( $l \gg d$ ) zur Geometrie aktueller Ionenquellen ( $l \approx d$ ) erfolgen. In einem Experiment mit variabler Gefäßgröße und variablem Magnetfeld (bis 20 mT) wurden dazu bei einer Anregungsfrequenz von 13,56 MHz Wasserstoff- und Deuteriumplasmen erzeugt und mittels optischer Emissionsspektroskopie untersucht. Auf diese Weise kann der Einfluss der Geometrie und des Magnetfeldes auf den Dissoziationsgrad des Plasmas, sowie auf Gastemperatur und Vibrationsbesetzung der Wasserstoffmoleküle untersucht werden. Zudem können Rückschlüsse auf den Verlauf von Elektronendichte und -temperatur gezogen werden.

P 1.6 Mo 17:55 HS H

**Räumlich und zeitlich aufgelöste Entwicklung von gepulst betriebenen dielektrisch behinderten Mikroentladungen** — ●HANS HÖFT, MANFRED KETTLITZ, RONNY BRANDENBURG, TOMAS HÖDER, STEPHAN REUTER und KLAUS-DIETER WELTMANN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Es werden Experimente zur Raum- und Zeitstruktur des Durchbruchs von filamentierten Mikroentladungen in Stickstoff-Sauerstoff-Gemischen bei Atmosphärendruck präsentiert. Die zu untersuchende symmetrische, dielektrisch behinderte Entladung wird gepulst betrieben (Rechteckspannung mit 10 kV Pulshöhe bei 10 kHz und 250 V/ns Anstieg; Elektrodenabstand 1 mm).

Zur Visualisierung der Mikroentladung wird eine Streakkamera verwendet. Damit ist es möglich, in einer Messung eine Zeitauflösung von  $\Delta t \geq 100$  ps und eine eindimensionale Ortsauflösung entlang der Entladungssache von  $\Delta x \geq 40 \mu\text{m}$  zu erreichen. Außerdem werden der Entladungsstrom und die Entladungsspannung zur Leistungsabschätzung mit schnellen Sonden gemessen, sowie zweidimensionale iCCD-Übersichtsaufnahmen der Entladungen gemacht.

Für verschiedene  $N_2$ - $O_2$ -Mischverhältnisse sind die räumliche und zeitliche Struktur sowie die Stabilität der Durchbrüche gemessen worden. Es zeigt sich, dass zwischen den Mikroentladungen in der steigenden und fallenden Flanke z. T. deutliche Unterschiede bzgl. der Stabilität und der Intensität erkennbar sind. Die Resultate werden mit Ergebnissen der Cross-Correlation-Spectroscopy und Simulationen ver-

glichen.

P 1.7 Mo 18:10 HS H

**Boundary effects in beam-plasma-instability experiments** — ●CHRISTOPHER RAPSON<sup>1</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,2</sup>, and THOMAS KLINGER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>MPI for Plasma Physics, EURATOM Association, Greifswald — <sup>2</sup>Ernst-Moritz-Arndt University, Greifswald

In a beam-plasma instability, the kinetic energy of the beam is converted to electrostatic or electromagnetic fluctuations. The growth rates are typically much higher than for collisional energy transfer. Beams play a dominant role in space plasmas, with the instabilities

driving strong turbulence in the background plasma. Laboratory experiments can replicate these instabilities quite well, but are always restricted by boundary conditions and sheaths. Plasma sheaths are regions of strong density and potential gradients and may fluctuate due to causes which are unrelated to the beam. The beam properties are altered while passing through the sheath, before the beam reaches the homogeneous region of the plasma. In this talk, the sheath effects will be quantified for the special case of an ion acoustic beam-plasma instability. Results from Particle-In-Cell simulations - with and without boundaries - will be presented, along with experimental results obtained in a double plasma in the linear experiment VINETA.

## P 2: Magnetischer Einschluss I

Zeit: Montag 16:30–18:25

Raum: HS C

### Hauptvortrag

P 2.1 Mo 16:30 HS C

**ECRH in Fusionsplasmen: Anwendungen und Herausforderungen - von MW bis mW** — ●JÖRG STÖBER<sup>1</sup>, HENDRIK HÖHNLE<sup>2</sup>, ALBRECHT HERRMANN<sup>1</sup>, WALTER KASPAREK<sup>2</sup>, FRITZ LEUTERER<sup>1</sup>, FRANCESCO MONACO<sup>1</sup>, RUDOLF NEU<sup>1</sup>, HARALD SCHÜTZ<sup>1</sup>, DOMINIK SCHMID-LORCH<sup>1</sup>, JOSEF SCHWEINZER<sup>1</sup>, DIETMAR WAGNER<sup>1</sup>, STEFAN VORBRUGG<sup>1</sup> und DAS ASDEX UPGRADE TEAM<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Euratom-Assoziation, Garching — <sup>2</sup>Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart

Elektronen-Zyklotronresonanz-Heizung (ECRH) hat sich in den letzten 20 Jahren zur Heizung von Fusionsplasmen etabliert und ist eines der Heizsysteme für den im Bau befindlichen internationalen Tokamak ITER. ECRH zeichnet sich aus durch sehr lokale Elektronenheizung, sehr lokalen Stromtrieb und typischer Weise vollständige Absorption. Der Einsatzbereich der ECRH kann erweitert werden in dem auch Polarisationen und Resonanzen verwendet werden bei denen die Absorption im ersten Durchgang durch das Plasma unvollständig ist. Dazu wurden Methoden zur kontrollierten Absorption der nach dem ersten Durchgang verbleibenden Strahlung entwickelt. Wegen der hohen Leistungsdichte und geometrischen Flexibilität muss die nicht im Plasma absorbierte Strahlung sorgfältig überwacht werden um eine Gefährdung des Vakuumgefäßes samt Einbauten und Diagnostik zu vermeiden. Letztere können bereits durch Leistungen im mW-Bereich beschädigt werden. Die einzigartigen Eigenschaften der ECRH erlauben ein breites Spektrum von Anwendungen insbesondere im Hinblick auf ITER, die am Beispiel des Tokamaks ASDEX Upgrade diskutiert werden. Konzepte zur Bestimmung und Kontrolle der Streustrahlungsverteilung sowie zum Schutz von Diagnostiken werden vorgestellt.

### Hauptvortrag

P 2.2 Mo 17:00 HS C

**Physikalische Phänomene bei Mikrowellenheizung überdichteter Plasmen** — ●ALF KÖHN, GREGOR BIRKENMEIER, PETER DIEZ, HENDRIK HÖHNLE, EBERHARD HOLZHÄUER, STEFAN MERLI, MIRKO RAMISCH, JAN SEIFERT und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart

Mikrowellen finden weit verbreitet Anwendung zur Erzeugung und Heizung von Plasmen. Dies gilt sowohl für Niedertemperatur- als auch für fusionsrelevante Plasmen. Die Wechselwirkung von elektromagnetischen Wellen mit dem Plasma hat eine Reihe interessanter physikalischer Phänomene zur Folge. Die Spanne reicht dabei von Anwendungen wie der Interferometrie und Reflektometrie über Modenkonzessionsprozesse bis hin zu parametrischen Instabilitäten. Der Vortrag beschreibt die vielfältigen Phänomene und zeigt numerische und experimentelle Studien dazu.

Am Stellarator TJ-K können Plasmen mit einer großen Bandbreite an Mikrowellenfrequenzen erzeugt werden. Dies macht TJ-K attraktiv für experimentelle Untersuchungen der Mikrowellen-Plasma-Wechselwirkung. Heizung an der oberen Hybrid-Resonanz lässt sich ebenso untersuchen wie Modenkonzersion und parametrische Zerfallsinstabilitäten. Zündet man ein Plasma resonant mit 8 GHz, so kann die Entladung anschließend mit 2.45 GHz alleine weiter betrieben werden, obwohl bei dieser Frequenz keine der bekannten Resonanzen im Plasma liegt. In dieser *nicht-resonanten* Entladung lassen sich eine Reihe interessanter Phänomene beobachten, wie hochenergetische Elektronen und Stromtrieb.

P 2.3 Mo 17:30 HS C

**Elektron-Bernsteinwellenheizung am Stellarator WEGA** —

●TORSTEN STANGE<sup>1</sup>, HEINRICH PETER LAQUA<sup>1</sup>, MATTHIAS OTTE<sup>1</sup>, STEFAN MARSEN<sup>1</sup> und ENRICO CHLECHOWITZ<sup>2</sup> — <sup>1</sup>MPI für Plasmaphysik, 17491 Greifswald, EURATOM Association — <sup>2</sup>HSX Plasma Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA

Elektrostatische Elektron-Bernsteinwellen (EB), die auf einer kohärenten Bewegung der Elektronen um die magnetischen Feldlinien basieren, sind an kein oberes Limit in der Elektronendichte gebunden (cutoff). Das Plasma wirkt als Ausbreitungsmedium, so dass eine Anregung der EB-Wellen aus dem Vakuum jedoch nicht möglich ist. Durch eine zum Magnetfeldvektor schräge Einstrahlung einer elektromagnetischen Heizwelle können über den OXB-Modenkonzessionsprozess im Dichtegradientenbereich des Plasmas EB-Wellen generiert werden. Ähnlich dem Brewster-Fenster in der Optik, ist die Kopplung stark abhängig von der Polarisation und dem Einfallswinkel. Bei den OXB-geheizten Ar- und He-Plasmen am Stellarator WEGA werden darüber hinaus bei einem Magnetfeld von 0,5 T und einer 10 kW - 28 GHz - Heizwelle hochenergetische Elektronen mit mittleren Energien über 10 keV produziert. Gleichzeitig werden durch eine Elektron-Bernsteinwellen-Diagnostik, die auf dem inversen OXB-Prozess beruht, Strahlungstemperaturen im gleichen Energiebereich detektiert, wobei die Bulk-Elektronentemperatur bei einigen 10 eV bleibt. Die örtliche Verteilung der überthermischen Elektronen ist entscheidend für die Klärung des Emissions- als auch Heizmechanismus und kann mit einer orts- und energieaufgelösten Soft-X-Ray-Diagnostik bestimmt werden.

### Fachvortrag

P 2.4 Mo 17:45 HS C

**Fast-Ion D-Alpha measurements at ASDEX Upgrade** — ●BENEDIKT GEIGER<sup>1</sup>, MANUEL GARCIA-MUNOZ<sup>1</sup>, RAINER FISCHER<sup>1</sup>, WILLIAM HEIDBRINK<sup>2</sup>, RACHAEL McDERMOTT<sup>1</sup>, GIOVANNI TARDINI<sup>1</sup>, and AND THE ASDEX UPGRADE TEAM<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Garching, Germany — <sup>2</sup>University of Irvine, Irvine, California, USA

The confinement of fast ions (ions with energies significantly above the thermal energy) is essential in fusion devices because they contribute to plasma heating and current drive, but can also damage the first wall if poorly confined. To study the distribution function of fast ions in the ASDEX Upgrade tokamak (AUG) a fast-ion D-Alpha (FIDA) diagnostic has been developed. It uses 25 radially distributed lines of sight to measure Doppler shifted D-Alpha radiation, emitted from neutralized fast ions. The diagnostic's toroidal geometry determines a well defined region in velocity space which significantly overlaps with the typical fast-ion distribution in AUG plasmas. As first results of the newly commissioned diagnostic, radial FIDA intensity profiles during on- and off-axis NBI are presented. These show changes in the radial fast-ion distribution function with the different neutral beam injection geometries. Good agreement has been obtained in MHD quiescent plasmas by comparing the measurements to simulations using calculated fast-ion distribution functions from TRANSP. In addition, MHD events have been observed such as Alfvén waves, which flatten the observed radial fast-ion profiles, and a q=2 sawtooth like crash, which redistributes about 50% of the central fast-ion population.

P 2.5 Mo 18:10 HS C

**Untersuchung ELM-induzierter Strahlung mit AXUV Di-oden am Tokamak ASDEX Upgrade** — ●MATTHIAS BERNERT, THOMAS EICH, CHRISTOPH FUCHS, ARNE KALLENBACH, RACHAEL McDERMOTT, ELEONORA VIEZZER und DAS ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching

Mit einer neu eingeführten schnellen Dioden-Diagnostik am Tokamak ASDEX Upgrade lässt sich Strahlung aus einem breiten Wellenlängenbereich beobachten, insbesondere Randschichtstrahlung mit Photonenenergien unter 500eV. Speziell die charakteristische Strahlung von Edge-Localized Modes (ELMs) und deren zeitlicher und räumlicher Verlauf wurden damit im Detail studiert. Die Diagnostik basiert auf AXUV Dioden und deckt mit 240 Sichtstrahlen einen kompletten poloidalen Querschnitt des Experiments sowie verschiedene toroidale Positionen ab. Mit 5µs bietet sie eine um mehr als 3 Größenordnungen bessere Zeitaufösung als die vergleichbare Folienbolometrie. Allerdings

wurde eine strahlungsinduzierte Degradation der Diodensensitivität innerhalb weniger Plasmasekunden gemessen.

Eine erste wichtige Beobachtung zeigt, dass die durch ELMs auf die Divertorprallplatten konvektiv abgeführte Leistung durch Strahlung bereits innerhalb der typischen parallelen Transportzeit in der Randschicht (SOL) von einigen hundert Mikrosekunden reduziert wird. Neben den Strahlungspeaks der ELMs können auch räumlichen Substrukturen, sogenannte ELM induzierte Filamente, mit der Diagnostik erkannt werden. Mehrere toroidale Messungen ermöglichen die Bestimmung der Rotation und Modenzahl dieser Filamente.

### P 3: Umwelttechnik / Mikroplasma / Diagnostik

Zeit: Dienstag 10:30–13:00

Raum: HS H

#### Hauptvortrag

P 3.1 Di 10:30 HS H

**Spatially and temporally resolved spectroscopic investigations on a thin-cathode high current density micro-discharge** — ●BEILEI DU<sup>1</sup>, SEBASTIAN MOHR<sup>1</sup>, YUSUF CELIK<sup>1</sup>, DIRK LUGGENHÖLSCHER<sup>1</sup>, MITSUTOSHI ARAMAKI<sup>2</sup>, NADER SADEGHI<sup>3</sup>, and UWE CZARNETZKI<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Bochum, Germany — <sup>2</sup>Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University, Nagoya 464-8603, Japan — <sup>3</sup>LSP(UMR 5588), Université J. Fourier & CNRS, Grenoble, France

Atmospheric pressure micro thin-cathode discharges in Argon exhibit a self-pulsing behavior. Current pulses of up to 30 A and about 2 ns durations create plasma densities in the range of several  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Current densities reach several  $10^5 \text{ A/cm}^2$ . Spatially and temporally resolved emission and diode laser absorption spectroscopic measurements are performed over the cross section and the longitudinal axis of the discharge. The measurements reveal not only the spatial structure of the discharge but yield also information on metastable, ion density, cathode material, and neutral gas temperature distributions. The experimental high spatial resolution techniques are introduced and the results are discussed in detail. - This work was supported by the "German Research Foundation" (DFG) in the frame of the "Research Unit FOR 1123 - Physics of Microplasmas", the Research Department "Plasmas with Complex Interaction" of the Ruhr-University Bochum, and the Research School of the Ruhr-University Bochum.

P 3.2 Di 11:00 HS H

**Laser electric field measurements and fast ICCD imaging in a narrow-gap nanosecond high-voltage micro-discharge** — ●SARAH MÜLLER, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institut für Plasma- und Atomphysik, Ruhr-Universität Bochum

The ignition of a new atmospheric pressure micro-discharge is investigated by combination of various diagnostic techniques. A high voltage ns-pulse ignites a discharge in hydrogen in a narrow gap of 1.2 mm between two parallel electrodes of 3 cm diameter. Laser electric field measurement as well as synchronous current and voltage measurements and fast sub-ns imaging of the emission give a detailed insight in the dynamics. Special emphasis is on an optimized combination of pressure, voltage risetime, and gap width to allow precise spatial and temporal resolution. A detailed discussion of the various discharge phases is provided.

P 3.3 Di 11:15 HS H

**LIF von  $\text{N}_2(A^3\Sigma_u^+)$  in dielektrisch behinderten Entladungen bei Atmosphärendruck** — ●SEBASTIAN NEMSCHOKMICHAL und JÜRGEN MEICHSNER — Institut für Physik, Universität Greifswald

In stickstoffhaltigen Entladungsplasmen spielen neben den geladenen Teilchen insbesondere metastabil angeregte Stickstoffmoleküle eine wichtige Rolle. Sie stellen ein Energiereservoir dar, welches auch noch im Afterglow des Plasmas besteht. Beispielsweise in einer filamentierten dielektrisch behinderten Entladung (DBD) bei Atmosphärendruck können Metastabile entscheidend das Zündverhalten durch Exoemission von Oberflächenladungen beeinflussen. Zur Bestimmung zeitlich und räumlich aufgelöster Dichten dieser Metastabilen eignet sich die laserinduzierte Fluoreszenzspektroskopie (LIF). Im Gegensatz zur LIF in Niederdruckplasmen stellt jedoch diese Methode zur Untersuchung einer DBD aufgrund der kleinen Dimensionen und hohen Quenchraten eine Herausforderung dar. In diesem Beitrag wird die LIF Methode zur Bestimmung des ersten metastabil angeregten Stickstoffmoleküls

$\text{N}_2(A^3\Sigma_u^+)$  angewandt. Messungen raum- und zeitabhängiger LIF-Signale an einer DBD in Helium-Stickstoffgemischen und die Kalibrierung absoluter Dichten durch den Vergleich mit Rayleigh-Streuung werden vorgestellt. Damit verbunden ist die Messung von effektiven Lebensdauern sowie die Bestimmung des Verhältnisses zwischen Fluoreszenz und Stokabregung des angeregten Zustandes.

Gefördert von der DFG im Rahmen des SFB TRR-24, Teilprojekt B11.

#### Hauptvortrag

P 3.4 Di 11:30 HS H

**Dynamik kapazitiv gekoppelter Hochfrequenzplasmen in Sauerstoff** — ●JÜRGEN MEICHSNER, CHRISTIAN KÜLLIG und KRISTIAN DITTMANN — Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Institut für Physik, 17487 Greifswald

Kapazitiv gekoppelte Hochfrequenzplasmen (cw oder gepulst) in Sauerstoff stellen ein geeignetes Modellsystem zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens eines komplexen Plasmas dar. Die Komplexität dieses Plasmas ergibt sich aus der Speziesvielfalt, wobei neben den Elektronen und positiven Ionen auch negative Ionen, Metastabile sowie reaktive Sauerstoffatome berücksichtigt werden müssen. Metastabil angeregte Sauerstoffmoleküle tragen sowohl zur Bildung als auch zum Detachment von negativen Ionen bei und beeinflussen damit die Dynamik dieser Plasmen. Insbesondere wird eine anlagerungsinduzierte Ionisationsinstabilität beobachtet, die sich u.a. in einer periodischen Schwankung der Elektronendichte äußert. Die Messung linienintegrierter Elektronendichten in Sauerstoffplasmen erfolgte mittels einer optimierten Mikrowelleninterferometrie bei 160 GHz und quasioptischer Strahlführung. Darüber hinaus ermöglichte ein simultanes Laser Photodetachment die Bestimmung linienintegrierter Dichten von negativen Sauerstoffionen im Bulkplasma. Dabei offenbarten sich zwei Betriebsmodi der Hochfrequenzentladung, die sich durch eine hohe bzw. niedrige Elektronegativität unterscheiden. Die Randschichtdynamik wurde mit Hilfe der phasenaufgelösten optischen Emissionsspektroskopie und einer PIC-MC Simulation untersucht.

P 3.5 Di 12:00 HS H

**On the reactivity of plasma stimulated catalytic surfaces** — ●DMITRY LOPATIK<sup>1</sup>, MARKO HÜBNER<sup>1</sup>, DANIIL MARINOV<sup>2</sup>, OLIVIER GAUITELLA<sup>2</sup>, ANTOINE ROUSSEAU<sup>2</sup>, and JÜRGEN RÖPCKE<sup>1</sup> — <sup>1</sup>INP, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany — <sup>2</sup>LPP, Ecole Polytechnique, UPMC, Université Paris Sud-11, CNRS, Palaiseau, France

The pollution abatement from gas exhausts to achieve best air quality is an important contribution for environmental and health protection. Catalysts with increased reactivity can lead to a more efficient reduction of volatile organic compounds (VOC) and other harmful gases. The stimulation of catalytic surfaces via plasma treatment is an innovative approach but far from being fully understood. Recently it has been shown that catalytic surfaces like quartz, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Pyrex exposed to low pressure N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> plasmas can adsorb reactive atomic species. In the present study the reactivity of plasma stimulated catalytic surfaces has been investigated by analyzing the oxidation of hydrocarbons into CO and CO<sub>2</sub>. In the reaction volume the temporal evolution of molecular concentrations has been monitored using quantum cascade laser absorption spectroscopy (QCLAS) in the mid infrared spectral range. The influence of parameters, as e.g. gas mixture, temperature, pressure and power, of the plasma treatment of catalytic surfaces on the kinetics of chemical processes was in the center of interest. The analysis of the hydrocarbon reduction and carbon oxide production rates provides information about the density of

adsorbed species and the character of surface chemistry phenomena.

P 3.6 Di 12:15 HS H

**Determination of electron densities by diode-laser absorption spectroscopy** — ●YUSUF CELIK<sup>1</sup>, TSANKO TSANKOV<sup>1</sup>, DIRK LUGGENHÖLSCHER<sup>1</sup>, UWE CZARNETZKI<sup>1</sup>, and MITSUTOSHI ARAMAKI<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr -University Bochum, Germany — <sup>2</sup>Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University, Japan

A novel method to determine electron densities in pulsed low pressure ICP discharges via absorption spectroscopy on argon metastables is presented. The laser system used in the experiment is an external cavity diode laser (ECDL) in Littrow configuration tuned at a vacuum wavelength of 696.73 nm. The temporal evolution of the line-integrated absorption from metastable argon atoms in the Ar1s5 (Paschen notation) state in the afterglow is recorded. An analytical expression for the decay of metastables is presented which allows the determination of electron densities. For the analysis, the spatial metastable and electron density profile inside the chamber and the line-integration of the detected signal is taken into account. Further, the analytical model and a developed 2D fluid-dynamic simulation show that the metastable density distribution is spatially homogeneous. The results for electron densities obtained with this technique are compared to Langmuir probe measurements showing good agreement. Furthermore, metastable densities and gas temperatures are determined in the stationary plasma by scanning the laser wavelength over the Doppler-shaped absorption profile.

P 3.7 Di 12:30 HS H

**Fokussierung von XUV-Strahlung einer Laser-Plasmaquelle mittels einer Multilayer Laue Linse** — ●MICHAEL REESE<sup>1</sup>, TOBIAS LIESE<sup>2</sup>, PETER GROSSMANN<sup>1</sup>, HANS-ULLRICH KREBS<sup>2</sup> und KLAUS MANN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Laser-Laboratorium-Göttingen, Hans-Adolf-Krebs-Weg 1, 37077 Göttingen, Deutschland — <sup>2</sup>Institut für Materialphysik, Universität Göttingen, Friedrich-Hund-Platz 1, 37077 Göttingen, Deutschland

Extrem-ultraviolette (XUV-) Strahlung im Bereich des Wasserfensters ( $\lambda = 2,3\text{nm} - 4,4\text{nm}$ ) eignet sich hervorragend für die Untersuchung organischer Proben in wässriger Umgebung. In diesem Wellenlängenbereich existieren jedoch keine refraktiven Optiken, sondern diffrakti-

ve Optiken werden sowohl zur Fokussierung als auch zur Abbildung eingesetzt. Ihr Auflösungsvermögen bestimmt sich durch die Breite der äußersten Zone, welche bisher auf 12 nm begrenzt ist. Ein alternativer Ansatz ist die aus Dünnschichtpaketen aufgebaute "Multilayer-Laue-Linse" (MLL), deren Strukturgrößen deutlich kleiner sein können. Im Institut für Materialphysik der Universität Göttingen wurde in Kombination von Pulsed Laser Deposition (PLD) und Focussed Ion Beam (FIB) eine MLL hergestellt und am Laser-Laboratorium Göttingen charakterisiert. Hierbei wird eine kompakte, laser-induzierte XUV-Plasmastrahlungsquelle eingesetzt. Mit einem Titan-gefiltertem gasförmigen Stickstoff Target wird dafür eine einzelne Emissionslinie ( $\lambda = 2,88\text{ nm}$ ) erzeugt. Zur Charakterisierung der MLL wurden der Divergenzwinkel und die Strahltaile vermessen. Der Fokusbereich kann mit 374 nm (FWHM) angegeben werden.

P 3.8 Di 12:45 HS H

**NEXAFS-Spektroskopie im Bereich des Wasserfensters mit Hilfe einer auf Laserplasmen basierenden Labor-Röntgenquelle** — ●PETER GROSSMANN, ARMIN BAYER und KLAUS MANN — Laser-Laboratorium Göttingen e.V., Hans-Adolf-Krebs-Weg 1, 37077 Göttingen, Deutschland

Aufgrund der rasanten Entwicklung der EUV-Lithographie stehen seit einiger Zeit Table-Top-Quellen für weiche Röntgenstrahlung ( $\lambda=1-20\text{nm}$ ) mit hoher Brillanz zur Verfügung. Am Laser-Laboratorium Göttingen e.V. (LLG) wurden derartige Quellen u.a. auf Basis von Gas als Target für laserinduzierte Plasmen entwickelt. Durch die Wahl des Targetgases können sowohl Linien- als auch kontinuierliche Spektren erzeugt werden. Die Intensität und der Anregungsgrad der Plasmen lassen sich maßgeblich durch die Laserpulslänge beeinflussen, wie Versuche mit ns- und ps-Pulsen zeigen. Die Verwendung eines hochenergetischen Nd:YAG-Lasers mit einer Pulslänge von 170ps ermöglicht Pump-Probe Experimente mit entsprechend hoher Zeitauflösungen.

Mit einer derartigen Quelle konnte ein kompaktes Spektrometer zur Untersuchung der Nahkanten-Absorption (NEXAFS) aufgebaut werden. Aktuelle Untersuchungen mittels NEXAFS zur Charakterisierung des Phasenübergangs bei Pr1-xCaxMnO3 (PCMO) zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der Nahkanten-Feinstruktur der Pr M4,5-, Ca L2,3-, Mn L2,3- und O K-Kanten mit vergleichbaren Synchrotron-daten. Ferner wurden die Oxidationszustände verschiedener anorganischer Materialien (SiOx und ZrOx) sowie die Nahkanten-Feinstruktur von Polymeren an der Kohlenstoff K-Kante analysiert.

## P 4: Dichte Plasmen / Schwerionen- und Laserplasmen

Zeit: Dienstag 10:30–13:00

Raum: HS C

### Hauptvortrag

P 4.1 Di 10:30 HS C

**Laser-matter and laser-vacuum interaction at extreme field strengths** — ●HARTMUT RUHL — Ludwig-Maximilians-Universität München, Lehrstuhl für Theoretische Physik, München

The projected ELI facility promises to make field strengths accessible for experiments that are orders of magnitude in excess of what is possible presently. It is believed that effects of radiation reaction and quantum vacuum stability become detectable on macroscopic scales. A model is presented that shows the onset of electron, positron and photon cascading in the presence of ELI-scale optical fields. The model is based on a set of transport equations in the context of strong electromagnetic fields. The latter are solved numerically. For circular polarized spatially constant external electric fields the growth rate of the cascade can also be obtained analytically. The analytical results will be compared with the numerical solution of the problem. In addition, more complex scenarios as they are relevant for ELI will be discussed.

### Hauptvortrag

P 4.2 Di 11:00 HS C

**Eigenschaften Warmer, Dichter Materie - Physik auf dem Weg zur Laserfusion** — ●DIRK O. GERICKE, DAVID CHAPMAN, DONALD EDIE, JAN VORBERGER und KATHRIN WÜNSCH — Centre for Fusion, Space and Astrophysics, Department of Physics, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, United Kingdom

Die Fertigstellung der National Ignition Facility (NIF) in Livermore, USA ist ein wichtiger Meilenstein in der Trägheitsfusion und erlaubt nun praktische Experimente auf der relevanten Energieskala. Wärme, dichte Materie wird dabei als transitiver Zustand sowohl im Wasserstoff-Pellet als auch im umgebenden Material erzeugt. Ihre Eigenschaften

sind somit wichtig, um Fusionstargets erfolgreich zu zünden. Wichtige Beispiele sind der Energieverlust von  $\alpha$ -Teilchen in dichten Plasmen, Relaxationsvorgänge nach der Heizung, das Schmelzen des Ablators unter hohem Druck und die Zustandsgleichung für dichten Wasserstoff. Im Vortrag werden verschiedene theoretische Modelle für die Berechnung dieser Größen vorgestellt. Weiterhin werden auch experimentelle Tests der Theorien erläutert. Obwohl diese oft an viel kleineren Lasern vorgenommen werden zeigen sie doch die reiche Physik, die auf dem Weg zur Laserfusion zu verstehen ist.

P 4.3 Di 11:30 HS C

**Radiation reaction effects on ion acceleration in laser-solid interaction** — ●MATTEO TAMBURINI<sup>1</sup>, FRANCESCO PEGORARO<sup>1</sup>, ANTONINO DI PIAZZA<sup>2</sup>, CHRISTOPH H. KEITEL<sup>2</sup>, TATYANA V. LISEYKINA<sup>3</sup>, and ANDREA MACCHI<sup>1,4</sup> — <sup>1</sup>Dipartimento di Fisica, Università di Pisa, Largo Bruno Pontecorvo 3, I-56127 Pisa, Italy — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, D-69117 Heidelberg, Germany — <sup>3</sup>Institute of Computer Technologies, SD-RAS, Novosibirsk, Russia and Institute of Physics, University of Rostock, Germany — <sup>4</sup>Istituto Nazionale di Ottica, CNR, Pisa, Italy

At the extremely high optical laser intensities expected in the near future, electrons become ultrarelativistic within a fraction of the wave period experiencing superstrong accelerations and therefore emitting relatively large amounts of electromagnetic radiation. At such extreme laser intensities it may be then necessary to include radiation reaction (RR) effects to describe the laser-plasma interaction.

In this contribution [1], we present the results of our PIC simulations with RR effects included in the radiation pressure-dominated regime, both for linear and circular polarization. Our approach is based on

the Landau-Lifshitz (LL) equation of motion for electrons. Our results show that the RR force leads to a significant electron cooling and an increased spatial bunching of both electrons and ions with a beneficial effect on the quality of the ion spectrum.

[1] M. Tamburini, F. Pegoraro, A. Di Piazza, C. H. Keitel and A. Macchi, *New J. Phys.* vol. 12, 123005 (2010); M. Tamburini et al., *Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. A*, in press.

P 4.4 Di 11:45 HS C

**Interplay between ionization, pulse propagation and particle acceleration in intense laser-matter interaction** — ●TATYANA LISEYKINA and DIETER BAUER — Universität Rostock, Institut für Physik, 18051 Rostock, Germany

One important application of intense lasers is the acceleration of particles. When intense, near infrared laser light interacts with matter, the electric field of the laser easily rips off outer electrons, and a plasma is formed. Both electrons and ions can then be accelerated up to hundreds of MeV. While laser-based particle acceleration shows an unprecedented efficiency as far as particle energy per acceleration length is concerned, the beam quality is not yet sufficient for many applications. Experimentalists in this field are guided by simulation results, mainly obtained using the PIC method. Standard PIC codes start with a preformed plasma of a certain density profile and temperature, which means that ionization, both by the electric field and by collisions, is neglected. However, as the laser field propagation is determined by the plasma density but the plasma is generated by ionization due to the laser, the charge state and density distributions have to be calculated self consistently. In fact, even the strongest present-day lasers cannot fully ionize heavier elements so that the assumption of a preformed plasma is often inadequate. In the present paper we show our recent results on the interplay between ionization, pulse propagation and particle acceleration in intense laser-matter interaction using three-dimensional, relativistic PIC simulations with ionization included.

P 4.5 Di 12:00 HS C

**Are laser-induced beams spin polarized?** — MARKUS BÜSCHER<sup>1</sup>, ●ILHAN ENGIN<sup>2,1</sup>, PAUL GIBBON<sup>3</sup>, MOHAMMAD AZIZ HESSAN<sup>2,1</sup>, ANUPAM KARMAKAR<sup>3</sup>, ANDREAS LEHRACH<sup>1</sup>, NATASCHA RAAB<sup>1</sup>, MONIKA TONCIAN<sup>4</sup>, TOMA TONCIAN<sup>4</sup>, and OSWALD WILLI<sup>4</sup> — <sup>1</sup>Institut für Kernphysik (IKP) and Jülich Center for hadron Physics (JCHP), Forschungszentrum Jülich — <sup>2</sup>RWTH Aachen — <sup>3</sup>Jülich Supercomputing Center (JSC), Forschungszentrum Jülich — <sup>4</sup>Institut für Laser-Plasma Physik (ILPP), Heinrich Heine Universität Düsseldorf

The physics of laser-plasma interactions has undergone dramatic developments in recent years, both experimentally and in the theoretical understanding of high-brightness light and particle sources. However, it is a yet untouched issue whether the laser-generated particle beams are or can be spin-polarized and, thus, whether laser-based polarized sources are conceivable.

The first measurement of the degree of polarization of laser-accelerated protons have recently been carried out at the Düsseldorf Arcturus Laser Facility where proton beams of typically 3 MeV were produced in foil targets. The results have been analysed with the help of particle-in-cell simulations to follow the generation of static magnetic field gradients ( $\sim 100$ s of Megagauss per micron) in thin foil targets.

As a next step, measurements with unpolarized H<sub>2</sub> (for proton acceleration) and <sup>3</sup>He gas (for <sup>3</sup>He ions) are planned and, finally, polarized <sup>3</sup>He will be used.

P 4.6 Di 12:15 HS C

**Kinetic equation approach to describe dynamics of irradiated samples** — ●BEATA ZIAJA<sup>1</sup>, CHRISTOPH BOSTEDT<sup>2</sup>, TIM LAARMANN<sup>3</sup>, FENGLIN WANG<sup>3</sup>, EDGAR WECKERT<sup>3</sup>, and THOMAS MÖLLER<sup>4</sup> — <sup>1</sup>CFEL, DESY, D-22607 Hamburg, Germany — <sup>2</sup>SLAC, LCLS Exp Fac Instr Sci R&D, CA 94025, USA — <sup>3</sup>HASYLAB, DESY, D-22607 Hamburg, Germany — <sup>4</sup>TU Berlin, Institut für Optik und Atomare Physik, D-10623 Berlin, Germany

We describe the kinetic equation approach to follow the dynamics of irradiated samples. We introduce the kinetic Boltzmann equation and discuss its advantages and limitations, when comparing to other modelling methods. We then apply this equation to describe the experimental data on irradiated clusters and laser-created plasmas that were obtained at the free-electron laser facility FLASH at DESY. We show the good agreement between experimental results and our theoretical estimations.

P 4.7 Di 12:30 HS C

**High-quality dense laser-accelerated proton beams for hadron cancer therapy** — ●BENJAMIN J. GALOW, ZOLTÁN HARMAN, and CHRISTOPH H. KEITEL — Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, D-69029 Heidelberg, Germany

Simulations based on the coupled relativistic equations of motion show that protons stemming from laser-plasma processes (e.g. target normal sheath acceleration) can be efficiently post-accelerated employing pulsed laser beams in different configurations focused to spot radii on the order of the laser wavelength. We demonstrate in [1] that the laser fields produce quasi-monoenergetic accelerated protons with kinetic energies exceeding 200 MeV, small energy spreads of about 1% and high densities as required for hadron cancer therapy. To our knowledge, this is the first scheme allowing for this important application based on a laser set-up.

[1] B. J. Galow, Z. Harman, and C. H. Keitel, *Opt. Express* **18**, 25950–25957 (2010)

P 4.8 Di 12:45 HS C

**Bestimmung von Elektronenstoßionisationsquerschnitten hochgeladener Eisenionen über Ionenextraktionsmessungen an einer EBIS** — ●ROBERT MERTZIG<sup>1</sup>, ALEXANDRA THORN<sup>1</sup>, FALK ULLMANN<sup>2</sup> and GÜNTER ZSCHORNACK<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Dresden, Germany — <sup>2</sup>Drebit GmbH, Dresden, Germany

Experimente mit in Elektronenstrahlquellen erzeugten, hochgeladenen Ionen bieten hervorragende Möglichkeiten, Atomdaten für die Plasma- und Astrophysik präzise zu messen und theoretische Modelle zur Beschreibung der Struktur hochgeladener Ionen und dynamischer Prozesse mit involvierten hochgeladenen Ionen zu prüfen. Wir berichten über Ionenextraktionsexperimente an einer EBIS (Electron Beam Ion Source) - Ionenquelle mit dem Ziel, Elektronenstoßionisationsquerschnitte von hochgeladenen Eisenionen zu bestimmen. Untersucht wird die Einfachionisation von Fe<sup>16+</sup> bis Fe<sup>23+</sup> im Elektronenenergiebereich von 15 keV bis 20 keV. Dazu erfolgten Messungen an einer Ionenquelle des Typs Dresden EBIS - A, bei denen für unterschiedliche Ionisationszeiten die korrespondierenden Intensitäten der ladungszustandsseparierten, extrahierten Ionen vermessen wurden. Aus diesen Zusammenhängen kann der Elektronenstoßionisationsquerschnitt bestimmt werden. Experimentell gewonnene Ergebnisse werden vorgestellt und im Vergleich mit gängigen Theorien diskutiert. Darüber hinaus wird gezeigt, dass die beschriebene Methode Möglichkeiten zur Messung von Elektronenstoßionisationsquerschnitten für hochgeladene Ionen unterschiedlichster Elemente bietet.

## P 5: Komplexe / Staubige Plasmen

Zeit: Dienstag 14:00–16:25

Raum: HS H

**Hauptvortrag** P 5.1 Di 14:00 HS H  
**Nichtlineare Phänomene und Selbstorganisation in staubigen Plasmen** — ●OLIVER ARP, KRISTOFFER OLE MENZEL, DAVID CALIEBE, CHRISTIAN SCHMIDT, TIM BOCKWOLDT und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU-Kiel, D-24098, Kiel

Staubige Plasmen zeigen eine Vielzahl von dynamischen und strukturbildenden Phänomenen, die sich mit linearen Theorien nicht beschreiben lassen. Beispiele sind u.a. das komplizierte Wellenfeld von selbstregerten Staubbichtwellen sowie die Dynamik der Staubwolke hinter

einem schnellen Projektil. Selbsterregte Staubbichtwellen werden von strömenden Ionen angetrieben und zeigen in ausgedehnten, dreidimensionalen Staubwolken ein Wellenfeld mit Phasendefekten und Frequenzinseln, dass nicht mit dem linearen Wellenbild nach Huygens vereinbar ist. Das beobachtete Wellenfeld kann als System partiell synchronisierter, nichtlinearer Oszillatoren beschrieben werden, was zu einem Paradigmenwechsel bei der Interpretation des Wellenphänomens führt. Die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen schnellen Staubprojektilen und einer stationären dreidimensionalen Staubwolke erlaubt

es wichtige Informationen über die viskoelastischen Eigenschaften von staubigen Plasmen zu gewinnen. Die Wechselwirkung des Projektils mit der Staubwoke hängt dabei stark von der Projekttilgröße und -geschwindigkeit ab. Es werden neueste Ergebnisse von Experimenten im Labor und unter Schwerelosigkeit, sowie von Simulationen vorgestellt. Diese Arbeit wurde gefördert durch das DLR unter 50WM0739.

**Fachvortrag** P 5.2 Di 14:30 HS H  
**An effective coupling parameter for Yukawa systems and its use as a non-invasive measurement method** — ●TORBEN OTT and MICHAEL BONITZ — Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Theoretische Physik und Astrophysik

The Yukawa model is often employed to describe strongly coupled systems such as dusty plasmas. Two parameters define the system: i) The coupling parameter  $\Gamma$ , and ii) the screening parameter  $\kappa$ . These two dimensionless parameters fully govern the structural and dynamical properties of the system which can be obtained, for example, through molecular dynamics simulations. We show how it is possible to define an effective coupling parameter  $\Gamma^*(\Gamma, \kappa)$  for Yukawa systems based on structural properties. Using additional dynamical data contained in the velocity autocorrelation function, we then derive a reference data method (RDM) which enables the reconstruction of the governing parameters ( $\Gamma$  and  $\kappa$ ) from trajectory snapshots. This RDM can serve as a non-invasive way of determining the plasma conditions, complementary to currently used methods, and achieves an accuracy of about 10%.

[1] T. Ott, M. Stanley, M. Bonitz, ArXiv 1010.6193v1 (2010)

P 5.3 Di 14:55 HS H  
**Kraftmessungen im Void in staubigen Plasmen unter Schwerelosigkeit** — ●BIRGER BUTTENSCHÖN, MICHAEL HIMPEL und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald

In ausgedehnten, dreidimensionalen Staubstrukturen unter Schwerelosigkeit, wie sie zum Beispiel auf Parabelflügen erzeugt werden können, bildet sich im Zentrum der Staubwolke oft ein partikelfreies Void aus. Die Voidkante ist durch ein Gleichgewicht der nach außen gerichteten Ionenwindkraft und der nach innen gerichteten elektrischen Feldkraft bestimmt. Um das im Void herrschende Kraftfeld detailliert zu untersuchen, wurden in Experimenten auf Parabelflügen schwere Partikel durch die Staubwolke in das Void hinein geschossen und ihre Trajektorien verfolgt. Dies geschieht mit einem eigens für Parabelflüge entwickelten stereoskopischen Kameraaufbau aus drei nicht-orthogonal zueinander angeordneten Kameras, aus deren Bildern die Partikeltrajektorien vollständig dreidimensional rekonstruiert werden. Aus der auf die Partikel wirkenden Beschleunigung wurde, unter Berücksichtigung der Reibung mit dem Gashintergrund sowie der Fluktuationen in der Restgravitation, die dreidimensionale Struktur des Kraftfelds im Void abgeleitet.

Diese Arbeit wird gefördert durch das DLR unter 50WM0738 und 50WM1138.

P 5.4 Di 15:10 HS H  
**Raum-zeitliche Strukturen in Staubbichtwellen unter Schwerelosigkeit** — ●KRISTOFFER OLE MENZEL, OLIVER ARP, TIM BOCKWOLDT und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU-Kiel, D-24098 Kiel  
 Bringt man Mikropartikel (Staub) in ein Hochfrequenzplasma ein, so können sich bei genügend hohen Partikeldichten und geringen Neutralgasdrücken Dichtefluktuationen in der Staubwolke ausbreiten. Die stark nichtlinearen Wellen beziehen ihre Energie aus einer Ionenströmung im Plasma und werden deshalb als selbsterregt bezeichnet. Unter Schwerelosigkeit besitzen die dreidimensionalen Wellenfelder komplizierte raum-zeitliche Strukturen. Diese beinhalten das Auftreten von topologischen Defekten, an denen Wellenfronten aufbrechen oder sich verbinden. In diesem Beitrag werden die Wellen im Detail mit Hilfe von Methoden studiert, die es erlauben, instantane Welleneigenschaften zu bestimmen. Eine detaillierte Frequenzmessung zeigte insbesondere das Auftreten sogenannter Frequenzcluster [1,2]. Hierbei handelt es sich um Bezirke unterschiedlicher aber jeweils konstanter Frequenz. Die Analyse erlaubt es außerdem, den Einfluss der Defekte auf die Clusterbildung zu beschreiben. Dabei hat sich gezeigt, dass das System van-der-Pol artigen Charakter besitzt. Dieser Befund konnte in numerischen Simulationen nachempfunden werden. Gefördert durch DLR unter 50WM0739.

[1] K.O. Menzel, O. Arp, and A. Piel, Phys. Rev. Lett. 104, 235002 (2010)

[2] K.O. Menzel, O. Arp, and A. Piel, Phys. Rev. E (in press)

P 5.5 Di 15:25 HS H  
**Kristallisation in Komplexen Plasmen unter Mikrogravitationsbedingungen** — MIERK SCHWABE<sup>1</sup>, ●PETER HUBER<sup>1</sup>, ALEXEI IVLEV<sup>1</sup>, MILENKO RUBIN-ZUZIC<sup>1</sup>, HUBERTUS THOMAS<sup>1</sup>, GREGOR MORFILL<sup>1</sup>, ANDREJ LIPAEV<sup>2</sup>, VLADIMIR MOLOTKOV<sup>2</sup>, OLEG PETROV<sup>2</sup> und VLADIMIR FORTOV<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Giessenbachstr., 85748 Garching — <sup>2</sup>Joint Institute for High Temperatures, 125412 Moscow, Rußland

Komplexe Plasmen bestehen aus Niedertemperaturplasmen, in denen sich mikrometergroße Kügelchen befinden. Die Mikroteilchen laden sich auf und wechselwirken miteinander. Wenn die Kopplungsstärke groß genug ist, bilden sie Kristalle aus, deren Wachstum und Schmelzen auf dem Level einzelner Teilchen beobachtet werden kann. Unter Gravitationsbedingungen gelingt es jedoch meist nur, wenige Lagen von solchen Plasmakristallen herzustellen.

Das russisch-deutsche Plasmakristall-Experiment PK-3 Plus befindet sich auf der Internationalen Raumstation ISS. Es besteht aus einer kapazitiv gekoppelten Plasmakammer, in der wegen der Mikrogravitation auf der ISS ideale Bedingungen herrschen, um große Kristalle zu untersuchen. Hier stellen wir neue Ergebnisse zur Kristallisation von komplexen Plasmen in PK-3 Plus vor.

P 5.6 Di 15:40 HS H  
**Complex Plasmas in external fields: Role of non-Hamiltonian interactions** — ●MARKUS THOMA<sup>1</sup>, ALEXEI IVLEV<sup>1</sup>, CHRISTOPH RÄTH<sup>1</sup>, GLENN JOYCE<sup>2</sup>, and GREGOR MORFILL<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, 85741 Garching, Germany — <sup>2</sup>Icarus Research Inc., Bethesda, Maryland 20814, USA

Dedicated experiments with strongly coupled complex plasmas in external electric fields were carried out under microgravity conditions using the PK-4 dc discharge setup. The focus was put on the comparative analysis of the formation of string-like anisotropic structures due to reciprocal (Hamiltonian) and non-reciprocal (non-Hamiltonian) interactions between microparticles (induced by ac and dc fields, respectively). The experiments complemented by numerical simulations demonstrate that the responses of complex plasmas in these two regimes are drastically different. The observed distinction is a striking manifestation of intrinsic thermodynamic openness of driven strongly coupled systems

P 5.7 Di 15:55 HS H  
**Dust Particle Growth in PK-4** — ●LISA WÖRNER<sup>1,2</sup>, EVA KOVACEVIC<sup>1</sup>, JOHANNES BERNDT<sup>1</sup>, MARKUS THOMA<sup>2</sup>, LAIFA BOUFENDI<sup>1</sup>, and GREGOR MORFILL<sup>2</sup> — <sup>1</sup>GREMI, Orléans, France — <sup>2</sup>MPE, Garching, Germany

Dusty plasmas are a unique possibility to study the formation of nanoparticles from the gas phase in a closed and controlled laboratory setup. Particle growth is interesting regarding fundamental physics but in addition biomedical and industrial applications are under investigation. The objective of this work covers the study of dust formation in a dc discharge. The dc discharge is run inside an u-shaped glass cylinder. It is operated by two electrodes to which voltages up to 2 kV can be applied. In order to capture particles the polarity of the voltage can be switched. An rf coil is wrapped around the tube which is operated at 13,56 MHz and a peak-to-peak voltage of 200 V. The chamber is operated with Argon and mixtures of Argon with Acetylene at pressures around 100 Pa. Hence the growth is observed from etching particles laying on the surface of the glass tube, injected particles captured in the plasma, and in the gas phase by chemical reactions from Acetylene. The major prospective is to compare the growth mechanisms with those observed in experiments using rf discharges.

P 5.8 Di 16:10 HS H  
**Toroidale Staubströmungen in magnetisierten Plasmen** — ●TORBEN REICHSTEIN und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel

In einem magnetisierten anodischen Plasma ist es möglich, torusförmige Staubwolken einzufangen, deren Partikel um ein zentralen staubfreien Bereich (Void) rotieren. Einschluss und Dynamik dieser Strukturen wurden experimentell untersucht und ein simples hierarchisches Modell zur Beschreibung dieser Wolken vorgestellt. Darin wird die Staubbildung in einem 1D-Einzelteilchenmodell durch eine Modulation einer azimuthal gerichteten Ionenwindkraft durch die Gewichtskraft beschrieben [1]. Durch neue Experimente motiviert, wurde das Modell erweitert, um Vielteilcheneffekte ebenso wie ballistische Effekte zu berücksichtigen. Simulationen des erweiterten Modells haben neben einem verbessertem Verständnis der experimentellen Befunde auch neue Effekte wie das Auftreten von Dust Lattice Waves gezeigt [2]. In einem



weiteren Schritt wurden dreidimensionale MD-Simulationen auf GPU durchgeführt, die einen noch tieferen Einblick in die Strömungsvorgänge in torusförmigen Staubwolken erlauben und weitere neue Aspekte wie die Bildung von Wirbeln zeigen.

In diesem Beitrag wird neben den experimentellen Untersuchungen

vor allem auf die MD-Simulationen eingegangen.

Gefördert durch SFB-TR24/A2.

[1] I. Pilch et al., Phys. Plasmas **15**, 103706, 2008

[2] T. Reichstein et al., Phys. Plasmas **17**, 093701, 2010

## P 6: Magnetischer Einschluss II / Lichttechnik

Zeit: Dienstag 14:00–16:25

Raum: HS C

**Hauptvortrag** P 6.1 Di 14:00 HS C  
**Three-dimensional magnetic perturbation fields in fusion plasmas: plasma edge transport and plasma surface interaction** — OLIVER SCHMITZ and •AND THE DIII-D ANDTEXTOR TEAMS — Institute of Energy and Climate Research - Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner In the Trilateral Euregio Cluster, Jülich, Germany

Three-dimensional (3D) magnetic perturbation fields are applied to high temperature plasma experiments to optimize the transport in the plasma edge and the resulting plasma wall interaction. While 3D magnetic field topologies are inherent to stellarator devices, the application of small, external 3D magnetic perturbation fields is a new and promising approach in tokamaks to control cyclic edge instabilities causing impulsive heat and particle loads to the first wall. The external 3D field applied breaks the axisymmetry and the standard assumptions for plasma edge transport are not valid anymore. Thus the resulting plasma surface interaction is governed by the 3D field structure. This talk will survey experimental results on the formation of such a 3D plasma boundary and the stationary plasma edge transport is studied with a Monte-Carlo fluid plasma and kinetic neutral transport model (EMC3-Eirene) in direct comparison to the experiment. It is shown that a 3D plasma boundary is induced resulting in 3D plasma surface particle and heat fluxes. Experimental quantification of the resulting material erosion at the wall elements shows that the net-erosion characteristic in a 3D boundary is highly dependent on the actual location in the 3D topology.

**Fachvortrag** P 6.2 Di 14:30 HS C  
**3D-Struktur der Driftwellenturbulenz** — •GREGOR BIRKENMEIER, ZOLTAN IVADY, BERNHARD NOLD, MIRKO RAMISCH und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart

Driftwellenturbulenz trägt am Rand von Fusionsplasmen entscheidend zum Verlust von Teilchen und Energie bei, weswegen ein grundlegendes Verständnis der Driftwellenturbulenz von großem Nutzen für zukünftige Fusionsexperimente ist. Es handelt sich dabei um ein intrinsisch dreidimensionales Phänomen und stellt damit hohe Anforderungen an die raum-zeitliche Auflösung von Plasmadiagnostiken und die Analyse der damit gewonnenen Daten. Im Niedertemperatur-Stellarator TJ-K wurden dazu zwei Sondenkränze mit jeweils 64 Langmuir-Sonden, deren Spitzen alle auf eine einzige Flussfläche positioniert sind, an zwei verschiedenen toroidalen Stellen eingesetzt. Damit können Ionensättigungstrom- bzw. Floatingpotentialsignale an 128 Stellen auf einer Flussfläche simultan mit hoher zeitlicher Auflösung aufgenommen werden. Mittels Kreuzkorrelationsanalysen und der genauen Kenntnis der Magnetfeldliniengeometrie kann sowohl die Dynamik senkrecht als auch parallel zum Magnetfeld visualisiert und studiert werden. Als Ergebnis erhält man senkrechte und parallele Propagationsgeschwindigkeiten bzw. Korrelationslängen kohärenter Driftmoden, die tiefere Einblicke in die Entstehung und zeitliche Entwicklung von Driftwellenturbulenz zulassen. Es zeigt sich zudem ein Zusammenhang zwischen der senkrechten Struktur und lokalen Parametern der Magnetfeldgeometrie.

P 6.3 Di 14:55 HS C  
**Spatiotemporal energy exchange of nonlinearly coupled drift wave modes** — •CHRISTIAN BRANDT<sup>1</sup>, FRÉDÉRIC BROCHARD<sup>2</sup>, GÉRARD BONHOMME<sup>2</sup>, VOLKER NAULIN<sup>3</sup>, THOMAS WINDISCH<sup>1</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,4</sup>, and THOMAS KLINGER<sup>1,4</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Greifswald — <sup>2</sup>Institut Jean Lamour, UMR 7198 CNRS, Dpt P2M, Université Henri Poincaré, Nancy IBP 70239, F-54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France — <sup>3</sup>EURATOM Association-Risø National Laboratory, Technical University of Denmark, OPL-128 Risø, PO Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark — <sup>4</sup>Ernst-Moritz-Arndt Universität, Greifswald

In turbulent systems the nonlinear coupling of modes causes energy transfer between several spatiotemporal scales. In the linear magnetized plasma of the MIRABELLE device drift-wave modes are studied in regimes ranging from coherence to weakly developed turbulence. A fast camera diagnostic is used to record visible light fluctuations of the plasma column in an azimuthal cross section with a temporal resolution of 10  $\mu$ s corresponding approximately to 10 % of the typical drift-wave period. The fluctuations of visible light are proportional to the plasma density fluctuations. A spatiotemporal Fourier-decomposition of the camera frames yields information of the energy transfer between the drift-wave modes. The nonlinear mode coupling is quantified by bicoherence analysis. The results are compared to the self-consistent 3D drift-wave code CYTO.

P 6.4 Di 15:10 HS C  
**Einfluss negativer Ionen auf Driftwellen in einem Ar/O<sub>2</sub>-Plasma geringer Dichte** — •SASCHA KNIST, FLORIAN BISS, FRANÇO GREINER und ALEXANDER PIEL — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität, D-24098 Kiel

Der Einfluss negativer Ionen auf Driftwellen wurde im Experiment DUSTWHEEL mittels Sondendiagnostik und Kreuzkorrelationsanalyse untersucht. Driftwellen werden in DUSTWHEEL bei geringer Dichte ( $5 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ ) und hohem Magnetfeld (0.5 T) sowohl in einem Argonplasma als auch in Gegenwart negativer Ionen angeregt. Alle untersuchten Plasmen zeigen ein Gaußsches Dichteprofil und ein parabelförmiges Potentialprofil, die zu einer radial unverscherten Rotation der Driftwelle führen. Das radiale Dichteprofil der negativen Ionen, das mit einer Sondentechnik bestimmt wurde, ist hohl. Die Frequenz der Driftwelle verringert sich bei der Zugabe von Sauerstoff um 25%. Obwohl in DUSTWHEEL ein axialer Dichtegradient existiert, findet man über die gesamte Plasmasäule eine konstante Wellenfrequenz. Die Wellenfrequenzen im Argonplasma lassen sich gut aus den radialen Gleichgewichten in der Mittelebene bestimmen. In Gegenwart negativer Ionen lässt sich solch eine Beziehung nicht herstellen. Wir führen diese unterschiedlichen Befunde auf die axial inhomogene Verteilung der negativen Ionen zurück. Gefördert durch den SFB-TR24/A2.

P 6.5 Di 15:25 HS C  
**Dynamisches Verhalten stromfreier Doppelschichten** — •TIMO SCHRÖDER<sup>1,2</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,2</sup>, THOMAS KLINGER<sup>1,2</sup>, ROD BOSWELL<sup>3</sup> und CHRISTINE CHARLES<sup>3</sup> — <sup>1</sup>EMA Universität Greifswald — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — <sup>3</sup>Australian National University, Canberra, Australia

Doppelschichten (DS), d.h. lokalisierte Grenzschichten zwischen Plasmapregionen mit signifikanten Unterschieden des Plasmapotentials  $\Delta\Phi > k_B T_e / e$  ( $T_e$ : Elektronentemperatur), weisen große stabile elektrische Felder auf. Man unterscheidet hierbei zwischen stromtreibende und stromfreie DS. Letztere sind zwar noch nicht vollständig verstanden, können aber bereits experimentell nachgewiesen werden. So können DS unter dem Einfluss divergierender Magnetfelder in Kombination mit geometrischen Übergängen erzeugt werden. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem dynamischen Verhalten von DS z.B. nach Abschalten der RF-Quelle im Afterglow des Plasmas. Die Experimente wurden in der Helikonanlage "Piglet" durchgeführt. Insbesondere wird hierbei die zeitaufgelöste Ionendynamik mittels RFEA (Retarding-Field-Energy-Analyzer) untersucht. Die Interpretation der Experimente wird mittels PIC-Simulationen unterstützt.

P 6.6 Di 15:40 HS C  
**Plasmaphysik-Experimente mit Megagauss-Magnetfeldern** — •STEPHAN NEFF<sup>1,2</sup>, SANDRA STEIN<sup>2</sup>, DAVID MARTINEZ<sup>2</sup>, CHRISTOPHER PLECHATY<sup>2</sup> und RADU PRESURA<sup>2</sup> — <sup>1</sup>TU Darmstadt, Darmstadt, Deutschland — <sup>2</sup>University of Nevada, Reno, USA

An der Nevada Terawatt Facility der University of Nevada, Reno können Experimente mit einem 50 TW Kurzpuls laser und einem 1 MA

Marx-Generator durchgeführt werden. In gekoppelten Experimenten kann zum Beispiel die Wechselwirkung eines Laserplasmas mit einem starken externen Magnetfeld (bis zu 1 MGauss) untersucht werden. Der Marx-Generator kann auch direkt zur Erzeugung von Plasmen verwendet werden, zum Beispiel von Z-pinch Plasmen und zur Untersuchung des Zusammenbruchs der "magnetic insulation" in gepulsten Hochstromsystemen. Desweiteren kann das Magnetfeld zur Beschleunigung von "Flyer plates" für Schock-Experimente verwendet werden. Dieser Vortrag gibt einen Überblick über die Experimentellen Apparaturen der Nevada Terawatt Facility, über Experimente die bereits durchgeführt wurden und über geplante Verbesserungen.

P 6.7 Di 15:55 HS C

**Bestimmung der Austrittsarbeit von Elektroden für HID-Lampen durch Vergleich von Messung und Simulation** — ●ANDRE BERGNER, MICHAEL WESTERMEIER, CORNELIA RUHRMANN, JÜRGEN MENDEL und PETER AWAKOWICZ — Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum, Deutschland

Um die Verlustleistung von HID-Lampen zu senken, werden seit längerer Zeit thorierte Elektroden verwendet. Der Emittiereffekt von Thorium sorgt für eine Reduktion der Austrittsarbeit, die die Verlustleistung maßgeblich beeinflusst. Um den Einfluss von Thorium quantitativ zu bestimmen, wurden innerhalb dieser Arbeit Messungen der Elektrodentemperatur an thorierten und reinen Wolframelektroden in einer Modelllampe im Gleichstrombetrieb durchgeführt. Die Elektrodentemperatur wurde mit Hilfe von zweidimensionaler Einwellenlängenpyrometrie bestimmt. Dabei wird die Elektrode durch ein Infrarotfilter mit einer CCD-Kamera fotografiert. Anschließend wird die Temperatur mit dem Planckschen Strahlungsgesetz berechnet. Um die Absenkung der Austrittsarbeit durch Thorium zu bestimmen, wurden numerische Simulationen der Leistungsbilanz der Kathode mit einem kommerziellen

FEM-Löser für verschiedene Austrittsarbeiten durchgeführt und mit den Messergebnissen verglichen. Als Ergebnis ergibt sich eine Absenkung der Austrittsarbeit von 4,55 eV (reine Wolframelektrode) auf 3 eV (thorierte Wolframelektrode). Die Absenkung der Austrittsarbeit wird auf einen Thoriumionenstrom zur Kathode zurückgeführt.

P 6.8 Di 16:10 HS C

**Untersuchung des Emitter-Effekts von Caesium (Cs) in einer Hochdruckgasentladungslampe (HID-Lampe)** — ●CORNELIA RUHRMANN, ANDRE BERGNER, MICHAEL WESTERMEIER, JÜRGEN MENDEL und PETER AWAKOWICZ — Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik (AEPT), Ruhr-Universität Bochum, Germany

Die Steigerung der Lebensdauer von HID-Lampen ist ein besonderes Anliegen der aktuellen Lampen-Forschung. Sie kann durch eine Reduktion der Temperatur der Wolfram-Elektroden anhand des Gasphasen-Emitter-Effekts erreicht werden. Dabei entsteht auf der Elektrodenoberfläche eine Monolage elektropositiver Atome verschiedenster Emitter-Elemente, welche der Lampenfüllung hinzugefügt wurden. Diese Monolage mit Dipol-Charakter reduziert die effektive Austrittsarbeit von Wolfram und dadurch die Potentialbarriere für Elektronen, welche die Elektrode verlassen oder erreichen. Eine Quantifizierung des Emitter-Effekts von Cs in speziellen Forschungs-Lampen erfolgt durch Elektrodentemperatur- und Teilchendichte-Messungen mit absolut kalibrierter optischer Emissions-Spektroskopie vor der Elektrode. Entsprechende orts- und phasenaufgelöste Messungen an einer mit Cs gefüllten Lampe für niedrige und hohe Frequenzen bei konstantem Strom werden präsentiert.

Bei niedrigen Frequenzen tritt ein Emitter-Effekt in der kathodischen Phase auf. Er greift jedoch nicht bei steigender Frequenz auf die anodische Phase über. Dafür ist die vergleichsweise geringe Adsorptionsenergie von Cs verantwortlich.

Gefördert durch die RUB-Research School und Philips Lighting, NL.

## P 7: Poster: Modellierung und Simulation von Niederdruckplasmen

Zeit: Dienstag 17:00–19:00

Raum: Foyer

P 7.1 Di 17:00 Foyer

**On the determination of electron energy transport coefficients in fluid models** — ●MARKUS M. BECKER, DETLEF LOFFHAGEN, and FLORIAN SIGENEGGER — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Hydrodynamic models are commonly used for the theoretical description of gas discharge plasmas at moderate and high pressure. The hydrodynamic equations are frequently simplified by means of the drift-diffusion assumption for the electron particle and energy density. The diffusion and mobility coefficients for the electron particle flux can be determined in dependence on the mean energy using the local mean energy approximation. The same procedure should be used to determine the energy transport coefficients. However, the energy balance equation is often simplified by the assumption of a Maxwellian electron energy distribution function. In the present contribution, the influence of the latter approach is discussed in detail considering, as an example, a low pressure glow discharge in argon. For comparison, the spatially inhomogeneous Boltzmann equation is solved for a given interelectrode electric field. Pronounced differences between the results especially in the transition region from the cathode fall to the negative glow confirm the importance of correct energy transport coefficients. In addition, it is shown that the common heat flux approximation in full hydrodynamic models, comprising equations for density, momentum and energy, yields results that qualitatively coincide with the results of the drift-diffusion approximation assuming a Maxwellian electron energy distribution function.

P 7.2 Di 17:00 Foyer

**The dynamics of the RF sheath in Capacitively Coupled Plasmas** — ●MOHAMMED SHIHAB, DENNIS ZIEGLER, and RALF PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, 44801 Bochum

The dynamics of the sheath formed in front of a radio frequency (RF) powered electrode controls the energy and angular distribution of ions bombarding the electrode, which in turn affects the deposition rate, etch rate, and etch anisotropy.

In this contribution, we introduce a self consistent model which is

able to resolve the ion dynamics in the intermediate RF frequency regime. The effect of ion modulation on plasma parameters like for example the charge within the sheath, the electric field, and the ion energy distribution will be discussed. The model is able to describe realistic process conditions (external bias voltage, nonharmonic modulation of the periodic sheath potential, and the interaction with the neutral background gas) is computationally efficient and at the same time numerically stable.

The financial support from the Federal Ministry of Education and Research within the frame of the project "Plasma Technology Grid" and the support of the DFG via the collaborative research center SFB-TR87 is gratefully acknowledged.

P 7.3 Di 17:00 Foyer

**Current-voltage characteristics of nonharmonically modulated plasma boundary sheaths** — ●ABD T. ELGENDY, RALF PETER BRINKMANN, and HAIMOUN HATEFINIA — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

The dynamics of capacitively coupled RF-discharges is largely dominated by the charge-voltage characteristics of the plasma boundary sheath, which in turn is dependent on the characteristics of the modulation. This contribution focuses on the behavior of the sheath under non-harmonic excitations, such as two-frequency and pulse-like excitation. Mathematical models of different complexity and computational efficiency will be established and compared.

P 7.4 Di 17:00 Foyer

**Zur Existenz eines stoßmodifizierten Bohmkriteriums** — ●RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Der Plasma-Schicht-Übergang in stationären Entladungen beliebiger Stoßbestimmtheit wird untersucht. Das analysierte Modell enthält die Kontinuitäts- und Bewegungsgleichung der Ionen, das Boltzmann-Gleichgewicht der Elektronen, sowie die Poissongleichung. Unter der Annahme, dass die Elektronen-Debye-Länge klein gegen die Ionen-Gradienten-Länge ist, wird eine quasilineare Differentialgleichung erster Ordnung hergeleitet, die sowohl die elektronenverarmte Schicht als auch den deren Übergang in das quasineutrale Plasma beschreibt.

Die Eigenschaften einer hebbaren inneren Singularität der Gleichung werden als stoßbestimmtes Bohm-Kriterium interpretiert.

P 7.5 Di 17:00 Foyer

**Numerische Simulationen zum Einfluss der Reaktorgeometrie auf Ionenenergie und Ionenbombardment in kapazitiv gekoppelten Plasmen** — ●JAN TRIESCHMANN<sup>1</sup>, DENNIS ZIEGLER<sup>1</sup>, RALF PETER BRINKMANN<sup>1</sup>, DIRK HEGEMANN<sup>2</sup> und THOMAS MUSSENBRÖCK<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland — <sup>2</sup>Empa, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, St. Gallen, Schweiz

Für die Skalierung von Industrieprozessen bei der Plasma-Polymerisation ist der Energieeintrag in das Plasma von signifikanter Bedeutung. [1] Unter Berücksichtigung geometrischer Faktoren erlaubt der globale Parameter "Leistung pro Gasfluss" eine gute Skalierung. Bei der Erzeugung funktionaler Schichten hingegen ist die Beschaffenheit maßgeblich durch das Ionenbombardment und die Wachstumsrate bestimmt. In dieser Arbeit soll der Einfluss der Reaktorgeometrie auf die räumlich aufgelöste Ionendichte und die Variation des Ionenbombardments in verschiedenen Plasmazonen untersucht werden. Es werden Ergebnisse numerischer Simulationen basierend auf der Lösung von Fluidgleichungen vorgestellt und diskutiert. Zur vereinfachten Betrachtung wird eine reine Argonentladung betrachtet. Dies erlaubt in guter Näherung eine Analyse der energetischen Bedingungen im Plasma. Die Untersuchungen sollen zum detaillierten Verständnis bei der Skalierung von Plasmaprozessen beitragen.

Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB-TR 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

[1] D. Hegemann and U. Schütz, Thin Solid Films 491, 96 (2005).

P 7.6 Di 17:00 Foyer

**Simulation of an Inductive Coupled Plasma** — ●ROBERT HENRICH<sup>1</sup>, LUJING HOU<sup>2</sup>, MARKUS THOMA<sup>2</sup>, DAVAR FEILI<sup>1</sup>, and CHRISTIAN HEILIGER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>I. Physikalisches Institut, Justus Liebig University Giessen, D-35392, Germany — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching, D-85748, Germany

Nowadays there are many space missions in planning, which require special thrusters for a high precision positioning of the space crafts. A very promising concept shows the Radiofrequency Ion Thruster (RIT). In this type of ion thrusters the plasma is produced in a gas vessel by inducing a radio frequency discharge. The main values of interest are the ionization degree, electron temperature, plasma density and the losses of the charged particles. The use of a simulation leads to an easy and fast way to optimize the configuration. A further advantage of the simulation is the possibility to predict all plasma parameters without any influence on the system. We investigate the effect of different vessel sizes on the ionization. Furthermore we analyse the influence of the RF-power on the plasma density. Finally we compare the results of our simulations with some experimental datas.

P 7.7 Di 17:00 Foyer

**Ein räumlich aufgelöstes Modell der Resonanzeffekte in Niederdruck-CCPs** — ●SCHABNAM NAGGARY, DENNIS ZIEGLER, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, Deutschland

Zur möglichst genauen Rekonstruktion eines in einer kapazitiv gekoppelten Plasmaentladung gemessenen HF-Stroms, wurde bereits ein Plasmapmodell mit konzentrierten Parametern entwickelt [1,2]. Dieses Modell ist in der Lage, eine sehr gute Approximation für die Grundmode des HF-Stroms zu liefern. Durch die räumliche Ausdehnung des Plasmas, hat der HF-Strom eine komplexe Multimodenstruktur. Diese bedingt starke selbsterregte Elektronenresonanzeffekte. Zur besseren Auflösung der komplexen Strukturen des HF-Stroms wird ein Multimodenmodell für das Plasmabulk entwickelt. Es wird eine exakte analytische Lösung für die räumlich aufgelöste Impedanzmatrix des Plasmabulks vorgestellt. Diese berücksichtigt eine beliebige Reaktorgeometrie mit beliebiger Dichteverteilung der Elektronen. Anschließend wird explizit die Impedanzmatrix für einen kugelsymmetrischen Plasmareaktor und eine homogene Dichteverteilung der Elektronen bestimmt. Der ausgewertete HF-Strom weist mit steigender Modenzahl eine deutlich komplexere Struktur auf. Somit erlaubt das Multimodenmodell eine deutlich verbesserte Rekonstruktion des gemessenen Stroms. [1] D. Ziegler, T. Mussenbrock, and R. P. Brinkmann (2008) Plasma Sources Sci. Technol. **17**, 045011 [2] D. Ziegler, T. Mussenbrock, and R. P. Brinkmann (2009) Phys. Plasmas **16**, 023503

P 7.8 Di 17:00 Foyer

**Modellierung der N<sub>2</sub>-Strahlung in Niederdruck-Bogenentladungen mittels Stoß-Strahlungs-Modell** — ●ROLAND FRIEDL<sup>1,2</sup>, URSEL FANTZ<sup>1,2</sup> und FLORIAN VOGEL<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Universität Augsburg, Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, 86135 Augsburg — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

Niederdruck-Bogenentladungen mit Stickstoff bzw. N<sub>2</sub>/Ar-Mischungen zeigen über einen weiten Druckbereich eine hohe Emission insbesondere des 1. positiven Stickstoffsystems (B-A-Übergang). Um die relevanten Besetzungsmechanismen der strahlenden Stickstoffniveaus zu identifizieren, wurde die Bandenstrahlung der prominenten N<sub>2</sub>-Systeme (Übergänge C<sup>3</sup>Π<sub>u</sub> → B<sup>3</sup>Π<sub>g</sub> und B<sup>3</sup>Π<sub>g</sub> → A<sup>3</sup>Σ<sub>u</sub><sup>+</sup>) mithilfe des Stoßstrahlungsmodells YACORA N<sub>2</sub> modelliert. Experimentell bestimmte Plasmaparameter dienen den Berechnungen als Eingangsparameter. Dabei wurde die Intensität der N<sub>2</sub>-Molekülstrahlung bei Variation der Gasmischung (von 0,1 % N<sub>2</sub> in Argon bis zu 100 % N<sub>2</sub>), des Absolutdrucks (10<sup>-1</sup> bis 10<sup>2</sup> mbar) und des Entladungsstroms (200 bis 500 mA) simuliert. In reinem Stickstoff zeigen die Berechnungen eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten, wohingegen zur Anpassung von N<sub>2</sub>/Ar-Entladungen das Modell um Schwerteilchenstöße mit Argon erweitert werden musste, um die gemessene Besetzung des B-Zustandes zu erklären. Die Ergebnisse können dazu dienen, die Emission einer auf Stickstoff basierenden Entladungslampe (als Alternative zum umweltschädlichen Quecksilber) zu optimieren.

P 7.9 Di 17:00 Foyer

**Stoß-Strahlungsmodell für molekularen Wasserstoff in Niedertemperaturplasmen** — ●DIRK WÜNDERLICH, URSEL FANTZ und NNBI-TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching, EURATOM Assoziation

Eine nicht-invasive und einfach anzuwendende Diagnostikmethode zur Bestimmung von Plasmaparametern wie T<sub>e</sub> oder n<sub>e</sub> ist die optische Emissionsspektroskopie. Um diese in Niedertemperatur-, Niederdruckplasmen zur Bestimmung der Plasmaparameter zu nutzen, sind Stoß-Strahlungsmodelle (SSM) nötig. Diese berechnen die Besetzungsdichten der angeregten Zustände im betrachteten Atom oder Molekül und bilanzieren dazu die anregenden und abregenden Prozesse. Die Qualität der Resultate hängt stark von der Qualität der Inputdaten – wie Einsteinkoeffizienten oder Wirkungsquerschnitte für Stoßprozesse – ab. Selbst für das einfachste existierende Molekül H<sub>2</sub> zeigen die für relevante Anregungsprozesse in verschiedenen Literaturquellen verfügbaren Wirkungsquerschnitte starke Abweichungen zueinander.

Mit Hilfe des Solvers Yacora wurde ein SSM für H<sub>2</sub> konstruiert. Dieses Modell löst die Hauptquantenzahl n=3 nach den elektronischen Zuständen auf. Zudem sind ausgewählte elektronische Zustände vibratorisch aufgelöst. Yacora ermöglicht es, flexibel zwischen unterschiedlichen Inputdatensätzen zu wechseln. Experimentell bestimmte Besetzungsdichten werden mit auf unterschiedlichen Inputdatensätzen basierenden Resultaten des SSM verglichen. Lücken oder Schwachstellen der vorhandenen Inputdaten werden aufgezeigt und diskutiert.

P 7.10 Di 17:00 Foyer

**Modelling of rf excited filaments occurring in a jet plasma** — ●F. SIGENEGER, J. SCHÄFER, R. FOEST, and K.-D. WELTMANN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Discharge filaments which occur in a miniaturized non-thermal atmospheric pressure plasma jet have been investigated by a self-consistent fluid model. The filaments are generated by an rf voltage at 27.12 MHz applied between two cylindrical electrodes which are attached alongside the outer quartz capillary of the plasma jet. Argon gas flows between the outer and the inner quartz capillary with flow rates between 0.1 and 2 slm. Depending on the applied power and flow rate, stationary or rotating discharge filaments are observed between the upper driven and the lower grounded electrode.

A single stationary filament is investigated using a simplified geometry. The model includes electrons, atomic and molecular argon ions as well as excited argon atoms. The set of equations comprises continuity equations for these species, Poisson's equation, the electron energy balance and balance equations for the charges on the dielectric surfaces. The electron transport and rate coefficients have been prepared as functions of the mean energy and ionization degree by solving the 0D electron Boltzmann equation. A relatively high electron density has been found which qualitatively agrees with results of spectroscopic measurements. Moreover, the results show the structural change of the filament from the dielectric surface through the sheath to the column.

The work was supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft within SFB-TR 24.

P 7.11 Di 17:00 Foyer

**Dynamik einer planaren Mikroentladung – Ein globales Modell** — ●MARKUS GEBHARDT<sup>1</sup>, ALEXANDER WOLLNY<sup>1</sup>, MARTIN LAPKE<sup>1</sup>, THOMAS KUSCHEL<sup>2</sup>, ILJA STEFANOVIĆ<sup>2</sup>, THOMAS MUSSENBRÖCK<sup>1</sup> und RALF PETER BRINKMANN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum — <sup>2</sup>Lehrstuhl für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum

Ein globales Modell des dynamischen Verhalten planarer Gleichstrom-Mikroentladungen wird angegeben und analysiert. Die Parameter des Modells werden an das beobachtete Verhalten einer Argon-Entladung mit Plattenabstand  $d = 1$  mm und Gasdruck  $p = 10$  Torr angepasst, speziell an die Amplitude und die Frequenz der beobachteten selbst-erregten Oszillation. Ein Vergleich mit der Dynamik konventioneller (d.h. makroskopischer) Gleichstrom-Entladungen wird durchgeführt; Abweichungen von der einfachen  $pd$ -Skalierung werden untersucht.

P 7.12 Di 17:00 Foyer

**Micro Thin Cathode Discharge: eine numerische Parameterstudie** — ●ALEXANDER WOLLNY, MARKUS GEBHARDT, TORBEN HEMKE, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum, Deutschland

Die Micro Thin Cathode Discharge ( $\mu$ TCD) besteht aus zwei Elektroden, die durch ein Dielektrikum getrennt sind. Das Dielektrikum sowie die Kathode haben eine Dicke von  $100 \mu\text{m}$  während die Anode mit  $1$  mm deutlich dicker ist. Durch diese Struktur wird ein Loch mit einem Durchmesser von  $200 \mu\text{m}$  gebohrt. Die Entladung wird typischerweise in Argon bei Atmosphärendruck betrieben. Mit einer Spannung zwischen  $-500$  und  $-1000$  V an der Kathode wird ein Plasma in diesem Zwischenraum erzeugt. Abhängig vom Druck weist die Entladung verschiedene Charakteristika auf, die durch verschiedene physikalische

Effekte hervorgerufen werden. Experimentell lassen sich Elektronendichten von einigen  $10^{16} \text{cm}^{-3}$  beobachten [1]. In diesem Beitrag wird ein zweidimensionales Hybridmodell [2] zur Simulation der  $\mu$ TCD verwendet. Dabei wird die angelegten Spannung und der Druck variiert.

Diese Arbeit wird von der DFG im Rahmen der Forschergruppe FOR1123 *Physics of Microplasmas* unterstützt.

- [1] S. Mohr 2010 J. Phys. D: Appl. Phys. **43**, 295201
- [2] M. J. Kushner 2003 J. Appl. Phys. **92** 3, 846-59

P 7.13 Di 17:00 Foyer

**Particle-in-Cell Simulation eines Mikro-Plasmajets bei Atmosphärendruck** — ●MARKUS GEBHARDT, TORBEN HEMKE, ALEXANDER WOLLNY, RALF PETER BRINKMANN und THOMAS MUSSENBRÖCK — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum, Deutschland

Mikroplasmen sind in den letzten Jahren vermehrt in den Fokus der theoretischen und experimentellen Forschung gerückt. Von besonderem Interesse unter den verschiedenen Mikroplasmaquellen sind die so genannten Plasmajets. Der hier untersuchte Jet weist einen Elektrodenabstand von  $1$  mm auf und wird bei  $13,56$  MHz mit einer Generatorleistung von ca.  $10$  W betrieben. Das Gasgemisch bei einem Druck von  $760$  Torr besteht aus Helium und einer geringen Beimischung von Sauerstoff (ca.  $0,5$  %). Ein typischer Ansatz zur Modellierung und Simulation dieser Entladung legt eine fluiddynamische Beschreibung aller relevanten Teilchenspezies zu Grunde, welche durch eine kinetische Betrachtung der schnellen Elektronenkomponente ergänzt werden kann (hybrider Ansatz). Gegenstand dieses Beitrags ist es, mit Hilfe einer vollständig selbstkonsistenten kinetischen Beschreibung (Particle-in-Cell) der Entladung, einerseits kinetische Effekte zu untersuchen und gleichzeitig die Gültigkeit fluiddynamischer Modelle zu überprüfen. Hierbei werden alle für dieses Regime wichtigen Spezies und die dazugehörigen Reaktionen mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation berücksichtigt.

## P 8: Poster: Staubige Plasmen: Experiment und Diagnostik

Zeit: Dienstag 17:00–19:00

Raum: Foyer

P 8.1 Di 17:00 Foyer

**Stereoskopie von Partikeln in komplexen Plasmen mit Thermophorese** — ●JANA KREDL, BIRGER BUTTENSCHÖN und ANDRÉ MELZER — Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald

In Gasentladungen lassen sich mikrometergroße Partikel einfangen. In solchen so genannten komplexen Plasmen können, durch Kompensation der Gravitation, dreidimensional ausgedehnte Staubwolken erzeugt werden. Für gewöhnlich werden Untersuchungen an Staubwolken auf Parabelflügen unter Mikrogravitation durchgeführt. In diesen Staubwolken kommt es in der Regel zur Ausbildung eines Voids, also eines staubfreien Bereichs innerhalb der Staubwolke.

Um auch Untersuchungen an Staubwolken im Labor durchführen zu können, wird die Gravitation mit Hilfe der thermophoretischen Kraft kompensiert, die durch einen Temperaturgradienten im Plasma hervorgerufen wird. Der Temperaturgradient wird erzeugt, indem die obere Elektrode gekühlt und die untere Elektrode geheizt wird.

Dieser Beitrag stellt erste Untersuchungen für ein Experiment vor, mit dem ausgedehnte Staubwolken mit Hilfe eines stereoskopischen Kamerasystems auf ihre Eigenschaften und Dynamik hin untersucht werden können. Zur Charakterisierung der Temperaturgradienten und Untersuchung der Stabilität des Voids werden Simulationen und Messungen der Temparturverläufe sowie erste stereoskopische Aufnahmen an einzelnen Partikeln an der Voidkante vorgestellt.

P 8.2 Di 17:00 Foyer

**Kamerakalibrierung für Stereoskopiesysteme** — ●MICHAEL HIMPEL, BIRGER BUTTENSCHÖN, TOBIAS MIKSCH und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Stereoskopie ist eine verbreitete Methode zur Untersuchung von Struktur und Dynamik von Partikeln in staubigen Plasmen. Praktische Probleme entstehen aber durch die Notwendigkeit einer exakten Kalibrierung für das Kamerasystem. Konkret meint dies die Kenntnis über die geometrischen Relationen des Aufbaus, sowie der kamera- und linsenin-

ternen Parameter, um den Bildentstehungsprozess bis auf (sub-) Pixelgenauigkeit nachvollziehen zu können. In diesem Beitrag werden zwei Methoden vorgestellt, die eine hochgenaue Kalibrierung für zwei verschiedene Stereoskopieszzenarien ermöglichen. Es ist zum Einen möglich, durch Aufnahmen eines Targets eine vollständige Kalibrierung für alle Kameras des Systems zu gewinnen. Zum Anderen kann die Berechnung der Kameraparameter auch an den Partikelenaufnahmen selbst durchgeführt werden, sofern eine einfache Kamerageometrie vorliegt. Es wird gezeigt, dass durch die Verwendung einer geeigneten Kalibrierung auch Analysen und Rekonstruktionen von größeren Staubstrukturen ( $>50$  Partikel) möglich werden.

Anwendungsgebiete und Möglichkeiten beider Methoden sowie beispielhafte Kalibrierungsergebnisse werden dargestellt. Diese Arbeit wird gefördert durch das DLR im Rahmen der Projekte 50WM0738 und 50WM1138.

P 8.3 Di 17:00 Foyer

**Phasenaufgelöste Resonanzmethode & Massenänderung von MF Partikeln in einem Plasma** — ●JAN CARSTENSEN, HENDRIK JUNG, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität, D-24098 Kiel, Germany

Es wird eine Modifikation der klassischen Resonanzmethode [1] vorgestellt, die die Phasenlage zwischen dem Treibersignal und der Partikeloszillation berücksichtigt. Die hohe Präzision dieser Methode erlaubt es relative Änderungen  $< 10^{-3}$  im Ladungs/Masse-Verhältnis der Partikel aufzulösen. Es zeigt sich, dass die Masse von Melamin-Formaldehyd-Partikeln in einer Argon-Hochfrequenzentladung von mindestens zwei Prozessen beeinflusst wird. Das Ausgasen von Wasser führt zu einer Massenverringerng, während die Deposition von gesputtertem Elektrodenmaterial auf der Partikeloberfläche zu einer Massenzunahme führt.

- [1] A. Melzer *et al.*, Phys. Let. A **191**, 301 (1994).

P 8.4 Di 17:00 Foyer

**Aufladung von Partikeln in Plasmen unter UV-Bestrahlung** — ●MARIAN PUTTSCHER und ANDRÉ MELZER — Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Unter staubigen Plasmen versteht man Plasmen, die als zusätzliche Spezies makroskopische Partikel enthalten. In gewöhnlichen Laborplasmen ergibt sich das Floating-Potential der Staubpartikel, wenn sich der Gesamtstrom von Elektronen und Ionen zu den Teilchen gerade kompensiert. Damit ist dann auch deren elektrische Ladung bestimmt. In diesem Experiment wird die Ladung der Staubteilchen in RF-Entladungen untersucht, wenn sie unter dem Einfluss einer externen UV-Strahlungsquelle stehen. Denkbar wären eine direkte Änderung der Ladung durch Herauslösen von Fotoelektronen, sowie durch eine Änderung der Plasmaeigenschaften nach Einschalten der externen Strahlung (indirekte Wechselwirkung). Die Bestimmung der Ladungsänderungen der Staubpartikel bei externer UV-Strahlung ergibt sich aus der Kombination zweier Methoden zur Ladungsbestimmung: der Resonanzmethode und der Normalmodenanalyse. Der Einsatz von UV-Strahlung könnte eine Möglichkeit bieten, Teilchen gezielt in ihrer Ladung und damit in ihrer Position zu beeinflussen. Dieser Beitrag zeigt den experimentellen Aufbau und erläutert die Bestimmung der Ladungsunterschiede sowie die Ergebnisse der Untersuchungen.

P 8.5 Di 17:00 Foyer

**Phasenaufgelöste optische Emission von staubhaltigen RF-Entladungen** — ●ANDRÉ MELZER, SIMON HÜBNER, LARS LEWERTZ und RALF SCHNEIDER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Staubige Plasmen werden häufig in bezug auf die Anordnung der Partikel in Plasmaentladungen untersucht. Hier wurde nun allerdings der Einfluss des Staubs auf die Entladungseigenschaften untersucht. Dazu wurde mit Hilfe der phasenaufgelösten optischen Emissionsspektroskopie die Dynamik der Randschicht in partikelhaltigen RF-Entladungen in Argon und Helium gemessen. Die Anwesenheit von Staub führt zu einer erhöhten Linienemission der Argon- bzw. Helium-Atome während der Schichtexpansionsphase. Durch Simulationen konnte gezeigt werden, daß der Staub zu einer Erhöhung der Dichte von hochenergetischen Elektronen genau während der Schichtexpansion führt, was wiederum wie im Experiment die atomare Emission verstärkt.

P 8.6 Di 17:00 Foyer

**Ladungsverarmungseffekte in staubigen Plasmen** — ●IMKE GOERTZ, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität Kiel, D-24098 Kiel

Der Effekt der Ladungsträgerreduktion in dichten Staubwolken wird in einer Doppelplasmanlage untersucht. Aus den Sättigungsströmen der Langmuirsonden werden die Dichten der Ionen und Elektronen bestimmt. Für die Messungen der Dichten ist eine Kalibrierung mittels der Plasmaoszillationsmethode vorgenommen worden. Das Plasmapotential im Inneren der Staubwolke wird mit einer emissiven Sonde gemessen. Dieselbe Sonde liefert im glühenden, aber nicht emittierenden Modus das Floating Potential.

Die Anwesenheit von Staub beeinflusst sowohl die Ladungsträgerdichten als auch das Plasmapotential des umgebenden Plasmas. Wir finden, dass die Ionendichten in der Staubwolke und im umgebenden Plasma gleich sind, während die Elektronendichte in der Staubwolke abnimmt. Die Einbeziehung einer Bi-Maxwell Verteilung der Elektronen führt zu einer verbesserten Beschreibung für kleine Staubdichten. Eine starke Zunahme des Floating- und Cloudpotentials bei großen Staubdichten, die das Model mit konstanter Ionendichte vorhergesagt, kann nicht bestätigt werden.

Gefördert durch SFB TR-24/A2.

P 8.7 Di 17:00 Foyer

**Wechselwirkung schneller hochgeladener, schwerer Projektile mit einem stationären staubigen Plasma unter Schwerelosigkeit** — ●DAVID CALIBBE, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU-Kiel, D-24098 Kiel

Es werden Experimente vorgestellt, bei denen eine stationäre Staubwolke, die unter Mikrogravitation in einem Hochfrequenz-Plasma eingefangen ist, mit extern erzeugten schnellen hochgeladenen, schweren Projektilen beschossen wird. Die Projektilen dringen seitlich in das staubige Plasma ein. Dabei beobachten wir, dass die Wechselwirkung zwischen Projektilen und Staubwolke in drei Klassen unterteilt werden kann in Bezug auf die Projektilgeschwindigkeit: Subsonische Projektilen bilden elliptische staubfreie Bereiche, wobei das Projektil exzen-

trisch versetzt ist. Transsonische Projektilen schneiden einen langgezogenen Hohlraum hinter sich in die Wolke. Bei hypersonischen Projektilen können wir keinen sichtbaren Einfluss feststellen. Weiter wird ein analytisches Modell vorgestellt, welches beschreibt, wie die Breite des Hohlraums senkrecht zur Trajektorie des Projektils sich raum-zeitlich entwickelt und von dessen Geschwindigkeit abhängt. Mit Hilfe des Modells wird auf Form und Ladung des Projektils geschlossen. Gefördert durch DLR unter 50WM0739.

P 8.8 Di 17:00 Foyer

**Experimente zu Phasenübergängen von 3D-Clustern in staubigen Plasmen** — ●TOBIAS MIKSCH, ANDRÉ SCHELLA und ANDRÉ MELZER — Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

In einem Plasma können im Labor dreidimensionale Kristalle aus Mikrometergroßen Staubteilchen erzeugt werden. Da sich die Staubteilchen negativ aufladen, wirken zwischen ihnen große Coulombkräfte. Durch die hohe Kopplungsstärke und die geringe kinetische Energie der Staubpartikel bilden die Cluster ein stark gekoppeltes System. Ist das Staubsystem in einem radialsymmetrischen Potential eingefangen, bildet sich ein so genannter Yukawa Ball.

Man kann nun diesen Staubkristall zum Schmelzen bringen, indem man die kinetische Energie der Staubteilchen erhöht. Dies geschieht entweder durch Absenken des Drucks in der Entladung, was zu einer verringerten Reibung der Staubteilchen führt, durch Erhöhung der in das Plasma eingespeisten Leistung, oder durch Beschuss der Partikel mit einem Manipulationslaser.

In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse dieser drei Methoden, einen 3D-Staubcluster zum Schmelzen zu bringen, vorgestellt.

Die Arbeit wird gefördert durch den SFB-TR24, Projekt A3

P 8.9 Di 17:00 Foyer

**Influence of thin film on the electrical properties of pulsed plasmas** — ●BRANKICA SIKIMIĆ, ILIJA STEFANOVIĆ, and JÖRG WINTER — Institute for Experimental Physics II, Ruhr University Bochum, Germany

Dynamics of ion densities in pulsed complex plasmas have been previously studied by the analysis of DC bias voltage on the electrodes. The ion densities have been deduced from the change of the electrode DC bias voltage in the plasma afterglow measured by the external LC filter. Simultaneous measurements of electron density by microwave interferometry have been performed. In the plasmas that contain highly reactive gas such as acetylene, a thin film of hydrocarbon deposits on electrodes and walls of the reactor. The dust particles produced by acetylene polymerization can also be included in the thin film. It has been noticed that the growth of thin film on the electrodes influences the measured DC bias voltages and particle densities. The DC bias voltage decreases when the thickness of the thin film grows, since the positive ions current to the electrode is smaller. Still, change of DC electrode voltage increases, as well as the discharging time of the capacitance of LC filter. The electron density decay time in the plasma afterglow follows the change of capacitance discharging time in the same manner. In this work the impact of the thickness of the thin film on the diffusion of electrons and positive ions is discussed. Support/acknowledgment: DFG WI1700/3, Research Department \*Plasmas with Complex Interactions\*

P 8.10 Di 17:00 Foyer

**Nanostaub in magnetisierten Plasmen** — ●FRANKO GREINER, JAN CARSTENSEN und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Das Wachstum von Nanopartikeln in einer Argon-Azetylen-Entladung bei kleinen ( $B < 100$  mT) und mittleren Magnetfeldern ( $B=100$  mT —  $500$  mT) wird in einer Parallel-Platten-Entladung untersucht. Für kleine Feldstärken zeigt sich die typische periodische Abfolge von Staubwachstum, Entleerung und erneutem Wachstum. Bei mittleren Feldstärken müssen besondere technische Vorkehrungen getroffen werden, um einen Einschluss der Staubteilchen zu erreichen. Zur Diagnostik des (staubfreien) Plasmas werden Langmuirsonden, zur Diagnostik der Nanopartikel werden Extinktionsmessungen und Mie-Ellipsometrie verwendet. Die Dynamik der Staubwolken wird mittels schneller Video-Kameras untersucht.

Diese Arbeit wurde gefördert im Rahmen des SFB-TR24, Projekt A2.

P 8.11 Di 17:00 Foyer

**Staubefang vor einer Pixelelektrode in einer Hochfrequenz-**

**zentladung** — ●CHRISTIAN SCHMIDT, SONJA LEPPER, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel, D-24098 Kiel

In einer Parallelplatten-HF-Entladung wird mit einer in der unteren Platte integrierten "Pixel"-Elektrode ein spärliches sekundäres Plasma erzeugt. Durch Anlegen einer positiven Gleichspannung wirkt das Pixel als zusätzliche Anode. Das sekundäre Plasma hat eine sphärische Leuchterscheinung mit einem Durchmesser von wenigen Millimetern. Zur Charakterisierung des Einschussmechanismus werden Strom- und Spannungsmessungen der primären und der sekundären Entladung präsentiert. Oberhalb des Pixel gelingt es, kleine dreidimensionale Staubwolken einzufangen. Anhand von Simulationen mit dem SIGLO Code kann der Staubeinfang quantitativ nachvollzogen werden. Die Staubwolken werden mittels Scanning Video Microscopy (SVM) untersucht.

Gefördert durch SFB TR24/A2.

P 8.12 Di 17:00 Foyer

**Ausgedehnte void-freie Staubwolken in einer Parallelplatten-HF-Entladung** — ●CHRISTIAN SCHMIDT, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU Kiel, D-24098 Kiel

Unsere Untersuchungen haben das Ziel, in einem Laborexperiment ausgedehnte Staubwolken ohne den zentralen staubfreien Bereich (void) zu erzeugen. In einer Parallelplatten-HF-Entladung wird durch einen Temperaturgradienten im Neutralgas eine thermophoretische Levitation des Staubes erzeugt, die zu ausgedehnten Staubwolken führt. Diese Staubwolken sind topologisch identisch mit denen unter Schwerelosigkeit auf Parabelflügen oder auf der Internationalen Raumstation (ISS) erzeugten Staubwolken. Durch eine systematische Variation der Entladungs- und Levitationsparameter konnten wir ein ausgedehntes Regime identifizieren, in dem void-freie ausgedehnte Staubwolken entstehen. Der Mechanismus, der zum Schließen des voids führt, konnte identifiziert werden als eine selbst-organisierte Änderung der HF-Entladung, die im void-freien Zustand die Staubwolke ringförmig umgibt. Hierbei kehrt sich die Ionenströmungsrichtung um, was durch die Ausbreitungsrichtung von Dichtewellen bewiesen wird.

Gefördert durch DLR 50WM0739 und SFB TR-24/A2.

P 8.13 Di 17:00 Foyer

**Mikropartikeleinfang und -manipulation in der Plasmarandschicht** — ●ALEXANDER WINTER, HORST MAURER, MAIK FRÖHLICH und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel

In einem komplexen Plasma befinden sich negativ geladene Mikropartikel in der Größe bis etwa  $100\mu\text{m}$ . Staub in einem Plasma kommt in der Natur häufig vor, wie z.B. bei den Ringen des Saturn oder Kometenschweifen. Staubteilchen sind jedoch nicht immer im Plasma erwünscht, z.B. zerstören sie die empfindliche Struktur bei der Herstellung von Mikrochips.

Im vorgestellten Experiment werden Mikropartikel mit Hilfe eines Staubdispensors (dust dropper) in ein HF-Plasma eingebracht, wo sie negativ aufgeladen werden. Aufgrund des Kräftegleichgewichtes schweben die geladenen Partikel in der Plasmarandschicht und ordnen sich in einem regelmäßigen Gitter an (Plasmakristall). Durch Beleuchtung mit einem Laser, dessen Strahl gefächert ist, können die Partikel sichtbar gemacht werden. Die Manipulation erfolgt durch einen leistungsstärkeren Laser. Der Laserstrahl wird pulsartig auf die Partikel im Plasma gerichtet, so dass diese eine Oszillation erfahren oder sogar aus dem Plasma herausgeschoben werden. Die Bewegungsmuster werden aufgezeichnet und im Zusammenhang mit den Plasmaparametern interpretiert.

P 8.14 Di 17:00 Foyer

**Manipulation of the particle distribution via the Electrical Asymmetry Effect** — ●EDMUND SCHÜNGEL, SHINYA IWASHITA, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum

Recent investigations have shown that the symmetry of a capacitively coupled radio frequency discharge can be controlled by applying a fundamental frequency and its second harmonic with a fixed, but adjustable phase angle  $\theta$  between the harmonics. In such electrically asymmetric discharges, the spatial potential profile changes with  $\theta$ . Therefore, it is possible to manipulate the distribution of particles within the discharge by tuning the phase angle. We report first experimental results of this method using  $\text{SiO}_2$  particles in the size range of fifty nm up to several  $\mu\text{m}$ , which are inserted into an argon discharge operated at low pressures. Applying laser light, the distribution of the scattering of particles between the parallel electrodes is detected by an ICCD camera. Two basic manipulation principles are investigated: In the case of changing  $\theta$  slowly, the particles are always observed in a stationary state. On the contrary, a phase kick, e.g.  $\Delta\theta = 90^\circ$ , leads to a sudden change of the discharge symmetry and, correspondingly, of the potential profile. Thus, a temporal modulation of the particle distribution is observed.

## P 9: Poster: Diagnostik technischer Plasmen

Zeit: Dienstag 17:00–19:00

Raum: Foyer

P 9.1 Di 17:00 Foyer

**Messung von Kräften auf eine Oberfläche in einem Ionenstrahl** — ●ALEXANDER SPETHMANN, THOMAS TROTTEBERG, VIKTOR SCHNEIDER und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel

Breitstrahlionenquellen sind ein wichtiges industrielles Werkzeug zur Oberflächenbehandlung und finden ebenfalls Anwendung als Ionentriebwerke in der Raumfahrt. Die Diagnostik des Ionenstrahls wird gewöhnlich mit elektrostatischen Messverfahren durchgeführt, die ausschließlich Ströme geladener Teilchen erfassen können. Beispiele dafür sind Langmuir-Sonden, Gegenfeldanalysatoren und Faraday-Cups. Da jedoch im Allgemeinen durch Stoßprozesse auch ungeladene Atome hohe Energien erhalten können [1,2], ist es wünschenswert, auch diese durch ein Messverfahren nachweisen zu können. So können beispielsweise Energieströme kalorimetrisch gemessen werden [3]. In diesem Beitrag wird eine Sonde vorgestellt, die Impulsströme (Kräfte) misst. Der von den einfallenden (größtenteils implantierten) Teilchen übertragene Impuls ist dabei nicht die einzige Ursache für die auftretenden Kräfte, denn auch die durch Sputtern aus der Oberfläche herausgeschlagenen Atome und möglicherweise reflektierte Teilchen tragen dazu bei. Die Messungen mit verschiedenen Oberflächenmaterialien werden mit Simulationen der Sputterprozesse verglichen.

[1] Trottenberg et al., Phys. Plasmas 17, 103702 (2010)

[2] Yunogami et al., J. Vac. Sci. Technol. A 13, 953 (1995)

[3] Stahl et al., Rev. Sci. Instrum. 81, 023504 (2010)

P 9.2 Di 17:00 Foyer

**Experimentelle Bestimmung der Starkverbreiterung einiger Zn I- und Zn II-Linien.** — ●KURT BEHRINGER — Max Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching

Ein gepulster Lichtbogen zur Partikelsynthese [1] wurde mit verschiedenen spektroskopischen Methoden eingehend diagnostiziert [2]. Die Elektronentemperaturen liegen zwischen 14000 und 21000 K, die maximalen Elektronendichten sind etwa  $2 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}$ . Auf Grund abgedampften Materials der Messingelektroden wurden auch Zn I- und Zn II-Linien beobachtet. Die Starkbreiten und -verschiebungen einiger dieser Linien wurden systematisch untersucht. Dabei musste die Dopplerverschiebung durch die Plasmaströmung berücksichtigt werden. Frühere experimentelle Starkparameter für Zn I waren nicht konsistent und stimmten auch nicht mit theoretischen Rechnungen überein, während Zn II keine Probleme aufwarf. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die Theorie für Zn I gut und zeigen auch die richtige Temperaturabhängigkeit. Die Profile sind leicht unsymmetrisch.

[1] C. Artelt et al. Plasma Devices and Operations 16, 11 (2008)

[2] K. Behringer, T. Höschen, Contrib. Plasma Phys. 48, 561 (2008)

P 9.3 Di 17:00 Foyer

**Elektrische Messungen an partikelbildenden reaktiven Plasmen** — ●PATRICK SADLER und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

Reaktive Plasmen enthalten chemisch reaktive Spezies, die ein wichtiges Werkzeug für technologische Anwendungen z.B. in Ätz- und Beschichtungsprozessen darstellen. In solchen Prozessplasmen kann es

durch komplexe plasmachemische Vorgänge zur Bildung von makroskopischen Partikeln kommen, die einen Durchmesser bis zu einigen Mikrometern aufweisen. Unter bestimmten Bedingungen zeigt sich speziell in acetylenhaltigen Plasmen eine periodische Partikelbildung. Diese Zyklen können mit Hilfe elektrischer Messungen an der kapazitiven HF-Entladung sichtbar gemacht werden. Dabei ergeben sich mit optischen Messungen korrelierte Variationen in HF-Spannung, Self-Bias, Phasenwinkel etc., anhand derer sich die verschiedenen Regime der Partikelbildung untersuchen lassen. Die Impedanzanalyse ergibt eine Abnahme des ohmschen Widerstandes sowie eine Zunahme der Reaktanz während der Partikelbildung. Dieses Ergebnis wird unterstützt durch SEERS-Messungen der effektiven Elektronenstoßrate im Plasma, welche ebenfalls während der Partikelbildung abnimmt.

P 9.4 Di 17:00 Foyer

**Untersuchungen zur Fluoreszenzanregung in einem energetischen Ionenstrahl** — ●MARTIN GIESENHAGEN, THOMAS TROTTEBERG, VIKTOR SCHNEIDER und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

In dieser Arbeit werden mit Kochsalz beschichtete Substrate in den energiereichen Ionenstrahl einer industriellen Breitstrahlionenquelle gebracht. Dabei ist eine Fluoreszenzanregung der Salze der bekannten Wellenlängen von Natrium zu beobachten, welche mit einer Kamera und mittels optischer Emissionsspektroskopie untersucht wird.

Die Möglichkeit der Nutzung dieser optischen Anregung zur Diagnostik des Ionenstrahls wird in der vorliegenden Arbeit untersucht und mit anderen Verfahren (z.B. Langmuir-Sondendiagnostik, Thermosonden) verglichen. Dafür werden die ortsabhängigen Intensitätsverteilungen der fluoreszierenden Salze ausgewertet und mit den Messungen der ebenen Sonden verglichen.

P 9.5 Di 17:00 Foyer

**Spatially and spectrally resolved optical emission spectroscopy on a cold, intermittent, negative DC Corona Discharge** — ●TORSTEN GERLING, RENÉ BUSSIAHN, TOMAS HODER, ECKHARD KINDEL, KLAUS-DIETER WELTMANN, and RONNY BRANDENBURG — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP Greifswald), 17489 Greifswald, Germany

A self pulsing, negative DC corona discharge with a typical plasma diameter of  $30\ \mu\text{m}$  was investigated. The spatially resolved optical emission in the range from 300 nm to 1000 nm was of special interest. The device was operated with argon (200 - 500 sccm) and works at atmospheric pressure in ambient air. The general, spatially resolved emission characteristics of all observed spectral lines were measured by employing a compact spectrometer and a linear stage. In case of radiating species, emitting with lower intensity, an ICCD equipped spectrograph was used to enhance the sensitivity. Simple assumptions on the plasma chemistry are derived from the experimental results.

P 9.6 Di 17:00 Foyer

**Determination of argon metastable and resonant state densities from emission spectrum** — ●VLADIMIR SUSHKOV, HOANG TUNG DO, and RAINER HIPPLER — Institut für Physik, Felix-Hausdorff Strasse 6, 17489 Greifswald, Germany

The lowest excited states of argon atom in a discharge play role in view of many problems. In the present work we develop a method, based on interpretation of emission spectra, to determine their number densities. The new method utilizes the phenomenon of reabsorption of emission lines by comparison of experimental and modeled values of the escape factor. The results are compared with those from the normal TDLAS technique. The number densities of  $1s5$  and  $1s4$  species were measured as function of power (1-200 W) and pressure (2-30 Pa) in RF-discharge. The results of the both methods show very good agreement. Some discrepancy for higher power is probably due to changes of the spatial profile of the metastables, when the regime of losses undergoes transition from the diffusion-determined to the electron collision-determined.

P 9.7 Di 17:00 Foyer

**Simultane Bestimmung von Elektronendichte- und Temperatur mit der Multipolresonanzsonde in technischen Plasmen** — ●MARTIN LAPKE, TIM STYRNOLL, JENS OBERRATH, CHRISTIAN SCHULZ, ROBERT STORCH, RALF PETER BRINKMANN, PETER AWAKOWICZ, THOMAS MUSCH, THOMAS MUSSENBRÖCK und LONA ROLFES — Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Ruhr-Universität Bochum

Dieser Beitrag zeigt einen Prototypen der 'Multipol-Resonanz-Sonde' (MRP) und beschreibt ein Verfahren zur Elektronendichte- und Elektronentemperaturmessungen in technischen Plasmen. Die Sonde besteht aus zwei metallischen Halbkugeln, die auf einem dünnen Halter befestigt sind. Dieser fungiert zusätzlich als Symmetrierglied für ein unsymmetrisches eingekoppeltes Signal, welches von einem Netzwerkanalysator (NWA) eingespeist und ausgewertet wird. Aufgrund der geometrischen und elektrischen Symmetrie der Sonde, kann ein algebraischer Ausdruck für die Resonanzfrequenz hergeleitet und so ein analytischer Ausdruck für die Elektronendichte implementiert werden. Die Auswertung der gemessenen Resonanzen erlaubt so die Bestimmung der Plasmaparameter. Über Variation von Leistung und Druck wird der Einfluss der Plasmaparameter auf das Absorptionsspektrum gezeigt. Der Einfluss kinetischer Effekte auf das Spektrum der MRP, im Speziellen auf die Dämpfung des Absorptionsspektrums, kann genutzt werden, um die Elektronentemperatur zu bestimmen. Die Lage der Resonanzen bestimmt zudem die Elektronendichte. Die Ergebnisse werden mit Messungen der Langmuirsonde APS3 verglichen.

P 9.8 Di 17:00 Foyer

**Electron kinetics in 10 Hz pulsed cc-rf plasmas studied by 160 GHz Gaussian beam microwave interferometry** — ●CHRISTIAN KÜLLIG, KRISTIAN DITTMANN, and JÜRGEN MEICHSNER — Ernst-Moritz-Arndt-University of Greifswald, 17489 Greifswald

The line integrated electron density in the bulk plasma of a 10 Hz (50 % duty cycle) pulsed capacitively coupled radio frequency (cc-rf) plasma in argon and oxygen was measured by means of 160 GHz Gaussian beam microwave interferometry with time resolution of  $0.2\ \mu\text{s}$ . The line integrated electron density in the steady state plasma-on phase in argon amounts to between  $10^{15}$  and  $3 \times 10^{16}\ \text{m}^{-2}$ , whereas the values for oxygen are between  $10^{14}$  and  $10^{16}\ \text{m}^{-2}$ . In particular, it was observed an overshoot in the electron density in the afterglow phase of the oxygen plasma shortly after disabling the rf power. This electron density increase was only seen for low rf power over a wide pressure range from 20 to 100 Pa. In this case it is important to note that the electron density is nearly the same as the density of negative atomic oxygen ions, which was measured by simultaneous laser photodetachment. A 0D model for the afterglow phase was applied considering particle balance equations for six species ( $\text{O}_2^+$ ,  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{O}^-$ , e,  $\text{O}_2(a^1\Delta_g)$ , O) and eight reactions. The measured ( $\text{O}^-$ , e)/estimated (others) species densities in the steady state plasma on phase were taken as initial conditions. The model fits very well the measured temporal behaviour of the electron density and reveals that the metastable oxygen molecules  $\text{O}_2(a^1\Delta_g)$  are the dominant species for detachment of the negative oxygen ions and electron production in the afterglow.

P 9.9 Di 17:00 Foyer

**Negative ion analysis in oxygen cc-rf plasma by laser photodetachment and simultaneous 160 GHz Gaussian beam microwave interferometry** — ●CHRISTIAN KÜLLIG, KRISTIAN DITTMANN, and JÜRGEN MEICHSNER — Ernst-Moritz-Arndt-University of Greifswald, 17489 Greifswald

The laser photodetachment and 160 GHz Gaussian beam microwave interferometry was simultaneously applied to study the negative ion density in low pressure capacitively coupled radio frequency (cc-rf) plasma in oxygen. The line integrated negative atomic oxygen ion density in the overlapping volume of the Gaussian microwave and laser beam ranges between  $2 \times 10^{14}$  and  $10^{15}\ \text{m}^{-2}$ . Furthermore, the analysis of characteristic decay time constant of the detachment signals reveals two modes characterized by different electronegativity  $\alpha = n_-/n_e$ . In the case of  $\alpha > 1$  the decay time constant amounts to a few  $\mu\text{s}$ , only, whereas in oxygen plasmas with low electronegativity,  $\alpha < 1$ , the relaxation of the electron density needs much longer with typical decay time constants up to about  $100\ \mu\text{s}$ . For high electronegativity the electron density relaxation can be described by means of a 0D-attachment-detachment model taking into consideration constant density for positive ions and neutral oxygen species. The dissociative attachment and collisional detachment rates are evaluated by use of the appropriate rate coefficients from literature and the experimental determined effective rate coefficients of the assumed first order kinetics. The metastable  $\text{O}_2(a^1\Delta_g)$  plays an important role, for both the formation and loss of negative atomic oxygen ions.

P 9.10 Di 17:00 Foyer

**Massenspektrometrische Untersuchungen in reaktiven Plasmen mit Precursoren** — ●STEFAN NIEMETZ, PATRICK SADLER, MAIK FRÖHLICH und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentel-

le und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

Reaktive Plasmen sind ein wichtiges Werkzeug im Bereich der Oberflächenbeschichtung, um die Anforderungen in den unterschiedlichen Anwendungsgebieten abzudecken. Daher ist es notwendig, die relevanten Plasmaprozesse genauer zu verstehen. Insbesondere beim Einsatz von Precursoren ist das Verständnis über die Bildung von Molekülfragmenten unabdingbar. In der aktuellen Arbeit wird ein siliziumorganischer (HMDSO) sowie ein aluminiumorganischer (ATI) Precursor zur Abscheidung von Silizium- bzw. Aluminiumoxidschichten in einer kapazitiven HF-Entladung näher untersucht. Zu diesem Zweck kommt ein Plasma-Prozess-Monitor (PPM), d.h. ein Massenspektrometer mit Energieanalysator, zum Einsatz. Mit diesem werden die entstehenden Molekülfragmente analysiert und deren Energieverteilung in Abhängigkeit von Leistung und Gasdruck untersucht. In Ergänzung dazu wird Quantenkaskaden-Laserabsorptionsspektroskopie (QCL) verwendet, um die absolute Konzentration von Methan und Acetylen im Plasma zu bestimmen.

P 9.11 Di 17:00 Foyer

**Micro-particles as calorimetric probes in a low-pressure rf-discharge** — ●HORST R. MAURER<sup>1</sup>, RALF BASNER<sup>2</sup>, and HOLGER KERSTEN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel — <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V.

Today, plasma-based synthesis and modification of powder with specific properties offers a variety of new applications, e.g. the improvement of optical or mechanical properties for coatings, of sintering materials, disperse composite catalysts or polymorphous solar cells. In general, the energetic conditions at the surface of a substrate are crucial for the improvement of such applications with respect to morphology and stoichiometry of grown layers and to process rates. Hence, monitoring and controlling the constitutional parameters like gas pressure and composition or substrate temperature are essential, and understanding the plasma-surface interaction plays a key role in the design of the process conditions and can also give access to a general improvement in the understanding of plasma-particle interaction.

In the presented work, systematic particle temperature measurements are performed in argon and gas mixtures. An energy balance at low pressures in argon can be consistently described within the whole parameter range by a simple model. According to this, the fundamental process for particle heating is the result from the recombination of electrons and ions at the particle surface. Moreover, in argon-hydrogen mixtures another fundamental energy source for particle heating is the recombination of dissociated hydrogen at the particle surface.

P 9.12 Di 17:00 Foyer

**Investigation of the magnetic field change during the pulse of a HPPMS discharge** — ●BARBARA BARWE, MARC BÖKE, TERESA DE LOS ARCOS, and JÖRG WINTER — Ruhr-University Bochum, Institute for Experimental Physics II, 44801 Bochum, Germany

High Power Pulsed Magnetron Sputtering (HPPMS) is a technique where the power is introduced into the magnetron plasma as short intensive pulses to reach high plasma densities and nearly fully ionised plasmas for a short time.

An important parameter in magnetron sputtering systems is the magnetic field configuration of the magnetron. However, the pulsing will induce strong transient currents due to the high plasma density which leads to a high density of charged particles. Therefore induced magnetic fields can alter significantly the initial static magnetic field. Furthermore, the magnetic field changes give some indication of the currents in the plasma.

A Hall probe was used to determine the static magnetic configuration of the magnetron and a B-dot probe was used for space and time resolved measurements to investigate how the currents produced within a HPPMS discharge affect the magnetic environment of the magnetron. The results of mapping measurements show that the original magnetic field of the magnetron is severely deformed by the discharge. Changes of several  $\mu\text{T}$  are recorded, depending on the spatial location of the measurement. The spatial arrangement of this deformation provides the assumption of the presence of azimuthally drifting electrons close to the target surface generating the Hall current.

P 9.13 Di 17:00 Foyer

**Time-resolved diagnostics of pulsed sputtering discharges** — ●STEFFEN DRACHE<sup>1</sup>, VITEZSLAV STRANAK<sup>1</sup>, ANN-PIERRA HERRENDORF<sup>1</sup>, ROBERT BOGDANOWICZ<sup>1</sup>, HARM WULFF<sup>1</sup>, ZDENEK

HUBICKA<sup>2</sup>, and RAINER HIPPLER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>University of Greifswald, Institute of Physics, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17489 Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Academy of Sciences of the Czech Rep., Institute of Physics, Na Slovance 2, 18221 Prague 8, Czech Republic

The temporal evolution of ionized species in pulse-operated Ti-Cu-magnetron sputtering discharges and inductively coupled electron cyclotron wave resonance (ECWR) discharges is presented and compared. The optical methods and measurements of ion velocity and energy distribution functions were applied for discharge characterization. Optical emission spectroscopy (OES) served for identification of active plasma species. Optical emission imaging (OEI) was used for investigation of temporal and spatial development of the discharge during the active part of the pulse and in configuration with optical filters allows dynamic study of discharge ignition. Time resolved retarding field analyzer (RFA) measurements were performed to determine the ion velocity distribution function (IVDF). IVDF is considered as a main parameter which influences the growth and properties of thin films. Time resolved IVDF measured near by a cathode are compared time-averaged measurements in the substrate position. IVDF measurement are compared with ion energy distribution function (IEDF) measured by energy resolved mass spectrometer.

P 9.14 Di 17:00 Foyer

**Space and time resolved Langmuir probe measurements in a HIPIMS discharge** — ●PATRICK WIENER, ANTE HECIMOVIC, MARC BÖKE, and JÖRG WINTER — Institut für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

High power impulse magnetron sputtering (HIPIMS) is a recently developed IPVD (ionized physical vapour deposition) technique, based on a dc-magnetron discharge. HIPIMS is a pulsed DC discharge characterized by high peak power density of several kW, low pulse frequencies ( $<1\ 000\ \text{Hz}$ ), and pulses of a few hundreds of microseconds. In this study, we investigate the temporal and spatial evolution of the plasma parameters: electron density, mean electron temperature, plasmapotential, floating potential and EEDF during the pulse and in the afterglow. A cylindrical Langmuir probe is used to measure the evolution of the plasma parameters. The HIPIMS discharge was run on a titanium target in an argon atmosphere. In earlier works it has been seen, that by using the HIPIMS technique, very high electron densities (up to  $10e18\text{m}^{-3}$ ) and mean electron energies of up to  $3.5\text{eV}$  can be obtained during the pulse. Further it has been seen, that due to the high densities, maxwellianization of the druyvesteyn like EEDF takes place. The evolution of electron density was investigated to show a decay with apparently two different time constants. In order to investigate the behaviour of these effects, characteristics are recorded, varying working parameters such as gas pressure, power, pulse length and frequency.

P 9.15 Di 17:00 Foyer

**Untersuchung des Emitter-Effekts an heißen thorierten Elektroden für niedrige und hohe Betriebsfrequenzen** — ●THOMAS HÖBING, CORNELIA RUHRMANN, ANDRE BERGNER, MICHAEL WESTERMEIER, PETER AWAKOWICZ and JÜRGEN MENTEL — Allgemeine Elektro- und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum, Germany

Durch einen Thorium Ionenstrom vom Plasma zur Kathode lässt sich eine  $Th$  Monolage mit Dipolcharakter auf der Kathodenoberfläche erzeugen und damit die effektive Austrittsarbeit von Wolframelektroden in Hochdruckentladungslampen absenken. Zur Charakterisierung des Emitter-Effekts von  $Th$  wurde die Bochumer Modelllampe sowohl mit reinen als auch thorierten Wolframelektroden betrieben. Durch Variation von Betriebsstrom und -frequenz wird der Einfluss des Emitter-Effekts von  $Th$  auf heiße Elektroden untersucht. Die Infrarotstrahlung der Elektrode wird bei einer Wellenlänge von  $890\ \text{nm}$  mit einer in absoluten Einheiten kalibrierten CCD-Kamera aufgenommen. Daraus werden phasen aufgelöste Temperaturverläufe der Elektrodenspitzen temperatur  $T_{tip}$  für unterschiedliche Betriebsfrequenzen, Betriebsströme und Elektrodenparameter bestimmt.  $T_{tip}$  wird durch die Lösung der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung der Elektroden als Fit an die gemessenen Temperaturverläufe ermittelt. Eine gegenüber reinen Wolframelektroden, reduzierte Temperatur  $T_{tip}$  belegt einen Emitter-Effekt auch bei Elektrodentemperaturen über  $3000\ \text{K}$ . Anders als in Metallhalogenidlampen zeigt sich jedoch ein Anstieg von  $T_{tip}$  bei höheren Betriebsfrequenzen in der Modelllampe, der sich auf eine  $Th$  Desorption in der anodischen Phase zurückführen lässt.

P 9.16 Di 17:00 Foyer

**Messung der Cäsium-Dynamik an Quellen negativer Io-**



**nen mittels Laserabsorptionsspektroskopie** — ●CHRISTIAN WIMMER<sup>1,2</sup> und URSEL FANTZ<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

Für die Neutralteilchenheizung von ITER werden leistungsstarke Quellen negativer Wasserstoffionen benötigt. Die Erzeugung negativer Ionen erfolgt dabei effizient über einen Prozess an einer mit Cäsium bedampften Oberfläche niedriger Austrittsarbeit in Wasserstoffplasmen. Die Produktion von  $H^-$  wird beeinflusst von einer starken Cs-Dynamik durch Verteilungs- und Umverteilungsprozesse, die aufgrund der Plasma-Wand-Wechselwirkung und der hohen Cs-Verdampfung stattfinden. Zur Diagnostik von Cäsium stand bisher nur die optische Emissionsspektroskopie zur Verfügung, welche die Plasmaparameter zur Quantifizierung benötigt. Um die Cs-Dynamik auch in Phasen ohne Plasma verfolgen zu können, wurde erstmals eine Laserabsorptionsdiagnostik an der IPP-Prototypquelle als Diagnostik für Cäsium eingesetzt. Die Absorption findet an der Cs-D<sub>2</sub>-Linie (852,1 nm) statt und erfolgt in Vakuum- und Plasmaphasen. Präsentiert werden erste Messungen, welche bereits zu interessanten Erkenntnissen für das Verständnis der Cäsiumdynamik in einer Quelle negativer Ionen führen.

P 9.17 Di 17:00 Foyer  
**Time resolved laser absorption spectroscopy for Ar\* density and temperature in pulsed magnetron discharge** — ●HOANG TUNG DO<sup>1</sup>, MARTIN CADA<sup>2</sup>, VLADIMIR SUSHKOV<sup>1</sup>, ZDENEK HUBICKA<sup>2</sup>, and RAINER HIPPLER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17489 Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Institute of Physics, Academy of Science of the Czech Republic, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8, Czech Republic

Time resolved Ar metastable density and temperature were measured in High Power Impulse Magnetron Sputtering and conventional magnetron discharges with titanium target. Both metastable density and temperature variations feature a two peak structure, one in the pulse and the other in the afterglow. However, we found a noticeable difference between them. The temperature peak in the on-phase appears after the density peak, while the behavior is inverse in the off-phase. This is due to the difference in production mechanisms of metastable. In the pulse, metastable atoms are excited from ground state atoms (cold) by electron impact excitation. But after the termination of the pulse, they are generated from ions (hot) by recombination processes. The temporal variation of metastable density was also modeled using plasma parameters taken from Langmuir probe measurement.

## P 10: Poster: Astro- und geophysikalische Plasmen, warme dichte Plasmen

Zeit: Dienstag 17:00–19:00

Raum: Foyer

P 10.1 Di 17:00 Foyer  
**Influence of Nuclear Fusion on the Plasma of the Solar Core** — ●MICHAEL ENDRES, CLAUDIA-VERONIKA MEISTER, and DIETER HEINZ HERMANN HOFFMANN — Institut für Kernphysik, TU Darmstadt, Schlossgartenstraße 9, 64289 Darmstadt, Germany

The equation of state of the nonideal plasma mixture of the solar core is investigated applying the virial expansion method in density order  $5/2$ . Thereat the quantum virial function describing Heisenberg quantum effects and quantum-physical exchange phenomena has been evaluated in third order with respect to the Born parameter for a mixture of electrons, protons and helium nuclei. Thus the pressure due to coulomb interaction in warm dense matter is calculated. Above all, the energy production in the solar core by the proton-proton fusion process is analysed. The temporal variations of the free energy and the pressure of the solar core by fusion are studied for some millions of years. There, within the frame of a first approximation, heat and radiation transport between the inner solar layers are neglected. It is shown that the changes of the solar pressure by nuclear fusion during 500.000 years, obtained within the frame of the present approximations, should be resolvable by recent helioseismology.

P 10.2 Di 17:00 Foyer  
**Experimental Investigation of Magnetic Flux Tubes** — ●JAN TENFELDE, HOLGER STEIN, THOMAS TACKE, and HENNING SOLTWISCH — Institut für Experimentalphysik V - AG Laser- und Plasmaphysik, Universitätsstr. 150, 44780 Bochum

The FlareLab experiment is designed to investigate the evolution of arch-shaped magnetic flux tubes. Recently, the experimental setup has been modified following the model considerations proposed by Titov and Demoulin in order to reproduce a certain class of solar phenomena. First results obtained with the improved plasma source are presented: differences of the magnetic topology as compared to a previous plasma source design are shown; the corresponding influence on the discharge evolution is investigated. The phenomenon of pronounced striations perpendicular to the current channel is presented, which appears to be damped by an axial magnetic field.

P 10.3 Di 17:00 Foyer  
**Optical and electrical diagnostics for magnetized pulsed-power discharges** — ●PHILIPP KEMPKES, FELIX MACKEL, SASCHA RIDDER, HOLGER STEIN, THOMAS TACKE, JAN TENFELDE, and HENNING SOLTWISCH — Ruhr-Universität Bochum

A set of diagnostics with high temporal resolution for magnetized pulsed-power discharges at the FlareLab experiment has been developed. The experiment is designed to produce arc-shaped magnetic flux tubes which are widely used as a descriptive model for ascending arc-shaped solar protuberances. Typical values for the electron temperature and density of the produced plasmas are around  $10^{21} \text{ m}^{-3}$  and

5-10 eV, respectively. The occurring magnetic flux densities are around 100 mT, typical timescales for the discharge evolution are in the microsecond range. The diagnostics set consists of several electrostatic triple and double probes, electromagnetic B-dot probes and a CO<sub>2</sub> Laser interferometer. We present a comparative study, in which the diagnostics are benchmarked against each other, together with a detailed characterization of the experiment. A fast framing camera is used to correlate the output of different diagnostics with visible structures in the plasma emission.

P 10.4 Di 17:00 Foyer  
**Dispersion of magnetoacoustic waves in the anisotropic magnetosheaths of Earth, Jupiter, and Saturn** — ●CHRISTOPH MAURER, CLAUDIA-VERONIKA MEISTER, and DIETER HEINZ HERMANN HOFFMANN — Institut für Kernphysik, TU Darmstadt, Schlossgartenstraße 9, 64289 Darmstadt, Germany

In the magnetosheath plasmas of Earth, Jupiter and Saturn anisotropies of the plasma parameters are caused by strong magnetic fields via Lorentz forces. These anisotropies influence the dispersion relation of excited magnetoacoustic waves considerably. In the present work, based on the double-adiabatic Chew-Goldberger-Low approximation, the dispersion of magnetoacoustic waves and the variations of the polytropic coefficient of the plasma by these waves are studied. It is shown that in the case of slow magnetoacoustic waves, regions with effective polytropic coefficients smaller than unity may exist in the magnetosheaths of the three studied planets. Additionally, growth rates of the magnetoacoustic waves are estimated using kinetic theory.

P 10.5 Di 17:00 Foyer  
**Modification of electromagnetic waves by upstreaming acoustic ones in the ionospheric E-layer before strong earthquakes** — ●BENJAMIN MAYER, CLAUDIA-VERONIKA MEISTER, and DIETER HEINZ HERMANN HOFFMANN — Institut für Kernphysik, TU Darmstadt, Schlossgartenstraße 9, 64289 Darmstadt, Germany

The many-fluid magnetohydrodynamic theory is applied to describe modifications and the additional excitation of electromagnetic waves in the ionospheric E-layer by acoustic waves originating from lower altitudes. In comparison to the works by other authors both the stratification of the ionosphere and the background electrostatic field are taken into account. The altitudinal profiles of the plasma parameters and the background electromagnetic field are fitted to recent experimental data. It is shown that normal magnetohydrodynamic waves, like Alfvén and magnetoacoustic ones, are generated in the E-layer. However, by the influence of the acoustic waves and the related modification of the momentum transport between the neutral and charged particles, the amplitudes and propagation directions of the magnetohydrodynamic waves are changed. Additional Joule heating processes

caused by the acoustic waves and the forming nonlinear current systems result into temperature and plasma density modifications in the E-layer. Thus, also the characteristic  $f_{0,E}$  frequency changes, which is regularly measured by ionospheric sounding stations. Indeed, one day before 175 Asian earthquakes  $f_{0,E}$  modifications of, on the average, 30 % have been observed. The studied  $f_{0,E}$  variations seem not to be caused by the solar activity.

P 10.6 Di 17:00 Foyer

**Opazitätsmessungen in warmer dichter Materie** — ●JOHANNA OTTO<sup>1</sup>, BORIS ECKER<sup>2,3,4</sup>, DANIEL C. HOCHHAUS<sup>1,2,5</sup>, JOACHIM JACOBY<sup>1</sup>, PAUL NEUMAYER<sup>5</sup>, VLADIMIR G. NOVIKOV<sup>6</sup>, ANDREAS TAUSCHWITZ<sup>2</sup>, ANNA TAUSCHWITZ<sup>1</sup> und JÖRG WIECHULA<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Goethe Universität Frankfurt — <sup>2</sup>GSI Darmstadt — <sup>3</sup>Helmholtz Institut Jena — <sup>4</sup>Johannes Gutenberg Universität Mainz — <sup>5</sup>EMMI, GSI Darmstadt — <sup>6</sup>Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia

Als warme dichte Materie wird der Zustand der nicht-idealen stark gekoppelten Plasmen bezeichnet. Theoretische Näherungen zur Beschreibung dieses Zustandes sind schwierig und dem entsprechend experimentelle Daten notwendig. Eine aussagekräftige Untersuchung zur Bestimmung der atomphysikalischen Eigenschaften stark gekoppelter Plasmen sind Opazitätsmessungen; diese sind allerdings stark temperaturabhängig. Hydrodynamische Simulationen haben ergeben, daß durch die Heizung von dünnen Hoch-Z-Folien mit intensiven Schwerionenstrahlen isotherme Plasmen erzeugt werden können. Im VUV-Bereich besitzen verschiedene Metalle eine besonders hohe Transparenz. Doch sowohl die unter CXRO und NIST tabellierten Werte für die Transmission durch kalte Materialien unterscheiden sich als auch entsprechende Modelle für geheiztes Material führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Diese Diskrepanz soll in einem Experiment geklärt

werden. Dabei wird eine möglichst kontinuierliche geeignete Backlightquelle mittels eines Laserplasmas erzeugt und dessen Transmission durch das ionenstrahlgeheizte isotherme Plasma gemessen.

P 10.7 Di 17:00 Foyer

**Untersuchung an indirekt geheizten Plasmen aus niedrig-Z Schäumen für Experimente zur Ionenstrahl-Plasma-Wechselwirkung** — ●TIM RIENECKER<sup>1</sup>, JOACHIM JACOBY<sup>1</sup>, ANDREY KUNIN<sup>3</sup>, THOMAS NISIUS<sup>4</sup>, NIKOLAY ORLOV<sup>5</sup>, JOHANNA OTTO<sup>1</sup>, OLGA N. ROSMEJ<sup>2</sup>, DAVID SCHÄFER<sup>4</sup>, NIKOLAY SUSLOV<sup>3</sup>, GALINA VERGUNOVA<sup>6</sup> und JÖRG WIECHULA<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Goethe Universität, Frankfurt am Main, Deutschland — <sup>2</sup>Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt, Deutschland — <sup>3</sup>VNIIEF, Sarov, Russland — <sup>4</sup>ReihnAhrCampus, Remagen, Deutschland — <sup>5</sup>Joint Institute for High Temperatures, Moskau, Russland — <sup>6</sup>Lebedev Physical Institute, Moskau, Russland

Die einzigartige Kombination des Petawatt Hoch-Energie Laser Systems für Ionenstrahl Experimente „Phelix“ und dem intensiven Schwerionenstrahl des UNILAC-Beschleunigers der GSI-Darmstadt erlaubt Experimente zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Ionenstrahlen und Plasmen. Das benötigte, zeitlich ( $\sim 5$  ns) und räumlich ( $\sim 1$  mm) homogene, Plasma wurde durch ein kombiniertes Target, bestehend aus einem Gold-Hohlraum (dem Konverter) und einem niedrig-Z Schaum, realisiert. Im Konverter erzeugt ein Nanosekunden-Puls des PHELIX-Laser-Systems Hohlraumstrahlung. Der Schaum wird dabei, durch die Hohlraumstrahlung geheizt, und dient als Target für den Ionenstrahl. Schaumtargets zeichnen sich durch eine hohe Konversionseffizienz der zugeführten Strahlungsenergie in innere Energie, bei langsamem hochdynamischen Ansprechen aus. Ergebnisse zu den Messungen werden vorgestellt.

## P 11: Poster: Hochtemperaturplasmen: Theorie und Simulation

Zeit: Dienstag 17:00–19:00

Raum: Foyer

P 11.1 Di 17:00 Foyer

**Scaling of stochastic transport in the presence of collisions** — ●MICHAEL RACK, ANDREAS WINGEN, and KARL-HEINZ SPATSCHEK — Institut für Theoretische Physik I, Heinrich-Heine Universität, Düsseldorf

Stochastic transport is of growing interest in edge plasmas with random magnetic perturbations (RMPs). To include collisions into existing forecasts for stochastic transport we first considered a simple model in form of the standard map with generalization to weak as well as strong collisions.

It is shown that the so called Kadomtsev-Pogutse diffusion coefficient is the strong collisional limit of the Rechester-Rosenbluth formula. The theoretical estimates are supplemented by numerical simulations. The numerically calculated diffusion coefficient for the standard map with collisions can be described by the sum of the Rechester-Rosenbluth diffusion coefficient and the classical perpendicular diffusion coefficient. A generalization for symplectic maps describing realistic RMPs in tokamak edge plasmas is in progress.

P 11.2 Di 17:00 Foyer

**Filament velocity scaling in SOL plasmas** — ●RALPH KUBE and ODD ERIK GARCIA — University of Tromsø, Tromsø, Norwegen

In the edge region of magnetically confined plasmas one observes intermittent transport of plasma by filaments elongated along the magnetic field lines. These filaments carry excess plasma particles and heat and are referred to as blobs. Blobs are created behind the LCFS and move radially outwards through the SOL, contributing significantly to particle and heat loss as well as wall erosion. Recent experimental progress shows a broad range of blob velocities with regimes where the blobs accelerate and regimes where it presents a constant velocity in the range of the acoustic velocity.

This work presents the blob velocity scaling for a electrostatic interchange model. Numerical simulations show the blob velocity scaling depending on sheath parallel currents. We identify regimes blob acceleration behaviour and a velocity scaling depending on the size of the structure.

P 11.3 Di 17:00 Foyer

**Validierung des ITER Divertor Codes B2-EIRENE mittels der linearen Plasmaanlage PSI-2** — ●CHRISTIAN SALMAGNE<sup>1</sup>, LIEVEN VERVECKEN<sup>2</sup>, DETLEV REITER<sup>1</sup>, MARTINE BAELMANS<sup>2</sup> und PETRA BOERNER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner im Trilateralen Euregio Cluster, Jülich, Deutschland — <sup>2</sup>Dep. of Mechanical Engineering, K.U.Leuven, Celestijnenlaan 300 A, 3001 Heverlee, Belgium

Die lineare Plasmamaschine PSI-2, ehemals Humboldt-Universität zu Berlin, wird derzeit im FZ Jülich wieder in Betrieb genommen. Die Physik des magnetisierten Plasmas in einer linearen Maschine ähnelt in wichtigen Aspekten der Physik der Randschicht und im Divertor eines Tokamakplasmas. Vor allem der Effekt starker Quellen und Senken (inkl. Plasma-Wand-Wechselwirkung) und der Transport entlang der Feldlinien kann an diesem vereinfachten System experimentell und durch Computersimulation genauer untersucht werden. Der aktuelle ITER Divertor-Code B2-EIRENE (Version SOLPS4.3) wurde deshalb erfolgreich an die lineare Geometrie angepasst und wesentliche Ergebnisse von [1], wo dieser Code in einer früheren Version (SOLPS4.0, 1995) verwendet wurde, konnten reproduziert werden. Aktuelle Ergebnisse zu den im alten Modell nicht verfügbaren Effekten einer detaillierteren Beschreibung der Wasserstoff-Chemie, des parallelen Plasmaströms und nichtlinearer Gasströmungen werden diskutiert.

[1]. H. Kastelewicz, G. Fussmann, Contributions to Plasma Physics. 44, 352-360 (July 2004)

P 11.4 Di 17:00 Foyer

**Modelling of ELM with a current relaxation model** — ●JONATHAN PEARSON<sup>1</sup>, YUNFENG LIANG<sup>1</sup>, DIRK REISER<sup>1</sup>, YOUWEN SUN<sup>1</sup>, TAO ZHANG<sup>1</sup>, CHRIS GIMBLETT<sup>2</sup>, and PHILLIPPA BROWNING<sup>3</sup> — <sup>1</sup>Institute of Energy and Climate Research/Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner in the Trilateral Euregio Cluster, Jülich, Germany — <sup>2</sup>EURATOM/CCFE Fusion Association, Culham Science Centre, Abingdon, Oxon, OX14 3DB, United Kingdom — <sup>3</sup>School of Physics and Astronomy, University of Manchester, Manchester, United Kingdom

Using a Taylor relaxation theory, initialised by an external peeling mode,

the widths and frequencies of Edge Localised Modes (ELM) can be modeled. From this the dependence of the ELM frequency on the edge safety factor is investigated and a development of multiple resonance at lower values of the normalised edge current density is observed. The addition of small derivations of the plasma current control leads to a possible explanation for the range of ELM frequencies experimentally observed. A comparison of experimental observations taken from the TEXTOR H-mode plasma is found to have good agreement with this modeling results. The basic assumptions and the range of validity of the model are discussed. The extensions to an application of this concept to scenarios with Resonant Magnetic Perturbations are sketched.

P 11.5 Di 17:00 Foyer

**Virtuelle Langmuir Sondendiagnostik für simulierte Plasmaturbulenz** — ●BERNHARD NOLD<sup>1</sup>, TIAGO RIBEIRO<sup>2</sup>, MIRKO RAMISCH<sup>1</sup>, BRUCE SCOTT<sup>2</sup> und ULRICH STROTH<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart — <sup>2</sup>Max Planck Institut für Plasmaphysik, Euratom Association, Garching

Im Randbereich magnetisch eingeschlossener Plasmen führt turbulenter Transport zu unerwünschten Teilchen- und Energieverlusten. Zur Beschreibung der zugrunde liegenden Instabilitäten und nicht-linearen Kopplungen ist eine genaue Kenntnis der Gradienten und Fluktuationen in Dichte, Potential und Temperatur nötig.

Langmuir-Sonden erlauben die Messung dieser Größen in der Randschicht heißer Fusionsplasmen mit hoher räumlicher Auflösung. Um eine zeitliche Auflösung im 100-kHz-Bereich erreichen zu können werden Temperaturfluktuationen und die räumliche Ausdehnung der Sonde meist vernachlässigt.

In diesem Beitrag wird das lokale Gyrofluid-Modell GEMR [S. J. Zweben, B. D. Scott et. al Phys. Plasmas **16**, 082505 (2009)]

benutzt um Plasmaturbulenz im Randbereich des Tokamaks ASDEX Upgrade zu simulieren. Die Messergebnisse virtueller Sonden werden den zugrunde liegenden Plasmaparametern gegenüber gestellt und im Hinblick auf die Bestimmung der Dichte-Potential-Kreuzphasen untersucht. Die Modelle werden schließlich im direkten Vergleich mit experimentellen Messergebnissen [B. Nold et. al Plasma Phys. Control. Fusion **52** (2010) 065005] von ASDEX Upgrade verifiziert.

P 11.6 Di 17:00 Foyer

**Simulation von Doppler-Reflektometrie in turbulenten Plasmen** — ●CARSTEN LECHTE — Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart

Doppler-Reflektometrie ist eine Mikrowellendiagnostik zur Messung von Dichtefluktuationen und Flussgeschwindigkeiten im Plasma. Die Welle wird an der Cutoff-Schicht gestreut und Doppler-verschoben.

Um aus der rückgestreuten Leistung die Fluktuationsstärke zu ermitteln, muss die Streueffizienz bekannt sein. Sie hängt stark von den Plasmaparametern im Streuvolumen ab, und ist bei starken Fluktuationen nichtlinear. Daher sind quantitative Untersuchungen nur mit Hilfe von 2D- oder 3D-Simulationen der Maxwell-Gleichungen im Plasma möglich.

Mit dem Finite-Differenzen-Code IPF-FD3D werden alle Aspekte der Wellenausbreitung eines synthetischen Doppler-Reflektometers an Fusionsplasmen simuliert. Insbesondere wird untersucht, unter welchen Bedingungen die Bestimmung des absoluten Wellenzahlspektrums der turbulenten Dichtefluktuationen möglich ist. Dazu ist es nötig, sowohl das poloidale Wellenzahlspektrum zu berücksichtigen, welches durch die Streuung direkt gemessen wird, als auch das radiale Spektrum, welches die Messung indirekt beeinflusst.

## P 12: Plasmatechnologie I

Zeit: Mittwoch 10:30–12:30

Raum: HS H

### Hauptvortrag

P 12.1 Mi 10:30 HS H

**Modellierung eines Radio-Frequenz Plasmabrückenneutralisators** — ●FRANK SCHOLZE, MICHAEL TARTZ und HORST NEUMANN — Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V., Leipzig, Deutschland

Am IOM wurde ein RF-Plasmabrückenneutralisator (RF-PBN) mit induktiver Einkopplung konzipiert und gebaut. Das Labormodell wurde getestet und seine Tragfähigkeit zusammen mit dem elektrostatischen Ionentriebwerk RIT22 von Astrium ST GmbH als erstes europäisches, kathodenloses, elektrisches Antriebssystem demonstriert. Die Basis für die Neutralisatorentwicklung bildeten verschiedene Modellierungsansätze. Die ersten Abschätzungen zur erzielbaren Effizienz dieser Elektronenquelle mit Hilfe der Energiebilanzgleichung zeigten die Realisierbarkeit auf. Diese Ergebnisse lieferten die ersten Dimensionierungsansätze, um für eine definierte Geometrie die maximalen Ausbeuten zu ermitteln. Die Minimierung des Energie- und Gasverbrauches ist neben der Lebensdauer die wichtigste Optimierungsanforderung für den Langzeiteinsatz des Neutralisators in entsprechenden Raumfahrtmissionen. Für diese Optimierungsanforderung wurde eine Simulationstrategie auf der Grundlage des Particle-in-Cell-Codes XOOPIK entwickelt und eingesetzt. Der Code wurde mit Modulen zur Beschreibung der induktiven Einkopplung ergänzt und die örtliche Verteilung der Plasmaparameter für unterschiedliche Geometrien berechnet. Zu ihrer Validierung wurden die Ergebnisse der Modellrechnungen mit den unterschiedlichen experimentellen Messergebnissen am RF-PBN verglichen.

P 12.2 Mi 11:00 HS H

**Formation of nanocomposites by cluster deposition and plasma polymerization** — ●TILO PETER<sup>1</sup>, VLADIMIR ZAPOROZHTCHENKO<sup>1</sup>, STEFAN REHDE<sup>1</sup>, THOMAS STRUNSKUS<sup>1</sup>, SVEN BORNHOLDT<sup>2</sup>, HOLGER KERSTEN<sup>2</sup>, and FRANZ FAUPEL<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institute for Materials Science, Kiel, Germany — <sup>2</sup>Institute of Experimental and Applied Physics, Kiel, Germany

Recently, there is much interest in nanocomposites consisting of metal nanoparticles dispersed in a dielectric matrix due to their novel functional properties [1]. In many cases the formation of clusters occurs by co-deposition of metal and matrix. This process is affected by chemical reactions with the matrix material during deposition [2]. The integra-

tion of a magnetron cluster source into a plasma deposition process allows the pre formation of clusters in the gas phase and subsequent co-deposition with the matrix. Here we focus on the properties of Ag clusters and the subsequently obtained nanocomposites by embedding in a polymer matrix which is prepared by plasma polymerization of Hexamethyldisiloxane (HMDSO). The deposition system consists of two main components: A magnetron sputter source in a separate high-pressure Ar atmosphere acting as a cluster source. And a rf-powered Ar/O<sub>2</sub> plasma, that is used for plasma polymerization of HMDSO. The influence of deposition parameters on the morphology and nanocomposite film properties were investigated by x-ray photoelectron spectroscopy, transmission electron microscopy and UV/Vis spectroscopy.

- [1] Faupel, F. et.al., Contrib. Plasma Phys. 47(2007), 537.
- [2] Faupel, F. et.al., Adv. Eng. Mater. (2010) accepted.

P 12.3 Mi 11:15 HS H

**Hydrophilic finishing of LDPE films using plasma treatment** — ●DIETER IHRIG<sup>1</sup>, JENS EGGEMANN<sup>1</sup>, RICHARD SCHUHMACHER<sup>1</sup>, and MICHAEL LICHT<sup>2</sup> — <sup>1</sup>FH Suedwestfalen, Iserlohn, Germany — <sup>2</sup>Dr.-Licht GmbH, Nümbrecht, Germany

To harvest atmospheric water (dew) we use polymer films (LDPE/LLDPE) which allows cooling down a device just by looking through the atmospheric window at 8 to 13 micron into the cold upper atmosphere. First results from such tools are published in [1]. Problems are resulting of the very high hydrophobic properties of PE. Conventional plasma based procedures are able to generate polar groups on the surface of polymers, but they are not stable. To stabilize this groups we coated the films with an organic layer or a plasma polymerization process. By this we are able to generate a contact angle on the film of 55 to 60 degr. which is stable over several months. Such a technique is also interesting as a pretreatment for printing on films with water based lacquer. It will be given an introduction in winning water using radiation exchange and results of field-tests. The changing contact-angle over the time on plasma treated and films with organic layer including XPS will be shown. First results of a structure with hydrophobic and hydrophilic areas present the capability of a surface like the desert beetle stenocara. The project was funded by the German Federal Ministry of Education and Research (FKZ 02WD0458) [1] Jour. Phys. Chem. of the Earth, Elsevier 33, 86 \* 91 (2008)

P 12.4 Mi 11:30 HS H

**Modification of polydimethylsiloxane thin films in H<sub>2</sub> CCRF plasma studied by IR reflection absorption spectroscopy** — ●VLADIMIR DANILOV, HANS-ERICH WAGNER, and JÜRGEN MEICH-SNER — Ernst Moritz Arndt University of Greifswald, Germany

Polydimethylsiloxane (PDMS) thin films (10 nm – 400 nm) were spin-coated on glass substrates covered by aluminium. The plasma treatment was performed in a capacitively coupled radio-frequency (CCRF) discharge comparing the direct plasma contact with that of the plasma radiation. Here, the screening of the thin film from the bulk plasma by selected windows with different cut-off wavelength (soda-lime glass - 300 nm, quartz glass - 160 nm, and MgF<sub>2</sub> - 115 nm) allowed the study of specific spectral ranges. The plasma modification of PDMS thin films was investigated by Fourier-Transform-Infrared-Reflection-Absorption-Spectroscopy (IRRAS). A significant modification effect was observed in experiments with the MgF<sub>2</sub> window, only. This is in agreement with the fact that the H<sub>2</sub> plasma has considerable VUV emission below 170 nm due to the molecular Lyman and Werner band system as well as the Lyman  $\alpha$  atomic line. Additionally, the chemical composition along the whole film depth was investigated. It was found that the modified films consist of methyl-free SiO<sub>x</sub> top layer (10 – 30 nm), followed by partially demethylated region, and an underlying non-modified PDMS layer in the case of thin films prepared with initial thickness exceeding 350 – 400 nm.

Funded by the Volkswagen Foundation, Plasma Hybrid Coating, grant no. I/83275.

P 12.5 Mi 11:45 HS H

**Pulse magnetron sputtering of oxide films for mechanical, biomedical and optical applications** — ●HEIDRUN KLOSTERMANN — Fraunhofer Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik, Dresden, Deutschland

Reactive pulse magnetron sputtering is a versatile technique for the deposition of oxide coatings. Applications of such coatings cover optical interference functions, bioactivity as well as scratch and wear protection. The parameters pulse mode, pulse frequency, and the choice of reactive working point essentially determine the plasma conditions during film formation.

Aluminum oxide and titanium oxide are two examples of multifunctional materials whose properties can be tailored by the choice of deposition conditions and pulse parameters. Whereas amorphous films are suitable to build optical multilayer coatings, crystalline alumina is used as a wear resistant coating on high speed cutting tools, where synthesis of gamma phase alumina by pulsed reactive sputtering is mastered in production scale. However, the high-temperature stable alpha phase is desirable to avoid phase transformation in the cutting process. As to titanium oxide, the synthesis of single phase anatase is required to achieve optimum photocatalytic properties. Although empirical optimization of such tailored phase formation has reached a high level, the interrelation between fundamental processes in the pulsed reactive plasmas and nucleation and growth of the films is fragmentary.

P 12.6 Mi 12:00 HS H

**Ar als Sonde für die Untersuchung struktureller Eigenschaften dünner Schichten mittels XPS** — ●ATENA RASTGOO LAHROOD, MARINA PRENZEL, TERESA DE LOS ARCOS und JÖRG WINTER — Institut für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, Deutschland

Bei vielen plasma-basierten Schichtabscheidungsprozessen wie Sputtering oder PECVD wird eine Gasmischung von Ar und anderen reaktiven Komponenten benutzt. Als Folge davon können kleine Mengen von Ar Atomen in abgeschiedenen dünnen Schichten eingefangen werden. Obwohl eine chemische Bindung zwischen den Ar Atomen und der Host-Matrix ausgeschlossen ist, gibt es eine Wechselwirkung zwischen den elektronischen Schalen der Ar Atome und ihrer Umgebung. Aus diesem Grund hat eine genaue Bestimmung der Bindungsenergie der eingebetteten Ar Atome die Potenzial Informationen über ihre lokale Umgebung zu liefern. Vorläufige XPS-Analysen von eingefangenen Ar Atomen in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Schichten (abgeschieden mittels RF Magnetron Sputtering) haben gezeigt, dass es eine Korrelation zwischen der Bindungsenergieverschiebung der Ar2p Peaks und dem Kristallinitätsgrad der unterschiedlichen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Matrize gibt. Um ein besseres Verständnis über diese Wechselwirkung zwischen den Ar Atomen und der Host Matrix zu bekommen, haben wir eine Reihe von kontrollierten Experimenten durchgeführt, indem wir Ar Atome mit unterschiedlichen Energien in verschiedenen Substraten implantiert haben. Desweiteren wurde die Auswirkung von nachträglicher thermischer Behandlung studiert und auch winkelabhängige Messungen durchgeführt.

P 12.7 Mi 12:15 HS H

**Mechanismen des Schichtwachstums - Untersuchung mittels Monte-Carlo Simulationen** — ●EVELYN HÄBERLE<sup>1</sup>, ANDREAS MUTZKE<sup>2</sup>, RALF SCHNEIDER<sup>3</sup>, ANDREAS SCHULZ<sup>1</sup>, MATTHIAS WALKER<sup>1</sup> und ULRICH STROTH<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald — <sup>3</sup>Institut für Physik, Universität Greifswald

Das Aufwuchsverhalten der in einem Mikrowellen-PECVD-Prozess abgeschiedenen Schichten wurde untersucht, v.a. im Hinblick auf die Schichtbildung an Stellen von Unebenheiten auf der Substratoberfläche. Dabei bestand die Möglichkeit mittels eines Substratbias Einfluss auf das Schichtwachstum zu nehmen, so dass ein homogeneres Ausfüllen der Vertiefungen auf der Substratoberfläche mit Schicht bzw. ein Verschmelzen der Schicht über sich ausbildenden Hohlräumen ermöglicht wurde. Als Modellsubstrate dienten hierbei Si-Wafer mit einer definierten Oberflächenstruktur im  $\mu\text{m}$ -Bereich.

Vorgestellt werden Vergleiche zwischen experimentellen Ergebnissen und Simulationen aus dem Monte-Carlo-Code SDTrimSP-2D. Zur Durchführung der Simulationen musste ein einfaches Schichtsystem betrachtet werden, gewählt wurden hydrogenisierte amorphe Siliziumschichten (a-Si:H), die in einem Silanplasma abgeschieden wurden. Der Vergleich ermöglichte eine genauere Analyse der Mechanismen, die zu dem beobachteten Schichtwachstum beitragen, da mit Hilfe des Simulationscodes die lokale Abtragung und Redeposition in Abhängigkeit der Oberflächenstruktur ermittelt werden konnte.

## P 13: Astrophysikalische Plasmen

Zeit: Mittwoch 10:30–12:25

Raum: HS C

### Hauptvortrag

P 13.1 Mi 10:30 HS C

**Dichte astrophysikalische Plasmen** — ●RONALD REDMER — Universität Rostock, Institut für Physik, 18051 Rostock

Das Verhalten von Materie unter extremen Bedingungen, speziell das Hochdruckphasendiagramm der leichten und häufigsten Elemente H und He sowie ihrer Mischungen, ist für Modelle des Aufbaus und der Evolution großer Planeten wie Jupiter und Saturn von entscheidender Bedeutung. Das Verhalten von O, C, N und der entsprechenden Wasserstoffverbindungen H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> und CH<sub>4</sub> ist zum Beispiel für Neptun und Uranus relevant. Mit Ab-initio-Molekulardynamik-Simulationen können heute auf der Basis der Dichtefunktionaltheorie präzise Vorhersagen für die Zustandsgleichung und das Phasendiagramm der leichten Elemente und ihrer Mischungen gegeben werden. Fundamentale Probleme wie der Metall-Nichtmetall-Übergang in Wasserstoff und die Entmischung im H-He-System unter hohem Druck wurden erstmals auf diesem Niveau behandelt, so dass Ergebnisse früherer chemischer

Modelle überprüft werden können. Für Wasser wurde bei ultra-hohen Drücken eine exotische superionische Phase (Protonenleiter) vorhergesagt. Die Ab-initio-Daten erlauben die Konstruktion verbesserter Modelle für den inneren Aufbau und die Evolution großer solarer und extrasolarer Planeten. Mit Hilfe der ebenso berechneten elektrischen Leitfähigkeiten kann außerdem die Erzeugung von Magnetfeldern tief im Inneren der großen Planeten mit Hilfe von Dynamo-Modellen studiert werden.

P 13.2 Mi 11:00 HS C

**Nichtmetall-Metall-Übergang in warmem dichtem Wasserstoff** — ●WINFRIED LORENZEN, BASTIAN HOLST und RONALD REDMER — Universität Rostock

Wir untersuchen den Nichtmetall-Metall-Übergang in warmem dichtem Wasserstoff mit Hilfe von *ab initio* Molekulardynamik-Simulationen [1]. Dafür berechnen wir die Zustandsgleichung von Wasserstoff unter hohen Drücken von einigen Megabar und Temperaturen

bis zu 1500 K. Wir können zeigen, dass unter diesen Bedingungen ein flüssig-flüssig Phasenübergang 1. Ordnung stattfindet, der lange als Plasmaphasenübergang bei viel höheren Temperaturen vorhergesagt wurde. Beide Phasen werden durch Zustandsgleichungsdaten, elektrische Leitfähigkeit und Paarverteilungsfunktionen charakterisiert. Wir bestimmen die Koexistenzlinie im Phasendiagramm und geben eine Abschätzung für den kritischen Punkt.

[1] Phys. Rev. B 82, 195107 (2010)

P 13.3 Mi 11:15 HS C

**Die innere Struktur und Evolution von Saturn** — ●ROBERT PÜSTOW, NADINE NETTELMANN und RONALD REDMER — Universität Rostock, Institut für Physik, 18051 Rostock

Die innere Struktur und das Abkühlverhalten von Saturn wurden mit Hilfe verschiedener Planetenmodelle (zwei und drei Schichten) bestimmt. Der wesentliche Input ist durch die Zustandsgleichung für Wasserstoff und Helium unter extremen Bedingungen gegeben. Dazu wurden chemische Modelle und auch Ab-initio-Daten verwendet. Insbesondere wurde der Einfluss von unterschiedlichen Außentemperaturen und atmosphärischen Heliumgehalten untersucht. Die entsprechenden Metallizitäten im Mantel und die Kernmassen wurden verglichen. Außerdem wurde das Abkühlverhalten von Saturn im Rahmen der homogenen und inhomogenen Evolution berechnet. Letztere beinhaltet die Entmischung von Wasserstoff und Helium, die unter Megabar-Drücken stattfindet und wesentlich zur intrinsischen Luminosität beiträgt. Zur Abschätzung dieses Effekts wurde ein einfaches Modell entwickelt. Während die homogene Evolution stets ein zu kleines Alter liefert, wird durch die Entmischung eine längere Abkühldauer erreicht.

**Fachvortrag**

P 13.4 Mi 11:30 HS C

**The role of system-scale turbulence on MHD activity in a spherical dynamo experiment** — ●KIAN RAHBARNIA<sup>1</sup>, MIKE M CLARK<sup>1</sup>, ELLIOT J KAPLAN<sup>1</sup>, MARK D NORBERG<sup>1</sup>, ALEX M RASMUS<sup>1</sup>, ERIC J SPENCE<sup>2</sup>, NICHOLAS Z TAYLOR<sup>1</sup>, JOHN P WALLACE<sup>1</sup>, and CARY B FOREST<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Department of Physics, University of Wisconsin-Madison, 53706 Madison, WI, USA — <sup>2</sup>Princeton Plasma Physics Laboratory, New Jersey 08544, USA

Self-generation and saturation of magnetic fields due to magnetohydrodynamic (MHD) dynamos remain important fundamental problems in many astrophysical and geophysical systems. The Madison Dynamo Experiment (MDE) studies the onset conditions for magnetic field growth in a turbulent flow of liquid sodium and investigates the turbulent electromotive force  $\varepsilon = \langle \tilde{v} \times \tilde{b} \rangle$ . This work analyzes the influence of a recently installed equatorial baffle to reduce the largest scale turbulent eddies in the flow. A spherical harmonic decomposition of the magnetic field indicates a reduction of the largest scale magnetic fluctuations, consistent with a reduction of the large-scale velocity fluctu-

ations. With the baffle the amplification of a transverse seed magnetic field (expected dynamo eigenmode) shows a gain of about 40% and increasing decay times with Reynolds number. This may also indicate a reduction of the turbulent resistivity. For the first time in the MDE the local  $\varepsilon$  is experimentally observed by measuring velocity and magnetic fluctuations simultaneously at specific positions in the liquid sodium. This work is supported by the CMSO and the NSF/DOE partnership in plasma physics.

P 13.5 Mi 11:55 HS C

**Lagrangian Statistics of Plasma Convection** — ●JANE PRATT<sup>1,2</sup> and WOLF-CHRISTIAN MÜLLER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau

By tracking fluid particles in direct numerical simulations, we develop Lagrangian statistics for 3D turbulent magnetoconvection. We adopt the Boussinesq approximation to the MHD convection equations to allow for small differences in plasma density resulting from buoyancy. Pseudo-spectral simulations, performed at resolutions of 512<sup>3</sup> and 1024<sup>3</sup>, solve these equations for a geometric cube of plasma with an imposed mean temperature gradient. Boundary conditions are fully periodic and disallow vertical streamers, specifically  $k_z = 0$  velocity or temperature modes. We examine universal characteristics of dynamo action and rare intermittent events of magnetoconvection revealed by Lagrangian single-particle and two-particle statistics, and PDFs.

P 13.6 Mi 12:10 HS C

**Electric field and infrared radiation in the troposphere before earthquakes** — ●CLAUDIA-VERONIKA MEISTER<sup>1</sup>, VICTOR A. LIPEROVSKY<sup>2</sup>, V.V. MIKHAILIN<sup>3</sup>, V.V. BOGDANOV<sup>4</sup>, P.M. UMARKHODGAEV<sup>3</sup>, and ELENA V. LIPEROVSKAYA<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Kernphysik, Technische Universität Darmstadt — <sup>2</sup>Institute of Physics of the Earth, Moscow — <sup>3</sup>Lomonosov State University, Moscow — <sup>4</sup>Institute of Cosmophysical Research and Radiowave Propagation, Petropavlovsk-Kamchatsky

A model of the generation of local electric fields in the atmosphere a few days before earthquakes and up to a few days after the seismic shocks is proposed. The generation of the electric fields occurs because of an increased ionisation intensity of the atmosphere at the presence of radon the concentration of which increases in earthquake preparation regions. The formation of mosaic-likely distributed regions of electric fields with intensities of 3 10<sup>\*\*2</sup> - 10<sup>\*\*5</sup> V/m and, on the other hand, large areas with increased electrical conductivity causes a series of physical effects, e.g. the occurrence of infrared emissions with specific spectrum, which may be studied using earth-based, atmospheric and satellite observations. A recently proposed laboratory experiment is discussed which is carried out to prove the theoretically predicted intensification of infrared emissions some hours-days before earthquakes.

**P 14: Plasmatechnologie II**

Zeit: Mittwoch 14:00–16:00

Raum: HS H

**Hauptvortrag**

P 14.1 Mi 14:00 HS H

**Miniaturisierte Plasmajets für die Oberflächenbehandlung** — ●RÜDIGER FOEST, JAN SCHÄFER, FLORIAN SIGENEGER und KLAUS-DIETER WELTMANN — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie Greifswald e.V.

Anisotherme Plasmajets sind von Interesse für die lokale Oberflächenbehandlung unter Normaldruck. Zu den hierbei relevanten Oberflächenprozessen zählen das Plasmaätzen, die Plasmafeinreinigung, die plasmachemische Oberflächenfunktionalisierung und die Abscheidung dünner Schichten, für die bereits einige Applikationen bekannt sind. Nach einem kurzen Überblick über aktuelle Entwicklungen erfolgt eine Fokussierung des Vortrages auf die Abscheidung dielektrischer Funktionsschichten aus siliziumorganischen Ausgangsstoffen mit Hilfe eines HF-Kapillarjets. Es werden plasmadiagnostische und Modellansätze erörtert, die eine Beurteilung der in diesem speziellen Plasma herrschenden Bedingungen gestatten. Korrelieren lassen sich die gefundenen Plasmaeigenschaften mit der chemisch-strukturellen Charakteristik der wachsenden Schicht unter Ausnutzung der Ergebnisse einer komplexen Analyse des statischen Schichtabscheidungsprofils mit mehreren oberflächenanalytischen Verfahren.

P 14.2 Mi 14:30 HS H

**Untersuchung verschiedener Precursoren zur lokalen Plasma-jetbeschichtung** — ●MANUELA JANIETZ und THOMAS ARNOLD — Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung, Leipzig, Deutschland

Atmosphärische Plasmajets stehen gegenwärtig im Mittelpunkt zahlreicher Untersuchungen zur Schichtabscheidung, da sie es ermöglichen, durch die Wahl geeigneter Precursoren lokal sehr verschiedene Materialien unter normalen Umgebungsbedingungen aufzutragen. Dieser Vortrag beschäftigt sich mit der Untersuchung der Abscheidung mittels gängiger Precursoren zur Herstellung von Siliziumoxid und a-CN-Schichten. Getestet wurden Hexamethyldisiloxan (HMDSO), Propanol und Methan. Die Experimente wurden mit einer am IOM entwickelten Plasmajetquelle durchgeführt, die sowohl mit Helium als auch mit Argon betrieben werden kann. Die Anregung der Prozessgase, denen auch der Precursor beigemischt wird, erfolgt mittels gepulster Mikrowellenenergie bei 2,45 MHz. Die hergestellten Schichten wurden mit verschiedenen Methoden (REM, IR-Spektroskopie, XPS, etc.) hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und physikalischer Eigenschaften umfangreich charakterisiert. Aus den Ergebnissen lassen sich Aussagen zur Anwendbarkeit der Schichten zur lokalen deterministischen Ober-

flächenformgebung mit Nanometergenauigkeit gewinnen.

P 14.3 Mi 14:45 HS H

**Nichtthermischer Luft-Plasmajet mit Hochgeschwindigkeitsdüse** — ●ANNETTE MEINERS<sup>1</sup>, MICHAEL LECK<sup>1</sup> und BERND ABEL<sup>2</sup> — <sup>1</sup>HAWK - Hochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen, D-37085 Göttingen — <sup>2</sup>Wilhelm-Ostwald-Institut, Universität Leipzig, D-04103 Leipzig

In den letzten Jahren wurden zahlreiche nichtthermische Plasmajets zur Modifizierung oder Beschichtung von Oberflächen entwickelt. Als Arbeitsgase werden typischerweise Edelgase, Stickstoff oder Mischungen dieser Gase mit Sauerstoff verwendet. Mit solchen Jets lassen sich sichtbare Plasmastrahlen bis zu einer Länge von einigen cm erzeugen.

Hier wurde ein nichtthermischer Plasmajet auf Grundlage einer DBE entwickelt, der ausschließlich mit Umgebungsluft betrieben werden kann. Aufgrund des hohen Sauerstoffgehalts ist es jedoch nicht möglich, langreichweitige Plasmastrahlen mit Luft zu erzeugen. Daher war zuvor eine Optimierung äußerer Prozessparameter wie Geometrie und Material des Dielektrikums, Größe des Gaspalts oder auch Gasströmungsgeschwindigkeit unbedingt erforderlich. Die Optimierung erfolgte mit Hilfe optischer Emissionsspektroskopie und elektrischer Messtechnik.

Es konnte gezeigt werden, dass sich insbesondere durch die Wahl eines geeigneten Dielektrikums die Elektronendichte und damit auch die Konzentration reaktiver Spezies bei gleicher äußerer Leistung deutlich erhöhen lässt. Durch die Geometrie der Düse und der damit verbundenen hohen Gasströmungsgeschwindigkeit konnte die Wirksamkeit einer Plasmabehandlung mit dem Jet zusätzlich entscheidend verbessert werden.

P 14.4 Mi 15:00 HS H

**Energiestrommessungen an Atmosphärendruck-Plasmajetquellen**

— ●MAIK FRÖHLICH<sup>1</sup>, SVEN BORNHOLDT<sup>1</sup>, STEFAN WREHDE<sup>2</sup>, CHRISTOPH REGULA<sup>2</sup>, JÖRG IHDE<sup>2</sup> und HOLGER KERSTEN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel — <sup>2</sup>Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, D-28359 Bremen

Atmosphärische Plasmajetquellen bieten im Hinblick auf die Anwendungsmöglichkeiten gegenüber Niederdruckplasmen wesentliche Vorteile. Zum einen ist ein Verzicht auf kosten- und zeitintensive Pump- und Vakuumpumpen möglich, wodurch diese Quellen leicht in bestehende Prozessabläufe und Produktionsketten zu integrieren sind. Zum anderen reichen ihre Einsatzgebiete von der Oberflächenbehandlung bis hin zur Abscheidung funktioneller Plasmapolymere Schichten.

Besonders für die Behandlung und Beschichtung polymerer Werkstoffe ist die Temperaturbelastung durch die Plasmajetquelle ein wichtiger Punkt, der in der Regel die Behandlungsmöglichkeiten begrenzt. Durch die Kenntnis des Energieeinstroms auf die zu bearbeitende Materialoberfläche kann das Behandlungsergebnis oder die Qualität der Beschichtungen deutlich optimiert werden. Diese Arbeit präsentiert die Analyse des Energieeinstroms an kommerziellen Plasmajetquellen. Als Messsonde kommt hierbei eine selbstentwickelte kalorimetrische Sonde zum Einsatz. Insbesondere wird der Einfluss wichtiger Parameter, wie der Abstand zum Substrat, die Art und Menge der Prozessgase und -gasmischungen sowie die Entladungsleistung, diskutiert.

P 14.5 Mi 15:15 HS H

**Einfluss unterschiedlicher Targetmaterialien auf die atomare Sauerstoff-Dichteverteilungen im Effluent eines Mikro-Plasmajets** — ●DANIEL SCHRÖDER, NIKOLAS KNAKE, HENDRIK BAHRE, TERESA DE LOS ARCOS und VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN — Institut für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Atomarer Sauerstoff zählt neben anderen Sauerstoffspezies zu den

wichtigsten Reaktanden in der biomedizinischen Behandlung von Gewebe und in der Oberflächenmodifikation. Zur lokalisierten Erzeugung wird ein bei einer Radiofrequenz mit einer Helium/Sauerstoffmischung betriebener Mikro-Plasmajet ( $\mu$ -APPJ) benutzt. Zur Untersuchung der Reaktionsmechanismen wurden Messungen der räumlichen Verteilung des atomaren Sauerstoffs entlang des Effluents vom Gasaustritt des  $\mu$ -APPJs bis ca. 250  $\mu$ m vor einer planaren Oberfläche unter Variation des Gasflusses und der angelegten Leistung durchgeführt. Neben diesen Verteilungen wird die gegenseitige Wechselwirkung zwischen Effluent und dem Material der Oberfläche (PET, Glas, Aluminium und Gold) vorgestellt. Der atomare Sauerstoff wurde mit Hilfe der TALIF-Diagnostik und die Ozondichte im Effluent mittels UV-Absorptionsspektroskopie bestimmt. Für die Analyse der Oberflächen diente ein XPS-Spektrometer. Desweiteren werden beispielhaft für die Sauerstoffdichteverläufe vor einer PET- und einer Goldoberfläche die möglichen physikalischen Prozesse detailliert diskutiert. Diese Untersuchungen wurden im Rahmen des Projektes A1 der Forschergruppe FOR1123 im Research Department Plasma durchgeführt.

P 14.6 Mi 15:30 HS H

**Untersuchungen zu Ätzmechanismen bei der Plasmajetbearbeitung von Siliziumkarbid** — ●INGA-MARIA EICHENTOPF und THOMAS ARNOLD — Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung, Leipzig, Deutschland

Aufgrund seiner ausgezeichneten Eigenschaften, wie seiner großen Härte, sehr guter thermischer Leitfähigkeit und großer Bandlücke, ist Siliziumkarbid ein vielversprechendes Halbleitermaterial, das von der Luft- und Raumfahrttechnik bis hin zur Halbleiterindustrie Anwendung findet. Als Alternative zu konventionellen mechanisch-abrasiven Verfahren stellt das plasmachemische Trockenätzen mit reaktiven Plasmajets auf Basis einer Fluorchemie eines der wenigen praktikablen Mittel dar, um eine effektive Oberflächenformgebung von Siliziumkarbid zu erreichen. Zur Untersuchung der dabei stattfindenden Prozesse wurden Experimente mit einem RF (13.56 MHz) angeregten atmosphärischen Plasmajet sowohl auf der silizium- als auch auf der kohlenstofforientierten Seite von 4H-SiC Wafern realisiert. Als Trägergas diente hierbei He unter Zugabe von CF<sub>4</sub> und O<sub>2</sub> als Ätzgase. Die Experimente wurden vergleichend in normaler Atmosphäre sowie in einer Atmosphäre mit reduziertem Sauerstoffgehalt unter Variation des CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>-Gemisches durchgeführt, um den Einfluss des sich aus der Atmosphäre einmischenden Sauerstoffs feststellen zu können. Weiterhin wurden Ätzungen bei variiertem Substrattemperatur und verschiedenen CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>-Gemischen durchgeführt und die zugehörigen Aktivierungsenergien der chemischen Reaktionen bestimmt. XPS-Analysen wurden zur Untersuchung der an der Oberfläche verbleibenden Ätzprodukte herangezogen.

P 14.7 Mi 15:45 HS H

**Innovative plasma generation in flexible biopsy channels for inner-tube decontamination** — ●JÖRN WINTER<sup>1</sup>, MARTIN POLAK<sup>2</sup>, UTA SCHNABEL<sup>1</sup>, JÖRG EHLBECK<sup>1</sup>, REINHARD SCHNEIDER<sup>3</sup> und KLAUS-DIETER WELTMANN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP-Greifswald e.V.), Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Webeco GmbH & Co. KG, Selmsdorf, Germany — <sup>3</sup>XION GmbH, Berlin, Germany

An innovative device capable of generating a cold atmospheric pressure plasma inside a 5 m long flexible tube with 2 mm inner diameter is presented. In order to analyze the inner-tube plasma, Optical Emission Spectroscopy in the VUV and UV spectral range and FTIR spectroscopy were performed. By admixing small concentrations of nitrogen and oxygen to the standard argon gas flow rate of 1.5 slm, a drastically change in the plasma composition was observed. Additionally, it is possible to form a jet-like plasma at the end of the tube. The microbicidal efficacy of the inner-tube plasma and the jet-like plasma was shown for Bacillus atrophaeus spores.

## P 15: Theorie/Modellierung I

Zeit: Mittwoch 14:00–15:55

Raum: HS C

### Hauptvortrag

P 15.1 Mi 14:00 HS C

**Multiscale effects in plasma microturbulence - from electron gyroradius to system size scales** — ●TOBIAS GÖRLER — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM-Association, D-85478 Garching

One of the remaining key physics problems on the way to efficient fusion power plants based on toroidal magnetic confinement is the thorough understanding and reliable prediction of the so-called anomalous transport across the magnetic surfaces. It is by now commonly attributed to plasma microturbulence being generated by various types of microinstabilities. The latter extract free energy from the inevitable

background temperature and density inhomogeneities. Both numerical and experimental investigations have demonstrated that the range of involved space scales may extend from the electron gyroradius all the way to the machine size. Correspondingly, the time scales of interest are determined by the fast electron dynamics on the one hand and the comparatively slow energy confinement time on the other. In this contribution, various state-of-the-art theory approaches to a comprehensive treatment of such challenging multiscale problems are presented. In this context, examples of successful applications of massively parallelized numerical implementations of the gyrokinetic theory framework are shown and comparisons to experiments are given.

**Fachvortrag**

P 15.2 Mi 14:30 HS C

**Poincaré analysis of wave motion in ultra-relativistic electron-ion plasmas** — ●GÖTZ LEHMANN and KARL-HEINZ SPATSCHEK — Institut für Theoretische Physik I, Heinrich-Heine Universität, Düsseldorf

Based on a relativistic Maxwell-fluid description, the existence of ultra-relativistic laser-induced periodic waves in an electron-ion plasma is investigated. Within a one-dimensional (1D) propagation geometry nonlinear coupling of the electromagnetic and electrostatic components occurs which makes the fourth-order problem non-integrable. A Hamiltonian description is derived and the manifolds of periodic solutions are studied by Poincaré section plots. The influence of ion-motion is investigated in different intensity regimes. For ultra-relativistic laser intensities the phase-space structures change significantly compared to the weakly-relativistic case. Ion motion becomes very important such that finally electron-ion plasmas in the far-ultra-relativistic regime behave similar to electron-positron plasmas. The characteristic new types of periodic solutions of the system are identified and discussed.

P 15.3 Mi 14:55 HS C

**Spectrum and Radial Decay of Runaway Electrons in a Disruption at TEXTOR** — ●MICHAEL FORSTER<sup>1</sup>, KARL HEINZ FINKEN<sup>1,2</sup>, MICHAEL LEHNEN<sup>2</sup>, JOCHEN LINKE<sup>3</sup>, BERND SCHWEER<sup>2</sup>, CORINNA THOMSER<sup>3</sup>, OSWALD WILLI<sup>1</sup>, and YUHONG XU<sup>4</sup> — <sup>1</sup>Institut für Laser- und Plasmaphysik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Germany — <sup>2</sup>Institute of Energy and Climate Research - IEK-4, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Jülich, Germany — <sup>3</sup>Institute of Energy and Climate Research, IEK-2, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Jülich, Germany — <sup>4</sup>Laboratory for Plasma Physics, Ecole Royale Militaire - Koninklijke Militaire School, Brussels, Belgium

A heat load experiment was carried out with a new kind of probe for the detection of the damage caused by runaway electrons. The probe was inserted into the plasma edge of the tokamak TEXTOR during an induced disruption. The damages caused by the disruption generated runaway electrons in the probe material are evaluated by metallographical and thermogravimetric methods. In comparison with 3D Geant4 code based Monte Carlo simulations of the runaways information about the energy spectrum and the radial decay of the runaway beam behind a limiter are deduced. The results are in good agreement with an exponential energy spectrum (e-folding energy 3-9 MeV) and corresponding exponential or linear radial decay. Reasonable parameter ranges for the distributions are given. Additional simulations show that the measurement gives the strongest results for the spectral part of the runaways with energies between 8 MeV and 16 MeV.

P 15.4 Mi 15:10 HS C

**Modification of local plasma parameters by impurity injection** — ●MIKHAIL KOLTUNOV and MIKHAIL Z. TOKAR — Institute of Energy and Climate Research - Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner in the Trilateral Euregio Cluster, Jülich, Germany

Injection of impurities into the plasma of fusion devices may significantly change the global plasma behavior, e.g., through the radiation from the plasma core and modification of transport properties. However, even at puffing rates significantly lower than those being of

importance for global plasma characteristics, noticeable changes can happen locally, close to the injection position. This in turn affects the impurity penetration process itself.

In this contribution we propose a model describing plasma behavior in the vicinity of strong sources of impurities. The model is based on a fluid description of electrons, main and impurity ions and takes into account the plasma quasi-neutrality, Coulomb collisions of background and impurity charged particles, radiation losses and sinks of particles to bounding material surfaces. Particle, momentum and energy balances are deduced by integrating transport equations within the clouds of neutral and singly charged impurities, both inside and beyond the scrape-off layer of the puffing limiter.

Computations are done for the conditions of impurity seeding experiments in the tokamak TEXTOR. The model allows to simulate two-dimensional images of radiation losses which can be directly compared with experimental observations.

P 15.5 Mi 15:25 HS C

**Bestimmung der Elektronentemperatur an ASDEX Upgrade mittels Vorwärtsmodellierung der ECE Strahlung** — ●SYLVIA K. RATHGEBER, RAINER FISCHER, WOLFGANG SUTTROP and DAS ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Boltzmannstrasse 2, D-85748 Garching

In gegenwärtigen Auswertungen der ECE (electron cyclotron emission) Strahlung wird die Elektronentemperatur mit der Strahlungstemperatur an den Orten der kalten Resonanz entsprechender Messfrequenzen gleichgesetzt. Die zugrundeliegenden Annahmen von lokaler Emission und Strahlung auf Schwarzkörperviveau, die diese Methode rechtfertigen, sind für optisch dickes Plasma begründet. Im optisch dünnen Bereich des Plasmarands verlieren sie jedoch ihre Gültigkeit. Dies kann den sogenannten Shine-through Effekt verursachen, bei dem Frequenzmessungen mit kalter Resonanz ausserhalb der Separatrix Beiträge von Strahlung aus weiter innenliegenden Regionen erhalten.

Nachdem eine genaue Kenntnis der Elektronentemperatur in diesem Bereich von besonderem Interesse ist um Randphänomene untersuchen zu können, wird die Auswertung der ECE Daten auf alle optischen Tiefen erweitert.

Dafür müssen die durch Doppler- und relativistischen Effekte verbreiterten Emissions- und Absorptionsprofile betrachtet und die Strahlungstransportgleichung entlang der Sichtlinie gelöst werden. Die hierfür erforderliche Vorwärtsmodellierung wird im Rahmen der Bayesschen Wahrscheinlichkeitstheorie durchgeführt.

P 15.6 Mi 15:40 HS C

**PIConGPU - A scalable GPGPU implementation of the particle-in-cell algorithm** — ●HEIKO BURAU<sup>1</sup>, FLORIAN BERNINGER<sup>1</sup>, ALEXANDER DEBUS<sup>1</sup>, THOMAS KLUGE<sup>1</sup>, AXEL JOCHMANN<sup>1</sup>, ARIE IRMAN<sup>1</sup>, ULRICH SCHRAMM<sup>1</sup>, THOMAS E. COWAN<sup>1</sup>, RENÉ WIDERA<sup>2</sup>, FELIX SCHMITT<sup>2</sup>, WOLFGANG HÖNIG<sup>2</sup>, GUIDO JUCKELAND<sup>2</sup>, WOLFGANG NAGEL<sup>2</sup>, PATRICK KILIAN<sup>3</sup>, URS GANSE<sup>3</sup>, STEFAN SIEGEL<sup>3</sup>, FELIX SPANIER<sup>3</sup>, BENJAMIN RAGANKELLEY<sup>4</sup>, JOHN VERBONCOEUR<sup>4</sup>, and MICHAEL BUSSMANN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>HZDR, Dresden, Germany — <sup>2</sup>ZIH, Dresden, Germany — <sup>3</sup>University of Würzburg, Germany — <sup>4</sup>UC Berkeley, CA, USA

We present PIConGPU, an efficient and scalable implementation of the particle-in-cell algorithm for GPGPUs. We discuss the main building blocks of PIConGPU, the data access patterns used for both particle and field data and the communication model that allows to hide the large latency of network communication between GPGPU nodes on a cluster. PIConGPU provides a general framework which can be used to study both relativistic and nonrelativistic plasmas. We show first results on relativistic laser wakefield acceleration of electrons in underdense plasmas and on the progress of integrating new physics models. The fast response time of the code makes it possible to receive results in hours compared to weeks with particle-in-cell codes running on mid-size commodity clusters. With this increase in computational speed extensive parameter scans become possible even for large physical systems.

## P 16: Poster: Niedertemperaturplasmen

Zeit: Mittwoch 16:30–18:30

Raum: Foyer

P 16.1 Mi 16:30 Foyer

**RF field distribution in a discharge with a magnetic X-point** — ●TSANKO TSANKOV and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany

A novel type of discharge with a magnetic X-point is designed to investigate a possible new channel for negative hydrogen ion production. The production is expected to be in the volume by dissociative attachment to excited molecules formed on a dielectric surface. The magnetic X-point serves as a common magnetic filter for enhancement of the negative ion production. At the same time it influences also the RF power coupling to the plasma which is also important for the source performance.

In this study the RF field distribution is investigated and discussed. The results are obtained by using the radio frequency modulation spectroscopy. With this technique by registering the modulation within the RF cycle of the emitted light, information on the oscillation and drift velocities of the electrons is inferred. The obtained results allow the RF field coupling mechanism to be discussed and several hypotheses are proposed.

P 16.2 Mi 16:30 Foyer

**The Electrical Asymmetry Effect in oxygen discharges** — ●EDMUND SCHÜNGEL<sup>1</sup>, QUANZHI ZHUANG<sup>2</sup>, SHINYA IWASHITA<sup>1</sup>, JULIAN SCHULZE<sup>1,3</sup>, JIANG WEI<sup>2</sup>, LU-JING HOU<sup>4</sup>, YOU-NIAN WANG<sup>2</sup>, and UWE CZARNETZKI<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum — <sup>2</sup>School of Physics and Optoelectronic Technology, Dalian University of Technology, China — <sup>3</sup>Research Institute for Solid State Physics and Optics, Hungarian Academy of Sciences — <sup>4</sup>Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching

Capacitively coupled radio frequency discharges are of paramount importance in etching and deposition processes. In these applications, gases revealing a complex chemistry, e.g. including several ion species, are often used. Here, separate control of ion energy and ion flux at the processing surfaces is the key to optimizations. This can be achieved via the Electrical Asymmetry Effect (EAE). The symmetry of the discharge and, therefore, the ion energies at the electrodes are controlled via the phase angle between the fundamental frequency and its second harmonic, which are applied to the discharge. However, all investigations of the EAE have been restricted to argon discharges up to now. Here, an electrically asymmetric electronegative discharge is set up experimentally and in a PIC/MCC simulation. The results include the dc self bias, the discharge current and the spatial density profiles of positive and negative ions and electrons. They show that the effect works well in oxygen, although some deviations compared to electropositive (argon) plasmas are found, especially in the high pressure regime at about 100 Pa. An analytical model is used to explain the results.

P 16.3 Mi 16:30 Foyer

**Messung und Modellierung von Ionendichten in HF-angeregten Wasserstoff- und Deuteriumplasmen** — ●DAVID ERTL<sup>1</sup>, DIRK WÜNDERLICH<sup>2</sup> und URSEL FANTZ<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

In einem planar induktiv gekoppelten HF-Plasmaexperiment (Frequenz: 27,12 MHz) werden mittels optischer Emissionsspektrometrie, energieauflösender Massenspektrometrie und Langmuirsondenmessungen Plasmaparameter und absolute Ionendichten in Wasserstoff- und Deuteriumplasmen bestimmt. In einem ersten Schritt werden experimentelle Ergebnisse für H<sub>2</sub>-Plasmen zusammen mit modellierten Werten aus dem Dissoziations-/Ionisationsmodell Yacora für Wasserstoff vergleichend diskutiert. Für das Modell nötige Inputparameter (z.B. Elektronendichte und -temperatur) wurden experimentell bestimmt. Zielsetzung ist die Überprüfung der Validität des theoretischen Modells und die Identifikation der die Ionenverteilung bestimmenden Prozesse. Im zweiten Schritt erfolgt dann anhand eines Vergleichs modellierter Ionendichten mit in D<sub>2</sub>-Plasmen gemessenen Werten eine Diskussion von Isotopeneffekten von D<sub>2</sub> gegenüber H<sub>2</sub>. Es werden Ergebnisse in einem Druckbereich von 4 Pa bis 20 Pa bei verschiedenen Einkopplungsleistungen vorgestellt.

P 16.4 Mi 16:30 Foyer

**Bestimmung der Plasmaparameter von Niederdruckentladungen mit InBr mittels optischer Diagnostikmethoden** — ●STEFAN BRIEF<sup>1</sup> und URSEL FANTZ<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Lehrstuhl für Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, 85748 Garching

In herkömmlichen Leuchtstofflampen wird Quecksilber zur Erzeugung der Strahlung eingesetzt. Wegen der Umweltbelastung von Hg werden Alternativstoffe gesucht, die im nahen UV-Bereich intensiv strahlen. Dabei werden Metallhalogenide (insbesondere InBr) diskutiert, da sie im Bereich zwischen 300 und 420 nm ein breites und intensives Bandenspektrum besitzen. In heizbaren, abgeschlossenen Glasröhren mit definiertem Inhalt (Edelgas und Metallhalogenid) wurden induktiv gekoppelte Plasmen (HF-Frequenz 13,56 MHz) erzeugt und untersucht. Als diagnostische Methoden kommen die optische Emissionsspektroskopie sowie Weiklicht-Absorptionsspektroskopie zum Einsatz. Da die Edelgasemission bei höheren Metallhalogenid-Dichten im Plasma verschwindet, kann diese dann nicht mehr zur Diagnostik verwendet werden. Die Elektronendichte und -temperatur geht daher aus einem erweiterten Koronamodell der Indium-Strahlung hervor, während die Vibrations- und Rotationstemperatur des Metallhalogenid-Moleküls mittels einer Simulation der relativen Bandenemission bestimmt werden. Die ermittelten Plasmaparameter erlauben ein Verständnis der Besetzungsmechanismen, was eine gezielte Optimierung der Effizienz der Molekülemission ermöglicht.

P 16.5 Mi 16:30 Foyer

**Einfluss eines magnetischen Filterfeldes auf die Plasmahomogenität in großflächigen Ionenquellen** — ●BENJAMIN RUF, DIRK WÜNDERLICH, LOÏC SCHIESKO, URSEL FANTZ und NNBI-TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching, EURATOM Assoziation

In den IPP Prototypquellen (Höhe × Breite Querkörper = 59 cm × 32 cm,  $A_{\text{extr}} = 63 \text{ cm}^2$ ) für die ITER NNBI zur Erzeugung und Extraktion negativer Wasserstoffionen an einem cäsiumbeschichteten Gitter wird ein magnetisches Filterfeld (Feldstärke im Bereich mehrerer mT) zur Absenkung der Elektronentemperatur zwischen den Bereichen der Plasmaerzeugung und der Ionenproduktion eingesetzt. Dadurch wird die Zerstörungsrate negativer Ionen durch Elektronenstoß minimiert.

Das magnetische Filterfeld beeinflusst neben der Elektronentemperatur die gesamten Plasmaparameter in der Quelle, wie zum Beispiel Plasmapotential, Ionen- und Elektronendichte. Weiterhin verursacht das Magnetfeld zusammen mit elektrischen Feldern im Plasma eine Drift und hat somit Auswirkungen auf die Plasmahomogenität und die Cäsiumverteilung im Bereich der Extraktion.

Es wurden Messungen mit der optischen Emissionsspektroskopie, kombiniert mit Langmuirsonden durchgeführt, um die Homogenität von Plasma und Cäsium zu untersuchen. In der vorgestellten Messkampagne wird das magnetische Filterfeld in seiner Stärke, Polarität und Position variiert, um so Korrelationen herauszuarbeiten.

P 16.6 Mi 16:30 Foyer

**Experimentelle Untersuchungen zur Plasmadynamik am magnetischen Nullpunkt** — ●ADRIAN VON STECHOW<sup>1</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,2</sup> und THOMAS KLINGER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — <sup>2</sup>Ernst Moritz Arndt-Universität Greifswald

Nullringentladungen (Neutral Loop Discharges, NLDs) sind Entladungen in Magnetfeldkonfigurationen, in denen die magnetische Feldstärke entlang eines Kreises verschwindet. In bisherigen Untersuchungen wurden unterschiedliche Heizprozesse nahe des Nullrings identifiziert, die zu einer Erhöhung der Plasmadichte und Elektronentemperatur führen können. Dazu zählen stoßfreie Heizung aufgrund ergodischer Teilchenbahnen im inhomogenen Magnetfeld, induktiver Stromtrieb im Nullring und Wellenheizung. Bisher wurde das Plasma nahe des Nullrings erzeugt, was die Trennung von Heizung durch direkte Leistungseinkopplung von weiteren Heizmechanismen erschwert. Im linearen Plasmaexperiment VINETA wurden unterschiedliche RF-Antennenkonfigurationen in einer Nullringkonfiguration verwendet, um diese Effekte getrennt voneinander zu untersuchen. Dazu wurden mit Langmuirsonden Profile der Elektronentemperatur, des Potentials und der Plasmadichte aufgenommen, die mit Ergebnissen einer



3D-Einzelteilchensimulation verglichen wurden. Im Einzelteilchenbild kommt es bereits ohne Berücksichtigung elektrischer Felder zu komplexen Bahnen, bei denen vor allem die irreguläre Bewegung aufgrund der Nichtlinearität der Bewegungsgleichungen, sowie Spiegeleffekte in den starken Feldgradienten zu lokal überhöhten Profilen führen.

P 16.7 Mi 16:30 Foyer

**Raumzeitliche Untersuchungen von Alfvénwellen mittels eines  $\hat{B}$ -Sondenarrays** — ●FALK BRAUNMÜLLER<sup>1,2</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,3</sup> und THOMAS KLINGER<sup>1,3</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — <sup>2</sup>Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg — <sup>3</sup>Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Alfvénwellen sind elektromagnetische Fluktuationen in magnetisierten Plasmen mit Frequenzen unterhalb der Ionenzyklotronfrequenz  $\omega_{ci}$ . Untersuchungen in Laborexperimenten erfordern hohe Plasmadichten, die im linearen Experiment VINETA mittels Helikontladung erreicht werden. Die Alfvénwellen werden mit einer Antenne angeregt mit typischen relativen Magnetfeldamplituden von  $\hat{B}/B_0 \leq 5\%$ . Im Gegensatz zu vorherigen Untersuchungen wird das Wellenfeld zweidimensional mittels eines Arrays von  $\hat{B}$ -Sonden detektiert. Der Aufbau und die Kalibration des Arrays werden vorgestellt. Aus den zeitlich aufgelösten 2D-Magnetfeldmessungen können die fluktuierenden Ströme rekonstruiert und die Dispersion der propagierenden Alfvénwellen bestimmt werden. Die Ergebnisse werden mit Dispersionsbetrachtungen basierend auf einem resistiven MHD-Modell verglichen.

P 16.8 Mi 16:30 Foyer

**Kinetic damping of shear Alfvén waves** — ●THOMAS WINDISCH<sup>1</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,2</sup>, and THOMAS KLINGER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck Institute for Plasma Physics, EURATOM Association, 17491 Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Ernst-Moritz Arndt University, 17489 Greifswald, Germany

Alfvén waves are low-frequency ( $\omega \ll \omega_{ci}$ ) magnetic field perturbations which propagate with the Alfvén velocity  $v_a$  along the ambient magnetic field  $B_0$ . Besides collisional damping Alfvén waves are damped by kinetic effects, i.e. ion cyclotron and Landau damping, which are important for the heating of the corona and can be utilized as plasma heating mechanism in fusion devices. The cyclotron damping occurs if the wave frequency approaches the resonance at the ion cyclotron frequency  $\omega_{ci}$ . Ions resonate with the wave and are heated by absorbing the wave energy. Wave-particle interaction via Landau damping becomes important if the phase velocity gets close to the electron thermal velocity  $v_e$ . In the linearly magnetized VINETA experiment Alfvén waves are excited using a Helmholtz antenna. The magnetic field fluctuations are measured with a three-axis miniaturized  $\hat{B}$ -probe, which allows to characterize the polarization of the wave. A gradient of the ambient magnetic field is used to produce a narrow axial region, in which the frequency of the waves matches the local ion cyclotron frequency. The same mechanism is used to produce an axial decrease of the plasma density, such that  $v_a \sim 1/\sqrt{n}$  approaches  $v_e$ . The experimental findings are compared with estimates of the kinetic dispersion relation.

P 16.9 Mi 16:30 Foyer

**Ion acoustic wave dispersion measurement using Laser Induced Fluorescence.** — ●DAMIEN NIEMCZYK<sup>1</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,2</sup>, and THOMAS KLINGER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institute for Plasma Physics, EURATOM Association, Greifswald — <sup>2</sup>Ernst-Moritz-Arndt University, Greifswald

Laser induced fluorescence (LIF) provides a non-intrusive diagnostic method to determine the ion energy distribution function (IEDF) and its perturbations by electromagnetic fields of wave phenomena. Thus, measurements of the IEDF yield the wave's dispersion relation. This method is demonstrated for an electrostatic ion acoustic wave in the experiment VINETA. The used LIF scheme consists of a diode laser with a center wavelength of 668.61nm, a tuning range of 30pm, and CW operation power of 40mW. Temporal resolution can be achieved by using a digital lock in amplifier, which discriminates the induced fluorescence signal with respect to the phase of the wave. Inversion of the Vlasov equation then yields the wave's electric field. For the presented experiment  $T_e \gg T_i$  holds and in the low frequency limit ( $k^2 \lambda_{De}^2 \ll 1$ ) the phase velocity of this wave is given by the ion sound velocity.

P 16.10 Mi 16:30 Foyer

**Experimentelle Untersuchungen der Ionenkinetik um sphärische Objekte in magnetisierten Plasmen** — ●JAKOB BRUNNER<sup>1,3</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,2</sup> und THOMAS KLINGER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>MPI für

Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Greifswald — <sup>2</sup>Ernst-Moritz-Arndt Universität, Greifswald — <sup>3</sup>Universität Rostock

Die Untersuchung des Einflusses materieller Objekte auf die Plasmadynamik ist in vielerlei Hinsicht von großem Interesse. Als Beispiele lassen sich hierfür Sondentechniken, besonders der Bereich der Machsonden, sowie die Aufladung mesoskopischer Partikel in staubigen Plasmen anführen. Es hat sich gezeigt, dass die Dynamik dabei stark von den Plasmametern abhängt. Die vorliegende Arbeit untersucht auf experimenteller Basis die Ionenkinetik um makroskopische Objekte variierender Größe und unterschiedlichen Materials. Das Plasma wird in seiner Kollisionalität und paralleler Ionendrift variiert. Die Experimente wurden an der linearen Anlage VINETA durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Messmethoden verwendet und kombiniert, allen voran die laserinduzierte Fluoreszenz in Kombination mit emissiven und kompensierten Langmuirsonden, wodurch eine direkte Messung der Ionenenergieverteilungsfunktion und der Gradienten der Plasmaparameter ermöglicht wird. Die Resultate werden mit Ergebnissen aus elektrostatischen PIC Simulationen verglichen.

P 16.11 Mi 16:30 Foyer

**Experimental Device for Magnetic Reconnection Studies** — ●HANNES BOHLIN<sup>1</sup>, OLAF GRULKE<sup>1,2</sup>, and THOMAS KLINGER<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>MPI for Plasma Physics, EURATOM Association, Greifswald — <sup>2</sup>Ernst-Moritz-Arndt University, Greifswald

Magnetic reconnection is the topological rearrangement of magnetic fields through the breaking and reconnection of magnetic field lines. It plays an important role in many space plasmas, such as solar flares, as well as in some laboratory processes. Though extensive theoretical and experimental research has been carried out on magnetic reconnection, the mechanism behind the process is still not fully understood.

A review of the planned upgrade to the linearly magnetized plasma device VINETA is presented. The current setup will be modified by adding a new module, whose larger dimensions will allow for the study of the plasma dynamics of driven magnetic reconnection. A guide field will be used to confine the plasma and the reconnection will be driven by passing a current through two parallel conductors placed inside the new module. Besides the standard Langmuir probes, the main diagnostics will consist of a B-dot probe array for reconstructing the magnetic field and Laser Induced Fluorescence (LIF) for determining the ion energy distribution function near the X-point. The role of axial boundaries is discussed in detail.

P 16.12 Mi 16:30 Foyer

**Investigation of the spatial, spectral and temporal Development of an intermittent negative DC Corona Discharge** — ●TORSTEN GERLING, RENÉ BUSSIAHN, TOMAS HODER, ECKHARD KINDEL, KLAUS-DIETER WELTMANN, and RONNY BRANDENBURG — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie (INP Greifswald), 17489 Greifswald, Germany

A characterisation with respect towards temporal, spectral and spatial development of an intermittent negative DC corona discharge device will be presented. The source is driven with argon, flowing into ambient air. Typical current pulses of this device have a FWHM of 10 ns and amplitudes up to 1,5 A. Despite the self pulsing behaviour of the plasma, the discharge was investigated by means of cross correlation spectroscopy. A spatial resolution of 100  $\mu\text{m}$ , a spectral resolution of 0,1 nm and a temporal resolution of 70ps were achieved. The discharge develops in five steps, with a cathode and anode directed ionisation front during the ignition phase. Starting nearly simultaneous, both ionisation fronts show velocities between  $1 \dots 10 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ . They initiate a glow phase, characterized by spectral emission of highly excited species (e.g. first negative system of nitrogen).

P 16.13 Mi 16:30 Foyer

**Eine kontinuierlich arbeitende Sonde zur Messung des Energieeintrages bei plasmatechnologischen Prozessen** — ●RUBEN WIESE<sup>1</sup> und HOLGER KERSTEN<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Plasmaphysik und Technologie Greifswald — <sup>2</sup>Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universität Kiel

Fast alle plasmatechnologischen Anwendungen basieren auf der Plasma-Wand-Wechselwirkung, die u.a. mit kalorimetrischen Thermosonden zur Messung des Energieeintrages aus dem Plasma charakterisiert werden kann. Bekannt sind passive Sonden, die auf dem Prinzip basieren, den Temperaturverlauf beim Aufheiz- und Abkühlvorgang aufzunehmen und daraus den Energieeintrag zu berechnen. Eine kontinuierliche Messung ist mit diesen Sonde nicht möglich. Weiterhin sind

aktive Sonden bekannt, bei denen der Energieeintrag durch Messung eines Temperaturgefälles bestimmt wird. Die Temperatur dieser herkömmlichen aktiven als auch passiven Sonden ist nicht frei wählbar und eine Kalibrierung vor dem Messvorgang notwendig.

Eine nach einem anderen Prinzip kontinuierlich arbeitende aktive Sonde wird vorgestellt, bei der keine Kalibrierung notwendig ist und die Wärmeableitung durch die Halterung der Sonde sowie die Umgebungseinflüsse kompensiert werden. Die bei Beschichtung sich ändernde Wärmekapazität der Sonde ist ebenfalls ohne Einfluss auf den Messwert.

P 16.14 Mi 16:30 Foyer

**CC-RF discharge in CF<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>: Simulation and experiment** — ●GUNNAR STOPPA<sup>1,2</sup>, SERGEY STEPANOV<sup>1</sup>, RALF SCHNEIDER<sup>1</sup>, and JÜRGEN MEICHNER<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt Universität, Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald, Germany

CC-RF discharges in a CF<sub>4</sub>-hydrogen mixture are studied experimentally and with simulations. Measurements of transient and stable neutral species were performed using in-situ IR-TDLAS and FTIR-spectroscopy. Extensions of the experimental setup are planned to obtain informations on electrons (microwave interferometry, PROES) and ions (energy-resolved mass spectrometry). To understand the reaction dynamics in the discharge a 0D-code including 40 species with over 200 reactions was developed. Sensitivity studies using Monte Carlo techniques are done to analyse the dominant reaction paths and error propagation of atomic and molecular data. Due to the importance of wall processes additional Molecular Dynamics studies for the interaction of neutral and ion species with deposited C-H-F films using a REBO-potential are performed. We expect to obtain better understanding of the fundamental interaction of plasma and wall, including break up patterns, reflection and sticking coefficients. Depending on the ability of experimental characterisation development of a PIC plasma model is envisaged.

## P 17: Poster: Plasmatechnologie

Zeit: Mittwoch 16:30–18:30

Raum: Foyer

P 17.1 Mi 16:30 Foyer

**Oberflächenmodifikation von PE-Pulver in einem Wendelförderer mittels Hohlkathodenglimmladung** — ●MEIKE QUITZAU und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

Die Abscheidung dünner Schichten mittels plasmagestützter Gasphasenabscheidung ist sehr effizient, um Polymere wie z.B. Polyethylen (PE, (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>n</sub>) mit definierten funktionellen Oberflächeneigenschaften zu erzeugen. Für siliziumoxidhaltige Schichten kann u.a. Hexamethyldisiloxan (HMDSO, Si<sub>2</sub>O(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) als Prekursor und Argon als Trägergas verwendet werden. Dabei ermöglicht die Wahl der Prozessgaszusammensetzung sowohl die Deposition von anorganischen SiO<sub>2</sub>-ähnlichen Filmen als auch von organischen polymerähnlichen Filmen.

In den vorliegenden Untersuchungen wurde PE-Pulver mittels einer Hohlkathodenglimmladung in einem Wendelförderer modifiziert. Dieser Aufbau erlaubt eine homogene Oberflächenmodifikation von Pulvern schon bei geringen Gasflüssen und einer beliebigen variablen Behandlungszeit. Die im Ar/HMDSO Plasma gebildeten reaktiven Spezies wurden mit optischer Emissionsspektroskopie bei verschiedenen Gasmischungsverhältnissen untersucht. Die Zusammensetzung der auf dem PE-Pulver abgeschiedenen SiOx-Schicht wurde mit Röntgenphotoelektronenspektroskopie analysiert. Unter Verwendung von Kontaktwinkelmessungen konnten die Änderung der Oberflächenenergie und die Langzeitstabilität der Oberflächenmodifikation an Luft bei unterschiedlichen Ar/HMDSO Verhältnissen verifiziert werden.

P 17.2 Mi 16:30 Foyer

**Analyse von reaktiven Magnetronsputter-Prozessen mittels nicht-konventioneller Plasmadiagnostik** — ●VIKTOR SCHNEIDER<sup>1</sup>, MAIK FRÖHLICH<sup>1</sup>, SVEN BORNHOLDT<sup>1</sup>, DANIEL LUNDIN<sup>2</sup> und HOLGER KERSTEN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel, Germany — <sup>2</sup>IFM, Linköping University, SE-581 83 Linköping, Sweden

Die hohe Flexibilität von Magnetronsputter-Prozessen ermöglicht die Herstellung von Schichten mit gewünschten Eigenschaften (Zusammensetzung, Morphologie, Dicke, ...) für unterschiedliche Anwendungen. Beim reaktiven Magnetron-Sputtern, d.h. bei der Zufuhr von Reaktivgasen wie O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>, ist es wichtig, die gewünschte Schichteigenschaft bei gleichzeitig hoher Depositionsrate zu erhalten. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden die Prozessbedingungen zur Abscheidung von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mittels reaktivem Magnetron-Sputtern genauer untersucht. Das Magnetron wurde im DC-Modus (mit einem Al-Target) unter O<sub>2</sub>-Zugabe betrieben. Das Ziel war es, die energetischen Verhältnisse auf der Substratoberfläche unter Einfluss des reaktiven Plasmas zu untersuchen. Der Energieeinstrom, hervorgerufen durch die unterschiedlichen Energiebeiträge der verschiedenen Plasmaspezies (Elektronen, Ionen, Neutrale, Moleküle) sowie durch die auftretende Strahlung, wurde bei unterschiedlichen Bias-Spannungen mit einer selbstentwickelten kalorimetrischen Sonde gemessen. Insbesondere werden die Ergebnisse mit Blick auf den Einfluss der Sauerstoff-Ionen und der AlxOy-Moleküle auf den Energieeintrag am Substrat diskutiert.

P 17.3 Mi 16:30 Foyer

**Energieströme in einer HF-Magnetronquelle zur Abscheidung superharter c-BN Schichten** — ●SVEN BORNHOLDT<sup>1</sup>, JIAN YE<sup>2</sup>, SVEN ULRICH<sup>2</sup> und HOLGER KERSTEN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel — <sup>2</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für angewandte Materialien, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen

In einer HF-Magnetronquelle, die zur Herstellung von superhartem kubischen Bornitrid (c-BN) dient, wurden Energiestrommessungen mittels kalorimetrischer Sonden durchgeführt. Untersucht wurde der Einfluss verschiedener Prozessparameter, wie Leistung, Beimischung von Stickstoff und / oder Sauerstoff, Gasdruck und Sondenvorspannung auf den integralen Energieeinstrom auf die Sonde. Die Beiträge der verschiedenen Plasmaspezies (Elektronen, Ionen, Neutrale) und der ablaufenden Reaktionen auf der Oberfläche (Rekombination, Schichtwachstum,...) werden entweder aus den Plasmaparametern, die mittels Doppelsonden bestimmt wurden, berechnet oder, wie im Falle der Neutralteilchen, mittels SRIM-Simulationen ermittelt. Diese Beiträge werden mit den gemessenen Werten verglichen. Dabei zeigt sich, dass die robuste Thermosondendiagnostik viele Informationen über die ablaufenden Plasmaprozesse und Oberflächenreaktionen liefert. Unter anderem konnte auch ein Hystereseeffekt, wie er normalerweise beim reaktiven Sputtern von Metalloxiden auftritt, nachgewiesen werden.

P 17.4 Mi 16:30 Foyer

**Energiestrommessungen in einer Metallclusterquelle zur Abscheidung von Nanokompositen** — ●SVEN BORNHOLDT<sup>1</sup>, TILO PETER<sup>2</sup>, VLADIMIR ZAPOROJTCHEKOV<sup>2</sup>, THOMAS STRUNSKUS<sup>2</sup>, FRANZ FAUPEL<sup>2</sup> und HOLGER KERSTEN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel — <sup>2</sup>Institut für Materialwissenschaft, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24143 Kiel

Nanokomposite, die aus einem Dielektrikum mit eingebetteten Metallclustern bestehen, weisen interessante funktionelle Eigenschaften auf. Die Beeinflussung der Clusterbildung und -größe auf der Substratoberfläche bringt allerdings einige Nachteile mit sich. Aus diesem Grund wird eine zur Clustererzeugung konstruierte Magnetronquelle eingesetzt, mit deren Hilfe die Cluster substratunabhängig in der Gasphase erzeugt werden können. In diesem Prozess werden die Plasmaparameter durch die Mischung von Argon und Helium sowie dem Druck in der Prozesskammer beeinflusst. Um ein tiefergehendes Verständnis der in dieser Plasmaquelle ablaufenden Prozesse, z.B. der Wechselwirkung des Buffergases mit den gesputterten Teilchen zu erhalten, wird diese mittels einer kalorimetrischen Sonde charakterisiert. Von besonderem Interesse sind die Abhängigkeit der Energieeinträge vom Mischungsverhältnis der Gase, dem Druck und der Vorspannung des Substrates bzw. der Sonde. Die Messungen der Energieströme im Plasma und auf das Substrat werden mit den Ergebnissen der UV/VIS Emissions Spektroskopie und den XPS-Messungen zur chemischen Charakterisierung der entstehenden Nanokomposite korreliert.

P 17.5 Mi 16:30 Foyer

**Untersuchungen zur entkeimenden Wirkung eines Mikro-**

**wellenplasmas** — ●OLAF JANZEN<sup>1</sup>, ANDREAS SCHULZ<sup>1</sup>, MARTINA LEINS<sup>1</sup>, MATTHIAS WALKER<sup>1</sup>, NORA KRAUSE<sup>2</sup>, WALTER VOESGEN<sup>2</sup> und ULRICH STROTH<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — <sup>2</sup>arotop food & environment GmbH, Mainz

Die Entkeimung von temperaturempfindlichen Lebensmitteln wird meist mit Heissdampfverfahren erreicht. Nachteile sind der Verlust von Inhaltsstoffen, Farbe und Geschmack. Die Vorteile einer Plasmarentkeimung liegen neben moderaten Kosten in einer geringen Erhitzung der Gewürze, welche durch Pulsbetrieb des Plasmas und einen Druck im Millibarbereich niedrig gehalten wird.

Die Versuche wurden in einem Planartrion durchgeführt. Mikrowellen werden in beide Enden eines mäanderförmig laufenden halbierten koaxialen Leiters eingespeist. In der durch ein Quarzglasfenster abgetrennten evakuierbaren Kammer entsteht ein homogenes planares Plasma, welches die Proben während der Behandlung umgibt.

Wirkmechanismen und Eindringtiefe in komplexe Oberflächen der Entkeimung wurden untersucht. Als Referenzbakterium dienten Sporen des *Bacillus atrophaeus*, welche sowohl homogen auf Glasplättchen verteilt als auch in Zellulosestreifen mit komplizierter Oberflächenstruktur vorlagen. Optische Emissionsspektroskopie zeigte, wie sich Variationen von Druck, Leistung oder Gasmischungsverhältnis auf das Spektrum sowie die Entstehung von Radikalen im Plasma auswirken. Mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops wurde die ätzende Wirkung der Radikale auf die Sporen untersucht.

P 17.6 Mi 16:30 Foyer

**Time dependent electron density of a spherical theta pinch** — ●CHRISTIAN TESKE, JOACHIM JACOBY, YING LIU, and JÖRG WIECHULA — Institut für Angewandte Physik, Frankfurt am Main, Deutschland

Recently a spherical theta pinch, which is a new pulsed discharge device, has been investigated at the Institute of Applied Physics at Frankfurt University. The apparatus can achieve more than 90% fractional ionisation in a discharge plasma. It was also shown that the spherical theta pinch can achieve energy transfer efficiencies of more than 85% which is much higher than with any other theta pinch device. Further investigations on this discharge include the time dependency of the electron density inside the plasma and during the pinching process. A high fraction of VUV-light is also emitted with a high efficiency from the plasma if Argon or Xenon are used as discharge gas.

P 17.7 Mi 16:30 Foyer

**Plasmapolymerisation von Ethylendiamin für zelladhäsive Implantatbeschichtungen** — ●HOLGER TESTRICH, STEFFI KALEDAT, MARIO DÜNNBIER und JÜRGEN MEICHSNER — Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Institut für Physik, 17487 Greifswald

Plasmapolymerenschichten mit Schichtdicken zwischen 50 und 100 nm wurden in einer asymmetrischen, kapazitiv gekoppelten Hochfrequenzentladung in einem Gemisch aus Argon und Ethylendiamin (EDA) hergestellt. Die Untersuchung der plasmachemischen Umwandlung von EDA erfolgte in situ mittels optischer Emissionsspektroskopie sowie ex situ durch FTIR Spektroskopie und Massenspektrometrie der gasförmigen Reaktionsprodukte. Die optische Emission des Plasmas ist neben Ar-Linien durch eine zunehmende Intensität von CN-Banden bestimmt. Gasförmige Reaktionsprodukte sind NH<sub>3</sub>, HCN und Wasserstoff. Zur physikalischen und chemischen Charakterisierung der Schichten diente die spektroskopische Ellipsometrie, IR-Reflexions-Absorptions-Spektroskopie (IRRAS) und Röntgen-Photoelektronenspektroskopie. Die Plasmapolymerenschichten aus EDA besitzen einen hohen Stickstoffanteil (N/C ca. 40%) und zeigen charakteristische IR-Absorptionsbanden der N-H, C-H und C-N Molekülschwingungen. Eine Lagerung der Schichten an Luft führte zu einer Alterung, wobei insbesondere sauerstoffhaltige Gruppen nachgewiesen wurden. Die Beschichtung von biomedizinisch relevanten Substraten (TiAlV-Implantate) zeigte eine signifikante Erhöhung der Adhäsion und Ausbreitung von humanen Knochenzellen. Gefördert im Campus PlasmaMed, BMBF FKZ: 13N9774.

P 17.8 Mi 16:30 Foyer

**Untersuchung zur Herstellung großflächiger, transparenter Kratzschuttschichten auf Polykarbonat** — ●STEFAN MERLI<sup>1</sup>, ANDREAS SCHULZ<sup>1</sup>, MATTHIAS WALKER<sup>1</sup>, RAFAEL OSER<sup>2</sup> und ULRICH STROTH<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Plasmaforschung, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart, Deutschland — <sup>2</sup>Bayer Technology Services GmbH, Building R 79, 47812 Krefeld-Uerdingen, Deutschland

Polykarbonat ist aufgrund seiner Transparenz, der extremen Schlagzä-

higkeit sowie der geringeren Dichte und Wärmeleitfähigkeit von besonderem Interesse für Anwendungen in der Automobil- und Bauindustrie. Die mangelnde Witterungsbeständigkeit und der fehlende Kratzschutz machen jedoch eine zusätzliche Oberflächenbehandlung notwendig. Daher wird ein plasmagestütztes Verfahren untersucht, um harte Kratzschuttschichten aus Siliziumoxid auf dem Polykarbonat abzuscheiden. Das Ziel ist eine ökonomische Hochratebeschichtung zur Verbesserung von Polykarbonatbaustoffen für die Anwendung in der Architektur.

Die Hochratebeschichtung wird in einer modularen Anlage vom Typ Plasmodul untersucht, in der ein Mikrowellenplasma mit  $f = 2,45$  GHz nach dem Duo-Plasmaline Prinzip betrieben wird. Als Ausgangsmaterial für die Siliziumoxidschichten wird ein Gemisch aus Sauerstoff und HMDSO bzw. HMDSO eingesetzt, die im Plasma reagieren und auf der Substratoberfläche plasmapolymerisieren. Der Einfluss verschiedener Beschichtungsparameter (Mikrowellenleistung, Gasfluss, verwendete Monomere) wird hinsichtlich der Haft- und Kratzschutzeigenschaften, der Beschichtungsrate sowie der chemischen Zusammensetzung der Schicht untersucht und vorgestellt.

P 17.9 Mi 16:30 Foyer

**Comparison of calorimetric plasma diagnostics in a plasma downstream reactor** — ●SVEN BORNHOLDT<sup>1</sup>, CHRISTIAN ROTH<sup>2</sup>, VERONIKA ZUBER<sup>2</sup>, AXEL SONNENFELD<sup>2</sup>, PHILIPP RUDOLF VON ROHR<sup>2</sup>, and HOLGER KERSTEN<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Christian-Albrechts-University Kiel, Institute of Experimental and Applied Physics, 24098 Kiel, Germany — <sup>2</sup>ETH Zurich, Institute of Process Engineering, 8092 Zurich, Switzerland

The energy influx in the afterglow of a plasma downstream reactor (PDR) which is used for treatment and modification of powders has been measured by two different calorimetric probe types. The radio frequency discharge has been investigated for oxygen (10 - 100 %) - argon (90 - 0 %) mixtures at relatively high gas flow rates (750 - 3000 sccm) and pressures (100 - 350 Pa). The main process parameters influencing the energy influx are the plasma power, the system pressure and the total gas flow rate. The first (classical) probe measures the temperature slope of a metal substrate dummy by a thermocouple, while the second (fiber optic) probe measures the temperature dependent band edge displacement of a GaAs crystal. Although the size, geometry and material of the used probe types are different, comparable energy flux values are achieved. Depending on the process parameters and oxygen admixtures, energy fluxes between 100 and 3500 W/m<sup>2</sup> were measured. The variation of the pressure and total gas flow rate suggests a highly flow dependent plasma density distribution in the process reactor.

P 17.10 Mi 16:30 Foyer

**Stability of cluster formation in a DC magnetron sputtering source** — ●MARINA GANEVA and RAINER HIPPLER — Institute of Physics, University Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 6, 17487 Greifswald, Germany

Magnetron based setups are widely used as a source of nanoparticles. At the same time different researchers have mentioned that the reliability of such kind of sources is a somewhat problematic. We have analyzed the different reasons of such instabilities and found a way to make *reproducible measurements*.

As a nanocluster source the NC-200 from Oxford Applied Research with Cu targets was used. The cluster size distribution was measured with a QMF200 quadrupole mass-filter. The average cluster mass and maximal cluster current were taken for further analysis. These characteristics were measured under the same experimental conditions at different target sputtering profiles. The result shows a clear dependency of the considered average cluster mass and maximal cluster current on the target operation time multiplied by the discharge power.

Theoretical analysis shows that the target profile strongly influences the sputtering yield and, consequently, the density of sputtered atoms. Once a certain point was reached this influence significantly affects the cluster size distribution and the amount of produced clusters.

P 17.11 Mi 16:30 Foyer

**Niedertemperaturplasmen zur Modifizierung sulfidischer Minerale** — ●FRANK MAY, STEPHAN HAMANN, VOLKER BRÜSER und ANTJE QUADE — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP)

Die Benetzbarkeit von Mineraloberflächen ist bei der Trennung von Mineralgemischen durch Flotation von entscheidender Bedeutung. Um selektiv hydrophobe bzw. hydrophile Eigenschaften verschiedener Komponenten zu erzeugen, werden bei konventionellen Verfahren Chemikalien eingesetzt.

Bei einem neuartigen Verfahren soll, mit Blick auf Umweltverträglichkeit und Kostenersparnissen, versucht werden, die Benetzbarkeit durch Plasmavorbehandlungen selektiv zu beeinflussen und somit die Menge benötigter Chemikalien zu reduzieren. Voraussetzung dafür ist zunächst das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Plasmen und Mineraloberflächen.

In unseren Experimenten wurden die Pulver sulfidischer Minerale in Ar/O<sub>2</sub>- sowie in Ar/H<sub>2</sub>-Plasmen behandelt und anschließend durch XPS, XRD und EDX untersucht. Das Arbeitsgas wurde in-situ massenspektrometrisch analysiert. Durch quantitative Bestimmung von freier SO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>S konnten die Reaktionsgeschwindigkeiten abgeschätzt werden.

P 17.12 Mi 16:30 Foyer

**Kinetic Monte Carlo simulations of cluster growth, diffusion and coalescence of metal atoms on a polymer substrat** — ●LASSE ROSENTHAL<sup>1</sup>, ALEXEI FILINOV<sup>1</sup>, MICHAEL BONITZ<sup>1</sup>, FRANZ FAUPEL<sup>2</sup>, and VLADIMIR ZAPOROJTCHENKO<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts Universität Kiel — <sup>2</sup>Institut für Materialwissenschaft - Materialverbunde, Christian-Albrechts Universität Kiel

Metalized polymers offer a broad range of applications in many fields of technology[1]. Therefore a detailed understanding of metal atom deposition and the underlying processes is required.

We present a kinetic Monte Carlo approach to a model of diffusion and the growth of metal clusters on a polymer substrate including coalescence and percolation effects[2]. The time development of the diffusion process and the dependence of characteristic parameters like the cluster size distribution and the concentration profiles on the surface diffusivity and the deposition rate of the metal atoms are presented and discussed.

[1] F. Faupel, V. Zaporozhchenko et al., Contrib. Plasma Phys. 47, No. 7, 537 (2007)

[2] G. Jeffers, M. A. Dubson and P. M. Duxbury, J. Appl. Phys. 75 5016 (1994)

P 17.13 Mi 16:30 Foyer

**Hybrid PVD/PECVD fabrication and structural investigations of Cobalt-amorphous SiCNH nanocomposites** — ●KARTHIKA LAKSHMI KOLIPAKA<sup>1</sup>, VOLKER BRÜSER<sup>1</sup>, ANTJE QUADE<sup>1</sup>, HARM WULFF<sup>2</sup>, and FRANZ FAUPEL<sup>3</sup> — <sup>1</sup>Leibniz Institute for Plasma Science and Technology, INP Greifswald e.V., Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Ernst Moritz Arndt University Greifswald, Institute for Biochemistry, Felix-Hausdorff-Str. 4, 17489 Greifswald, Germany — <sup>3</sup>University of Kiel, Institute for Materials Science, Multicomponent Materials, Kaiserstr.2, 24143 Kiel, Germany

Cobalt-polymer nanocomposites have attracted a great deal of interest in the recent years because of their use in catalysis, optical, and magnetic applications. Cobalt-amorphous hydrogenated silicon carbon nitride (Co - a: SiCNH) nanocomposites are prepared by using RF magnetron sputtering of cobalt and simultaneous plasma polymerization of hexamethyldisilazane (HMDSN). X-ray Diffraction (XRD) analysis indicates the presence of metallic cobalt particles of average size 2.2 nm. X-ray photoelectron spectroscopy(XPS) and Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) studies reveal the presence of SiCNH bindings. HRTEM studies show homogeneously distributed cobalt nanoparticles of size 2 nm embedded in the polymer matrix. In films with higher metal content a continuous distribution of metal particles is seen. Topographic and phase contrast images are obtained using atomic force microscopy (AFM) in tapping mode. Various magnetic domain configurations are observed in magnetic force microscopy (MFM) images obtained using lift mode AFM technique.

P 17.14 Mi 16:30 Foyer

**On aging of aluminium surfaces treated by atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasmas** — ●VADYM PRYSIAZHNYI<sup>1</sup>, SVEN BORNHOLDT<sup>2</sup>, HOLGER KERSTEN<sup>2</sup>, and MIRKO ČERNÁK<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Masaryk University, Department of Physical Electronics, Faculty of Science, 61137 Brno, Czech Republic — <sup>2</sup>Christian-Albrechts-University Kiel, Institute of Experimental and Applied Physics, 24098 Kiel, Germany

Nowadays applications of atmospheric pressure plasma treatment for surface cleaning and activation are hot topics of applied plasma research. The main reason is easy applicability of atmospheric pressure plasmas to industrial technological processing. Also aluminium is one of the most widely used metal materials for many industrial branches, like ship or airplane industries. An important issue of plasma treat-

ment is its non-permanent character, usually called aging effect. Unfortunately, there is a lack of works studying this process in detail. In current work, results about aging behavior of aluminium surface treated by atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma are presented. The Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge plasma source is used as an atmospheric pressure plasma for surface treatment. The influence of different aging environment (like dry and wet ambient air, vacuum and water storage) on the aging effect will be presented and discussed.

P 17.15 Mi 16:30 Foyer

**Neue Prozedur zur Prozesssimulation bei der Plasmajetbearbeitung** — ●JOHANNES MEISTER und THOMAS ARNOLD — Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung, Leipzig, Deutschland

Konventionelle mechanisch-abrasive Fertigungsverfahren stoßen bei der Herstellung von immer präziseren und komplexer geformten optischen Bauteile häufig an ihre Grenzen. Plasma Jet Machining (PJM), ein lokales trockenchemisches Ätzverfahren auf Fluorbasis mittels atmosphärischen Plasmajets, ist eine viel versprechende Technologie zur Ultrapräzisionsbearbeitung insbesondere von optischen Elementen aus Quarzglas. Mithilfe eines leistungsstarken Mikrowellenplasmajets können berührungslos hohe Abtragsraten erzielt werden. Allerdings führt der hohe Wärmeeintrag des Plasmajets zu einem nichtlinearen Verhalten beim rein chemischen temperaturabhängigen Abtragsprozess. Dies mindert die Konvergenz des Verfahrens erheblich. Um diese Effekte beschreiben zu können, wurde sowohl ein theoretisches Modell als auch eine Methodik für die experimentelle Parameterbestimmung entwickelt. Mit Hilfe des Modells lässt sich die Temperaturentwicklung des Werkstückes während der Bearbeitung prognostizieren. Zusammen mit den temperaturabhängigen Ätzraten kann der resultierende Abtrag für eine konkrete Bearbeitung absolut und formgenau beschrieben werden. Im Gegensatz zu konventionellen Simulationen ist das Modell auch in der Lage, den Einfluss verschiedener Werkstückgeometrien bzw. Werkzeugpfade zu simulieren. Die Formgenauigkeit bezüglich der Zieltopologie kann erheblich verbessert werden, indem die konventionelle Bearbeitungsstrategie auf Basis der verbesserten Methode korrigiert wird.

P 17.16 Mi 16:30 Foyer

**Entladungsdynamik eines mikrostrukturierten Atmosphärendruck-Entladungskanals** — ARTHUR GREB, HENRIK BOETTNER, JÖRG WINTER und ●VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN — Institut f. Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 5 , 44801 Bochum

Vorgestellt werden kombinierte phasen- und ortsaufgelöste spektroskopische und elektrische Untersuchungen an einem mikro-strukturierten Plasmakanal, der nahe Atmosphärendruck betrieben wird. Diese Entladung besteht aus einem 50 Mikrometer breiten in Silizium geätzten Kanal mit dreieckigem Querschnitt und einer Länge von ca. 3 cm. Zwischen der Silizium-Wafer und auf die Oberfläche aufgedampfte Nickel-Elektroden werden Spannungen bei Frequenzen von einigen kHz bei Betrieb in Edelgasen angelegt. In beiden Anregungsphasen werden kurzzeitige Serien von Emissionspulsen beobachtet, deren Charakteristika von Druck, Gasart und Anregungsfrequenz abhängig sind. Wie in bereits vorgestellten Arrays von einzelnen Mikroentladungen beobachtet man reproduzierbare Bewegungen der Emissionsstrukturen. Im Gegensatz zu diesen ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit mit weniger als 1 km/s etwa eine Größenordnung langsamer. Gefördert im Projekt A1 der Forschergruppe FOR1123.

P 17.17 Mi 16:30 Foyer

**Spektroskopische Untersuchung eines Mikrowellen-Mikroplasma-Brenners** — ●CHRISTIAN KAMM, MARTINA LEINS, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart

Die zerstörungsfreie Behandlung von thermolabilen Materialien wird durch kalte Plasmen ermöglicht. Atmosphärendruckplasmen haben den Vorteil, dass auf aufwändige Vakuumtechnologie verzichtet werden kann. So eignen sie sich hervorragend für medizinische Anwendungen sowie für lokale Oberflächenbehandlungen und Beschichtungen. Am IPF der Universität Stuttgart wurde ein Mikrowellen-Mikroplasma-Brenner entwickelt, aufgebaut und spektroskopisch untersucht. Die Entwicklung erfolgte durch mehrere FEM-Simulation der elektrischen Feldverteilung mit Microwave Studio<sup>TM</sup>. Die Optimierung des kurzgeschlossenen  $\lambda/4$ -Koaxialresonators erfolgte bei einer Frequenz von  $f = 2,45$  GHz, wo durch Variation geeigneter geometrischer Parameter ein möglichst hohes elektrisches Feld am offenen Resonatorende erreicht werden sollte. Mittels optischer Emissionsspektroskopie wurde

axial-orts aufgelöste die Gastemperatur sowie die Elektronendichte des optimierten Plasmabrenner bei Leistungen zwischen 40 und 160 W untersucht. Wasserdampf (OH) wurde als Diagnostikgas zusätzlich zum Plasmagas Argon beigefügt um die Gastemperatur zu bestimmen. Bei Variation der Leistung wurden Temperaturen zwischen 600 und 1600 K gemessen. Mittels der Stark-Verbreiterung der  $H_{\beta}$ -Linie konnte die axial-orts aufgelöste Elektronendichte zu  $8,0 \cdot 10^{19}$  bis  $1,2 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$  bestimmt werden.

P 17.18 Mi 16:30 Foyer

**Kombination von Cross-correlation Spectroscopy, Oberflächenladungsmessung und LIF von Metastabilen in Barrierenentladungen** — ●MARC BOGACZYK, SEBASTIAN NEMSCHOKMICHAL, ROBERT WILD, HANS-ERICH WAGNER und JÜRGEN MEICHSNER — Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Barrierenentladungen werden vielfach, z.B. für die Ozonsynthese und Oberflächenbearbeitung sowie bei Excimerlampen, eingesetzt und besitzen ein großes Potential für weitere Anwendungen. Zum detaillierten Verständnis ihrer Mechanismen (Zündung, Entladungsmodus, Stabilität, usw.) ist es insbesondere notwendig, die Entwicklung des Plasmas sowohl im Volumen als auch dessen Wechselwirkung mit nichtleitenden Oberflächen zu untersuchen. Letztere ist mit der Ausbildung von Oberflächenladungen und einer Sekundärteilchenemission (Elektronen), u.a. durch Ionen und Metastabile, verbunden. Es wird eine neue Entladungsanordnung vorgestellt, die räumlich-, zeitlich-, spektral- und phasenaufgelöste Messungen der Entladungs-induzierten optischen Emission mittels „Cross-correlation Spectroscopy (CCS)“ und eine quantitative Bestimmung der Oberflächenladungen unter Ausnutzung des optoelektrischen Pockels-Effekts ermöglicht. In einer zweiten identischen Entladungszelle werden räumlich aufgelöste Konzentrationen des metastabilen  $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ -Moleküls mittels Laser-induzierter Fluoreszenz (LIF) und Rayleigh-Streuung bestimmt. Die Barrierenentladung wird in  $He/N_2$ -Gemischen bei Atmosphärendruck betrieben.

Gefördert von der DFG im Rahmen des SFB TRR-24, Teilprojekt B11.

P 17.19 Mi 16:30 Foyer

**Kombination von Cross-correlation Spectroscopy und Oberflächenladungsmessung in  $He/N_2$  Barrierenentladungen** — ●MARC BOGACZYK, ROBERT WILD und HANS-ERICH WAGNER — Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Um ein tieferes Verständnis zum Entladungsverhalten von Barrierenentladungen zu erhalten, ist es notwendig, die Volumenprozesse und das Verhalten der Ladungen auf den dielektrischen Oberflächen zu untersuchen. Die Wechselwirkung der Barrierenentladung mit den dielektrischen Oberflächen ist mit Sekundärteilchenemissionsprozessen und der Ausbildung von Oberflächenladungen verbunden. Aus diesem Grund wird die Entladung im Volumen mit Hilfe der Cross-correlation Spectroscopy (CCS) räumlich, zeitlich und spektral aufgelöst untersucht. Die Oberflächenladungen werden durch die Anwendung des optoelektrischen Pockelseffekts detektiert. Vorgestellt werden erste Ergebnisse für verschiedene  $He/N_2$  Mischungen bei Atmosphärendruck. In Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis und der anliegenden Betriebsspannung brennt die Entladung im diffusen oder filamentierten Modus. Die Methode der CCS erlaubt Rückschlüsse auf wichtige Elementarprozesse (z.B. Elektronenstoßanregung, Stoßlöschung). Die quantitative Bestimmung der Oberflächenladung gelingt für unterschiedliche Betriebsmodi. Eine mögliche Korrelation zwischen Volumenprozessen und den Oberflächen wird diskutiert.

Gefördert von der DFG im Rahmen des SFB TRR-24, Teilprojekt B11.

P 17.20 Mi 16:30 Foyer

**Einfluss der Elektrodenkonfiguration auf Barrierenentladungen in Argon bei Atmosphärendruck** — ●ROBERT WILD, MARC BOGACZYK und HANS-ERICH WAGNER — Institut für Physik, Uni Greifswald

Die zeitliche und räumliche Entwicklung einer dielektrisch behinderten Entladung hängt u. a. von der Geometrie und den dielektrischen Eigenschaften der Elektrodenkonfiguration ab. Dieser Einfluss wurde durch systematische Variation der Geometrie mittels elektrischer Verfahren (u. a. Lissajous-Figuren) und durch Erfassung der entladungsinduzierten Emission untersucht. Im Hinblick auf die zeitliche und räumliche Entwicklung der optischen Emission wurde die Mikroentladung mit Hilfe der Kreuz-Korrelations-Spektroskopie (CCS) studiert. Die Entladung wurde in Argon bei Atmosphärendruck im filamentierten Modus betrieben.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammengefasst. Das Paschengesetz wurde anhand der gemessenen und numerisch ermittelten Zündspannungen überprüft und ergab eine gute Übereinstimmung. Die aufgenommene Lissajous-Figuren zeigen, dass die umgesetzte Leistung stark von der Form der Elektroden abhängt. Mittels der CCS waren Rückschlüsse auf wichtige elementare Prozesse, wie der Anregung durch Elektronen und Metastabile, möglich.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Sonderforschungsbereich SFB TRR-24, Teilprojekt B11.

P 17.21 Mi 16:30 Foyer

**Untersuchungen zur Lebensdauer von Oberflächenladungen in Barrierenentladungen** — ●ROBERT WILD und LARS STOLLENWERK — Institut für Physik, Uni Greifswald

In dielektrischen Barrierenentladungen (DBD) entstehen in jedem Durchbruch Oberflächenladungen auf den dielektrischen Barrieren. Diese Oberflächenladungen bewirken zum einen eine Abschirmung des von außen angelegten elektrischen Feldes (und begrenzen damit die Dauer eines einzelnen Durchbruchs), zum anderen wirken sie positiv auf die Zündung in der folgenden Halbwelle der treibenden Wechselspannung. Die Oberflächenladungen haben damit einen wichtigen Einfluss auf die DBD und ermöglichen z. B. den Betrieb einer einmal gezündeten Entladung unterhalb der Zündspannung. Im Falle lateral ausgedehnter Entladungssysteme ist häufig eine lateral strukturierte Entladung zu beobachten. Auch dabei spielen Oberflächenladungen eine entscheidende Rolle.

In dieser Arbeit wird die Lebensdauer der Oberflächenladungen untersucht. Dazu wird ein DBD-System verwendet, in dem eine elektrooptisch aktive dielektrische Barriere (BSO,  $Bi_{12}SiO_{20}$ ) verwendet wird. Durch eine geeignet polarisierte Beleuchtung der derart präparierten Elektrode kann aus dem zurückreflektierten Licht über den Pockels-Effekt im BSO-Kristall auf die Größe der Oberflächenladung geschlossen werden. Außerdem kann die zeitliche Entwicklung der Oberflächenladung beobachtet werden.

P 17.22 Mi 16:30 Foyer

**NOx-Reduktion mit gleitender Entladung** — ●MICHAEL SCHMIDT, RONNY BRANDENBURG, RALF BASNER und KLAUS-DIETER WELTMANN — INP Greifswald, 17489 Greifswald, F.-Hausdorff-Str. 2

Die Plasma-unterstützte selektive katalytische Reduktion (PA-SCR) ist ein vielversprechender Ansatz zur Behandlung motorischer Abgase und flüchtiger organischer Komponenten (VOC). Atmosphärendruckplasma produzieren u.a. freie Radikale und elektromagnetische Strahlung. Die Radikale oxidieren giftiges NO zu NO<sub>2</sub>, dass nachfolgend mittels strahlungsaktiviertem Katalysator innerhalb der Plasmazone reduziert wird. Zur Realisierung einer PA-SCR wird die Möglichkeit der plasmabasierten Unterstützung eines Katalysators durch eine gleitende Entladung, bei der das von einer dielektrisch behinderten Entladung (DBE) erzeugte Plasma mit einer zusätzlichen Elektrode in eine katalytische Füllungen enthaltende Zone extrahiert wird, untersucht. Dies stellt zum einen eine effektive Vergrößerung der aktiven Plasmazone dar und bietet zum anderen die Möglichkeit der direkten Wechselwirkung von Plasma und Katalysator. Die Realisierbarkeit einer gleitenden Entladung mit katalytisch aktiven Füllungen und die Effizienz der Reduktion giftiger und umweltschädlicher Gasbestandteile wird untersucht. Dazu wird die erreichte Stoffwandlungsrate bestimmt und in Abhängigkeit von der ins Plasma dissipierten Energie pro behandelte Gasvolumeneinheit dargestellt.

P 17.23 Mi 16:30 Foyer

**Grundlagenuntersuchungen zum Einfluss einer Plasmastufe auf die Filterwirkung von Aktivkohle für Ethanol** — ●MICHAEL SCHMIDT, ALTYN AKIMALEVA, RALF BASNER, RONNY BRANDENBURG und KLAUS-DIETER WELTMANN — INP Greifswald, 17489 Greifswald, F.-Hausdorff-Str. 2

Nichtthermische Plasmen werden u.a. für die Behandlung von Abluft eingesetzt und leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Schutz von Umwelt und Gesundheit. Häufig werden sie mit klassischen Verfahren der Filtertechnik kombiniert. Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Untersuchung der Wirkung einer Barrierenentladung bei Atmosphärendruck auf die Adsorptionseigenschaften eines Aktivkohlefilters. Es wurden systematische Untersuchungen an einer ausgewählten Aktivkohle auf Steinkohlebasis (Afa-2-1200) unter Verwendung eines Beispiel-VOCs (Ethanol) durchgeführt. Um die dominierenden Effekte klar und bei vertretbaren Messzeiten nachzuweisen, wurde der Aktivkohlefilter bewusst unterdimensioniert und mit einer hohen Ethanolkonzentration (ca. 1000 ppm) gearbeitet. Die Untersuchungen erfolgten

mit synthetischer Luft als Trägergas bei einem Gasvolumenfluss von ca. 300 Lh<sup>-1</sup>. Die Spezifische Energiedichte des Plasmas wurde bei fester Frequenz durch die Veränderung der Amplitude bzw. bei fester Am-

plitude durch die Veränderung der Frequenz der Anregungsspannung im Bereich von 3 bis 46 JL<sup>-1</sup> variiert.

## P 18: Poster: Theorie/Simulation dichter und stark gekoppelter Plasmen

Zeit: Mittwoch 16:30–18:30

Raum: Foyer

**P 18.1 Mi 16:30 Foyer**  
**Induced inverse bremsstrahlung for dense plasmas in intense laser fields** — MAX MOLL<sup>1</sup>, PAUL HILSE<sup>1</sup>, THOMAS BORNATH<sup>2</sup>, ●MANFRED SCHLANGES<sup>1</sup>, and VLADIMIR P. KRAJNOV<sup>3</sup> — <sup>1</sup>Institut für Physik, Universität Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Institut für Physik, Universität Rostock, Germany — <sup>3</sup>Moscow Institute for Physics and Technology, Russia

During the interaction of matter with intense laser fields, plasmas with high density and high temperature are created. The heating of the plasma is significantly determined by inverse bremsstrahlung of the electrons due to electron-ion collisions. In this contribution we investigate the dependence of the heating rate on relevant parameters such as the mean ion charge, the laser field strength or the velocity of the electrons. Heating rates are calculated in first Born approximation as well as using a classical approach by solving Newton's equation. We study the influence of the inner ionic structure of noble gas ions (Ar, Kr, Xe) on the heating rates which can be achieved by the use of appropriate model potentials. Also considered are screening effects due to the surrounding plasma medium.

The dependence of the results on the kinetic energy of the electrons is discussed. The comparison with Coulomb-particles in the different approximations shows that it is important to account for the inner ionic structure.

**P 18.2 Mi 16:30 Foyer**  
**Quantum-statistical T-matrix approach to line broadening of hydrogen in dense plasmas** — ●SONJA LORENZEN<sup>1</sup>, YILING CHEN<sup>1</sup>, AUGUST WIERLING<sup>1</sup>, HEIDI REINHOLZ<sup>1,2</sup>, GERD RÖPKE<sup>1</sup>, MARK C. ZAMMIT<sup>3</sup>, DMITRY V. FURSA<sup>3</sup>, and IGOR BRAY<sup>3</sup> — <sup>1</sup>Institute of Physics, University of Rostock, 18051 Rostock, Germany — <sup>2</sup>Institute for Theoretical Physics, Johannes Kepler University Linz, 4040 Linz, Austria — <sup>3</sup>Institute of Theoretical Physics, Curtin University of Technology, Perth WA 6845, Australia

Pressure broadening of spectral lines due to plasma electrons and ions can be used as a diagnostic tool to determine temperature and electron density of a dense plasma. Here, a quantum-statistical theory, based on thermodynamic Green's functions, is used to calculate hydrogen Lyman lines. The electronic self-energy  $\Sigma^e$  is an important input in this theory. It describes the influence of plasma electrons on bound state properties. In dense plasmas, the effect of strong, i.e. close, electron-emitter collisions can be considered by three-particle T-matrix diagrams. These diagrams are approximated with the help of an effective two-particle T-matrix, which is obtained from convergent close-coupling calculations with Debye screening, and results are compared with other theories.

**P 18.3 Mi 16:30 Foyer**  
**Time-dependent second Born calculations for model atoms and molecules in external fields** — ●KARSTEN BALZER, SEBASTIAN BAUCH, and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Leibnizstr. 15, 24098 Kiel

Nonequilibrium Green function (NEGF) techniques attract more and more attention when correlated quantum many-particle dynamics is under investigation. Thereby, the solution of the Kadanoff-Baym equation (KBE) imposes strong challenges on the numerics—especially when applied to finite systems. This mainly affects the direct propagation of the KBE whereas obtaining equilibrium properties is conceptually relatively simple. Here, we extend previous work [1] to nonequilibrium and propagate the NEGF in the two-time domain. To render calculations possible, an efficient distributed memory algorithm has been developed enabling parallel and well-scalable computation of the NEGF. Also, the use of finite elements in combination with the discrete variable representation greatly simplifies summations over parts of Feynman diagrams. By comparing the density and the dipole moment to time-dependent Hartree-Fock results and the full solution of the time-dependent Schrödinger equation, we demonstrate that the

time-dependent second Born approximation carries valuable information about correlation effects in atoms and molecules exposed to external fields [2]. As examples, we present results for helium, hydrogen and lithium hydride modeled in one spatial dimension. [1] K. Balzer, S. Bauch, and M. Bonitz, Phys. Rev. A **81**, 022510 (2010). [2] K. Balzer, S. Bauch, and M. Bonitz, Phys. Rev. A **82**, 033427 (2010).

**P 18.4 Mi 16:30 Foyer**  
**Dynamical Screening and Wake Effects in Streaming Classical and Quantum Plasmas** — ●PATRICK LUDWIG<sup>1</sup>, MICHAEL BONITZ<sup>1</sup>, HANNO KÄHLERT<sup>1</sup>, and JAMES DUFTY<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Christian-Albrechts Universität zu Kiel — <sup>2</sup>University of Florida, USA

In recent years we have shown that collective many-body properties in (i) complex (dusty) plasmas, and (ii) charge asymmetric quantum bilayers can be effectively tuned by changing the plasma parameters (temperature, density, mass-ratio of the different plasma constituents) or the effective range of the pair interaction (see [1] for an overview).

Here we significantly extend the previous analysis by inclusion of ion/electron drift by a high precision computation of the dynamically screened Coulomb potential from the dynamic dielectric function. This allows for an accurate description of all plasma properties including screening, wakefield oscillations, ion and electron thermal effects as well as collisional and Landau damping.[2]

The effective wake-potential results in attractive (non-reciprocal) forces between equally(!) charged plasma constituents, which leads to remarkable structural and dynamical many-particle features, which are well known in dusty plasmas. Similar effects are predicted for quantum plasmas.

[1] P. Ludwig, H. Thomsen, K. Balzer, A. Filinov, and M. Bonitz, Plasma Phys. Control. Fusion **52**, 124013 (2010) [2] P. Ludwig, M. Bonitz, H. Kählert, and J.W. Dufty, J. Phys. Conf. Series **220**, 012003 (2010)

**P 18.5 Mi 16:30 Foyer**  
**Correlation Effects and Phase Transitions in Mass-Asymmetric Electron-Hole Bilayers** — ●JENS SCHLEDE<sup>1</sup>, ALEXEY FILINOV<sup>2</sup>, MICHAEL BONITZ<sup>2</sup>, and HOLGER FEHSKE<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institute for Physics, Ernst-Moritz-Arndt Universität, Greifswald, Germany — <sup>2</sup>Institute for Theoretical Physics and Astrophysics, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Germany

We investigate the structural phase transition in two-dimensional mass-asymmetric electron-hole bilayer systems [1,2]. By using path integral Monte Carlo simulations, Coulomb correlations and quantum effects are treated on first principles. The bilayer systems show a variety of possible phases, e.g. exciton solid and gas, electron-hole liquid and hole crystal plus electron gas. For different layer separations, particle densities and temperatures we analyze the bond-angular and translational order correlation functions, the defect densities and the static structure factor. By means of these quantities we can determine the type of the phase transitions and whether there is an intermediate hexatic phase between the solid and the fluid phase. Furthermore the magnitude and phase of the complex angular bond-order parameter allows us to visualize the fragmentation of the solid into crystallite domains near the melting point [3].

[1] P. Ludwig *et al.*, Contrib. Plasma Phys. **47**, 335 (2007).  
 [2] S. De Palo *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 206401 (2002).  
 [3] P. Hartmann *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 115004 (2010).

**P 18.6 Mi 16:30 Foyer**  
**Crystallization of an exciton superfluid** — JENS BÖNING, ●ALEXEI FILINOV, and MICHAEL BONITZ — Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität, Leibnizstr. 15, D-24098 Kiel, Germany

Indirect excitons – pairs of electrons and holes spatially separated in semiconductor bilayers or quantum wells – are known to undergo Bose-Einstein condensation and to form a quantum fluid. Here we show that this superfluid may crystallize upon compression. However, fur-

ther compression results in quantum melting back to a superfluid. This unusual behavior is explained by the effective interaction potential between indirect excitons which strongly deviates from a dipole potential at small distances due to many-particle and quantum effects [1]. Based on first principle path integral Monte Carlo simulations, we compute the complete phase diagram of this system and predict the relevant parameters necessary to experimentally observe exciton crystallization in semiconductor quantum wells.

[1] A Filinov, P Ludwig, M Bonitz, and Y E Lozovik, *J. Phys. A* **42**, 214016 (2009).

P 18.7 Mi 16:30 Foyer

**Structural properties and collective excitations in 2D dipolar gas** — ●ALEXEY FILINOV and MICHAEL BONITZ — Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität, Leibnizstr. 15, D-24098 Kiel, Germany

We study properties of 2D bosonic gas interacting via dipolar potential. Using path integral Monte Carlo we investigate the equation of state, the density-temperature dependence of the superfluid density, the momentum distribution and the isothermal compressibility. We also evaluate the excitation spectrum,  $\omega(\vec{k})$ , of the longitudinal density oscillations in several approximations: classical QLCA [1], the density response evaluated using the Lindhard function, the sum-rules formalism [2], the analytical continuation from the imaginary time density correlation function using the stochastic optimization method [3].

From the obtained dispersion relations we analyze the formation in the spectrum of the roton minima and its connection with the normal density of the quasi-particles excitations using the Feynman formula.

[1] K. Golden, G. Kalman, Z. Donko and P. Hartmann, *Phys. Rev. B* **78**, 045304 (2008) [2] F. Dalfovo and S. Stringari, *Phys. Rev. B* **46**, 13991 (1992) [3] A. S. Mishchenko, *Lect. Notes Phys.* **739**, 367 (2008)

P 18.8 Mi 16:30 Foyer

**Proton crystallization in a dense hydrogen plasma** — ●MICHAEL BONITZ<sup>1</sup>, VLADIMIR FILINOV<sup>2</sup>, VLADIMIR FORTOV<sup>2</sup>, PAVEL LEVASHOV<sup>2</sup>, and HOLGER FEHSKE<sup>3</sup> — <sup>1</sup>Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, CAU Kiel — <sup>2</sup>Institute for High Energy Density, Russian Academy of Sciences — <sup>3</sup>Institut für Physik, EMAU Greifswald

In a recent letter we have predicted that in a dense hydrogen plasma at sufficiently low temperatures protons would spontaneously order into a lattice which is embedded into an electron gas. The conditions for the stability of such an ion crystal in a neutral two-component plasma were derived in Ref. 1, in particular, we found that that a necessary condition for crystallization is that the mass of the heavy component exceeds the electron mass by a factor of about 80, so that effect should also be observable in various semiconductor materials [2].

Here we concentrate on the phase diagram of the proton crystal for which only a rough estimate is known. We present extensive first principle path integral Monte Carlo simulations which allow to predict the temperature and density range for proton crystallization in dense laboratory experiments.

[1] M. Bonitz, V.S. Filinov, V.E. Fortov, P.R. Levashov, and H. Fehske, *Phys. Rev. Lett.* **95**, 235006 (2005)

[2] M. Bonitz, V.S. Filinov, V.E. Fortov, P.R. Levashov, and H. Fehske, *J. Phys. A: Math. Gen.* **39**, 4717 (2006)

P 18.9 Mi 16:30 Foyer

**Time propagation of the Nonequilibrium Green's function using the generalized Kadanoff-Baym ansatz** — ●SEBASTIAN HERMANN, KARSTEN BALZER, and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Leibnizstr. 15, 24098 Kiel

For the description of many-particle systems the Green's function method has become widely used in the last decade. The equations of motion for this quantity are the Keldysh-Kadanoff-Baym equations (KKBE). The simplest approximation that includes correlation effects is the second Born approximation. However, as the two-time structure leads to quadratic scaling of the memory cost with simulation length, only short term dynamics can be computed. By introducing the generalized Kadanoff-Baym ansatz (GKBA) ansatz into the KKBE, the two-particle Green's function is reconstructed from its value on the time diagonal. This leads to a linear scaling of the memory cost with simulation length which makes longer time evolution possible.

In this contribution, we apply the GKBA to the time evolution of model atoms such as helium in one dimension [1,2]. With results for time dependent spatial and spectral properties the GKBA is compared

to two-time 2nd Born-, Hartree-Fock-calculations as well as to the exact solution of the time-dependent Schrödinger equation. A special focus thereby lies on how well 2-electron excitations, which play an important role for the correlated electron dynamics, are represented in GKBA calculations.

[1,2] K. Balzer, S. Bauch, and M. Bonitz, *Phys. Rev. A* **81**, 022510 (2010) and **82**, 033427 (2010).

P 18.10 Mi 16:30 Foyer

**Nonequilibrium Green's functions approach to the pair distribution function of quantum many-body systems out of equilibrium** — ●KAY KOBUSCH, MICHAEL BONITZ, KARSTEN BALZER, and LASSE ROSENTHAL — Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Universität Kiel, D-24098 Germany

The pair distribution function (PDF) is a key quantity for analyzing correlation effects of a quantum system both in and far from equilibrium. We derive an expression for the PDF in terms of single particle Green's functions – the solutions of the Keldysh-Kadanoff-Baym equations in the two-time plane. The result includes initial correlations and generalizes previous density matrix expressions from single-time quantum kinetic theory. As an illustration we present numerical results for the PDF of electrons and holes in a strongly correlated electron-hole bilayer.

P 18.11 Mi 16:30 Foyer

**Theoretical description of spherically confined strongly correlated Yukawa plasmas** — HENNING BRUHN<sup>1</sup>, ●MICHAEL BONITZ<sup>1</sup>, JEFF WRIGHTON<sup>2</sup>, and JAMES W. DUFTY<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel — <sup>2</sup>Department of Physics, University of Florida, Gainesville, Florida 32611, USA

A theoretical description for the radial density profile of strongly correlated identical charged particles confined in a harmonic trap is developed. A wide range of particle numbers and Coulomb coupling in the entire fluid phase is analyzed. The simple mean-field approximation is not capable to supply the shell structure observed in computer simulations and experiments due to the neglect of all correlations. The hypernetted chain approximation for the bulk fluid is used to extend the theory for confined charges. To achieve quantitative accuracy by comparison with Monte Carlo results a representation for the associated bridge function is found while restoring the form of the hypernetted chain equations.

P 18.12 Mi 16:30 Foyer

**The Three Particle Correlation Function as a Tool for Angle Resolved Structural Analysis of Spherical Clusters** — ●HAUKE THOMSEN<sup>1</sup>, PATRICK LUDWIG<sup>1</sup>, MICHAEL BONITZ<sup>1</sup>, and GABOR KALMAN<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Christian-Albrechts Universität zu Kiel — <sup>2</sup>Boston College, USA

Finite charged particle ensembles in externally controlled confinement geometries allow for a systematic investigation of strong correlation effects over broad ranges of plasma parameters. Additionally, the formation of distinct shells emerges as a governing finite-size effect in systems of trapped ions and dusty plasma as well [1].

As a sensitive tool to study the internal cluster structure, we introduce the 'Three Particle Correlation Function' (TPCF), which allows for an angle resolved structure analysis.[2] The TPCF can not only resolve the transition probability of particles between shells, but also structural modifications within the shells. In particular this quantity is not affected by rotational invariance.

Using the TPCF we study the effect of Coulomb screening, temperature, and cluster symmetry of different ground and metastable states with respect to the exact particle number as well as the limiting case of large N.

[1] M. Bonitz, C. Henning, and D. Block, *Reports on Progress in Physics* **73**, 066501 (2010) [2] P. Ludwig, H. Thomsen, K. Balzer, A. Filinov, and M. Bonitz, *Plasma Phys. Control. Fusion* **52**, 124013 (2010)

P 18.13 Mi 16:30 Foyer

**Modeling Laser Manipulation of 2D Yukawa Clusters** — ●HAUKE THOMSEN, HANNO KÄHLERT, and MICHAEL BONITZ — Christian-Albrechts Universität zu Kiel

The ability to influence the spatial structure and the velocity distribution of two-dimensional trapped Yukawa clusters by lasers has been exploited in different experiments in order to analyze melting effects[1,2]. We present results of Langevin Molecular Dynamic simulations which

allow to model these processes in detail.

The goal is to get a better understanding of how the additional time dependent force affects on the particles dynamics. Not only the absolute laser power is important for the cluster manipulation, but also the scanned pattern plays a mayor role as well the scanning speed. Depending on the scanning parameters the laser can either cause heating or provide a quasi-static force field. Often, even small changes in the simulation parameters result in major changes in the clusters' behavior.

[1] M. Wolter and A. Melzer, *Phys. Rev. E* **71**, 036414 (2005)

[2] J. Schablinski, Kontrolle von Struktur und Dynamik finiter Plasmakristalle mittels Lasermanipulation, Diplomarbeit, CAU Kiel (2010)

P 18.14 Mi 16:30 Foyer

**Collective excitations of a spherically confined Yukawa plasma** — ●HANNO KÄHLERT and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts Universität zu Kiel

We compare the results of a recently developed fluid theory for the multipole modes of a Yukawa plasma in a spherical confinement [1] with molecular dynamics (MD) simulations [2]. The simulations confirm the existence of high order modes found in cold fluid theory. The eigenfrequencies are in close agreement with the theory for weak to moderate screening and low order modes. We discuss the influence of screening, coupling and friction on the mode spectra. Further, we examine the relations between the breathing mode in the fluid theory, the MD simulation and the respective crystal eigenmode in more detail.

[1] H. Kählert and M. Bonitz, *Phys. Rev. E* **82**, 036407 (2010)

[2] H. Kählert and M. Bonitz, arXiv:1011.5849 (2010)

P 18.15 Mi 16:30 Foyer

**Laserunterstützte Anregungen in finiten Yukawa-Systemen** — ●ANDRÉ SCHELLA, CARSTEN KILLER, TOBIAS MIKSCH und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald

Eine Ansammlung von wenigen Staubteilchen in einem dreidimensionalen externen Einfangpotential innerhalb einer Plasmaumgebung bezeichnet man als Yukawa-Ball. Grund hierfür ist die Yukawa-Wechselwirkung zwischen den einzelnen Partikeln. Solche in HF-Entladungen eingefangene Yukawa-Bälle stellen einen idealen Forschungsgegenstand dar, wenn es um die Untersuchung dynamischer Eigenschaften von Systemen mit endlicher Teilchenzahl geht. Die Bewegung der einzelnen Partikel lässt sich mit Hilfe eines Stereoskopie-systems individuell und auf kinetischer Ebene verfolgen. Vorgestellt werden Ergebnisse, die den Einfluss einer Manipulation von Staubclustern mithilfe von Lasern sowohl auf individuelle Partikel als auch den Cluster als Ganzes zeigen. Die Normalmodenanalyse, also die Zerlegung der Teilchenbewegung in kollektive Schwingungsmuster, bietet einen Zugang zur experimentellen Untersuchung der dynamischen Eigenschaften dieser finiten, stark gekoppelten Systeme. Die Laserheizung bewirkt eine Änderung in der Modenstruktur, die sich im Leistungsspektrum der einzelnen Cluster bemerkbar macht. Diese Arbeit wird gefördert vom SFB TR 24, Teilprojekt A3.

P 18.16 Mi 16:30 Foyer

**Nichtlineare Eigenschaften von selbsterregten Staubdichtewellen** — ●TIM BOCKWOLDT, KRISTOFFER OLE MENZEL, OLIVER ARP und ALEXANDER PIEL — IEAP, CAU-Kiel, D-24098 Kiel

Im staubigen Plasma einer HF-Entladung entstehen bei niedrigen Neutralgasdrücken und ausreichend hohen Staubdichten selbsterregte Staubdichtewellen. Diese besitzen einen stark nichtlinearen Charakter. In Wellenfeldern unter Schwerelosigkeit wurde kürzliche die Bildung von Frequenzclustern beobachtet. Dabei traten an den Clusterengrenzen sogenannte Defekte als Bifurkationen in Wellenfronten auf [1]. Desweiteren zeigten Messungen eine Wechselwirkung der Staubdichtewellen mit dem Plasma [2]. In diesem Beitrag werden Ergebnisse aus komplementären Experimenten im Labor und aus zusätzlichen Messungen unter Schwerelosigkeit vorgestellt, die eine detailliertere Analyse der beobachteten Effekte zulassen. Es wurde gefunden, dass die Dichte der Defekte mit der HF-Spannung steigt. Mit steigender Defektdichte nimmt die Kohärenz im Wellenfeld ab. Dies spiegelt sich auch durch Veränderungen der räumlichen Frequenzverteilung wider. Die Messungen zur Wechselwirkung zwischen Staub und Plasma konnten durch eine verbesserte Diagnostik erweitert werden. Neben einer Modulation des Plasmaleuchtens innerhalb des Wellenfeldes konnte auch im staubfreien Bereich (Void) eine Modulation gemessen werden. Gefördert durch DLR unter 50WM0739.

[1] K. O. Menzel, O. Arp, und A. Piel, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 235002

(2010).

[2] O. Arp et al., *IEEE Transactions on Plasma Sci.* **38**, 842 (2010).

P 18.17 Mi 16:30 Foyer

**Schmelzverhalten finiter Plasmakristalle** — ●JAN SCHABLINSKI, DIETMAR BLOCK und ALEXANDER PIEL — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Phasenübergänge stark gekoppelter zweidimensionaler Systeme wurden viele Jahre intensiv anhand ausgedehnter Systeme untersucht und sind für diesen Fall bereits gut verstanden. Sowohl theoretisch als auch experimentell konnte jedoch gezeigt werden, dass Struktur und Stabilität in finiten Systemen stark von der Teilchenzahl und Symmetrien der Teilchenanordnung abhängen. Eine nach wie vor offene Frage ist, ob und wie sich strukturelle Unterschiede solcher Cluster auch auf deren Schmelzverhalten auswirken. Bislang fehlten geeignete Methoden, um die kritische Temperatur finiter Kristalle zuverlässig zu bestimmen. Hierzu wurde die Methode der Varianz der block-gemittelten Interpartikelabstandsfluktuationen (VIDF) als sensitiver Parameter für einen Phasenübergang vorgeschlagen [1]. Dieser Beitrag stellt Experimente vor, mit denen diese Methode an realen Plasmakristallen erprobt wird. Hierbei findet die Lasermanipulation unter anderem in Form eines stochastischen Heizprozesses Anwendung, um die (kinetische) Temperatur des Partikelsystems kontrolliert zu manipulieren. Die angewandte Heizmethode ist für die Untersuchung von finiten Plasmakristallen optimiert und wird in Hinblick auf die Isotropie der Heizung sowie die resultierende Partikeldynamik im Detail analysiert. Darüber hinaus wird der Zusammenhang zwischen Symmetrien und Struktur und der Schmelztemperatur finiter Plasmakristalle systematisch untersucht.

[1] Böning et al., *PRL* **100**, 2008

P 18.18 Mi 16:30 Foyer

**Nonlinear magnetoplasmons in strongly coupled Yukawa and Coulomb plasmas** — ●TORBEN OTT<sup>1</sup>, MICHAEL BONITZ<sup>1</sup>, ZOLTAN DONKÓ<sup>2</sup>, and PETER HARTMANN<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Theoretische Physik und Astrophysik — <sup>2</sup>Research Institute for Solid State Physics and Optics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest

The wave spectra of magnetized and strongly coupled 2D-Yukawa plasmas have recently been computed numerically [1] and good agreement between existing theories and the simulation was found. The magnetized Yukawa plasma sustains two modes, the magnetoplasmon and the magnetophonon, the frequencies of which are of the order of the Einstein or cyclotron frequency.

In this contribution, we report on the existence of additional high-frequency plasma oscillations at multiples of the magnetoplasmon, based on extensive molecular dynamics simulations. The emergent modes are reminiscent of the well-known Bernstein modes but are renormalized by the strong interparticle correlations. We present detailed numerical results and an analytical explanation of the observed features [2].

[1] Hou *et al.*, *Phys. Plas.*, **16**, 73704 (2009)

[2] Bonitz *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **105**, 055002 (2010)

P 18.19 Mi 16:30 Foyer

**Pair Correlations for Charges in a Harmonic Trap** — JEFFREY WRIGHTON<sup>1</sup>, JAMES DUFTY<sup>1</sup>, ●HANNO KÄHLERT<sup>2</sup>, TORBEN OTT<sup>2</sup>, PATRICK LUDWIG<sup>2</sup>, and MICHAEL BONITZ<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Physics Department, University of Florida — <sup>2</sup>Institut für Theoretische Physik und Astrophysik\*Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

A classical system of  $N$  identical charges in a harmonic trap exhibits both shell structure and orientational ordering due to Coulomb correlations. The shell structure can be reproduced accurately using approximate correlations from the bulk OCP [1]. Here we report additional relationships between correlations in the trap and those for the bulk OCP: 1) pair correlations calculated without reference to their location in the trap agree with those of the bulk OCP. 2) orientational pair correlations among particles within a shell are represented by those of the bulk OCP, when Euclidean distance is replaced by arc length (qualitative agreement using 3D OCP; quantitative agreement using 2D OCP). At stronger coupling, the correlations induce an ordering within the shells (spherical Wigner crystal). It is shown that the orientational correlations for this phase are described by those for the single sphere Thomson problem, i.e. the Thomson sites represent the "lattice" for the spherical crystal. Finite temperature effects for this phase are described as well. (Research supported by DOE award DE-FG02-07ER54946 and by the Deutsche Forschungsgemeinschaft via SFB-TR24.)



[1] J. Wrighton, J. Dufty, H. Kählert, and M. Bonitz, *Phys. Rev. E* **80**, 038912 (2009), *Contrib. Plasma Phys.* **50**, 26 (2010)

P 18.20 Mi 16:30 Foyer

**Quantum breathing mode of interacting particles in a harmonic trap** — ●JAN WILLEM ABRAHAM, KARSTEN BALZER, SEBASTIAN BAUCH, and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Leibnizstr. 15, 24098 Kiel

Time-dependent properties of interacting, harmonically confined quantum systems are of growing interest in many areas, including correlated electrons in metal clusters or quantum dots and ultracold Bose and Fermi gases in traps or optical lattices. Among these properties the behavior of the breathing mode (BM)—the [uniform] radial expansion and contraction of the system—attracts special interest as it is easily excited experimentally, and turns out [1] to give information of the system's dimensionality, spin statistics, as well as the form and strength of the pair interaction potential.

Extending our previous work [1,2], we deepen the understanding of the BM during migration from the ideal quantum to the classical regime, in between which the breathing frequency is not independent of the pair interaction strength. Thereby, time-dependent Hartree-Fock simulations for 2 to 15 fermions with Coulomb interaction are expected to answer the question whether the quantum BM is independent of particle number [3].

[1] S. Bauch, K. Balzer, C. Henning and M. Bonitz, *Phys. Rev. B* **80**, 054515 (2009). [2] S. Bauch, D. Hochstuhl, K. Balzer and M. Bonitz, *J. Phys. Conf. Series* **220**, 012013 (2010). [3] J.W. Abraham, Bachelor thesis, Kiel University, 2010.

P 18.21 Mi 16:30 Foyer

**Configuration path integral Monte Carlo simulation of correlated fermions** — ●TIM SCHOOF<sup>1</sup>, ALEXEJ FILINOV<sup>1</sup>, MICHAEL BONITZ<sup>1</sup>, and JAMES W. DUFTY<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Leibnizstraße 15, 24098 Kiel — <sup>2</sup>Physics Department, University of Florida, Gainesville

We develop a new path integral Monte Carlo approach which is formulated in occupation number representation. The method is applied to strongly correlated fermions in a trap [1]. Formally exact results are obtained by a transition from discrete to continuous imaginary time representation [2]. The efficiency of the method (fermion sign problem) is investigated for a broad range of temperatures, coupling parameters and particle numbers and compared to standard path integral Monte Carlo methods.

[1] T. Schoof, A. Filinov, M. Bonitz and J.W. Dufty to be published  
[2] N. V. Prokof'ev, B. V. Svistunov, and I. S. Tupitsyn, *JETP Lett.* **64**, 911 (1996)

P 18.22 Mi 16:30 Foyer

**Ionization and electron scattering on ions in strong electromagnetic fields** — ●CHRISTOPHER HINZ, SEBASTIAN BAUCH, and MICHAEL BONITZ — Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Leibnizstraße 15, D-24098 Kiel

The field of time-resolved measurements on ultrashort timescales has evolved rapidly in recent years[1] giving access to the complex electron dynamics in strong external fields. Among those, one fundamental process is electron-ion scattering in the presence of strong electromagnetic fields, leading to distributions of high-energy electrons[2]. Extending previous work on wave-packet scattering on fixed geometries of single ions and ion chains[3], which leads to significant increase in electron energies due to resonance effects, we present results for combinations of ions and atoms in a pump-probe setup. Here, one atom serves as an electron source through XUV excitation and the following IR induced acceleration leads to scattering on the parent ion as well as on neighbouring ions. The influence of several system parameters, such as pulse parameters, delay between both pulses and scattering geometries, is investigated by means of numerical solutions of the time-dependent Schrödinger equation. Physical insight is motivated by simple semiclassical estimations.

[1] see e.g. F. Krausz and M. Ivanov, *Rev. Mod. Phys.*, **81** 163 (2009);  
[2] H.-J.Kull, and V. T. Tikhonchuk, *Phys. Plas.* **12** 063301 (2005);  
[3] S. Bauch and M. Bonitz, *Contrib. Plas. Phys.* **49** 558 (2009)

P 18.23 Mi 16:30 Foyer

**Electronic correlations in double ionization of atoms in pump-probe experiments** — ●SEBASTIAN BAUCH, KARSTEN BALZER, and

MICHAEL BONITZ — Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

The (correlated) dynamics of few-body systems in strong laser fields is in focus of active research since the last two decades. One example is the famous non-sequential double ionization of Helium. With nowadays experimentally available tools it is possible to investigate these processes on the sub-femtosecond timescale. Typically, a short extreme ultraviolet (XUV) pump pulse is combined with a longer infrared (IR) probe pulse. We present theoretical results based on the time-dependent Schrödinger equation for such a pump-probe experiment involving two active electrons[1]. A dramatic change of the double-ionization yield with variation of the pump-probe delay is reported. We identify the governing role of electron-electron correlations, through a complex interplay of (1) inner-atomic electron shake up and (2) rescattering with subsequent impact ionization. Our results allow for a direct control of the double ionization yield, and the relative strength of double and single ionization.

[1] S. Bauch, K. Balzer and M. Bonitz, *Europhys. Lett.* **91** 53001 (2010)

P 18.24 Mi 16:30 Foyer

**Laser-assisted photoemission: the case of low-frequency streaking.** — ●SEBASTIAN BAUCH and MICHAEL BONITZ — Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, D-24098 Kiel

Laser-assisted photoemission has attracted growing attention in the last decade. Two main fields of ongoing experimental effort exist, the fundamental investigation of ultrafast processes and the application to pulse characterization of currently developed light sources, e.g. free-electron lasers. Both utilize realizations of the light-field induced streak camera, but in different temporal regimes. Adopting well-established methods, we extend previous investigations[1] to the currently evolving experimental situation[2] and present line shapes from laser-assisted photoemission ranging from the well-investigated case of infrared streaking to the widely unexplored low-frequency case of terahertz radiation. Exact solutions of the time-dependent Schrödinger equation are compared to approximate (simple) models. Various effects, including Coulomb effects, wave packet polarization and nucleus effects are addressed.

[1]e.g. O. Smirnova, M. Spanner and M. Ivanov, *J. Phys. B. At. Mol. Opt. Phys.* **39** S323 (2006)  
[2]U. Fröhling et al., *Nat. Phot.* **3** 523 (2009)

P 18.25 Mi 16:30 Foyer

**Energy Transfer in Relativistic Laser Plasmas** — ●MARCO SWANTUSCH<sup>1</sup>, MIRELA CERCHEZ<sup>1</sup>, MONIKA TONCIAN<sup>1</sup>, CHRISTIAN RÖDEL<sup>2</sup>, OLIVER JÄCKEL<sup>2</sup>, TOMA TONCIAN<sup>1</sup>, ALEXANDER A. ANDREEV<sup>3,4</sup>, GERHARD G. PAULUS<sup>2</sup>, and OSWALD WILLI<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Laser- und Plasmaphysik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany — <sup>2</sup>Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Germany — <sup>3</sup>Max Born Institut, Berlin, Germany — <sup>4</sup>Vavilov State Optical Institute, Sankt Petersburg, Russia

The interaction of nowadays routinely generated intense, ultra-short laser pulses with solid targets can create states of matter characterized by very high temperatures and densities close to solid. We present the results of recently finished experiments dealing with the absorption of laser energy in the ultrashort (<30 fs), high intensity ( $I \approx 5 \times 10^{19} \text{ W/cm}^2$ ) regime. The influence of different parameters (laser contrast, angle of incidence, surface quality, e.g.) has been studied. It is experimentally proven that the energy transfer is strongly dependent on these quantities.

Combined simulations using hydrodynamic and two dimensional Particle-In-Cell codes have been performed in order to investigate the influence of the plasma scale length to the absorption process and are in good agreement with the experimental data. Furthermore, an analytical model is proposed to explain the complex interconnections between absorption mechanism, laser and target parameters.

P 18.26 Mi 16:30 Foyer

**Plasma diagnostics applying K-line emission profiles of mid-Z materials** — KRISTINE KARSTENS, ●YILING CHEN, and ANDREA SENGEBUSCH — Universität Rostock, Institut für Physik, Rostock

In recent years K-line spectra have become the focus of various experiments. Narrow K-line emission of some keV is an appropriate light source for Thomson scattering on warm dense matter with solid and

even over-solid electron density. Moreover, as the K-spectra are often emitted from a warm dense plasma themselves one can infer plasma parameters, i.e. temperature, density and composition, by studying the line profiles [1,2]. Theoretical treatment of spectral line profiles using a self-consistent ion sphere model is applied on moderately ionized mid-Z materials. A consistent extension of the Planck-Larkin renormalization to these elements is shown. In this poster we focus on the influence of plasma polarization effects on the K-line emission energy and satellite transitions due to M-shell ionization and excitation. It is shown that important contributions to the line profiles are due to excited radiator states [3].

[1] U. Zastra, A. Sengebusch, and et al., HEDP (submitted 2010).  
 [2] A. Sengebusch, H. Reinholz, and G. Röpke, Contrib. Plasma Phys. 49, 748 (2009). [3] A. Sengebusch, H. Reinholz, and et al., J. Phys. A: Math. Gen. 42, 214061 (2009).

P 18.27 Mi 16:30 Foyer

**X-ray scattering as diagnostic tool for mixtures in warm dense matter** — ●KATHRIN WÜNSCH<sup>1</sup>, JAN VORBERGER<sup>1</sup>, DAVE A. CHAPMAN<sup>1,2</sup>, and DIRK O. GERICKE<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Centre for Fusion, Space and Astrophysics, Department of Physics, University of War-

wick, Coventry CV4 7AL, United Kingdom — <sup>2</sup>Plasma Physics Department, AWE plc, Aldermaston, Reading, Berkshire, United Kingdom

A deeper understanding of warm dense matter (WDM) is of particular interest, not only in the research of astrophysical objects, but also in the progress towards inertial confinement fusion.

The development of powerful lasers makes it possible to study WDM in the laboratory. X-ray scattering has become an effective diagnostic tool to determine basic plasma parameters as well as structural information. A complete diagnostics does however rely on an excellent theoretical understanding of the material under consideration. Recently, attention was brought to multicomponent WDM where the interplay of different ions species gives rise to new features.

We developed a consistent model to analyse the scattering spectra including multicomponent effects. Therefore, we generalised the Chihara formula and determine all the cross correlations required. The results will show that x-ray scattering can also be used to investigate mixtures under extreme conditions due to significant differences of the multicomponent description to a single-ion component approach. Furthermore, we will present results how the scattering spectra will change if non-equilibrium distributions are applied.

## P 19: Poster: Hochtemperaturplasmen: Experiment und Diagnostik

Zeit: Mittwoch 16:30–18:30

Raum: Foyer

P 19.1 Mi 16:30 Foyer

**Observations of Plasma Response to RMP using Fast Movable Magnetic Probe on TEXTOR** — ●YAO YANG, YUNFENG LIANG, YOUWEN SUN, TAO ZHANG, JOCHEN ASSMANN, GÜNTER BERTSCHINGER, HUBERT JAEGER, HANS RUDOLF KOSLOWSKI, JONATHAN PEARSON, BERND SCHWEER, CHRISTOPHER WIEGMANN, and YUHONG XU — Institute of Energy and Climate Research/Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner in the Trilateral Euregio Cluster, Jülich, Germany

Plasma response to resonant magnetic perturbation fields (RMPs) is important for understanding the physical mechanism of instability control using RMP fields in the next generation of fusion devices, i.e. ITER. Such an investigation has been carried out in TEXTOR under different dynamic ergodic divertor (DED) configurations. The perturbed magnetic field is measured by the Fast Movable Magnetic Probe (FMMP) installed at the outer equatorial plane (low-field side). Preliminary results show that the perturbed plasma edge magnetic topology is different from the case simulated with a vacuum assumption. Plasma response to RMP depends strongly on both the location of the resonant rational flux surface and the frequency difference between the drift of the rational surface in the plasma and the external perturbation.

P 19.2 Mi 16:30 Foyer

**Regularisierung der Bolometer-Tomografie an ASDEX Upgrade mittels experimenteller Diffusionskoeffizienten** — ●MORITZ SCHNEIDER, MATTHIAS BERNERT, THOMAS EICH, RAINER FISCHER, CHRISTOPH FUCHS, HANS MEISTER, HARTMUT ZOHN und ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, Boltzmannstrasse 2, D-85748 Garching

Zur Berechnung des poloidalen orts aufgelösten Strahlungsdichteprofiles im Plasma werden die sichtlinienintegrierten Messungen der Bolometerdiagnostik mittels tomografischer Rekonstruktionsverfahren entfaltet. Die am ASDEX Upgrade verwendete Methode zur Regularisierung minimiert Quellen und Senken um das Profil zu glätten und Artefakte zu verhindern. Die Gewichtung wird dabei durch empirisch bestimmte Diffusionskoeffizienten parallel und senkrecht zu den Flussflächen festgelegt, um eine jeweils unterschiedlich starke Glättung zu erzielen. Verschiedene Werte für Hauptraum und Divertor bewirken eine Tendenz zu konstanten Strahlungsleistungen auf Flussflächen im Hauptraum und größeren Gradienten des Profils im Divertor.

Der neue Ansatz berechnet die Diffusionskoeffizienten im Hauptraumplasma auf der Basis der orts aufgelösten Wärmeleitfähigkeit für Ionen. Senkrecht zu den Flussflächen wird das Gyro-Bohm Modell verwendet, parallel eine modifizierte Spitzer-Leitfähigkeit projiziert auf die poloidale Ebene. Der Vergleich der berechneten Profile zeigt, dass einige interessante Phänomene von magnetisch eingeschlossenen Plasmen (Marfes, Verunreinigungsakkumulationen usw.) mithilfe des neuen An-

satzes präziser dargestellt werden können.

P 19.3 Mi 16:30 Foyer

**Validation of transport models in ASDEX Upgrade current ramps** — ●SINA FIETZ, JÖRG HOBIRK, EMILIANO FABLE, RAINER FISCHER, CHRISTOPH FUCHS, GRIGORI PEREVERZEV, FRANCOIS RYTER, and THE ASDEX UPGRADE TEAM — Max Plank Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, D-85748 Garching, Germany

In order to prepare adequate ramp up and down scenarios for ITER, understanding the physics of transport during the current ramps is essential. The aim of the work was to assess the capability of several transport models to reproduce the experimental data during the current ramps. For this purpose, the calculated temperature profiles from different transport models, i.e. Coppi-Tang, Neo-Alcator, Bohm-Gyrobohm, critical gradient model and H98/2 scaling-based are compared to experimental temperature profiles under different conditions. The strong variation of the experimental electron temperature profiles are partly reproduced by the models, as will be discussed. The importance of central and edge radiation will be emphasized, as well as the main transport properties of the models, especially in the case of strong local electron heating (ECRH). To investigate the control capabilities of a Tokamak, particularly with regard to ITER, the impact on global plasma parameters like the internal inductance and the stored energy is also investigated.

P 19.4 Mi 16:30 Foyer

**Characterisation of the ELM synchronized H-mode edge pedestal in ASDEX Upgrade and DIII-D** — ●PHILIP A. SCHNEIDER<sup>1</sup>, ELISABETH WOLFRUM<sup>1</sup>, RICH GROEBNER<sup>2</sup>, TOM H. OSBORNE<sup>2</sup>, MIKE G. DUNNE<sup>3</sup>, JOHN FERRON<sup>2</sup>, SIBYLLE GÜNTHER<sup>1</sup>, BERND KURZAN<sup>1</sup>, PHILIP B. SNYDER<sup>2</sup>, HARTMUT ZOHN<sup>1</sup>, THE ASDEX UPGRADE TEAM<sup>1</sup>, and THE DIII-D TEAM<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Max Plank Institut für Plasmaphysik, EURATOM Association, D-85748 Garching, Germany — <sup>2</sup>General Atomics, PO Box 85608, San Diego, CA 92186-5608, USA — <sup>3</sup>Department of Physics, University College Cork, Association Euratom-DCU, Cork, Ireland

The results of a large database of edge pedestal data from type-I ELMy H-mode discharges from ASDEX Upgrade and DIII-D will be presented. The data from high resolution edge diagnostics of both devices is analysed with the same analysis code in order to avoid systematic differences. Furthermore, sophisticated equilibrium reconstructions are used to assess uncertainties which arise during mapping from 2D real space coordinates to 1D flux coordinates. ELM synchronization allows the study of the pedestal structure at the ELM stability boundary. The pedestal is characterized by its top value, the gradient and the width. A large parameter range is covered by the two devices. Over this parameter range the profile shape of edge electron density differs from that of the temperature, irrespective of the device. However, the re-

sulting electron pressure profile shape remains similar for all analysed H-Mode discharges.

P 19.5 Mi 16:30 Foyer

**ECRH-Entladungen in der O2-Mode an ASDEX Upgrade** — ●H. HÖHNLE<sup>1</sup>, J. STÖBER<sup>2</sup>, K. BEHLER<sup>2</sup>, A. HERRMANN<sup>2</sup>, W. KASPAREK<sup>1</sup>, M. REICH<sup>2</sup>, U. STROTH<sup>1,2</sup>, W. TREUTTERER<sup>2</sup> und DAS ASDEX UPGRADE TEAM<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching  
Elektronzyklotronwellen in X-Polarisation werden an ASDEX Upgrade neben Stromtrieb und Plasmaheizung auch zum Verdrängen von Verunreinigungen aus dem Plasmazentrum eingesetzt. Bei einem Feld von 2.5 T und einer Frequenz von 140 GHz findet die Absorption an der 2. Harmonischen der Zyklotronresonanz statt. In Entladungen mit gutem Einschluss kann die Dichte jedoch über dem Cutoff der Welle liegen und die zentrale Absorption unmöglich machen.

Dieser Nachteil kann in der O2-Mode behoben werden, womit Plasmen höherer Dichte zentral geheizt werden können. Aufgrund unvollständiger Absorption muss allerdings ein zweiter Durchgang durch das Plasma mithilfe holographischer Spiegel realisiert werden, dies steigert die Absorption auf ca. 90 %.

Einhgehend mit Dichteänderungen ist die Änderung der Brechung des O2-Strahls und daher auch der Position der Strahlen auf den Spiegeln. Eine Echtzeitsteuerung basierend auf Temperaturfühler, die in dem Spiegel verbaut sind, soll den Einstrahlwinkel entsprechend nachregeln, um den Strahl auf dem Spiegel mittig zu positionieren. Diese Steuerung soll in einer Zeitskala von einigen 10 ms reagieren können.

Das Heizungsszenario, die Auslegung der Spiegel, die Funktionsweise der Echtzeitsteuerung und erste Experimente werden präsentiert.

P 19.6 Mi 16:30 Foyer

**A room temperature pellet launcher for ELM trigger investigations in ASDEX Upgrade** — ATHANASSIOS ALEXIOU<sup>1</sup>, RALPH DUX<sup>2</sup>, KINGA GÁL<sup>3</sup>, PETER LANG<sup>2</sup>, ●RUDOLF NEU<sup>2</sup>, BERNHARD PLÖCKL<sup>2</sup>, STEFAN SOTIER<sup>1</sup>, and ASDEX UPGRADE TEAM<sup>2</sup> — <sup>1</sup>University of Applied Sciences, Lothstrasse 34, 80335 München, Germany — <sup>2</sup>MPI für Plasmaphysik, Boltzmannstrasse 2, 85748 Garching, Germany — <sup>3</sup>KFKI Research Institute for Particle and Nuclear Physics, PO Box 49, H-1525 Budapest-114, Hungary

Pacing to mitigate edge localized modes (ELMs) is regarded essential for the protection of the ITER Divertor. However, pacing is currently based on cryogenic Deuterium (D) pellet injection unusable in the first non-nuclear phase of ITER. A new idea to overcome this is the use of Beryllium pellets. To perform according trigger tests at AUG, Aluminum (Al) pellets will be used as they are easy to handle, cheap and resulting radiative losses in according H-mode plasmas seems manageable for sufficiently small pellets. An existing room temperature solid state injector was recovered basing on gas drag acceleration capable to launch one pellet per plasma discharge for an ELM trigger experiment. Pellets with 0.5 mm diameter, containing about  $4 \times 10^{18}$  Al atoms can be launched in the speed range of 60 - 375 m/s using Helium propellant gas pressures from 5 to 100 bar. Reliability close to 1 was observed for pellets in free flight, while guiding pellets through the narrow existing injection tube would cause a reduction to about 0.3. Hence, a revision of the torus access allowing for free flight injection covering an about 1.5 degree (FWHM) pellet trajectory cone angle are under way.

P 19.7 Mi 16:30 Foyer

**Bildung turbulenter Strukturen im Randbereich magnetisch eingeschlossener Plasmen** — ●BERNHARD SCHMID, BERNHARD NOLD, MIRKO RAMISCH und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart

Die Einschlussqualität von Plasmen in toroidalen Magnetfeldern wird maßgeblich limitiert durch den Transport turbulenter Strukturen senkrecht zum Magnetfeld. Für ein tieferes Verständnis des Transports auf Basis turbulenter Strukturen, muss die Dynamik senkrecht zum Magnetfeld erfasst werden. In den Niedertemperaturplasmen des Torsatrons TJ-K ist die Dynamik im kompletten poloidalen Querschnitt für Langmuir-Sonden zugänglich. In diesem Beitrag werden zwei-Punkt-Korrelations Techniken auf simultan gemessene Dichte- und Potentialfluktuationen angewendet, um die Entstehung turbulenter Strukturen und deren Dynamik zu untersuchen. Erstmals konnte dabei die spontane Entstehung zonaler Potentialstrukturen im TJ-K beobachtet werden. Mit ihrer radialen Lokalität und ihren langreichweitigen Korrelationen zeigen die Strukturen typische Signaturen zonaler Strömungen, die für das Triggern von Transportbarrieren in Fusionsplasmen verantwortlich gemacht werden. Deren Abhängigkeit von der Stoßrate wird

näher untersucht. Das zeitliche Verhalten der zonalen Struktur wird dem gemessenen turbulenten Reynolds-Stress, der als Antrieb zonaler Strömungen gilt, gegenübergestellt.

P 19.8 Mi 16:30 Foyer

**Lineare Driftwelleninstabilität in TJ-K-Geometrie** — ●MIRKO RAMISCH, GREGOR BIRKENMEIER, ALF KÖHN und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart

In vergangenen Jahren ist am Stellarator-Experiment TJ-K der Charakter der Turbulenz in der Randschicht von Fusionsplasmen detailliert untersucht worden. Mit Hilfe von Multisonden-Anordnungen konnten die raumzeitlichen Eigenschaften der Driftwellenturbulenz nachgewiesen werden. Neuere Untersuchungen zeigen die Inhomogenität der Fluktuationen und des turbulenten Transports auf. Maßgeblich beteiligt an der Ausbildung der Turbulenz sind die geometrischen Eigenschaften des einschließenden Magnetfeldes. Neben der Stellaratoroptimierung unter neoklassischen Aspekten kann daher über die 3D Geometrie des Magnetfeldes auch Einfluss auf die mikroskopische Struktur der Turbulenz genommen werden. Der genaue Einfluss auf die Lokalität des turbulenten Transports ist von großer Bedeutung für das Verständnis des Zustroms von Teilchen und Energie in die Abschältschicht.

In diesem Beitrag werden gemessene Poloidalprofile turbulenter Fluktuationen und des Transports gerechneten linearen Anwachsrate von Driftwellen gegenübergestellt. Dem liegt ein einfaches Fluidmodell unter Berücksichtigung der Magnetfeldgeometrie zu Grunde. Ein eigens entwickelter Code liefert die zur Anwachsrate beitragenden Terme der Feldlinienkrümmung, magnetischen Verschönerung und metrischen Koeffizienten für komplexe Stellarator-Geometrien. Es findet sich eine Übereinstimmung von lokalen Transportmaxima und maximalen Anwachsrate. Einzelbeiträge werden differenziert betrachtet.

P 19.9 Mi 16:30 Foyer

**Comparison of Fast-Imaging and Probe Measurements** — ●TOBIAS BOETTCHER, GOLO FUCHERT, MIRKO RAMISCH, and ULRICH STROTH — Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart

Langmuir-probe systems with high spatial and temporal resolution are well established for turbulence measurements in the stellarator experiment TJ-K. As a complementary, non-intrusive diagnostics, a Photron-FASTCAM-SA5 high-speed camera is used. In this work the comparability of probe measurements and fast imaging is investigated.

The signal-to-noise ratio of the camera signal limits the dynamical range of detectable fluctuations. Meaningful signals are obtained for frame rates in the range of 150 up to 300 kfps. The light intensity of the 656,4 nm Helium emission line can be modelled as  $I \propto n_e^{1.6} T_e^{2.0}$ . The intensity from the full spectrum has been found to depend linearly on the plasma density. Since in TJ-K temperature fluctuations are negligible, intensity and ion-saturation current fluctuations are directly proportional. Cross-correlation analyses of camera data with respect to a fixed reference probe in the focal plane show high correlation values and reveal poloidally propagating structures if performed with all pixels of the 2D-camera image. The two-dimensional structure of the fluctuations from both, the correlation and conditional averaging analysis, turns out to be similar for probe and pixel data taken as reference. To benchmark the results of measurements with a single reference probe, a direct comparison with 2D probe measurements using an  $8 \times 8$  probe matrix will be presented.

P 19.10 Mi 16:30 Foyer

**Bolometrische Diagnostik am Stellarator TJ-K** — ●ANNE ZILCH<sup>1</sup>, EBERHARD HOLZHÄUER<sup>1</sup>, GREGOR BIRKENMEIER<sup>1</sup>, ULRICH STROTH<sup>1</sup> und DAHONG ZHANG<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institut für Plasmaphysik, Universität Stuttgart — <sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald

Ein Teil der Heizleistung in Plasmen geht durch elektromagnetische Strahlung verloren. Für Berechnungen von Energieeinschluss und Leistungsbilanz ist die Kenntnis der emittierten Strahlungsleistung daher unerlässlich. Zur Messung der vom Plasma emittierten Strahlungsleistung am Stellarator TJ-K wurde ein achtkanaliges Goldfolienbolometersystem aufgebaut und in Betrieb genommen. Die Sichtlinien des Bolometers erfassen einen Winkel von  $\pm 26^\circ$  in poloidaler Richtung und  $\pm 11^\circ$  in toroidaler Richtung. Damit können linienintegrierte Signale aus einem ganzen poloidalen Querschnitt aufgenommen werden. Gezeigt werden erste Parameterstudien, in denen die Mikrowellenleistung, der Gasdruck, die Gasart sowie die Magnetfeldkonfiguration variiert wurden. Zusätzlich zu den Bolometermessungen wurden Radialprofile der Elektronendichte und -temperatur mit Langmuir-Sonden gemessen und daraus mittels bekannter Ratenkoeffizienten radiale Emissivi-

tätsprofile erstellt. Aus den linienintegrierten Bolometersignalen sollen ebenfalls radiale Emissivitätsprofile numerisch rekonstruiert werden, die schließlich mit den Emissivitätsprofilen aus den Langmuir-Sondenmessungen verglichen werden können.

P 19.11 Mi 16:30 Foyer

**Turbulenzuntersuchung an TJ-K mit einer Hochgeschwindigkeitskamera** — ●GOLO FUCHERT, TOBIAS BOETTCHER, MIRKO RAMISCH und ULRICH STROTH — Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart

Am Torsatron TJ-K wird eine Hochgeschwindigkeitskamera (Photron FASTCAM SA5) eingesetzt werden um turbulente Fluktuationen zeitgleich auf einer großen Fläche mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung untersuchen zu können. Um ein Verständnis dafür zu erlangen, welche Informationen aus den Bilddaten gewonnen werden können, wurden folgende Untersuchungen durchgeführt: Es wurde die wellenlängenabhängige, nichtlineare Antwort der Kamera gemessen (Ereignisse die ein Pixel beim Einfall einer bestimmten Photonenanzahl detektiert). Außerdem wurde für Helium-Entladungen der Zusammenhang zwischen Lichtintensität und der Plasmadichte sowie der Elektronentemperatur ermittelt. Und es wurde begonnen, die Stellaratorgeometrie durch Projektion der Flussflächen und Feldlinien bei der Auswertung der Daten herauszurechnen.

In ersten Messungen an TJ-K konnten Strukturen in den normalisierten Bilddaten gefunden werden, die als Dichtefluktuationen interpretiert werden können. In Übereinstimmung mit Langmuir-Sondenmessungen propagieren die gefundenen Strukturen im Einschlussbereich in Richtung der diamagnetischen Drift der Elektronen und in der Abschältschicht in die entgegengesetzte Richtung. Weiterhin wird

der Beitrag der beobachtete Bewegung zum radialen Transport durch Ausnutzung der bekannten Magnetfeld-Geometrie untersucht.

P 19.12 Mi 16:30 Foyer

**Laser Induzierte Ablationsspektroskopie (LIAS) zur in-situ Charakterisierung der Wand in Fusionsexperimenten** — ●NIELS GIERSE<sup>1,2</sup>, S BREZINSEK<sup>1</sup>, T.F. GIESEN<sup>2</sup>, A. HUBER<sup>1</sup>, M. LAENGER<sup>1</sup>, R. LEYTE-GONZALES<sup>1</sup>, L. MAROT<sup>3</sup>, M. NAIM-HABIB<sup>4</sup>, V. PHILIPPS<sup>1</sup>, A. POSPIESZCZYK<sup>1</sup>, U. SAMM<sup>1</sup>, B. SCHWEER<sup>1</sup>, M. ZLOBINSKI<sup>1</sup> und DAS TEXTOR-TEAM<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner im Trilateralen Euregio Cluster, Jülich, Deutschland — <sup>2</sup>I. Physikalisches Institut, Universität zu Köln, Deutschland — <sup>3</sup>Department Physik, Universität Basel, Schweiz — <sup>4</sup>CEA-IRFM, Saint-Paul-lez-Durance, Frankreich

Für Fusionsexperimente ist die Kenntnis des Zustands der dem Plasma ausgesetzten Wand entscheidend: Dabei geht es insbesondere um die Einlagerung von Tritium in Materialablagerungen. Die Laserinduzierte Ablationsspektroskopie (LIAS) wird als eine in-situ, zeit- und orts aufgelöste Diagnostik im Labor sowie im Jülicher Tokamak TEXTOR untersucht.

Mittels eines Laserpulses im stabilen Ablationsregime um  $F \sim 8 J/cm^2$  wurden Teilchen von Graphitmaterial sowie W/C/Al/D2-Schichten aus der Wand in das Randschichtplasma von Textor bei gemittelten Dichten zwischen  $2.1$  und  $3.1 \cdot 10^{19} m^{-3}$  und  $I_p = 355 kA$  freigesetzt. Anhand der spektroskopischen Signale ist eine Identifizierung der freigesetzten Spezies im Falle der gemischten Schicht möglich. Bei Ablation von reinem Graphit wurde CI-CIII Linienstrahlung sowie  $C_2$  und  $C_3$ -Molekülemission beobachtet.

## P 20: Simulationsverfahren / Theorie/Modellierung II

Zeit: Donnerstag 10:30–13:00

Raum: HS H

**Hauptvortrag** P 20.1 Do 10:30 HS H  
**Zeitliche Struktur der Elektronenheizung in kapazitiven Entladungen** — ●DENNIS ZIEGLER — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, 44801 Bochum

Trotz ihres großen industriellen Anwendungspotenzials und langjähriger intensiver Forschung ist die zeitliche Dynamik von technischen Hochfrequenzplasmen noch immer nicht vollständig verstanden. Insbesondere die Frage nach den Mechanismen zur Einkopplung der elektrischen Energie in das Plasma, und die unmittelbar damit verbundene Frage nach der Heizung des Plasmas, kann bis heute nicht vollständig beantwortet werden. Speziell die bei niedrigem Gasdruck von einigen Pascal auftretenden selbstregierten kollektiven Resonanzen sind durch klassische lineare Modellansätze nicht zu erklären. Auf der Basis eines nichtlinearen globalen Modells für kapazitiv gekoppelte asymmetrische Mehrfrequenzentladungen wird zunächst ein Experiment nachgebildet und anschließend ein gemessener Hochfrequenzstrom approximiert. Ausgehend von der bestmöglichen Approximation eines im Experiment fließenden Hochfrequenzstroms, kann die zeitliche Dynamik der gesamten Entladung auf der Skala der Hochfrequenzanregung und dabei insbesondere die Elektronenheizung untersucht werden. Die Anregung der sogenannten Plasmaserienresonanz und die damit verbundene nichtlineare Elektronenresonanzheizung stehen dabei im Zentrum der Betrachtungen.

**Hauptvortrag** P 20.2 Do 11:00 HS H  
**First Principle Simulations of Strongly Correlated Classical and Quantum Plasmas** — ●PATRICK LUDWIG — Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, Kiel

Due to the tremendously fast development of digital computers in the last decades, particle-based bottom-up approaches such as Molecular Dynamics or Monte Carlo methods have become standard tools, which allow to treat interactions and strong many-body correlations without mathematical simplifications - from first principles.

In my talk I will consider two types of strongly correlated multi-component plasmas: (i) spherically confined complex (dust) plasmas, and (ii) two-component quantum plasmas in semiconductors and warm dense matter (WDM). By changing the plasma parameters (temperature, density, mass-ratio of the different plasma constituents) or the effective range of the pair interaction both considered systems can be

tuned from a weakly coupled state to a strongly coupled, crystal-like phase.[1,2] Despite their completely different nature and their occurrence on completely different length and energy scales both systems are found to share various collective structural, spectral, as well as dynamical features which is due to the governing role of Coulomb interaction and finite size effects.[3]

But also the effect of dynamical screening and the formation of wake field potentials, which is a well known effect in streaming classical dusty plasmas[4], is recovered in two-component electron-ion plasmas with strong impact on the structure formation in strongly correlated WDM. A scheme which allows to compute the dynamics of strongly correlated classical ions embedded into a partially ionized quantum plasma by first principles molecular dynamics is presented.[5]

[1] Introduction on Complex Plasmas, M. Bonitz, N. Horing, and P. Ludwig (eds.), Springer 2010 [2] Ludwig et al., Plasma Phys. Control. Fusion 52, 124013 (2010) [3] Ludwig et al., New Journal of Physics 10, 083031 (2008) [4] Lampe et al., IEEE Trans. Plasma Sci. 33, 57 (2005) [5] Ludwig et al., J. Phys. Conf. Series 220, 012003 (2010)

P 20.3 Do 11:30 HS H

**Numerische Simulation von Metall-Schutzgas-Schweißen unter Berücksichtigung des Metaldampfes** — ●ANDREAS SPILLE-KOHOFF<sup>1</sup>, MICHAEL SCHNICK<sup>2</sup> und MARTIN HERTEL<sup>2</sup> — <sup>1</sup>CFX Berlin Software GmbH, Berlin, Deutschland — <sup>2</sup>TU Dresden, Dresden, Deutschland

Die numerische Simulation des Schweißlichtbogens, also der Strömung und der Verteilung von Temperatur, elektrischem Strom und Gaskonzentrationen unter Berücksichtigung von Strahlung, Lorentzkraft, Entmischung und Fallgebietsvorgängen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Dabei stimmen die Ergebnisse von Wolfram-Schutzgas-Schweißen im allgemeinen sehr gut mit experimentellen Messungen, z.B. der Temperaturverteilung im Lichtbogen mittels Spektroskopie, überein.

Beim Metall-Schutzgas-Schweißen konnten allerdings noch erhebliche Abweichungen zwischen Messungen und Simulation festgestellt werden, die im wesentlichen aus der variablen Elektrodenform (abschmelzender und abtropfender Draht) und aus einer hohen Metaldampfkonzentration im Lichtbogen resultieren. Der Vortrag gibt einen Einblick in die Schweißprozesssimulation mit einem kommerziellen CFD-Programm und zeigt aktuelle Ergebnisse der Simulation von Metall-Schutzgas-Schweißen unter Einbeziehung des entstehenden Me-

talldampfs. Hierdurch konnten aus Messungen bekannte Besonderheiten wie die niedrigere Temperatur im Lichtbogenkern nachvollzogen und physikalisch begründet werden.

P 20.4 Do 11:45 HS H

**Monte Carlo Simulation of the Breakdown in Copper Vapor at Low Pressure** — DIRK UHRLANDT<sup>1</sup>, DETLEF LOFFHAGEN<sup>1</sup>, and •KAI HENCKEN<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V. (INP), Felix-Hausdorff-Str. 2, D-17489 Greifswald — <sup>2</sup>ABB Switzerland Ltd, Corporate Research, Segelhof 1, CH-5405 Dättwil, Switzerland

The breakdown conditions of copper vapor at low pressure are studied in a Monte Carlo simulation of electrons, copper ions and atoms. This is of interest for the dielectric breakdown strength of a vacuum interrupter after current zero, where hot vapor is still evaporated from the electrodes. In a one dimensional simulation the movement and the multiplication of electrons, ions and fast atoms in inelastic collisions and ionization processes are followed taking into account the atomic cross sections to excited atomic states, as well as, the ionization cross section to single and double charged ions. The secondary electron emission due to the heavy particles is calculated by following them until they reach the cathode and taking into account energy and charge state. By scanning a large range of gas densities and electric voltages, the boundary of the breakdown region has been determined. A lower limit for the critical voltage is found corresponding to the usual Paschen curve. In addition an upper limit was found, which is due to the increase of runaway electrons, which at high energies cross the whole gap without collisions with the atoms. In addition the simulation allows studying detailed energy distributions of both electrons and ions across the gap.

P 20.5 Do 12:00 HS H

**Evaporation cooling of electrons in the argon afterglow** — •TSANKO TSANKOV<sup>1</sup>, YUSUF CELIK<sup>1</sup>, DIRK LUGGENHÖLSCHER<sup>1</sup>, UWE CZARNETZKI<sup>1</sup>, and MITSUTOSHI ARAMAKI<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany — <sup>2</sup>Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University, 464-8603, Japan

In various investigations of the afterglow of noble gas plasmas effective cooling by “evaporation” of hot electrons across the boundary sheath potential has been identified. In our recent experiments on the afterglow of a planar ICP discharge in Argon at low pressure (1 Pa) enhanced recombination indicates electron temperatures in the range of 0.1 eV. Cooling has been verified experimentally by measurements of the decay of the ion energy at the wall. A 2D fluid-dynamic simulation and an analytical model are in good agreement and identify clearly “evaporation cooling” as the dominant effect. The time scale of the effect is obtained to be of the order of 10  $\mu$ s, well in agreement with the experimental results.

P 20.6 Do 12:15 HS H

**Plasma walls beyond the perfect absorber approximation for electrons** — •FRANZ X. BRONOLD, RAFAEL L. HEINISCH, and HOLGER FEHSKE — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17489 Greifswald, Germany

Plasma walls accumulate electrons more efficiently than ions leading to wall potentials which are negative with respect to the plasma potential. Theoretically, walls are usually treated as perfect absorber for electrons and ions implying perfect sticking of the particles to the wall and infinitely long desorption times for particles stuck to the wall. For electrons we question the perfect absorber model and calculate, specifically for a planar dielectric wall, the electron sticking coefficient  $s_e$  and the electron desorption time  $\tau_e$ . For the uncharged wall [1][2] we find  $s_e \ll 1$  and  $\tau_e \approx 10^{-4}$ s. Thus, in the early stage of the build-up of the wall potential, when the wall is essentially uncharged, the wall

is not a perfect absorber for electrons. For the charged wall [3] we find  $\tau_e^{-1} \approx 0$ . Thus,  $\tau_e$  approaches the perfect absorber value. But  $s_e$  is still only of the order of  $10^{-1}$ . Calculating  $s_e$  as a function of the wall potential and combining this expression with the quasi-stationary balance equations for the electron and ion surface densities we find the self-consistent wall potential, including surface effects, to be 30% of the perfect absorber value.

- [1] R.L. Heinisch *et al.*, Phys. Rev. B **81**, 155420 (2010)
- [2] R.L. Heinisch *et al.*, Phys. Rev. B **82**, 125408 (2010)
- [3] F.X. Bronold *et al.*, IEEE Trans. Plasma Science, accepted (2010)

P 20.7 Do 12:30 HS H

**Funktionalanalytische Lösung des fluiddynamischen Modells der Multipolresonanzsonde** — •JENS OBERRATH, MARTIN LAPKE, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Aktive Resonanzspektroskopie stellt eine industriekompatible Plasma-diagnostik dar und wurde in der Vergangenheit in vielen unterschiedlichen Bauformen realisiert [1]. Mit Hilfe funktionalanalytischer Methoden kann eine allgemeine mathematische Lösung für beliebige Bauformen hergeleitet werden. Die Analyse erlaubt eine Interpretation dieser Lösung als elektrische Ersatzschaltung und zeigt zum einen die allgemeine Resonanzfähigkeit des Systems und zum anderen eine komplizierte Resonanzstruktur, die eine einfache und eindeutige Auswertung einer Messung bei unterschiedlichen Bauformen erschwert.

Die Multipolresonanzsonde stellt ein optimiertes Konzept der aktiven Resonanzspektroskopie dar, indem die Probleme der schwierigen und nicht eindeutigen Auswertung durch Symmetrie in der geometrischen Bauform und der elektrischen Ansteuerung behoben sind [2]. Für eine einfache Auswertung der Resonanzstruktur ist eine analytische Beschreibung der Systemantwort nötig. Dieser Beitrag zeigt die Herleitung der Systemantwort auf der Basis funktionalanalytischer Methoden. Aufgrund der besonderen Symmetrien kann ein vollständiges Orthonormalsystem aufgestellt und die benötigte Systemantwort berechnet werden.

- [1] Braithwaite *et al.*, Plasma Sources Sci. Technol. **18**, 014008 (2009)
- [2] Lapke *et al.*, Appl. Phys. Lett. **93**, 051502 (2008)

P 20.8 Do 12:45 HS H

**Simulation elektromagnetischer Effekte in kapazitiv gekoppelten Plasmen** — •DENIS EREMIN, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF-PETER BRINKMANN — Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801, Bochum

Industrielle Forderungen führen zu immer größeren Abmessungen und höheren Betriebsfrequenzen von kapazitiv gekoppelten Entladungen. Die dadurch entstehenden elektromagnetischen Effekte verursachen Inhomogenitäten, die industrielle Prozesse erheblich beeinträchtigen können. Da solche elektromagnetische Effekte sehr nah mit der komplexen Plasmadynamik in Plasmabulk und Plasmarand verbunden sind, kann man sie am besten im Rahmen eines selbst konsistenten Modells behandeln, das gleichzeitig die Evolution von Feldern und Teilchen beschreibt. Bislang hat es in der Literatur kein solches Modell gegeben.

In diesem Beitrag demonstrieren wir ein mögliches Verfahren, die elektromagnetischen Effekte zusammen mit kinetischen Prozessen in Plasmen vollkommen selbst-konsistent zu simulieren. Dafür benutzen wir eine Particle-in-cell Methode mit Monte-Carlo Stößen (PIC/MCC), wobei die elektromagnetische Felder im Rahmen der Darwin-Näherung berechnet werden. Diese Näherung setzt voraus, dass die Anlagen klein gegen die Vakuumwellenlänge der eingekoppelten Hochfrequenz sind, was in technischen Plasmen in meisten Fällen gut eingehalten ist. Die Randbedingungen in unserem Verfahren sind einfach zu implementieren und erlauben auch ein externes Netzwerk direkt anzukoppeln. Erste Ergebnisse des parallelisierten auf GPU PIC/MCC Codes werden präsentiert.

## P 21: Diagnostik / Plasma-Wand-Wechselwirkung

Zeit: Donnerstag 10:30–12:55

Raum: HS C

### Hauptvortrag

P 21.1 Do 10:30 HS C

**Wandmaterial im Grenzbereich - Einsatz von Wolfram in einem Fusionsreaktor** — •J.W. COENEN und DAS TEXTOR-TEAM — Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner

im Trilateralen Euregio Cluster, Jülich, Deutschland

Wolfram wird aufgrund geringer Erosion, hohem Schmelzpunkt und Aktivierungstoleranz typischerweise als Material für zukünftige Fusionsreaktoren favorisiert. Als Wandmaterial führt es aber zu Limitierungen im Bezug auf den Tokamakbetrieb und die Performanz eines

Fusions-Plasmas. Studien zu Materialbelastbarkeit unter transienten und konstanten Wärmelasten sind essentiell für die Entwicklung zukünftiger Wandkomponenten. Mit den Untersuchungen verbunden ist die Studie des Schmelzverhaltens, der Möglichkeit des Materialverlustes während potentieller Schmelzereignisse, sowie der damit einhergehenden Materialveränderungen und deren Folgen für den nachfolgenden Betrieb. Dieser Beitrag beinhaltet allgemeine Aspekte betreffend Wolfram als Wandmaterial fokussiert auf Analysen zu Schmelz- und Materialverhalten. Dies berührt diagnostische Methoden zur Infrarot-Thermographie von Wolframoberflächen, spektroskopische Messungen zur Bestimmung der Wolframquelle sowie Methoden zur Materialqualifizierung unter hohen Wärmelasten. Es kann gezeigt werden das Schmelzen des Wandmaterials zu einer drastischen Verschlechterung der Handhabung von Wärmelasten führt. Damit einhergeht die Entstehung einer mit Verdampfung vergleichbaren Wolframquelle und Veränderungen in der Materialstruktur bis hin zur Bildung grosser Blasen.

**Hauptvortrag** P 21.2 Do 11:00 HS C  
**Oberflächenreaktionen an der ersten Wand von Fusionsmaschinen - Von den Einzelprozessen zur Modellierung** —  
 •CHRISTIAN LINSMEIER, MATTHIAS REINELT und KLAUS SCHMID —  
 Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching b. München

Auf der Grundlage langjähriger Studien zur Plasma-Wand-Wechselwirkung (PWW) wurden für die erste Wand von ITER die drei Elemente Be, C und W gewählt. Durch Erosion, Transport im Plasma und Redeponierung entstehen Oberflächenverbindungen, die gegenüber den reinen Elementen andere physikalische und chemische Eigenschaften aufweisen. Um die die Entwicklung der ersten Wand im Betrieb vorhersagen zu können, sind detaillierte Kenntnisse der physikalischen und chemischen Oberflächenprozesse erforderlich. In Laborexperimenten wurden thermische und ioneninduzierte Elementreaktionen in binären und ternären Stoffsystemen studiert. Als Ergebnis sind viele Einzelreaktionen durch Aktivierungsbarrieren und reaktionskinetische Daten beschreibbar. Diese bilden die Grundlage für eine Modellierung der Bildungs- und Zersetzungsreaktionen als Funktion von Temperatur und verfügbaren Spezies. Eine parametrisierte Form dieser Prozesse erlaubt schließlich die Integration der Oberflächenreaktionen in ein globales Modell, das die Zusammensetzung der ersten Wand sowie die Erosionsflüsse im Gleichgewicht beschreibt - und damit die Vorhersage der Verunreinigungskonzentrationen im Plasma erlaubt.

**Fachvortrag** P 21.3 Do 11:30 HS C  
**Effektive Ratenkoeffizienten für die Ladungsaustauschspektroskopie an H-ähnlichem Argon** — •T SCHLUMMER, O MARCHUK, W BIEL und D REITER — Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner im Trilateralen Euregio Cluster, Jülich, Deutschland

Die Ladungsaustauschspektroskopie (CXRS) ist eine etablierte Methode zur Bestimmung von Verunreinigungsdichten in Fusionsplasmen. Bei der CXRS werden neutrale Wasserstoffatome in das Plasma injiziert, die über Ladungsaustausch (CX) ihr Elektron an die hoch ionisierten Verunreinigungen abgeben. Letztere sind nach der Rekombination i. d. R. hoch angeregt und emittieren Strahlungskaskaden. Die Linienintensität ist proportional zur Dichte der Verunreinigungionen und zum effektiven Ratenkoeffizienten für den Ladungsaustausch ( $Q_{eff}^{cx}$ ). An ITER sollen die absoluten Dichten von z. B. Helium und Argon über CXRS gemessen werden. Durch die angestrebte Messgenauigkeit von 10% ergeben sich neue Anforderungen an die Datenqualität von  $Q_{eff}^{cx}$ . Unter Verwendung des Stoßstrahlungsmodells NOMAD<sup>a</sup> und auf Basis neuer CX-Querschnitte<sup>b</sup> wird  $Q_{eff}^{cx}$  für die sichtbaren Übergänge von Argon bzw. Helium berechnet. Im Falle von Argon liegen die Ergebnisse bei niedriger Dichte ca. um den Faktor 2 höher als die bisher verfügbaren ADAS-Daten. In der Abhängigkeit von den Plasmaparametern ergeben sich z. T. qualitative Unterschiede. <sup>a)</sup> Y Ralchenko, Y Maron (2001), J. of Quant. Rad. Transf. <sup>b)</sup> D R. Schultz et al. (2009), www-cfadc.phy.ornl.gov/eprints/argon2.html

P 21.4 Do 11:55 HS C  
**Wärmeflüsse in TEXTOR Limiterdisruptionen mit Gasinjektion** — •N. BAUMGARTEN, M. LEHNEN, J.W. COENEN, D. REITER, U. SAMM und DAS TEXTOR TEAM — Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Trilaterales Euregio Cluster, Jülich

Disruptionen, die im Tokamak den abrupten Abriss des Plasmastroms

darstellen, führen zum Verlust der gesamten im Plasma gespeicherten Energie auf kurzer Zeitskala. Die zwei Phasen einer Disruption sind der Energiequench, in dem die thermische Energie typischerweise innerhalb 1ms verloren geht und die Stromabfallphase, in der die magnetische Energie in einer Zeitspanne von bis zu mehreren 10ms abgebaut wird. Die resultierenden hohen Wärmelasten stellen eine Gefahr für die Wandmaterialien, insbesondere für den zukünftigen Experimentalreaktor ITER dar. Eine Abschwächungsmöglichkeit, liegt in der schnellen Injektion großer Mengen Edelgas. Untersuchungen mit einer schnellen Infrarotkamera zeigten, dass in Disruptionen ohne Gasinjektion, sowie für Heliuminjektionen ca. 50% der thermischen Energie auf dem toroidalen Limiter in TEXTOR deponiert werden. Dies kann mit Neon- oder Argoninjektionen durch erhöhte Abstrahlung auf 30% reduziert werden. In der Stromabfallphase wurde für alle Disruptionen eine unerwartet hohe Energiedeposition von bis zu 50% der magnetischen Energie beobachtet. Da sich die Wärmebelastung über die deponierte Energie und über die räumliche Verteilung definiert, wäre eine Vergrößerung der vom Plasma benetzten Fläche von Vorteil. Diesbezüglich wurden Messungen an einem Testlimiter durchgeführt.

P 21.5 Do 12:10 HS C  
**The impact of thermo-oxidative wall cleaning in the DIII-D tokamak on performance of mirrors for ITER diagnostics** — •MARIA MATVEEVA<sup>1</sup>, ANDREY LITNOVSKY<sup>1</sup>, DMITRY RUDAKOV<sup>2</sup>, VOLKER PHILIPPS<sup>1</sup>, CHRIS CHROBAK<sup>3</sup>, and THE DIII-D TEAM<sup>2</sup> — <sup>1</sup>Institute of Energy and Climate Research - Plasma Physics, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner in the Trilateral Euregio Cluster, Jülich, Germany — <sup>2</sup>University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093-0417, USA — <sup>3</sup>General Atomics, San Diego, CA 92186-5608, USA

Tritium retention in future fusion devices such as ITER is a critical issue for the machine availability. Thermo-oxidation is one of the promising techniques for tritium removal from carbon based co-deposits. To investigate possible collateral effects of thermo-oxidative wall cleaning on diagnostic components, metallic mirrors made from ITER-candidate materials were exposed in the DIII-D tokamak during an oxygen bake campaign. Molybdenum (Mo) and copper (Cu) mirrors were exposed for more than 2 hours in an oxygen-helium atmosphere (20% O<sub>2</sub> + 80% He) at temperatures 160°C and 350°C and in-vessel pressure of 13.3 mbar. For exposed mirrors, strong surface oxidation and corresponding drop of the reflectivity in ultraviolet and visible wavelength ranges were observed. The decrease of the specular reflectivity of Mo mirror was as high as 50%, while it reached even 90% in case of Cu mirror. These results cause concerns about the safety of optical components in ITER. The applicability of thermo-oxidative wall cleaning for ITER will be discussed in this contribution.

P 21.6 Do 12:25 HS C  
**Zersetzung von Kohlenstoffschichten in reaktiven Gasen zur Reduktion der Wasserstoffrückhaltung in Fusionsanlagen** — •SÖREN MÖLLER, ARKADI KRETER, VOLKER PHILIPPS und ULRICH SAMM — Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner im Trilateralen Euregio Cluster, Jülich, Deutschland

Plasmabegrenzende Wandmaterialien auf Kohlenstoffbasis können in Fusionsexperimenten zur effektiven Speicherung von strahlungsaktivem Brennstoff (Tritium) in amorphen hydrierten Kohlenstoffschichten (a-C:H) und damit zu einem Sicherheitsproblem führen. Die Kastellierung von Wandmaterialien verschärft das Problem weiter. In diesem Beitrag werden Arbeiten zur thermisch aktivierten Zersetzung der a-C:H Schichten mit reaktivem Neutralgas (O<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub>) vorgestellt. Mit a-C:D vorbeschichtete Aluminiumproben wurden in 4 Schlitzbreiten den reaktiven Gasen unter Variation von Gasdruck und Proben-temperatur ausgesetzt. Vorher-/Nachher-Untersuchungen der Schichten mit Kernreaktionsanalysen und Ellipsometrie wurden durchgeführt. Die Abtragungsraten hatten keine Abhängigkeit von der Schlitzbreite und -tiefe. Es zeigte sich ein Maximum der Abtragsrate mit O<sub>2</sub> bei 610K und 11mbar von 5,4E+15 C/cm<sup>2</sup>min bzw. 5,3E+15 D/cm<sup>2</sup>min. Es wurden allerdings etwa 5,5E+13 O/cm<sup>2</sup>min eingelagert. Die Abtragung war um etwa eine Größenordnung schneller als mit NH<sub>3</sub>, zudem bewirkte NH<sub>3</sub> die Ablösung der Schichten vom Substrat. Das beobachtete Verhalten deutet auf eine chemische Zersetzung des gesamten Schichtvolumens durch ein Porennetzwerk hin.

P 21.7 Do 12:40 HS C  
**Determination of edge radial electric fields via charge exchange recombination spectroscopy (CXRS) at ASDEX Up-**

**grade** — •E. VIEZZER, T. PÜTTERICH, R. DUX, R. M. McDERMOTT, and THE ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany

A new edge CXRS diagnostic, which utilizes one of the neutral heating beams, has been installed in the ASDEX Upgrade tokamak. The system provides highly resolved radial profiles ( $\sim 5$ mm) of impurity ion temperature, density and poloidal rotation, which are determined directly from the observed spectra, i.e. from the Doppler width, the Doppler shift and the line intensity. From these profiles, in conjunction with the data from a second edge CXRS diagnostic, which provides toroidal plasma rotation, the edge radial electric field ( $E_r$ ) can

be determined.  $E_r$  can be calculated using the radial force balance which relates  $E_r$  with  $\nabla p/n$  as well as with both poloidal and toroidal rotation. It is widely accepted that  $E \times B$  velocity shear is fundamental for suppressing edge turbulence thus, aiding the formation of the edge transport barriers and enabling the L-H transition. However, the origin and development of  $E_r$  is still an open issue. The  $E_r$  profile is determined in type-I ELMy H-mode discharges using CX measurements of several different fully ionized impurity ions. This provides a consistency check and validates the new CX system as all analyses must arrive at the same  $E_r$  profile regardless of the impurity species used. In addition, the effect of the recently installed resonant magnetic perturbation coils on the  $E_r$  profile is investigated.