

Fachverband Plasmaphysik (P)

Navid Mahdizadeh
 ABB Switzerland Ltd
 PPHV-TST
 Brown-Boveri-Straße 5
 8050 Zürich
 Schweiz
 navid.mahdizadeh@ch.abb.com

Übersicht der Hauptvorträge und Fachsitzungen

(Hörsäle HZO 30 und HZO 50; Poster Foyer Audimax)

Hauptvorträge

P 1.1	Mo	10:30–11:00	HZO 50	Transport in stark korrelierten Plasmen - Einfluss von externen Magnetfeldern — •TORBEN OTT
P 2.1	Mo	10:30–11:00	HZO 30	Impact of magnetic perturbation fields on tokamak plasmas — •SINA FIETZ, IVO CLASSEN, MARC MARASCHEK, WOLFGANG SUTTROP, HARTMUT ZOHN, THE ASDEX UPGRADE TEAM
P 3.1	Mo	14:00–14:30	HZO 50	The importance of impurity migration in present and future fusion experiments — •KLAUS SCHMID, GERD MEISL, KARL KRIEGER
P 3.2	Mo	14:30–15:00	HZO 50	Laserablation zur Echtzeitcharakterisierung der Wand in Fusionsexperimenten — •NIELS GIERSE
P 4.1	Mo	14:00–14:30	HZO 30	Plasmaoberflächentechnik zur Erzeugung bioaktiver Oberflächen — •MARTIN POLAK
P 9.1	Di	10:30–11:00	HZO 30	Oberflächenladungsmessungen an lateral strukturierten Barrierenentladungen — •ROBERT WILD, LARS STOLLENWERK
P 10.1	Di	10:30–11:00	HZO 50	Theorie und Simulation dichter Plasmen — •MARTIN FRENCH, ANDREAS BECKER, RONALD REDMER
P 11.1	Di	14:00–14:30	HZO 30	Cold atmospheric plasmas in medicine: basic mechanisms and practical applications — •THOMAS VON WOEDTKE
P 18.1	Mi	10:30–11:00	HZO 30	En route to matter-antimatter pair plasmas — •EVE V. STENSON, UWE HERGENHAHN, HOLGER NIEMANN, NORBERT PASCHKOWSKI, HARUHIKO SAITOH, JULIANE STANJA, THOMAS SUNN PEDERSEN, LUTZ SCHWEIKHARD, CHRISTOPH HUGENSCHMIDT, JAMES R. DANIELSON, CLIFFORD M. SURKO
P 19.1	Mi	10:30–11:00	HZO 50	Staubige Plasmen in Magnetfeldern — •MARIAN PUTTSCHER, ANDRÉ MELZER
P 20.1	Mi	14:00–14:30	HZO 30	Non-equilibrium Warm Dense Matter — •ANDREW NG
P 21.1	Mi	14:00–14:30	HZO 50	Turbulence optimisation in stellarator experiments — •JOSEFINE H. E. PROLL, BENJAMIN J. FABER, PER HELANDER, SAMUEL A. LAZERSON, HARRY E. MYNICK, PAVLOS XANTHOPOULOS
P 23.1	Mi	16:30–17:00	HZO 30	Physical Modeling and Numerical Simulation of Vacuum Switch Arcs — •NORBERT WENZEL
P 27.1	Do	14:00–14:00	HZO 30	Kalorimetrische Sonden und Kraftsonden zur Plasmadiagnostik — •THOMAS TROTTENBERG
P 29.1	Do	16:30–17:00	HZO 30	Abschwächung von Disruptionen in Tokamakplasmen durch massive Gasinjektion — •HANS RUDOLF KOSLOWSKI

Hauptvorträge des fachübergreifenden Symposiums SYOT

Das vollständige Programm dieses Symposiums ist unter SYOT aufgeführt.

SYOT 1.1	Di	10:40–11:20	HZO 80	Schichtsysteme für komplexe Anforderungen — •HANS BECKER
SYOT 1.2	Di	11:20–12:00	HZO 80	Surface Reactivity of Sputtered Complex Metal Nitride Films in Oxygen Containing Environments - The Surface Near Region of TiAlN(O) Coatings — •GUIDO GRUNDMEIER, CHRISTIAN KUNZE, MARTIN WIESING

SYOT 1.3	Di	12:00–12:40	HZO 80	Pluto Plus: Erhöhung der Qualität und Ausbeute optischer Beschichtungstechnologien — ●HARRO HAGEDORN
SYOT 2.1	Di	14:00–14:30	HZO 80	Charakterisierung des PIAD-Plasmas - aktueller Stand und neue Ansätze — ●JENS HARHAUSEN, DETLEF LOFFHAGEN, RÜDIGER FOEST
SYOT 2.2	Di	14:30–15:00	HZO 80	Untersuchungen an plasma-ionengestützt abgeschiedenen UV-Schichten auf Aluminiumoxidbasis — ●CHRISTIAN FRANKE, OLAF STENZEL, STEFFEN WILBRANDT, NORBERT KAISER, ANDREAS TÜNNERMANN
SYOT 2.3	Di	15:00–15:30	HZO 80	Deposition von SiO_x-Barrierschichten aus gepulsten Mikrowellenplasmen: Korrelation von Plasmadiagnostik und Schichtanalytik — ●PETER AWAKOWICZ, FELIX MITSCHKER, SIMON STEVES, NIKITA BIBINOV, BERKEM OEZKAYA, GUIDO GRUNDMEYER
SYOT 2.4	Di	15:30–16:00	HZO 80	Ansätze für einen adaptiven Ionenstrahl-Zerstäubungs-Prozess (IBS) — ●FLORIAN CARSTENS
SYOT 2.5	Di	16:30–17:00	HZO 80	Prozessüberwachung und Prozessregelung auf Basis der Multipolresonanzsonde — ●RALF PETER BRINKMANN
SYOT 2.6	Di	17:00–17:30	HZO 80	Computational approach to the design of amorphous metal oxide coatings for optical applications — THOMAS FRAUENHEIM, ●THOMAS KÖHLER, DETLEV RISTAU, HENRIK EHLERS, MARCUS TUROWSKI, MARC LANDMANN, EVA RAULS

Fachsitzungen

P 1.1–1.6	Mo	10:30–12:25	HZO 50	Dusty Plasmas I
P 2.1–2.6	Mo	10:30–12:25	HZO 30	Magnetic Confinement I
P 3.1–3.8	Mo	14:00–16:40	HZO 50	Plasma Wall Interactions
P 4.1–4.8	Mo	14:00–16:25	HZO 30	Plasma Technology I
P 5.1–5.19	Mo	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Low Temperature Plasmas
P 6.1–6.19	Mo	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Diagnostics
P 7.1–7.13	Mo	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Dusty Plasmas
P 8.1–8.1	Mo	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Laser Plasmas
P 9.1–9.8	Di	10:30–13:05	HZO 30	Diagnostics I
P 10.1–10.10	Di	10:30–13:15	HZO 50	Theory and Modelling I
P 11.1–11.6	Di	14:00–15:55	HZO 30	Low Temperature Plasmas I
P 12.1–12.6	Di	14:00–16:10	HZO 50	Helmholtz Graduate School for Plasma Physics I
P 13.1–13.3	Di	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Plasma Wall Interactions
P 14.1–14.17	Di	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Theory and Modelling
P 15.1–15.9	Di	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Magnetic Confinement
P 16.1–16.21	Di	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Helmholtz Graduate School for Plasma Physics
P 17.1–17.6	Di	16:30–18:30	Foyer Audimax	Poster Session - Plasma Technology
P 18.1–18.5	Mi	10:30–12:00	HZO 30	Low Temperature Plasmas II
P 19.1–19.4	Mi	10:30–11:55	HZO 50	Dusty Plasmas II
P 20.1–20.6	Mi	14:00–15:45	HZO 30	Laser Plasmas I
P 21.1–21.7	Mi	14:00–16:10	HZO 50	Theory and Modelling II
P 22.1–22.5	Mi	16:30–18:25	HZO 50	Helmholtz Graduate School for Plasma Physics II
P 23.1–23.6	Mi	16:30–18:25	HZO 30	Plasma Technology II
P 24.1–24.8	Do	10:30–12:40	HZO 50	Theory and Modelling III
P 25.1–25.7	Do	10:30–12:25	HZO 30	Low Temperature Plasmas III
P 26.1–26.8	Do	14:00–16:00	HZO 50	Plasma Technology III
P 27.1–27.8	Do	14:00–15:45	HZO 30	Diagnostics II
P 28.1–28.4	Do	16:30–17:30	HZO 50	Laser Plasmas II
P 29.1–29.3	Do	16:30–17:40	HZO 30	Magnetic Confinement II

Mitgliederversammlung Fachverband Plasmaphysik

Mittwoch, 04. März 12:30–13:30 HZO 30

P 1: Dusty Plasmas I

Zeit: Montag 10:30–12:25

Raum: HZO 50

Hauptvortrag P 1.1 Mo 10:30 HZO 50
Transport in stark korrelierten Plasmen - Einfluss von externen Magnetfeldern — ●TORBEN OTT — Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, CAU Kiel

Zu den wesentlichen dynamischen Eigenschaften eines Plasmas zählen die Transporteigenschaften Diffusion, Viskosität und Wärmeleitung. In schwach korrelierten Plasmen sind diese durch kinetische Effekte dominiert, wohingegen in stark korrelierten Plasmen Wechselwirkungsterme an Bedeutung gewinnen. Bei der gleichzeitigen Anwesenheit eines starken externen Magnetfeldes kommt es zu einer Brechung der Symmetrie und zu einer Kopplung unterschiedlicher Raumrichtungen durch das Zusammenspiel der starken Kopplung und der Magnetisierung. In diesem Beitrag sollen diese Effekte am Modell des Ein-Komponenten-Plasmas dargestellt werden.

[1] T. Ott and M. Bonitz, Phys. Rev. Lett. **107** 135003 (2011)

[2] G. Kudelis *et al.*, Phys. Plasmas **20** 073701 (2013)

[3] T. Ott *et al.*, Phys. Rev E **89** 013105 (2014)

Fachvortrag P 1.2 Mo 11:00 HZO 50
Vermessung des Wakes eines Staubpartikels — ●HENDRIK JUNG, OGUZ HAN ASNAZ, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Germany

Die Ionenströmung in der Plasmarandschicht beeinflusst die Wechselwirkung von Staubpartikeln. Die durch ein Partikel abgelenkten Ionen erzeugen eine positive Raumladungszone – den Wake. Dieser ist Ursprung attraktiver Kräfte zwischen negativ geladenen Partikeln. Die Modellierung der Wakestruktur ist Gegenstand vieler Arbeiten, wohingegen Experimente sich technisch bedingt bisher meist auf die Untersuchung der Wechselwirkung und der Anordnung von Partikeln in der Randschicht beschränken. Die phasenaufgelöste Resonanzmethode erlaubt die Untersuchung zweier vertikal übereinander in der Randschicht angeordneter Partikel [1]. Die messbaren Größen, die direkt mit dem Wake in Verbindung gebracht werden können, sind asymmetrische Kopplungskonstanten sowie die reduzierte Ladung des unteren Partikels. Ätzprozesse werden genutzt, um einen Masseverlust des unteren Partikels und damit eine Veränderung des Partikelabstandes zu erzielen, sodass die kontinuierliche Untersuchung des Systems mittels phasenaufgelöster Resonanzmethode die Vermessung der Wakestruktur erlaubt. Die Ergebnisse weisen auf eine deutliche Modifizierung des Wakes durch das elektrische Feld und die inhomogene Plasmaumgebung der Randschicht hin.

Gefördert durch die DFG im Rahmen des SFB-TR24, Projekt A2.

[1] J. Carstensen *et al.*, Phys. Plasmas **19**, 033702, 2012

P 1.3 Mo 11:25 HZO 50
Kristalline Staubströmungen in magnetisierten anodischen Plasmen — ●JOCHEN WILMS, TORBEN REICHSTEIN und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Der Staubeinschluss in magnetisierten anodischen Plasmen resultiert aus einem Gleichgewicht aus elektrostatischer und Ionenwindkraft, die ein ringförmiges Einschlusspotential bilden. Angetrieben von der Hallkomponente des Ionenwindes strömt der Staub aus der ursprünglichen Ruhelage entlang des Einschlusspotentials um einen zentralen staubfreien Bereich (Void) [1]. Die so entstehenden Staubtori weisen gravitationsbedingt ein komplexes Geschwindigkeitsfeld auf, welches durch 3D Molekulardynamik-Simulationen nachempfunden werden konnte. Weiterhin konnten mit Hilfe der Simulationen auch bis dato unbekannte Strömungsmodi identifiziert werden, so zum Beispiel die Anordnung der Partikel auf konzentrischen Schalen [2].

Die in diesem Beitrag vorgestellten experimentellen Untersuchungen zeigen, dass die Ordnung der Partikel in der Staubströmung maßgeblich von selbsterregten Staubbichtwellen beeinflusst wird, die in radialer Richtung durch den Torus propagieren. Durch Unterdrückung

dieser Wellen konnten die aus den Simulationen bekannten Schalenstrukturen auch im Realexperiment beobachtet werden. Eine ausführliche Analyse der Strömung auf Partikelebene zeigt darüber hinaus, dass sich die Staubpartikel in starrer, kristalliner Anordnung befinden. Gefördert durch SFB-TR24/A2.

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

[2] T. Reichstein *et al.*, Phys. Plasmas **18**, 083705 (2011)

P 1.4 Mo 11:40 HZO 50
Druckabhängigkeit der Kristallisation eines komplexen Plasmas unter Laborbedingungen — ●BENJAMIN STEINMÜLLER, CHRISTOPHER DIETZ und MARKUS THOMA — I. Physikalisches Institut, JLU Gießen

Der Einfluss des Neutralgasdrucks auf die Kristallisation von großen dreidimensionalen Plasmakristallen unter Schwerkraft wurde untersucht. Alle Experimente sind in der bewährten PKE-Nefedov Plasmakammer durchgeführt worden. Es wurden unterschiedliche Partikelgrößen und -materialien verwendet. Zur Analyse des Kristallisationsgrades und der Kristallstruktur wurden unterschiedliche Kriterien eingesetzt und untereinander verglichen.

P 1.5 Mo 11:55 HZO 50
Ladungsreduktion und Dichtewellen in nanostaubigen Plasmen — ●BENJAMIN TADSEN, MALTE JACOBSEN, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität, D-24098 Kiel, Germany

Die Reduktion der Ladung auf Partikeln in Plasmen mit hoher Staubbichte wird seit drei Jahrzehnten als „Havnes-Effekt“ diskutiert [1]. Er tritt ein, wenn der Havnes-Parameter, welcher das Verhältnis aus interner Staub- und externer Plasmadichte enthält, in die Größenordnung von Eins kommt. In unseren Experimenten wächst Staub mit Radien von wenigen hundert Nanometern in einer RF-Parallelplatten-Entladung, welche in einem Argon-Acetylen-Gemisch betrieben wird. Die so entstehenden Staubwolken haben Partikeldichten von einigen 10^{13} m^{-3} . Obwohl kleine Partikel einer größeren Neutraldämpfung unterliegen als große Partikel, zeigen sich im Experiment Dichtewellen, deren Frequenzen weit unterhalb der erwarteten Staub-Plasma-Frequenz von maximal aufgeladenen Staubpartikeln liegen. Mithilfe eines Hybrid-Modells aus Fluid- und kinetischem Ansatz für die Wellendispersion wird gezeigt, dass eine inhomogene Plasmadichte und ein inhomogenes Strömungsprofil der Ionen die Struktur der Welle quantitativ beschreiben können, wenn man davon ausgeht, dass die Mehrzahl der Elektronen des Plasmas auf die Staubpartikel verteilt sind und somit ein großer Havnes-Effekt vorliegt.

Gefördert durch die DFG via SFB-TR24, Teilprojekt A2.

[1] O. Havnes *et al.*, J. Geophys. Res. **89**, 10999–11003 (1984)

P 1.6 Mo 12:10 HZO 50
Selektive Modenanregung durch diffuse Lichtstreuung — ●DIETMAR BLOCK und JAN SCHABLINSKI — IEAP der CAU Kiel, Leibnizstr. 19, 24098 Kiel, Germany

Die Anregung von dynamischen Prozessen in komplexen Plasmen mit Hilfe von Lasern ist ein gängiges Verfahren. Hierbei nutzt man den Impulsübertrag der Photonen auf das Partikel bei direkter Beleuchtung. Dies impliziert eine stark lokalisierte Anregung, die meistens auf einzelne Partikel beschränkt ist. In diesem Beitrag wird die Möglichkeit untersucht, ausgedehntere Bereiche einer Staubbewölke mit Hilfe von diffus gestreutem Laserlicht anzuregen. Hierzu wird zunächst der Impulsübertrag auf die Partikel im Detail untersucht. Im zweiten Teil des Vortrages wird darauf aufbauend die Möglichkeit der selektiven Modenanregung durch diffus gestreutes Laserlicht diskutiert. Diese Forschungsarbeit wurde von der DFG im Rahmen des SFB TR24 Projekt A3b gefördert.

P 2: Magnetic Confinement I

Zeit: Montag 10:30–12:25

Raum: HZO 30

Hauptvortrag P 2.1 Mo 10:30 HZO 30
Impact of magnetic perturbation fields on tokamak plasmas — ●SINA FIETZ¹, IVO CLASSEN², MARC MARASCHEK¹, WOLFGANG SUTTROP¹, HARTMUT ZOHN¹, and THE ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Deutschland — ²FOM-Institute DIFFER, Nieuwegein, The Netherlands

Non-axisymmetric external magnetic perturbation (MP) fields arise in every tokamak e.g. due to not perfectly positioned external coils. Additionally many tokamaks, like ASDEX Upgrade (AUG), are equipped with a set of external coils, which produce a 3D MP field in addition to the equilibrium field. This field is used to either compensate for the intrinsic MP field or to influence MHD instabilities such as Edge Localised Modes (ELMs) or Neoclassical Tearing Modes (NTMs).

But these MP fields can also give rise to a more global plasma response. The resonant components can penetrate the plasma and influence the stability of existing NTMs or even lead to their formation via magnetic reconnection. In addition they exert a local torque on the plasma. These effects are less pronounced at high plasma rotation where the resonant field components are screened. The non-resonant components do not influence NTMs directly but slow down the plasma rotation globally via the neoclassical toroidal viscous torque.

The island formation caused by the MP field as well as the interaction of pre-existing islands with the MP field at AUG is presented. It is shown that these effects can be modelled using a simple forced reconnection theory. Also the effect of resonant and non-resonant MPs on the plasma rotation at AUG is discussed.

Fachvortrag P 2.2 Mo 11:00 HZO 30
Progress on HELIAS Systems Studies — ●FELIX WARMER¹, CRAIG D. BEIDLER¹, ANDREAS DINKLAGE¹, YUEHE FENG¹, JOACHIM GEIGER¹, RICHARD KEMP², PETER KNIGHT², FELIX SCHAUER¹, YURIY TURKIN¹, DAVID WARD², ROBERT WOLF¹, and PAVLOS XANTHOPOULOS¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, D-17491 Greifswald, Germany — ²Culham Centre for Fusion Energy, Abingdon, Oxfordshire, OX14 3DB, United Kingdom

In order to study and design next-step fusion devices such as DEMO, comprehensive systems codes are commonly employed. For the HELIAS-line, stellarator-specific models have been developed, implemented, and verified within the systems code PROCESS. This systems code ansatz is complemented by self-consistent modeling of plasma scenarios employing a predictive 1-D neoclassical transport code which has been augmented with a model for the edge anomalous transport based on 3-D ITG turbulence simulations.

This approach is investigated to ultimately allow one to conduct stellarator system studies, develop design points of HELIAS burning plasma devices, and to facilitate a direct comparison between tokamak and stellarator DEMO and power plant designs. The work reports on the progress towards these goals.

P 2.3 Mo 11:25 HZO 30
Origin and turbulence spreading of plasma blobs — ●PETER MANZ^{1,2}, TIAGO RIBEIRO², BRUCE SCOTT², GREGOR BIRKENMEIER^{1,2}, DANIEL CARRALERO², GOLO FUCHERT³, STEFAN MÜLLER², HANS WERNER MÜLLER², ULRICH STROTH^{2,1}, ELISABETH WOLFRUM², and THE ASDEX UPGRADE TEAM² — ¹Physik Department E28, Technische Universität München, Garching, Germany — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany — ³IJL, Université de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

The formation of plasma blobs is studied by analyzing their trajectories in a gyrofluid simulation in the vicinity of the separatrix. Most blobs arise at the maximum radial electric field outside the separatrix. In general, blob generation is not bound to one particular radial position or instability. The simulations show that the blob dynamics can be represented by turbulence spreading, which constitutes a substantial energy drive for far scrape-off layer turbulence and is a more suitable quantity to study blob generation compared to the skewness.

P 2.4 Mo 11:40 HZO 30

Zonalströmungen im Stellarator TJ-K — ●BERNHARD SCHMID¹, MIRKO RAMISCH¹ und ULRICH STROTH^{2,3} — ¹Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching — ³Physik-Department E28, Technische Universität München

Der Einschluss in Fusionsplasmen wird maßgeblich durch radialen turbulenten Transport von Dichte und Energie limitiert. Zonalströmungen tragen auf Grund ihrer Symmetrie nicht zum Transport bei. Außerdem können sie den radialen Transport durch Verscherung von Driftwellen verringern. Die Zonalströmungen werden dabei als sekundäre Instabilität von der umgebenden Turbulenz selbst generiert. Wirbelstrukturen werden verkippt und treiben die Scherströmung an, was zu einer Selbstverstärkung der Zonalströmung führt. Ein Maß für die Verkipfung ist der sogenannte Reynolds-Stress. Für den Antrieb der Zonalströmung muss der radiale Gradient des flussflächengemittelten Reynolds-Stress ungleich Null sein. Zur Untersuchung dieses Antriebsmechanismus wurden Messungen mit einem poloidalen Sondenkranz, bestehend aus 128 Langmuir-Sonden, im Stellarator TJ-K durchgeführt. Anhand benachbarter Sonden lassen sich die $E \times B$ -Geschwindigkeitskomponenten in radiale und poloidale Richtung messen. Somit ist es möglich den für den Antrieb wichtigen Reynolds-Stress auf zwei Flussflächen und gleichzeitig das poloidale Modenspektrum zu bestimmen. Mit konditionellem Mitteln wird der Reynolds-Stress-Antrieb gezeigt und seine Skalierung untersucht.

P 2.5 Mo 11:55 HZO 30

Perturbations of a microwave beam by plasma density fluctuations — ALF KÖHN¹, EBERHARD HOLZHÄUER¹, MIRKO RAMISCH¹, MATTHEW THOMAS², RODDY VANN², and ●JARROD LEDDY² — ¹Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie, Universität Stuttgart — ²York Plasma Institute, Department of Physics, York, U.K.

Microwave heating is a widespread tool in both high- and low-temperature plasmas. While high-temperature fusion plasmas are usually below cut-off density, allowing the microwave to propagate to the centre, this is different in low-temperature plasmas: the electromagnetic wave needs to couple to electrostatic waves at the plasma boundary if central heating is considered. The microwave beam is in either case interacting with the plasma boundary, by traversing it or by triggering mode conversion processes there. Due to the strong gradients of the density at the plasma boundary, the turbulence is largest there. In this work, we investigate the perturbation of a microwave beam by these density fluctuations. The fluctuations are created by a Hasegawa-Wakatani drift-wave turbulence model within the BOUT++ framework. The microwave simulations are performed with the full-wave code IPF-FDMC.

P 2.6 Mo 12:10 HZO 30

Experimental investigation of a rapidly moving arch-shaped plasma — ●SASCHA RIDDER, FELIX MACKEL, JAN TENFELDE, and HENNING SOLTWISCH — Ruhr-Universität Bochum

In the FlareLab experiment, rapidly evolving magnetic flux tubes are generated by igniting a pulsed-power discharge along an external circular magnetic field, producing an initially arch-shaped plasma, which expands into the vessel on a microsecond time scale. The plasma has its footpoints on the electrode surfaces where instability phenomena appear in the course of the discharge evolution. Eventually, the plasma arch loses its visible connection to the electrode surface, while the discharge current continues to rise. Interferometric and Rogowski coil measurements in different locations along the plasma arch revealed a different arch morphology than initially suspected based on CCD camera images. Interferometric data obtained in the footpoint region of the arch show high density gradients either in radial or in axial direction and link the dark regions above the electrodes to electron density depletion after the arch has lost its connection to the footpoints. Those measurements are accompanied by CCD camera images which in comparison with numerical simulations indicate a kink instability in the footpoint region of the plasma arch.

P 3: Plasma Wall Interactions

Zeit: Montag 14:00–16:40

Raum: HZO 50

Hauptvortrag

P 3.1 Mo 14:00 HZO 50

The importance of impurity migration in present and future fusion experiments — ●KLAUS SCHMID, GERD MEISL, and KARL KRIEGER — Max-Planck Institut für Plasmaphysik, Garching Germany

The plasma in the scrape off layer of magnetic confinement fusion plasmas is defined by the power and particle flux from the confined core plasma and by the recycling of hydrogen species and generation of impurities at the location where its open field lines intersect with plasma-facing wall components. The erosion of elements from these first wall elements is determined by physical or chemical sputtering by the incident particle flux or by sublimation at high temperatures. All of these processes also depend on the surface state (e.g. composition) which varies as material is eroded and subsequently re-deposited forming mixed-material layers.

Thus to describe the evolution of the first wall a coupled, self-consistent description of the particle sources at the surface and the migration of impurities in the plasma is required. To that end the WallDYN code was developed.

In this presentation the migration of two elements, Beryllium (Be) and Nitrogen (N), with rather different deposition properties will be compared by applying WallDYN to interpret experimental results from ASDEX-Upgrade and JET in ITER like Wall (JET-ILW) configuration. Finally based on this model benchmark an extrapolation of the expected Be co-deposition and N accumulation in ITER will be presented.

Hauptvortrag

P 3.2 Mo 14:30 HZO 50

Laserablation zur Echtzeitcharakterisierung der Wand in Fusionsexperimenten — ●NIELS GIERSE — Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich

Die hohen Teilchen- und Wärmeflüsse sowie hochenergetische Neutronen an der ersten Wand stellen eine große Herausforderung auf dem Weg zu einem kommerziellen Fusionskraftwerk dar und erfordern die Untersuchung von fortschrittlichen Wandmaterialien.

Die genannten Bedingungen erschweren zugleich die zeitaufgelöste Untersuchung der Materialien während der Plasmaexposition.

Die *in situ* Untersuchung mittels Laserstrahlung bietet einen Ausweg. Hierbei wird intensive Laserstrahlung auf eine zu untersuchende Stelle ($\ll 1 \text{ cm}^2$) im Fusionsexperiment geleitet. Die Laserstrahlung führt zur Ablation weniger hundert Nanometer des Materials. Das ablatierte Material kann zu Strahlung angeregt werden, entweder durch den Laserprozess selbst (Laser-Induced Break-Down Spectroscopy, LIBS) oder durch Wechselwirkung des Materials mit dem Fusionsplasma (Laser Induced Ablation/Desorption Spectroscopy, LIAS/LIDS).

Die Interpretation der quantitativen spektroskopischen Messung erfordert das detaillierte Verständnis der Abtragungs- und Anregungsprozesse.

Es wird ein Überblick über quantitative Ergebnisse der LIAS- und LIBS Methode aus TEXTOR- und Labormessungen gegeben sowie ein Programm zur gezielten Untersuchungen der relevanten Einzelprozesse vorgestellt.

Fachvortrag

P 3.3 Mo 15:00 HZO 50

Dynamik der Rückhaltung von Deuterium in Wolfram — ●SÖREN MÖLLER, BERNHARD UNTERBERG und SEBASTIJAN BREZINSEK — Forschungszentrum Jülich - Plasmaphysik

Die Rückhaltung von Wasserstoffisotopen in den Wandmaterialien von Fusionsreaktoren stellt ein wesentliches Problem für Brennstoffhaushalt und Materialeigenschaften im Fusionsreaktor dar. Die vorgestellten Experimente zeigen die zeitliche Dynamik der Inventare nach der Beladung von Wolfram.

Die Beladung des Wolframs erfolgt mit einem Deuteriumplasma mit Flussdichten von $3 \times 10^{21} \text{ D}/(\text{m}^2\text{s})$ und Ioneneinschlagsenergie von 100eV in der linearen Plasmaanlage PSI-2. Zur Inventarbestimmung wird in-situ Laserdesorption und ex-situ Kernreaktionsanalytik verwendet.

Die Inventarmessungen zeigen, dass etwa 80% des Deuteriuminventars innerhalb der ersten Stunde nach der Exponierung desorbiert. Das übrige Inventar wird langfristig gespeichert. Der Vergleich von polykristallinem mit nanokristallinem, plasmadeponierten Wolfram zeigt eine etwa 6fach größere Rückhaltung der nanokristallinen Struktur.

P 3.4 Mo 15:25 HZO 50

Modular Extension for Systems Codes for an Improved Calculation of the First-Wall Lifetime of DEMO — ●MITJA BECKERS, WOLFGANG BIEL, DETLEV REITER, and ULRICH SAMM — Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik

In the early design phase of a nuclear fusion demonstration power plant (DEMO), systems codes remain major tools for exploring the range of reasonable design parameters. Nevertheless present systems codes lack in estimating the lifetime of a reactor first-wall (FW). Hence an important criteria for feasibility assessment of a DEMO design is not yet included in system studies. For example charge exchange (CX) results in severe FW damage, if the magnetic configuration allows hot neutral particles to be formed in regions of hot plasma. Consequently these hot neutrals sputter a substantial amount of wall material, when impinging with energies above 1 keV. For these reasons a 1-dimensional (1d) Monte-Carlo (MC) code was developed for estimation of the lifetime of a DEMO full-tungsten (W) FW in the main chamber that calculated the sputtering of wall material by incident ions and secondary CX neutrals. Also, the code requested ion fluxes incident to the FW, and 1d radial profiles that were extended by an edge pedestal scaling, and described electron temperature and density. More important it determined the FW lifetime as a dependent property of the magnetic configuration. To sum up, the modular extension code was developed according to the specific demands of systems codes and was ultimately benchmarked with the well established 3d MC Code EIRENE.

P 3.5 Mo 15:40 HZO 50

Interaction of Deuterium Plasma with Sputter-deposited Tungsten Nitride Films — ●LIANG GAO^{1,2}, WOLFGANG JACOB¹, THOMAS SCHWARZ-SELINGER¹, ARMIN MANHARD¹, and GERD MEISL¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany — ²Ruhr-Universität, Bochum, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

N₂ seeding is frequently used for radiative power dissipation in fusion devices with full-tungsten divertor, such as ASDEX-Upgrade and JET. N implantation into W or redeposition of W in the presence of N may produce N-containing W surfaces. Magnetron-sputtered tungsten nitride (WN_x) films were exposed to deuterium (D) plasmas to mimic the interaction of D plasmas with such re-deposited layers. RBS and NRA were employed to measure the composition of WN_x, erosion by D plasma and D retention. D implantation was performed with ion energies below 215 eV at sample temperatures of 300 K and 600 K. Low energy Ar plasma exposure was combined with NRA measurements for D depth profiling in the uppermost nanometers. The experimental results are compared with SDTRIM.SP simulations. Results show that D was only retained within the ion penetration range for samples exposed at 300 K. At 600 K, the total amount of retained D decreases by 50% compared with 300 K and D diffuses beyond the implantation zone. Annealing of the WN prior to D implantation can partially heal the D trap-sites thus reducing the retained D in the implantation zone by about 10%.

P 3.6 Mo 15:55 HZO 50

Tiefenprofilanalyse zur präferentiellen Zerstäubung von exponierten Fe/W-Proben mittels Glimmlampenspektroskopie — ●JONATHAN STEFFENS, CHRISTIAN BRANDT, ARKADI KRETER, SÖREN MÖLLER, MARCIN RASINSKI und BERNHARD UNTERBERG — Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, D-52425 Jülich

Die Erosionsrate der ersten Wand in einem Fusionsreaktor muss minimiert werden, zum einen um die Lebensdauer zu erhöhen und zum anderen um die Verunreinigung des Plasmas zu vermeiden. Wolfram ist das Material der Wahl wegen der sehr kleinen Erosionsrate. Als Alternative wird der niedrig aktivierbare Stahl EUROFER untersucht, bei dem sich durch präferentielle Zerstäubung der Eisenmatrix die Wolframkonzentration an der Oberfläche erhöhen kann. Die vorgestellten Experimente zeigen Tiefenprofilanalysen von D-Plasma exponierten Fe/W-Proben, welche als Modellsystem für die präferentielle Zerstäubung im EUROFER dienen. Die Proben wurden in der linearen Plasmaanlage PSI-2 unter Variation der Oberflächentemperatur und Energie der auffallenden Ionen exponiert und anschließend wurde mittels

Glimmlampenspektroskopie das Tiefenprofil erstellt. Bei einer Proben-temperatur von 420K und 460K während der Exposition ist eine Erhöhung der Wolframkonzentration in oberflächennähe zu beobachten.

P 3.7 Mo 16:10 HZO 50

Exploring the Structure of the Modified Top Layer of Polypropylene during Plasma Treatment — ●CARLES CORBELLÀ, SIMON GROSSE-KREUL, and ACHIM VON KEUDELL — Ruhr-University Bochum, Bochum, Germany

Plasma modifications of polypropylene (PP) surfaces are analyzed by means of vacuum beam experiments. A plasma source provides Ar ion beams and a background of UV photons. Additionally, neutral oxygen beams are sent to perform reactive sputtering of PP. The etch rate and chemical state are monitored in real time by in situ Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. At the onset of Ar bombardment, PP shows high sputter yields, which decrease down to a constant etch rate indicating the formation of a modified top layer. The stationary top layer is modeled as combination of a pristine fraction plus a cross-linked fraction of amorphous hydrocarbon. Photon- and ion-dominated etch processes provide different cross-linking fractions, whereas the sputter efficiency is maximized at intermediate ion energies (200 eV).

P 3.8 Mo 16:25 HZO 50

Development of Smart Self-Passivating Tungsten Alloys as

Passive Safety Measure for Future Fusion Reactors — ●TOBIAS WEGENER¹, ANDREY LITNOVSKY¹, JENS BRINKMANN¹, FREIMUT KOCH², and CHRISTIAN LINSMEIER¹ — ¹Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, 42425 Jülich, Germany — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, D-85748 Garching

Due to its high melting point, low tritium retention and low erosion yield tungsten is a candidate material for the first wall of a future fusion reactor. In case of a so-called loss-of-coolant accident (LOCA) wall temperatures of about 1200 °C are predicted due to nuclear decay heat. The worst case scenario of the LOCA accompanied with air and water ingress, would lead to formation of highly volatile and radioactive tungsten trioxide (WO₃). A solution for this issue could be smart self-passivating tungsten alloys, which may prevent the formation of WO₃. Presently, ternary material systems with chromium and titanium are well characterized and show the best performance. In this contribution we show first results of new yttrium containing W-Cr-Y alloys produced by magnetron sputtering. These alloys are supposed to show oxidation rates similar to those of W-Cr-Ti, but with a higher content of W. First experiments of the new Ti-free alloy show an oxidation rate of $k_p = 4.7 \cdot 10^{-6} \text{ mg}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, which is about four orders of magnitude lower compared to those of pure W at 800 °C. Experimental results and simulations of evaporated material in the case of LOCAs will be presented.

P 4: Plasma Technology I

Zeit: Montag 14:00–16:25

Raum: HZO 30

Hauptvortrag

P 4.1 Mo 14:00 HZO 30

Plasmaoberflächentechnik zur Erzeugung bioaktiver Oberflächen — ●MARTIN POLAK — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP Greifswald), Greifswald, Deutschland

Der Einsatz von Gasentladungen zur Veredelung von Oberflächen und deren Eigenschaften ist seit vielen Jahrzehnten besonders für technische Anwendungen etabliert. Schwerpunkt hierbei sind Oberflächen mit hoher Härte und Abrasionsbeständigkeit, der Schutz vor Korrosion, Temperaturbeständigkeit, verbesserte Gleiteigenschaften, passgenaue Transmissions- und Reflektionseigenschaften, Diffusionsbarrieren, antifingerprint, antifogging sowie verbesserte Klebeigenschaften und Bedruckbarkeit. Im Bereich der Biomedizintechnik sind Gasentladungen ein vergleichsweise junges Thema und deutlich geringer vertreten, wobei die Möglichkeiten mindestens ähnlich vielschichtig sind. Es zählt neben der Härtung und Aktivierung von Oberflächen vorrangig die Beeinflussung der Wechselwirkung von Oberflächen mit Mikroorganismen (bspw. Bakterien, Pilzen oder Viren), Zellen und/oder Proteinen. Um diese Wechselwirkungen zu steuern, gibt es unterschiedliche Strategien. Die Rauheit spielt dabei eine wichtige Rolle, aber auch subtile Eigenschaften wie die Oberflächenchemie und somit die chemische Bindungsfähigkeit, die Ladung bzw. das elektrochemische Potenzial der Oberfläche aber auch die Auflösung der Oberfläche bzw. die Freisetzung spezieller Atome und Moleküle aus der Oberfläche sind essenziell. Im Rahmen des Vortrages wird ein Überblick über diese Strategien und daraus resultierend die Möglichkeiten der Plasmatechnologie im biomedizinischen Bereich gegeben.

Fachvortrag

P 4.2 Mo 14:30 HZO 30

Untersuchungen an einem kommerziellen Atmosphärendruck-Plasmajet — ●THORBEN KEWITZ¹, MAIK FRÖHLICH^{1,2}, JOHANNES VON FRIELING¹ und HOLGER KERSTEN¹ — ¹Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der CAU zu Kiel, Deutschland — ²Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V., Greifswald, Deutschland

Ein kommerzieller Atmosphärendruck-Plasmajet (Plamatreat GmbH) wurde mittels kalorimetrischer und optischen Diagnostiken untersucht. Der Plasmajet wird in verschiedenen Anwendungsgebieten unter anderem zur Reinigung, Aktivierung und Beschichtung von Oberflächen eingesetzt. Insbesondere bei der Behandlung von temperatursensiblen Materialien und bei der Beschichtung ist der Energieeintrag vom Plasmajet auf das Material ein wichtiger Parameter für die Kontrolle und Optimierung des Prozesses. Mit der für diesen Plasmajet angepassten kalorimetrischen Sonde wurde daher der Energieeintrag in Abhängigkeit von den Prozessparametern (Spannung, Gasfluss, Abstand, Frequenz) ermittelt.

Da mit einem solchen Plasmajet auch multifunktionelle a-C:H Schichten abgeschieden werden, wurde exemplarisch Acetylen, welches ein Zwischenprodukt von verschiedenen Präkursoren ist, als Präkursor verwendet. Die Konzentration des Acetylens wurde im Effluenten des Plasmajets mit einem Quantenkaskadenlaser experimentell bestimmt. Dabei kann der Verbrauch des Ausgangsmaterials durch Fragmentierung und folgender Deposition bzw. Partikelbildung über die Absorptionsintensität verfolgt werden.

P 4.3 Mo 14:55 HZO 30

Flexible Barrierschichten durch Multilagen a-C:H Schichten — ●MARKUS BROCHHAGEN, HENDRIK BAHRE, JAN BENEDIKT, MARC BÖKE und JÖRG WINTER — Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum

Barrierschichten auf Kunststoffen sind besonders in der Verpackungsindustrie von hohem Interesse. Um eine lange Reinheit des eingepackten Materials zu erhalten, ist eine gute Gasbarriere nötig, welche bei gängigen Kunststoffen wie PET nicht vorhanden ist. Zugleich müssen entsprechende Schichten dehnbar und flexibel sein. Weit verbreitete Siliziumoxidschichten haben eine gute Gasbarriere, sind jedoch hart und brüchig. Verschiedene ein- und zweilagige amorphe, wasserstoffhaltige Kohlenstoffschichten wurden in einem induktiv gekoppelten Plasma abgeschieden und auf ihre Eigenschaften durch uniaxiale insitu Zugversuche und Sauerstofftransmissionsmessungen (OTR) untersucht. Als Versuchsgas wurde Acetylen mit und ohne Argon-Beimischungen bei Drücken von 3 Pa verwendet. Bei niedrigen Leistungen von 100 W konnten Schichten mit hohen Dehnungstoleranzen abgeschieden werden. Diese können hierbei einen polymerartigen Charakter besitzen, zeigten sich bei den OTR-Messungen jedoch als sehr durchlässig. Mit höheren Leistungen können diamantartige Schichten erzeugt werden. Bei diesen Schichten konnte zwar eine hohe Gas-Barriere festgestellt werden, ihre Flexibilität ist aber gering. Mit der Kombination dieser Schichttypen wird versucht, eine Schicht mit hoher Gasbarriere und hoher Flexibilität zu erzeugen.

Gefördert durch DFG (SFB-TR 87, TP B2)

P 4.4 Mo 15:10 HZO 30

Untersuchung der Schichtdefekte in Siliziumoxid Barrierschichten auf Kunststoffen — ●FELIX MITSCHKER¹, SIMON STEVES¹, MARCEL RUDOLPH¹, MAXIMILIAN GEBHARD², ANJANA DEVI² und PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik (AEP), Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Germany — ²AG Chemie anorganischer Materialien, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Germany

Im Bereich der Barrierebeschichtung von Kunststoffen sind PE-CVD-

Schichten aus Siliziumoxid (SiO_x) von Bedeutung, da diese transparent sind und eine starke Verbesserung der Barrierewirkung bieten. Jedoch existiert eine resultierende Sauerstofftransmissionsrate (OTR) durch die SiO_x-Schichten. Dazu führen mikroskopische Defekte in den Schichten, die mit gängigen optischen Verfahren nicht visualisiert werden können.

Die hier abgeschiedenen SiO_x-Schichten werden hinsichtlich der Sauerstoffpermeationsrate und der vorhandenen mikroskopischen Defekte analysiert. Die Visualisierung der Defekte basiert auf einer Vergrößerung des Defektdurchmessers durch Ätzen des Kunststoffes mit einem reaktiven Sauerstoffplasma. Dabei dient die SiO_x-Schicht als Ätzmaste und unterhalb der Defekte entsteht eine kraterähnliche Struktur. Diese Strukturen werden mit einem Rasterelektronenmikroskop abgebildet. Defekte von verschiedenen Größen und Verteilungen werden beobachtet und die Defektdichte mit einer Mustererkennungssoftware bestimmt. Die Defektdichte wird mit der Schichtdicke, der OTR und verschiedenen Schicht- und Plasmazusammensetzungen korreliert.

P 4.5 Mo 15:25 HZO 30

Reaktive Sauerstoffspezies in einer für die Wundbehandlung entwickelten dielektrischen Barriereentladung — ●SABRINA BALDUS¹, DANIEL SCHRÖDER², NIKITA BIBINOV¹, VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN² und PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Lehrstuhl für Allgemeine Elektro- und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum — ²Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum

Die positive Wirkung von kalten Atmosphärendruckplasmen auf die Wundheilung konnte schon in zahlreichen klinischen Studien bewiesen werden. Der Fokus der aktuellen Forschung liegt in den exakten Wirkmechanismen dieser Plasmen. Eine in Luft gezündete dielektrische Barriereentladung (DBD) erzeugt eine Vielzahl an reaktiven Spezies. In dieser Studie wird eine DBD bestehend aus nur einer Elektrode verwendet. Als Gegenelektrode dient der menschliche Körper, sodass eine direkte Wechselwirkung mit der Wunde entsteht. Daher ist die genaue Kenntnis der produzierten Spezies und deren Flüsse auf die behandelte Oberfläche von essentieller Bedeutung. Der Fokus dieser Studie liegt auf atomarem Sauerstoff und Ozon. Die Dichte des atomaren Sauerstoffs wird mit Zwei-Photonen Laser-angeregter Fluoreszenz Spektroskopie gemessen, während die Ozondichte über optische Absorptionsspektroskopie bestimmt wird. Zusätzlich werden die Plasmaparameter der DBD mittels optischer Emissionsspektroskopie ermittelt. Die gemessenen Profile werden vorgestellt und verglichen sowie eine Abschätzung der Gefahr des entstehenden Ozons für den Menschen während einer Behandlung durchgeführt.

Gefördert durch die DFG (PAK 816 'PlACID').

P 4.6 Mo 15:40 HZO 30

Plasmoids for etching and deposition — ●RAMASAMY POTHIRAJA, JAN-WILM LACKMANN, PATRICK HERMANN, MAX ENGELHARDT, NIKITA BIBINOV, and PETER AWAKOWICZ — Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology, Ruhr-University Bochum, Bochum, Germany.

Plasmoids (self-sustained plasma entities) are produced by propagation of ionization waves in a filamentary discharge in argon as well as in the tail of plasma bullets in helium. Plasmoids are separated from plasma-bullet by trapping of ionization waves (plasma bullets) in the rare gas flow, and hence properties of plasmoids are studied. Plasmoids collect material by propagation through precursor containing gas mix-

ture as well as by etching of solid films. They transport the material, compress it, and produce crystals. If carbon material is collected by the plasmoids then diamonds are produced. Plasmoids propagate through small holes and slits as well as through glass materials. Their etching properties are used for the decontamination of micro-organisms. Ref: R. Pothiraja, N. Bibinov and P. Awakowicz, 2014 J. Phys. D: Appl. Phys. 47 315203 R. Pothiraja, N. Bibinov and P. Awakowicz, 2014 J. Phys. D: Appl. Phys. 47 455203

P 4.7 Mo 15:55 HZO 30

Correlation between Ion Transport and Plasma Oscillations in DC and HiPIMS discharges — ●ANTE HECIMOVIC, VOLKER SCHULZ VON DER GATHEN, ACHIM VON KEUDELL, and JÖRG WINTER — Institut für Experimentalphysik II

Recent findings show that plasma oscillations are commonly found in magnetrons, regardless of the power supply and power levels obtained. We present a comprehensive investigation of the oscillation properties in terms of amplitude, frequency and rotation direction using the 12 flat probes, installed azimuthally around the circular magnetron. The investigated discharge conditions encompass both DC and HiPIMS discharges with current density ranging from 0.5mA/cm² to 5A/cm². The results exhibit a wide spectrum of frequencies ranging from 250 Hz to 200 kHz. When the flat probes are negatively biased, the ion saturation current is collected and measured. The correlation between the observed oscillations and the ions transported away from the target allows establishing a qualitative understanding of the ion transport for wide range of discharge currents in DC and HiPIMS discharges. The results are compared with the Hall parameter, a measure commonly used to evaluate the cross-field transport, reducing from 16 in DC discharges to values of around 2 in HiPIMS discharge.

P 4.8 Mo 16:10 HZO 30

Reaktivgasregelung zur Abscheidung dielektrischer Schichten auf Basis der Multipolresonanzsonde — ●MORITZ OBERBERG, TIM STYRNOLL und PETER AWAKOWICZ — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum

Plasmaentladungen finden in vielen Bereichen der modernen Industrie Anwendung. So werden z.B. Sputteranlagen mit kapazitiver Leistungseinkopplung und verschiedenen, gleichzeitig eingesetzten Leistungsquellen zur Schichtabscheidung von harten, verschleißfesten, reibungs- und korrosionsbeständigen Schichten eingesetzt. Bei Reaktivgasprozessen ist häufig ein Hystereseverhalten zu beobachten, welches auf eine Bedeckung des Targets mit Reaktivgas zurückzuführen ist. Dies hat u.a. eine Modifizierung des Sekundärelektronenemissionskoeffizienten der Targetoberfläche zur Folge. Um definierte keramische Schichten kontrolliert auf einem Substrat abzuscheiden, werden zur Zeit Spektrallinien des gesputterten Targetmaterials im Volumen zur Prozessregelung ermittelt. Hierbei bleibt jedoch eine Kopplung des Plasmas an das Substrat unberücksichtigt. Dieser Beitrag befasst sich mit der Regelung eines Reaktivgasprozesses zur Abscheidung dielektrischer Schichten in einem Multifrequenz CCP-Prozess auf Basis von Plasmaparametern. Um gezielt Plasmaparameter wie die Elektronendichte zu messen, wird die Multipolresonanzsonde eingesetzt. Die Elektronendichte im Plasma erlaubt Rückschlüsse auf den Sekundärelektronenemissionskoeffizienten des Targets und ermöglicht somit eine effizientere Prozessregelung, die Target- und Plasmaprozesse miteinander kombiniert.

P 5: Poster Session - Low Temperature Plasmas

Zeit: Montag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 5.1 Mo 16:30 Foyer Audimax

Antibacterial Copper Coating on Temperature Labile Surfaces with an Air-operated DC Plasma Jet — ●JANA KREDL¹, STEFFEN DRACHE², JUERGEN MÜLLER¹, RAINER HIPPLER², MAIK FRÖHLICH¹, and JUERGEN KOLB¹ — ¹Leibniz-Institute for Plasma Science and Technology (INP Greifswald e.V.) — ²Institute of Physics, Ernst-Moritz-Arndt University Greifswald, 17489 Greifswald

Surfaces can be easily coated, activated or etched with plasmas. But conventional approaches that are utilizing low pressure plasmas cannot be applied towards materials with low melting point. To coat temperature labile materials (e.g. acrylic glass or PVC) the plasma must be cold, i.e. plasma temperature should be close to room temperature.

We developed a system for the generation of a 'cold' plasma in a micro hollow cathode geometry that is operated with air. With this geometry a plasma jet is created when applying a dc high voltage of about 2 kV and a current of about 30 mA and a gas flow rate of 8 sLm. The expelled afterglow plasma approaches room temperature within a few millimeters from the orifice of the jet. The jet was used to deposit copper on acrylnitrile-butadiene-styrol (ABS). First studies show a linear dependency of the copper deposition rate on the energy that is dissipated in the plasma. The coatings have demonstrated an antibacterial effect which depends on the amount of copper deposited per area. A reduction of about 95% for the growth of Staphylococcus aureus was achieved accordingly.

P 5.2 Mo 16:30 Foyer Audimax

Einfluss der Plasmagittervorspannung auf die erweiterte Randschicht in HF-Quellen negativer Wasserstoffionen — ●CHRISTIAN WIMMER, URSEL FANTZ und NNBI TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching

Leistungsstarke Quellen negativer Wasserstoffionen werden für die Neutralteilchenheizung von ITER benötigt. Die Produktion negativer Ionen geschieht mittels Konversion von atomarem Wasserstoff und positiven Wasserstoffionen auf einem cäsiierten Gitter (Plasmagitter); für die Ionenquelle wichtige Prozesse wie die Produktion von H^- , deren Transport durch das Plasma und deren Extraktion finden dabei in der erweiterten Randschicht (Dicke: einige cm) vor dem Plasmagitter statt. Zur notwendigen Reduktion des aus der Quelle ko-extrahierten Elektronenstroms wird das Plasmagitter positiv vorgespannt, wodurch die Potentialdifferenz in der Plasmarandschicht und dadurch insbesondere der Elektronenfluss auf das Plasmagitter beeinflusst wird. Das sich hierdurch ändernde elektrische Feld beeinflusst in Kombination mit dem notwendigen magnetischen Filterfeld die Stärke der vertikalen Plasmadrift, womit die vertikale Plasmasymmetrie vor dem Plasmagitter verändert wird. Vorgestellt wird der Einfluss der Gittervorspannung auf die Plasmaparameter (Randschichtpotentialdifferenz, Plasmadichte, H^- -Dichte, vertikale Plasmasymmetrie) sowie auf die extrahierten Ströme (H^- , e^-) in der IPP Prototypquelle negativer Wasserstoffionen.

P 5.3 Mo 16:30 Foyer Audimax

Studies on plasma-microwave interaction in space and time: experiment and modelling — ●MARGARITA BAEVA, MATHIAS ANDRASCH, JÖRG EHLBECK, DETLEF LOFFHAGEN, and KLAUS-DIETER WELTMANN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany

The temporal and spatial evolution of a microwave induced plasma at a field frequency of 2.45 GHz in argon is studied at pressures of 20 and 40 millibars, flow rates between 200 and 500 sccm, and incident powers of up to 300 W. Experiments based on heterodyne reflectometry and microwave interferometry at 45.75 GHz provided the temporal behaviour of the complex reflection coefficient, the microwave power in the plasma, and the electron density in the afterglow zone. A self-consistent time-dependent, spatially two-dimensional model complements the analysis of the plasma-microwave interaction delivering the plasma and electromagnetic field parameters. The discharge is initiated by means of background electrons and ions at the pulse beginning. Modelling results and measured data show that the electron density, the volume occupied by the plasma, and the absorbed power increase with increasing power. Within 12 μs , the front edge approaches the source wall. The high electric field region is pushed in the same direction. A plasma core with an electron density of about $1 \times 10^{20} m^{-3}$ is observed. It moves towards the microwave when increasing the power level. The plasma expands in the downstream, being heated up to about 1400 K mainly due to elastic collisions between heavy particles and electrons and up to 30% due to convection.

P 5.4 Mo 16:30 Foyer Audimax

Current sheet dynamics during driven magnetic reconnection — ●ADRIAN VON STECHOW¹, OLAF GRULKE¹, and THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald — ²Ernst Moritz Arndt-Universität Greifswald

Magnetic reconnection is a ubiquitous plasma phenomenon which enables the release of accumulated magnetic energy by rapid changes in magnetic topology, thereby generating fast particles and allowing a wealth of instabilities to grow. A central feature is the formation of a localized current sheet along the X-line between opposed magnetic fields, of which the plasma parameters, boundary conditions and instabilities determine the rate at which reconnection proceeds. These quantities are characterized for two paradigmatic and complementary laboratory configurations: MRX (PPPL, Princeton) is a closed field line, toroidal device with a weak guide field. In contrast, VINETA II (IPP, Greifswald) is an open field line, linear and moderate to high guide field experiment. At comparable plasma parameters, similar features are observed in the microscopic fluctuations within both experiments, such as localization of the fluctuations within the current sheet, broadband frequency spectra with a spectral kink near the lower hybrid frequency and short correlation lengths. The current sheet parameters in both experiments are favorable for growth of the electrostatic lower hybrid mode, while magnetic dispersion measurements show whistler-like wave propagation along the magnetic field. These fluctuations are

found to be intrinsic to the localized current sheet and are independent of the slower reconnection dynamics.

P 5.5 Mo 16:30 Foyer Audimax

Mass spectrometry and simulation of the effluent of the micro atmospheric pressure plasma jet with water admixture — ●GERT WILLEMS, SIMON HÜBNER, SIMON GROSSE-KEUL, SIMON SCHNEIDER, JAN BENEDIKT, and ACHIM VON KEUDELL — Ruhr-Universität Bochum

One of the future applications of low temperature plasma is medical treatment or sterilisation. Such application requires thorough understanding and control of species densities and reaction chemistry in the plasma afterglow region. In particular the hydroxyl density is of interest due to its high reactivity in liquid environments. The micro atmospheric pressure plasma jet, when operated with <1% water admixed into helium, can produce OH radicals in controllable fashion. Previous experiments, combined with a global or 0D model, show a possible regime change, from an electro positive to an electro negative plasma, with increasing admixed water concentration. Positive and negative water clusters generated by the micro jet are measured with an ion mass spectrometer as indicator for this regime change.

P 5.6 Mo 16:30 Foyer Audimax

Manipulation of helium barrier discharges by laser surface interaction — ●SEBASTIAN NEMSCHOKMICHAL, ROBERT TSCHERSCH, and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

Barrier discharges are determined by the surface properties of the dielectrics and the deposited surface charges. To study the influence of the surface charges on the discharge, one idea is to release these charges from the dielectric by laser photons and to investigate the change in the subsequent discharge. This is done for a helium barrier discharge operating in the glow-like mode at a gap distance of 3 mm and a pressure of 500 mbar. The actual effect of the laser on the discharge behavior depends strongly on the laser pulse energy. For small laser pulse energies, it is possible to shift the discharge breakdown to earlier times when firing the laser in the pre-phase of the discharge. The laser probably releases only a small amount of electrons from the cathode, but these electrons produce additional ions in the gap and enhance the positive space charge significantly. Increasing the laser pulse energy further, a small laser induced current can be measured or the discharge is even triggered by the laser pulse. This contribution tries to quantify these effects by varying the laser pulse energy, the axial position of the laser in the gap, and the voltage phasing of the laser pulse. The results provide insights in the actual number of released charges from the surface and how they influence the discharge behavior.

P 5.7 Mo 16:30 Foyer Audimax

Current sheet formation during magnetic reconnection experiment — ●DUSAN MILOJEVIC¹, OLAF GRULKE¹, and THOMAS KLINGER^{1,2} — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM-Association, Wendelsteinstraße 1, D-17491 Greifswald — ²Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Felix-Hausdorff-Straße 6, D-17489 Greifswald

Magnetic reconnection is a plasma phenomenon in which a topological rearrangement of opposed magnetic fields leads to particle acceleration and heating. A central issue crucial to understanding magnetic reconnection rate is the understanding of the dynamics of the current sheet which forms along the magnetic X-line.

VINETA II is an open field line experimental setup dedicated to studies of magnetic reconnection. It uses straight internal conductors to drive the magnetic flux. A plasma gun, installed on one end of the X-line, acts as a current source for the reconnection current sheet, which forms in response to the inductive electric field along the X-line. The characteristics of the current sheet are crucial for the evolution of magnetic reconnection and is in VINETA strongly influenced by the plasma gun discharge and the details of the current closure.

In this contribution experimental results of the dependence of the reconnection current sheet on the plasma gun discharge and the external current closure are presented. An array of plasma guns are introduced, which strongly affect the geometry of the current sheet. Modifications of the external current closure circuit confirms its importance for the current sheet amplitude.

P 5.8 Mo 16:30 Foyer Audimax

Phasenabhängige Expansion der Emissionsstrukturen eines Mikroplasma-Arrays — ●SEBASTIAN DZIKOWSKI, JUDITH GOLDA

und VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN — Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum

Es wurden Mikroplasma-Arrays auf Metallbasis untersucht, die aus 34×34 Kavitäten mit einem Durchmesser von $100 \mu\text{m}$ bestehen und einen Abstand von $200 \mu\text{m}$ zueinander haben. Diese werden mit Argon nahe Atmosphärendruck betrieben und mit einer 10 kHz bipolaren Rampenspannung bis auf $700 V_{pp}$ beanschlagt. Mit phasenaufgelöster optischer Emissionsspektroskopie konnte unter normaler Aufsicht dasselbe phasenabhängige Verhalten beobachtet werden, wie bei den siliziumbasierten Arrays. Im Gegensatz zu diesen sind die Metallgitter-Arrays unempfindlich gegenüber Instabilitäten, was für die Anwendungen (Lab on-a-chip, Sterilisation) von Bedeutung ist. Mit räumlichen und zeitlichen PROES-Messungen wurde das normale und laterale Expansionsverhalten einer einzelnen Entladung untersucht. Vorhandene theoretische Modelle zum Expansionsverhalten konnten so teilweise bestätigt werden. Durch im expandierten Plasma entstehende Photonen werden danach benachbarte Kavitäten gezündet, was das kollektive Verhalten der Arrays erklären könnte. Gefördert durch die DFG im Rahmen der Forschergruppe FOR 1123 „Physik der Mikroplasmen“.

[1] J. Golda et al., I E Trans., Plas. Sci., 42, 2646 (2014)

[2] A. Wolny et al., Appl. Phys. Lett. 99, 141504 (2011)

P 5.9 Mo 16:30 Foyer Audimax

Einschlussgüte von hochenergetischen Beamelektronen in kapazitiven RF-Entladungen — ●SEBASTIAN WILCZEK¹, JAN TRIESCHMANN¹, RALF PETER BRINKMANN¹, JULIAN SCHULZE², EDMUND SCHÜNGEL², IHOR KOROLOV³, ARANKA DERZSI³, ZOLTÁN DONKÓ³ und THOMAS MUSSENBRÖCK¹ — ¹TET, Ruhr-Universität Bochum, Germany — ²Department of Physics, West Virginia University, Morgantown, USA — ³Wigner Research Center for Physics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

Die Dynamik von hochenergetischen Beamelektronen spielt in kapazitiven Hochfrequenz-Entladungen vor allem bei geringen Drücken eine wichtige Rolle. Diese gerichteten Elektronen werden durch die Randschichtexpansion beschleunigt und können bei einem geringen Elektrodenabstand ohne Stöße die gegenüberliegende Randschicht erreichen. Da die Energie der Beamelektronen durchaus größer ist, als die Ionisationsgrenze diverser Gase, sind diese essentiell wichtig, um das Plasma aufrecht zu erhalten. Es stellt sich somit die Frage, wie die Einschlussqualität für Elektronen an den Grenzflächen der Entladung ist. Bei einer geeigneten Wahl von Anregungsfrequenz, Plattenabstand und Druck können die Beamelektronen so beschleunigt werden, dass der Beam das Minimum der gegenüberliegenden oszillierenden Randschicht trifft. In diesem Fall überwinden die Beamelektronen das Randschichtpotential und gehen samt ihrer Energie an der Elektrode verloren. In dieser Arbeit wird im Rahmen von Particle-In-Cell Simulationen eine Frequenzvariation durchgeführt, um anschließend die Einschlussgüte der Elektronen über ein analytisches Modell zu diskutieren.

P 5.10 Mo 16:30 Foyer Audimax

Atomic processes in low-pressure argon afterglows — ●TSANKO VASKOV TSANKOV¹, RAINER JOHNSEN², and UWE CZARNETZKI¹ — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany — ²Department of Physics and Astronomy, University of Pittsburgh, Pittsburgh PA 15260, USA

Recently a comprehensive description of the kinetic processes in a low-pressure argon plasma afterglow was presented [1]. The experimental findings were supported by analytical models but some unknown quantities had to be adjusted by fitting the model predictions to experimental data. The main obstacle preventing a more quantitative description was the complex population dynamics of the excited states of the atoms in a recombination-dominated afterglow.

We have now remedied this problem by constructing a more complete collisional-radiative model of a recombining argon plasma. It allows the calculation of the population densities as well as of the net recombination rate. The model is coupled with the equations of the recombining plasma for the temporal evolution of the electron density and temperature. This allows a full *ab initio* calculation of the temporal evolution of a number of plasma characteristics, like the electron density and temperature as well as the metastable atom density. The calculated and measured temporal evolution of the various parameters are compared and an excellent quantitative agreement is found throughout. It is found that heating and cooling of the neutral gas has to be taken into account for an accurate fitting.

[1] Y. Celik et al., Phys. Rev. E **85** (2012) 056401

P 5.11 Mo 16:30 Foyer Audimax

He-metastable densities and N_2 afterglow in the pulsed constricted mode of the μAPP rf microjet (μAPPJ) — ●STEFAN SPIEKERMEIER¹, STEPHAN CHROMY², MARC BÖKE¹, and JÖRG WINTER¹ — ¹Institut für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum — ²IOT, RWTH Aachen

The rf-driven capacitively coupled μAPPJ is usually operated in the homogeneous α -mode. It tends to become unstable and switch to a bright local "arcing" mode (constricted mode) at high powers. In this mode, the chemical reactivity is enhanced but it will destroy the device, if it is not controlled. We have developed a technique in which the jet is repetitively driven into the constricted mode by either applying short rf-power pulses, or by triggering the transition with high power laser pulses. We have employed Broad Band Absorption Spectroscopy (BBAS) using the super-continuum radiation from a photonic fiber, pumped by a high power fs laser to measure quantitatively and space resolved the concentration of helium metastable atoms (He^*). Metastable densities in the order of 10^{13} cm^{-3} have been measured in the constricted mode exceeding the metastable densities in the α -mode by two orders of magnitude. When admixing a few percent N_2 to the He working gas, a confined orange afterglow is observed, extending from the nozzle of the jet for more than 20 cm. The afterglow is due to the (collisional) de-excitation of the metastable $N_2(A)$ state of the N_2 molecule at an excitation energy of about 6 eV. In the constricted mode the afterglow is much more pronounced than in the α -mode.

This work is supported by DFG (FOR1123)

P 5.12 Mo 16:30 Foyer Audimax

Effect of an axial magnetic field on the symmetry of a capacitively coupled plasma — ●FELIX DAVID KLUTE, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University, 44780 Bochum

An axial magnetic field is used to vary the symmetry and the corresponding DC selfbias of a capacitively coupled Radio-Frequency (CCRF) argon discharge, inside a GEC reference cell. The magnetic field confines the charged species of the plasma inside the gap volume. This decreases the effective size of the grounded electrode, therefore increasing the geometric symmetry of the discharge. To observe the influence of the magnetic field on the discharge, the DC selfbias is measured. Cases with and without a magnetic field are compared. Additionally, the spatial emissionprofile of the discharge using an Abel inversion method is measured. The effects of power and gas pressure variations are studied. The selfbias measurements as well as the optical characteristics show that application of a magnetic field can lead to a nearly symmetric discharge. For increasing plasma powers however, the magnetic confinement seems to be insufficient, most likely due to an increased drift of charged species outside of the gap volume, caused by Simon diffusion.

P 5.13 Mo 16:30 Foyer Audimax

Bestimmung der Plasmaparameter der Linac4-Ionenquelle des CERN mittels optischer Emissionsspektroskopie — ●STEFAN BRIEFI¹, DANIEL FINK², STEFANO MATTEI² und JACQUES LETTRY² — ¹AG Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg — ²Linac4 ion source team, CERN-ABP, 1211 Geneva 23

An Teilchenbeschleunigern werden Quellen negativer Wasserstoffionen zur Erzeugung von hochenergetischen Protonenstrahlen eingesetzt. Dabei werden H^- -Ionen aus einem Wasserstoff-Niederdruckplasma extrahiert, mit einer Stripping-Folie die beiden Elektronen abgestreift und die erhaltenen Protonen beschleunigt. Die Erzeugung von H^- kann dabei entweder über den Volumenprozess durch vibrationsangeregte Wasserstoffmoleküle oder über den Oberflächenprozess durch Konversion von Wasserstoffionen oder -atomen an einer mit Cäsium beschichteten Oberfläche erfolgen.

Um einen Einblick in die im Plasma ablaufenden Prozesse zu gewinnen, die zur Erzeugung bzw. Vernichtung von H^- -Ionen führen, ist die Kenntnis der relevanten Plasmaparameter unabdingbar. Daher wurden am Teststand der Ionenquelle des Linac4 spektroskopische Messungen der atomaren (Balmer-Serie) und molekularen (Fulcher-Übergang) Emission von Wasserstoff unter einer Variation der HF-Leistung bzw. des Drucks durchgeführt (ohne Einbringen von Cäsium in die Quelle). Eine Interpretation der gewonnenen Messergebnisse erfolgt durch die Stoß-Strahlungs-Modelle Yacora H bzw. Yacora H_2 , was die Bestimmung von Parametern wie n_e und T_e ermöglicht.

P 5.14 Mo 16:30 Foyer Audimax

Einfluss eines externen Magnetfeldes auf die räumlichen

Emissionsprofile eines HF-angeregten Wasserstoffplasmas — ●DAVID RAUNER^{1,2}, STEFAN BRIEFI², SAMET KURT² und URSEL FANTZ^{1,2} — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching — ²AG Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, 86135 Augsburg

Die Plasmaerzeugung in HF-getriebenen Quellen für negative Wasserstoffionen basiert üblicherweise auf induktiver Kopplung. Um die Leistungseffizienz bei der Erzeugung von Wasserstoff- und Deuteriumplasmen zu steigern, könnte die Nutzung eines schwachen externen Magnetfeldes zur Unterstützung der induktiven Kopplung durch Wellenheizung des Plasmas dienen, wie sie u.a. bei der Helikon-Kopplung Anwendung findet. An einem Laborexperiment wird ein derartiges Konzept zur Erzeugung von Wasserstoff- und Deuteriumplasmen grundlegend untersucht. In einem zylindrischen Entladungsgefäß aus Quarzglas (Durchmesser 10 cm, Länge 40 cm) wird das Plasma mittels einer ICP-Spule oder Helikon-Antenne (Nagoya-Typ III) bei einer Frequenz von 13,56 MHz, einer maximalen Leistung von 600 W, einem externen Magnetfeld von maximal 14 mT und Drücken von 0,3 bis 1 Pa erzeugt. Zur Bestimmung der Plasmaparameter dient die optische Emissionsspektroskopie (OES). Zum einen wird die atomare und molekulare Strahlung entlang der Zylinderachse gemessen, zum anderen werden die radialen Emissionsprofile mittels Abelinversion bestimmt. Die gemessenen Abhängigkeiten von der Stärke des externen Magnetfeldes und der Antennen- bzw. Spulengeometrie werden vorgestellt.

P 5.15 Mo 16:30 Foyer Audimax

Zeitliche und räumliche Dynamik eines atmosphärischen Plasmoids — ●DANIEL SCHMID¹, ISABEL PILOTTEK¹, ROLAND FRIEDL¹ und URSEL FANTZ^{1,2} — ¹AG Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg, Universitätsstr. 1, 86135 Augsburg — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching

Mittels Photodioden wird das zeitliche und räumliche Verhalten eines kugelförmigen Plasmoids (Durchmesser ca. 20 cm) in Atmosphäre untersucht. Dieses Plasmagebilde wird durch eine Hochspannungsentladung an einer Wasseroberfläche erzeugt und steigt vertikal auf. Nach ca. 150 ms wird die Energiezufuhr (Kondensatorbank, Gesamtenergie 30 kJ) getrennt und das Plasmoid befindet sich anschließend in der autonomen Phase, deren Dauer von 300–350 ms auf die Existenz eines inneren Energiespeichers hindeutet. Als Ursache werden chemische Prozesse vermutet, die mittels optischer Emissionsspektroskopie sowie einem System aus Photodioden untersucht werden. Bei Letzterem ermöglichen Interferenzfilter die Fokussierung auf ausgewählte Bestandteile der Emission, wie Spektralbanden von OH und CaOH sowie Spektrallinien von Na und H. Eine vertikale Ausrichtung der Photodioden lässt Rückschlüsse auf das Aufstiegsverhalten und die damit verbundene höhenabhängige Emission zu. In der Horizontalen können Aussagen zur Symmetrie des Plasmoids in einer bestimmten Aufstiegshöhe getroffen werden. Als Standarddiagnostik stehen weiterhin die Aufnahme der U-I-Kennlinien, eine Hochgeschwindigkeitskamera sowie eine Photodiode für die integrale Emission zur Verfügung.

P 5.16 Mo 16:30 Foyer Audimax

Barrier layers for OLEDs encapsulation — ●MARIAGRAZIA TROIA¹, ANDREAS SCHULZ¹, MARTINA LEINS¹, MATTHIAS WALKER¹, THOMAS HIRTH¹, WIM DEFERME², FILIP GOVAERT³, MELANIE HOERR⁴, VIKTORIJA MECNIKA⁴, and MARC VAN PARYS⁵ — ¹IGVP, University of Stuttgart, 70569 Stuttgart, Germany — ²IMO Hasselt University, 3590 Diepenbeek, Belgium — ³Centexbel, 9052 Zwijnaarde, Belgium — ⁴ITA, RWTH Aachen University, 52074 Aachen, Germany — ⁵TO2C, University College, 7000 Gent, Belgium

Organic polymers employed as emitters in OLEDs are quickly degraded by oxygen, thus requiring the highest degree of protection amongst current electronic devices. The encapsulation approach (VITEX technology) consists of several transparent layers of alternatively inorganic and organic thin films that can increase the overall diffusion length inside the barrier layer and thus extend the operating lifetime of the encapsulated device.

Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition has been performed by means of an Electron Cyclotron Resonance cold, microwave plasma, by employing hexamethyldisilazane (HMDSN) as precursor gas and by adding nitrogen for the organic layers and oxygen for the inorganic ones, respectively. The work presents an overview of the layers produced thus far, their chemical composition and barrier performances and their dependence upon the gaseous feed composition.

This work is part of the Printing of Light-Emitting Devices on Textile (POLEOT) project and is partly funded by the AiF within the CORNET-program.

P 5.17 Mo 16:30 Foyer Audimax

Transport von schweren Teilchen in magnetisierten Plasmen — ●CHRISTIAN MASZL, WOLFGANG BREILMANN, ROBIN PONTE, JAN BENEDIKT und ACHIM VON KEUDELL — Research Department Plasmas with Complex Interactions, Ruhr-Universität Bochum, Institute for Experimental Physics II, 44780 Bochum, Germany

Das Verständnis von Transport von schweren Teilchen in magnetisierten Plasmen ist in vielen Bereichen von zentralem Interesse. Radialer Transport in Tokamaks beeinflusst direkt die Qualität des Einschusses und damit auch die Lebensdauer der ersten Wand und des Divertors. Insbesondere während Edge Localized Modes werden selbstorganisierte, filamentartige Strukturen und eine starke Erhöhung des radialen Transports beobachtet. Während dieser Instabilität kann ein signifikanter Anteil der im Pedestal gespeicherten Energie freigesetzt werden, mit potentiell gefährlichen Folgen für Komponenten im Reaktor.

In gepulsten Hochleistungsmagnetronplasmen treten, bei Spitzenleistungsdichten von einigen kW/cm² am Target, ebenfalls selbstorganisierte, kohärente Strukturen auf. Der vormals homogene Plasmatorus weist dann rotierende, lokalisierte Ionisationszonen mit Quasimodennummern zwischen eins und vier auf. Jüngere Untersuchungen lassen vermuten, dass diese Strukturen von einer Doppelschicht umgeben sind die maßgeblich die Energie der Ionen und den Transport von heissem Plasma aus dem magnetisierten Bereich vor dem Target in den Raum mit offenen Feldlinien beeinflussen. In diesem Beitrag sollen Tokamak- und Magnetronplasmen gegenübergestellt und Ursachen für Transport quer zum Magnetfeld diskutiert werden.

P 5.18 Mo 16:30 Foyer Audimax

Progress towards positron-electron pair plasma experiments — ●J. STANJA¹, U. HERGENHAHN¹, H. NIEMANN^{1,2}, N. PASCHKOWSKI¹, T. SUNN PEDERSEN^{1,2}, H. SAITOH¹, E. V. STENSON¹, C. HUGENSCHMIDT³, L. SCHWEIKHARD², J. R. DANIELSON⁴, and C. M. SURKO⁴ — ¹MPI for Plasma Physics — ²Ernst-Moritz-Arndt University Greifswald — ³Technische Universität München — ⁴University of California, San Diego

Matter-antimatter pair plasmas have been of great theoretical and astrophysical interest for a long time. They are predicted to show a fundamentally different behavior from regular plasmas, because of the equal masses of the two species. A Positron-Electron Experiment (APEX) aims for the creation and study of such a plasma in the laboratory. It will be operated at the NEPOMUC (Neutron-Induced Positron Source Munich) facility, which provides a high-intensity positron beam at low energies. To trap both species as a plasma, the dipole magnetic field is favored because of the expected long confinement times. The experimental success relies not only on the parameters of the NEPOMUC positron source. In addition, it is crucial to develop and experimentally verify efficient injection schemes for charged particles across closed magnetic field lines.

In this contribution, recent work from the APEX team is presented, including injection and trapping of electrons in a prototype dipole field created by a permanent magnet, results from the first on-line beam time at the NEPOMUC facility, and design plans for the next generation of confinement device.

P 5.19 Mo 16:30 Foyer Audimax

Comparison of plasma emission profiles during glow discharge and arc — ●PATRICK PREISSING, ANTE HECEMOVIC, VOLKER SCHULZ VON DER GATHEN, and ACHIM VON KEUDELL — Ruhr Universität Bochum, Bochum, Deutschland

To sustain a discharge electrons are necessary. In a magnetron sputtering the electrons are generated at the cathode and accelerated by a cathode fall. The energetic electrons ionize the particles in front of the target, which in turn get accelerated towards the target conducting the current, and performing the sputtering. However, the mechanisms how electrons are generated differs for a different discharge. In an abnormal glow discharge such as high power magnetron sputtering (HiPIMS) secondary electron generation is a dominant mechanism. In an arc discharge thermionic and field emission electron generation is a dominant mechanism. We present the experiment where optical emission spectroscopy (OES) with an ICCD camera was performed, using different bandpass interference filters, to observe axial distribution of emission from different species (Ar I, Ar II, Al I, Al II). The OES was performed during a HiPIMS and an arc discharge. It was investigated, how the different mechanisms influence the axial emission profiles of the different discharges.

P 6: Poster Session - Diagnostics

Zeit: Montag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 6.1 Mo 16:30 Foyer Audimax

Infrarot-Absorptionsspektroskopie-Messungen an einem Atmosphärendruck-Plasmajet — ●THORBEN KEWITZ und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der CAU zu Kiel, Deutschland

Zur Untersuchung der Schichtabscheidung und Partikelbildung werden absorptionsspektroskopische Messungen im infraroten Wellenlängenbereich an einem kommerzieller Atmosphärendruck-Plasmajets (Plasmatrete GmbH) vorgestellt. Durch Messungen mit einem Quantenkaskadenlaser [1] wird die Konzentration von Acetylen im Effluenten des Plasmajets bestimmt.

Der verwendete Plasmajet soll insbesondere zur Abscheidung von multifunktionalen a-C:H Schichten eingesetzt werden. Acetylen ist dabei ein Zwischenprodukt der Reaktionen von verschiedenen Präkursoren im Effluenten des Plasmajets.

Exemplarisch wird in den gezeigten Experimenten nur Acetylen als Präkursor verwendet. Der Verbrauch des Ausgangsmaterials durch Fragmentierung und folgender Deposition bzw. die Partikelbildung im Effluenten kann über die Absorptionsintensität verfolgt werden. In Abhängigkeit von den experimentellen Bedingungen (Präkursorkonzentration, Gasfluss, Leistung) ändert sich die C₂H₂-Konzentration. Dieses Verhalten wird (qualitativ) in einem Modell erklärt.

In einem weiteren Schritt soll diese Diagnostik bei anderen Präkursoren, z.B. Cyclopentanol, angewendet werden und so zur Analyse der Fragmentationsprozesse beitragen.

[1] J. Röpcke et al., Plasma Sources Sci. Technol. 15 (2006)

P 6.2 Mo 16:30 Foyer Audimax

Increased ionization during magnetron sputtering — ●FABIAN HAASE¹, DANIEL LUNDIN², SVEN BORNHOLDT¹, and HOLGER KERSTEN¹ — ¹Institute of Experimental and Applied Physics, Kiel University, Germany — ²Division of Space and Plasma Physics, School of Electrical Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

In this work the influence of the process gas on the degree of ionization during magnetron sputtering is investigated. For this purpose, transient calorimetric measurements [1] were performed in a typical substrate position and in the toroidal plasma region. The transient method allows for an estimation of plasma parameters such as the electron temperature as well as the electron and ion densities, respectively. It also gives access to the total energy influx and the different contributions originating from charged and neutral particles as well as surface processes like recombination or film formation. For a comparison the experiments were performed using three different process gases, Ar, Ne and Kr. Since it is well known that the degree of ionization of the process gas and the ion impact at the substrate play an important role for the optimization of thin film properties, the knowledge of how to influence these characteristics is of great value. With Te having a greater influence on the degree of ionization than ne, this work has been focused on tailoring the electron temperature. Due to the higher ionization potential of Ne compared to Ar and Kr, a higher degree of ionization was achieved by using Neon.

[1] S. Bornholdt and H. Kersten, Eur. Phys. J. D. 67(8):167 (2013)

P 6.3 Mo 16:30 Foyer Audimax

Improvement of the Divertor Bolometer Diagnostic in the ASDEX Upgrade Tokamak — ●TILL SEHMER, HANS MEISTER, MATTHIAS BERNERT, JÜRGEN KOLL, FELIX REIMOLD, MARCO WISCHMEIER, URSEL FANTZ, and ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching

For future fusion devices such as ITER, the radiation balance in the divertor region will have a significant impact on the power exhaust balance. Therefore, scenarios with strongly localized radiation, like radiation in the high field side high density (HFSHD) region, X-Point radiation or radiation in the divertor legs during detachment, will be investigated in the next ASDEX Upgrade (AUG) operation campaign 2015. To obtain accurately the absolute divertor radiation out of these measurements, the AUG foil bolometer diagnostic system in the divertor region has been enhanced; two new cameras have been designed and manufactured. One will be mounted below the roof baffle and contains 28 lines of sight (LOS), which will observe the mentioned regions of particular physical interest. The second camera consists of 4 LOS and

will be mounted at the high field side above the inner divertor nose. It will observe radiation arising from the X-Point region and from the outer divertor. The data will be analysed with a tomographic reconstruction algorithm to localize and quantify the divertor radiation.

P 6.4 Mo 16:30 Foyer Audimax

Multiport-Koppler zur Diagnose und Korrektur von Justierungsfehlern in Übertragungsleitungen für Hochleistungs-Millimeterwellen — ●W. ALEXANDER ZACH, WALTER KASPAREK, CARSTEN LECHTE, BURKHARD PLAUM und THOMAS HIRTH — Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP, Universität Stuttgart

Bei der Elektron-Zyklotron-Heizung (ECRH) in Fusionsexperimenten müssen Millimeterwellen von Gyrotrons über längere Strecken zum Plasma übertragen werden. Im Fall von z.Bsp. ASDEX Upgrade werden Millimeterwellen mit bis zu 1 MW Leistung bei 140 GHz in Hohlleitern übertragen. Aufgrund der großen Leistung haben die verwendeten Rillenhohlleiter Durchmesser von vielen Wellenlängen. Dies jedoch ermöglicht die Ausbreitung von unerwünschten Moden, die unter anderem mit Verlusten einhergehen. Daher ist eine sehr präzise Justierung von Strahl und Hohlleiter notwendig, damit möglichst nur die bevorzugte Hybridmode HE₁₁ angeregt wird.

Über den Strahlquerschnitt verteilte Richtkoppler in, sich in der Übertragungsleitung befindlichen, Umlenkspiegeln ermöglichen eine in-situ-Messung der Leistung der Moden, die bei Falschjustierung vornehmlich angeregt werden. Diese kann sowohl über die Auswertung der komplexen Signale der einzelnen Richtkoppler als auch durch das direkte Verschalten der Richtkoppler erfolgen. Simulierte und erste experimentelle Ergebnisse werden diskutiert.

P 6.5 Mo 16:30 Foyer Audimax

Imaging of Sparks and Streamers in Water — ●SIMON HÜBNER and ACHIM VON KEUDELL — Application Oriented Plasma Physics, Ruhr-Universität Bochum, Germany

Plasmas in contact with or in liquids are interesting for treatment of water or material science because of the very high concentration of radical species and the strong quenching rates. In this work a preliminary plasma setup in liquid is presented, based on a pin-pin geometry. High voltage pulses with rise time of up to 40kV/100ns created by a thyristor switch provide streamers or sparks depending on the distance of the electrodes. The temporal and spatial evolution of the discharge in the liquid phase is studied by optical emission, shadowgraphic and Schlieren imaging. With the visualization techniques the shock front and streamer propagation velocities can be obtained. Under the conditions of this study the streamer evolves probably within nano-scaled pores or polarized zones, since light emission starts well before bubble formation. Moreover, the long term evolution of the filament evolving into a gas bubble can be captured. Potential applications are discussed.

P 6.6 Mo 16:30 Foyer Audimax

Non-thermal electron energy distributions in microwave heated plasmas measured with electron cyclotron emission — ●SEVERIN DENK^{1,2}, RAINER FISCHER², ULRICH STROTH^{1,2}, OMAR MAJ², EMANUELE POLI², EGBERT WESTERHOF³, MATTHIAS WILLENSDORFER², JÖRG STOBER², and THE ASDEX-UPGRADE TEAM² — ¹Physik-Department E28, Technische Universität München, 85747 Garching, Germany — ²Max Planck Institute for Plasma Physics, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany — ³FOM Institute DIFFER - Dutch Institute for Fundamental Energy Research, Nieuwegein, The Netherlands

The electron cyclotron emission diagnostic (ECE) provides routinely electron temperature measurements T_e . However, the determination of T_e from the measured radiation temperature profile T_{rad} is hampered if the plasma is not optically thick, or if non-thermal electron energy distributions (EEDF) occur. At ASDEX Upgrade an electron cyclotron forward model (ECFM) exists, that solves the radiation transport equation for given T_e and electron density profiles. The ECFM was extended with a non-thermal absorption coefficient to support also non-thermal EEDFs. Furthermore, all non-relativistic approximations were removed from the ECFM. For thermal plasmas the latter allowed an improved description of T_{rad} at the plasma edge. Additionally, it could be shown via the forward model that in plasmas with large T_e

shine-through effects can appear at the plasma core. The sensitivity of the ECE on non-thermal EEDFs was studied via parametrized EEDFs and Fokker-Planck EEDFs.

P 6.7 Mo 16:30 Foyer Audimax

Triple-Langmuir-Probes for the diagnostic of high current vacuum arcs and hot gases — ●JAN CARSTENSEN, KRISTOFFER MENZEL, NILS LUKAT, MARKUS ABPLANALP, MARTIN SEEGER, and TORSTEN VOTTELER — ABB Corporate Research, Baden-Daettwil, 5405, Switzerland

The application of Langmuir probes for the diagnostics of high-current arcs or its surrounding is challenging due to a number of reasons, as, e.g., the accompanied high plasma potentials, high thermal loads, and the short time scales involved. Nonetheless, this problem was tackled by a number of works over the last few decades. In a recent paper [1] Mackel et al. gave a detailed description of a triple Langmuir probe setup that is kept under floating conditions, i.e., insensitive to high potentials and that allows to determine electron temperature and the plasma density with μs time resolution. In this contribution, we focus on the applicability of such a triple Langmuir probe to investigate the plasma in the vicinity of a high-current vacuum arc (10kA-30kA) and for the temperature measurement in the exhaust of a hot gas generator driven by a DC arc at normal pressure. Especially in the latter case, we had to modify the approach described in [1] because of the small currents drawn by the probe. It was found that in this case the feed back from the probe circuit must be taken into account and limits the range of applicability.

[1] F. Mackel et al., Contrib. Plasma Phys. 53, 33-38 (2013)

P 6.8 Mo 16:30 Foyer Audimax

Ladungsunabhängige Messung von Kräften beim Sputtern von Festkörperoberflächen — ●ALEXANDER SPETHMANN, THOMAS TROTTEBERG und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der CAU zu Kiel, Deutschland

Der Sputter-Effekt wird üblicherweise durch die Sputterausbeute (Sputtering Yield), d.h. gesputterte Teilchen pro einfallendes Teilchen, quantifiziert. Die experimentelle Bestimmung der Sputterausbeute erfolgt gewöhnlich durch Messung der Massenänderung des Sputtertargets, Änderung seiner Schichtdicke, Detektion der gesputterten Teilchen mit spektroskopischen Methoden oder durch deren Einfang mittels Kollektorflächen.

In diesem Beitrag hingegen werden Messungen zur Kraftwirkung durch das Sputtern auf eine im Ionenstrahl befindlichen Oberfläche mit einer ladungsunabhängigen Diagnostik vorgestellt: Die Kraftsonde ermöglicht die Detektion sowohl der am Target gesputterten Teilchen als auch der "reflektierten" Strahlionen. Die Messungen sind material- und auch winkelabhängig durchgeführt worden.

Es werden die Messungen hinsichtlich der gesputterten und "reflektierten" Teilchen mit einer auf SRIM basierten Simulation verglichen. SRIM ist ein populärer Code zur Berechnung von atomaren Zweierstoßkaskaden. In unserem Modell werden die Trajektorien der Ionen von der Ionenquelle und die der am Target gesputterten Atome bis zur Kraftsonde verfolgt, um die gemessene Kraft zu erklären.

P 6.9 Mo 16:30 Foyer Audimax

Messung des Wirkungsquerschnitts für Elektronenstoßanregung von Gasen durch Photoelektronen — ●DIRK LUGGENHÖLSCHER und UWE CZARNETZKI — Ruhr-Universität Bochum

Die Kenntnis des Wirkungsquerschnitts für Elektronenstoßanregung ist für die quantitative Spektroskopie sowie der Modellierung von Plasmen von großer Bedeutung. Üblicherweise werden diese Querschnitte durch Schwarmexperimente bestimmt. Dabei ist es jedoch schwierig, den Querschnitt bei niedrigen Energien nahe der Anregungsschwelle zu bestimmen. Dieser Bereich ist jedoch für Niedertemperaturplasmen mit niedrigen Elektronenenergien von besonderer Bedeutung.

Hier wird ein Experiment vorgestellt, in dem auch dieser Bereich gut zugänglich ist. Dazu werden mit einem gepulsten UV-Laser Photoelektronen aus einer Elektrode ausgelöst. Diese Elektronen werden in einem elektrischen Feld beschleunigt und durch Stoßanregung der Gasatome optisch, ortsaufgelöst detektiert. Durch den niedrigen Druck sind inelastische Stöße sehr selten und die Elektronenenergie ist durch den Ort bestimmt, da das elektrische Feld homogen und zeitlich konstant ist. Durch die ortsaufgelöste Messung ist es somit möglich jedem Ort eine Elektronenenergie zuzuordnen und die gemessene Intensität ist direkt proportional zum Wirkungsquerschnitt bei dieser Energie. Durch die Auswahl geeigneter Spektrallinien ist die gezielte Vermessung einzelner Übergänge möglich. Verfälschende Kaskadenprozesse

können durch die sehr schnelle Anregung und Detektion jeweils im ns-Bereich vermieden werden. Erste Ergebnisse des relativen Verlaufs des Querschnitts von Neon und anderer Gase werden präsentiert.

P 6.10 Mo 16:30 Foyer Audimax

Thomson Scattering in a nanosecond pulsed discharge — ●CHRISTIAN-GEORG SCHREGEL, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-Universität Bochum

A nanosecond discharge is operated at atmospheric pressure in a strong He flow. Pulses of 150 ns, 1 kV - 2kV and 5 kHz repetition frequency are applied to two molybdenum electrodes with a gap of 0.9 mm. A distinct delay between the applied voltage and the onset of current is observed, which depends on voltage and pressure. This measured characteristics can be well explained by a simple analytical model based on the Townsend theory. Electron densities and temperatures are determined by Thomson scattering using a frequency doubled Nd:YAG laser at 532 nm. Further, the low energy part of the distribution function is obtained. Time resolved results are presented and compared with the model and electrical and emission measurements.

P 6.11 Mo 16:30 Foyer Audimax

Improvement of a THz Time Domain Spectroscopy System for Plasma Diagnostics — ●STEFFEN MARIUS MEIER, TSANKO VASKOV TSANKOV, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, Germany

Terahertz Time Domain Spectroscopy is a non-invasive diagnostic method which uses the advantages of a pico-second radiation pulse with a broad spectral width in the THz range. Frequency dependent phase and amplitude characteristics are measured and allow determination of the complex dielectric function, electron density and collision frequency. In contrast to microwave interferometry, the technique is inherently insensitive to vibrations.

Only a few applications of this new technique are reported in the literature so far. Typical detection threshold densities in small low temperature plasmas are 10^{12} cm^{-3} . In order to enhance the sensitivity substantially our diagnostic system is currently upgraded from a lock-in frequency of 7.6 kHz to 76 MHz. This should allow for a two order of magnitude reduced threshold. The current status of the project as well as concepts for further improvement will be presented.

P 6.12 Mo 16:30 Foyer Audimax

Absolute densities of OH and O radicals in the effluent of a He/H₂O micro-scaled atmospheric pressure plasma jet — ●SIMON SCHNEIDER¹, DANIEL SCHRÖDER¹, GERT WILLEMS¹, VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN¹, ANDREA PAJAROVA², JAROSLAV VLCEK², and JAN BENEDIKT¹ — ¹Ruhr-Universität, Bochum, Deutschland — ²University of West Bohemia, Pilsen, Czech Republic

Cold atmospheric plasma (CAP) sources operated in helium with small admixtures of oxygen are known to be effective sources of reactive oxygen species (ROS), metastables, ions, or VUV and UV photons. It is well-known that microorganisms, like bacteria, can be inactivated by treatment of the effluent of these sources. The reaction chemistry and treatment of microorganisms are highly influenced by additional species resulting from common water impurities.

In this work, we present the measurement of hydroxyl radicals (OH) and atomic oxygen (O) in the effluent of a micro-scaled atmospheric pressure plasma jet (μ -APPJ) operated in helium with small admixtures of water vapor (< 6150 ppm). OH is measured by cavity ring-down spectroscopy (CRDS) and O is measured by two-photon absorption laser induced fluorescence spectroscopy (TALIF). The maximum OH density is $9 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ and the maximum O density is $1.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Furthermore, a modified version of the μ -APPJ which is able to separate effects of particle and photon components in the effluent of the μ -APPJ, is introduced. Due to the separation, the influence of photons on the particle species and their reactions can be detected.

P 6.13 Mo 16:30 Foyer Audimax

Vergleichende Diagnostiken zur Charakterisierung eines Referenz-Mikroplasmajets — SEBASTIAN BURHENN, ●JULIAN HELD und VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN — Lehrstuhl für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

Aufgrund der Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten sind mit Radiofrequenz angeregte Atmosphärendruck-Plasmen ein wichtiges Gebiet aktueller Forschung. Durch den Verzicht auf aufwändige Vakuumtech-

nik ist es möglich, vergleichsweise simple und kostengünstige Plasmaquellen zu fertigen, die dank der niedrigen Gastemperatur z. B. in der Biomedizin verwendet werden können. Die Vielzahl unterschiedlich konstruierter Plasmaquellen erschwert jedoch den Vergleich der Messergebnisse. Deshalb wird aktuell ein μ APPJ (Microscaled Atmospheric Pressure Plasma Jet) als möglicher Referenz-Mikroplasmajet, für Untersuchungen in der Physik, der Medizin und der Biologie, diskutiert. Er besteht aus zwei planparallelen Edelstahl Elektroden, die eingefasst zwischen zwei Quarzglasscheiben einen schmalen, mit Gas durchströmten Entladungskanal bilden. Dank dieser Konfiguration ist der Referenz-Mikroplasmajet vergleichsweise einfach und das Plasma für optische Diagnostiken gut zugänglich. Für eine solche Referenzquelle ist es dringend erforderlich, dass sich Messergebnisse an verschiedenen Institutionen zuverlässig reproduzieren lassen. Dies erfordert auch einen Satz von überall verfügbaren Diagnostiken. Exemplarisch wurden hier mehrere Referenz-Mikroplasmajets, unter anderem mit optischer Emissionsspektroskopie und Strom-Spannungsmessungen, untersucht. Gefördert durch die DFG im Projekt SCHU 2353/3-1 (PlaCID).

P 6.14 Mo 16:30 Foyer Audimax
Quantifizierung der VUV-Strahlung von HF-angeregten Wasserstoffplasmen — ●URSEL FANTZ^{1,2}, STEFAN BRIEFI¹ und DAVID RAUNER^{1,2} — ¹AG Experimentelle Plasmaphysik, Universität Augsburg — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching

Wasserstoffplasmen weisen durch die Molekülstrahlung einen hohen Strahlungsanteil im VUV auf: Im Wellenlängenbereich von 80 nm bis 400 nm sind die Hauptanteile der Molekülbanden der ersten elektronisch angeregten Niveaus des Moleküls, die Lyman- und die Werner-Bande, sowie die Kontinuumsstrahlung neben den atomaren Lyman Linien zu finden. Durch die Messung dieser Strahlung mittels kalibrierter VUV Spektroskopie und den Vergleich mit einem Stoß-Strahlungsmodell lassen sich die Strahlungsanteile gezielt für bestimmte Wellenlängenbereiche bestimmen und ihre Abhängigkeiten von den Plasmamparametern berechnen. In Kombination mit der optischen Emissionsspektroskopie werden die Plasmamparameter aus den Balmerlinien ermittelt, sowie der Dissoziationsgrad und die Vibrationsbesetzung der Moleküle über die Emission des Fulcher-Überganges bestimmt. Die Messungen werden im Druckbereich von 0.3 Pa bis 10 Pa bei einer HF-Leistung von bis zu 600 W durchgeführt und die gesamte Strahlungsleistung im VUV als auch die im sichtbaren Bereich mit der eingekoppelten Leistung verglichen.

P 6.15 Mo 16:30 Foyer Audimax
On spatial scales of seismo-ionospheric effects — ELENA LIPEROVSKAYA¹, ●CLAUDIA-VERONIKA MEISTER², DIETER H.H. HOFFMANN², and ALEXANDRA SILINA¹ — ¹Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia — ²Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany

In the present work, disturbances of the $f_b E_s$ -frequency of the sporadic E-layer of the ionosphere are investigated in connection with earthquakes. The $f_b E_s$ -frequency is proportional to the square root of the maximum ionisation density of the sporadic E-layer. In this work, it is shown that three days before a seismic shock with magnitude $M > 5-5.5$, an increase of the $f_b E_s$ -frequency is obtained around midnight at distances from the epicenter $R < \exp M + 100$ km in the case that the focus of the shock was situated at depths smaller than 60 km. Data obtained by the three ionospheric sounding stations “Kokubunji”, “Akita” and “Yamagawa” are analysed, which were recorded during a total time of 42 years. The superimposed epoches method is applied for some dozenths of earthquakes.

P 6.16 Mo 16:30 Foyer Audimax
Characterization of the E-H transition in inductively coupled RF oxygen discharges — ●THOMAS WEGNER, CHRISTIAN KÜLLIG, and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

The E-H transition of an inductively coupled radio frequency discharge in oxygen was studied using enhanced diagnostic methods. Electrical quantities as well as plasma parameters were measured. The plasma parameters strongly depend on RF power, coil voltage, coil current and total gas pressure. Therefore, the positive ion saturation current, the line integrated electron and metastable density ($O_2(a^1\Delta_g)$), the gas and electron temperature and the optical emission intensity of the atomic oxygen were investigated by Langmuir probe, 160 GHz microwave interferometry, VUV absorption and VIS emission spectroscopy, respectively. The spatially resolved positive ion saturation current in the E-mode reveals a collision dominated RF sheath with a

pressure dependence of the mean sheath thickness $s \propto p^{-1/3}$. During the E-H transition, the positive ion saturation current and the line integrated electron density are strongly increasing up to two orders of magnitude. The gas temperature as well as the metastables density increase by a factor of two while the electron temperature halves during this transition. Additionally, the heating mechanisms during the RF cycle change from the RF sheath heating and electrical field reversal in the E-mode to two heating phases in the plasma bulk due to the induced electric field in the H-mode.

//Funded by the DFG CRC/Transregio 24, project B5.

P 6.17 Mo 16:30 Foyer Audimax
Optische Untersuchung einer Funkenentladung in N2 mit zeitlicher und räumlicher Auflösung — ●SVEN GRÖGER, ANDRE BERGNER, THOMAS HÖBING, MAX ENGELHARDT, NIKITA BIBINOV und PETER AWAKOWICZ — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum, Germany

Zur Charakterisierung einer transienten Funkenentladung werden mit Hilfe einer stereofotografischen Messmethode in Kombination mit numerischer Simulation die Plasmamparameter, wie Elektronendichte und reduziertes elektrisches Feld, räumlich und zeitlich aufgelöst bestimmt. Mit einer absolut kalibrierten ICCD Kamera werden die Emissionsbanden von $N_2(C-B,0-0)$ und $N_2+(B-X,0-0)$ gemessen. Die Elektronengeschwindigkeitsverteilungsfunktion wird durch die Lösung der Boltzmann-Gleichung für verschiedene elektrische Feldstärken simuliert und daraus die Intensitäten der Emissionsbanden berechnet. Aus dem Vergleich von simuliertem und gemessenem N_2 -Emissionsspektrum werden die Plasmamparameter bestimmt. Auf Grund der zeitlichen und räumlichen Instabilität der Funkenentladung müssen die Intensitäten der Emissionsbanden simultan gemessen werden. Zwei Interferenzfilter sowie ein stereofotografischer Aufbau erlauben es, zwei gefilterte Abbildungen von einem Funken auf dem CCD-Chip der Kamera abzubilden. Mit Hilfe dieser Untersuchungsmethode können die Plasmamparameter mit einer räumlichen Auflösung von 2,7 Mikrometern und einer zeitlichen Auflösung von 10 Nanosekunden bestimmt werden.

P 6.18 Mo 16:30 Foyer Audimax
Acceleration of Bayesian Model Based Data Analysis through Software/Hardware — ●HUMBERTO TRIMIÑO MORA — Max Plank Institut für Plasmaphysik, Greifswald, Germany

To control next generation of leading fusion experiments an improvement in machine control and plasma stability has to be reached in order to elevate fusion to a stage of effective operational energy source. This machine control improvement can be achieved by a betterment of signal processing from diverse diagnostics. Current trends in data analysis commonly focus on doing direct signal processing and analysis of a measured voltage or current to obtain the parameter of interest. But the possibilities of improving our estimations increase when we can use a technique that eases the process of incorporating our knowledge, or lack of it, into our way of analyzing the data. Model based data analysis can allow us to make a better estimation of the values of interest by considering what we know of the data and effectively introducing it into the estimation process through forward modeling and Bayesian inference but usually taking long processing times which make it not yet useful for real time processing. This project aims to use Bayesian probability theory and forward modeling to achieve a purely mathematical model through software/hardware, thus having a more informed estimation of a value and a rigorous determination of its uncertainty on a real-time frame. This projects reach includes not only application in the discussed area of interest, but also improvement of data integration and signal processing on smart systems or other platforms today that have incoming data from several peripherals.

P 6.19 Mo 16:30 Foyer Audimax
Eine seriengespeiste Gruppenantenne mit 32 Elementen für Doppler-Reflektometrie in Fusionsplasmaexperimenten — ●STEFAN WOLF, CARSTEN LECHTE, BURKHARD PLAUM und WALTER KASPAREK — IGVP, Universität Stuttgart

Doppler-Reflektometrie ermöglicht die Messung radialer Profile der poloidalen Wellenzahl und Rotationsgeschwindigkeit von Dichtestrukturen. Die Frequenz eines schräg einfallenden Mikrowellenstrahls legt die radiale Position der Cutoffschicht fest. Der Einstrahlwinkel bestimmt, welche poloidale Wellenzahl die Rückstreubedingung erfüllt. Durch Variation des Winkels kann so das K_Θ -Spektrum der Turbulenz aufgelöst werden. Die poloidale Geschwindigkeit wird aus der Doppler-

Verschiebung der Frequenz des rückgestreuten Signals bestimmt.

Für die Doppler-Reflektometrie in Fusionsexperimenten wird eine seriengepeiste Gruppenantenne entwickelt und gebaut, die weder bewegliche noch aktive Komponenten im Plasmagefäß benötigt. Eine helikale Verzögerungsleitung speist 32 Elemente mit festem Gangunterschied, so dass durch Variation der Frequenz der Abstrahlwinkel im Bereich $\pm 20^\circ$ durchgeföhren werden kann. Über das gesamte W-Band

sind 13 Winkelscans mit Frequenzbandbreiten von ca. 1 GHz verteilt, so dass die Frequenz während eines einzelnen Scans als näherungsweise konstant angesehen werden kann.

Die Arbeit wird im Rahmen des „Virtuellen Instituts für dynamische Plasmaprozesse und Turbulenzstudien mittels fortgeschrittener Mikrowellendiagnostik“ der Helmholtz-Gemeinschaft durchgeführt.

P 7: Poster Session - Dusty Plasmas

Zeit: Montag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 7.1 Mo 16:30 Foyer Audimax

Orts-Zeit-aufgelöste Staubgrößenverteilung ausgedehnter Staubwolken in RF-Plasmen — ●CARSTEN KILLER und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Mittels thermophoretischer Levitation können große Staubwolken aus monodispersen MF-Partikeln eingefangen werden, die fast das gesamte Entladungsvolumen eines RF-Plasmas ausfüllen. Neben dem charakteristischen Void haben diese Wolken oft eine segmentierte Struktur. Zudem ändert sich die Form und Dichteverteilung der Wolken (langsam) im Laufe der Zeit. Um sowohl die Segmentierung als auch die Zeitentwicklung der Staubwolken zu untersuchen, wurde ein orts aufgelöstes Verfahren zur Bestimmung der Staubgrößen entwickelt, das auf der charakteristischen Winkel-Abhängigkeit der Mie-Streuung beruht. Durch die Messung der Streuintensitäten über einen großen Winkelbereich kann die Staubgröße sehr präzise bestimmt werden.

Es zeigt sich, dass die Segmentierung der Staubwolke eine Folge von selbstorganisierter Entmischung leicht unterschiedlicher Staubgrößen ist. Dabei bilden sich homogene Populationen, die scharf voneinander abgegrenzt sind. Weiterhin kann eine kontinuierliche Reduzierung der Staubgröße während des Einfangs im Plasma beobachtet werden. Mit Hilfe zusätzlicher Diagnostiken konnten als Ursache dieses Phänomens zum Einen das Ätzen des Staubs durch Sauerstoff-Verunreinigungen (in unserem eigentlich inerten Argon-Plasma) und zum Anderen das Ausgasen von Wasser und anderen flüchtigen Bestandteilen des Staubmaterials festgestellt werden.

P 7.2 Mo 16:30 Foyer Audimax

Floating surface potential of spherical dust grains in magnetized plasmas — ●DENNIE LANGE and RAINER GRAUER — Institut für Theoretische Physik I, Ruhr-Universität Bochum

The study of the charging of objects embedded in a plasma - the so called dust grains - is a classic problem of plasma physics. Due to the larger mobility of electrons dust grains are typically charged negatively. In this work the floating equilibrium surface potential of spherical dust grains of different radii in magnetized plasma environment and the potential structure of the surrounding plasma is investigated with PIC simulations. The magnetized plasma is created by overlapping the simulation-box with a homogeneous and constant magnetic field. Several magnetic field strengths with corresponding electron/ion gyration radii both greater and smaller as the grain radii and/or the Debye-length are being studied. The results are compared to the OML theory and the transition between weak and full magnetized plasma is considered and modelled.

P 7.3 Mo 16:30 Foyer Audimax

Wakefields, Normalmoden und Informationsentropie in staubigen Plasmen — ●ANDRÉ MELZER, MATTHIAS MULSOW, MARIAN PUTTSCHER, MICHAEL HIMPEL und CARSTEN KILLER — Institut für Physik, Universität Greifswald

In der Randschicht von Entladungen lassen sich mehrlagige Staubsysteme im Gleichgewicht von elektrischer Feldkraft und Gravitation einfangen. Die Dynamik dieser mehrlagigen Staubsysteme ist maßgeblich durch sog. Wakefields beeinflusst. Diese Wakefields entstehen durch die Wechselwirkung der durch die Randschicht strömenden Ionen mit den Staubpartikeln. Sie führen zu nicht-reziproken anziehenden Kräften, die zu Instabilitäten des Staubsystems führen.

In diesem Beitrag wird die Rolle der Wakefields auf die Normalmoden des Staubsystems untersucht. Mit Hilfe der Informationsentropie lassen sich Ursachen der Instabilitäten identifizieren.

P 7.4 Mo 16:30 Foyer Audimax

Pressure Dependency and Structural Analysis of Plasma Crystals under Laboratory Conditions — ●CHRISTOPHER DIETZ, BENJAMIN STEINMÜLLER, and MARKUS THOMA — I. Physikalisches Institut, JLU Gießen

Crystallization of extended 3D plasma crystals has been investigated mostly under microgravity conditions, while exhaustive research under laboratory conditions is difficult.

We are able to generate large 3D plasma crystals under these conditions. To study the pressure dependence of the crystallization, a wide variety of structural analysis methods are applied. Especially bond-orientational-order parameters, although recently criticized, are commonly used. A lately proposed method (Minkowski structure metric) avoids many of the shortcomings of bond-orientational-order parameters and is comparable to previously used analyses.

P 7.5 Mo 16:30 Foyer Audimax

Optical Tweezer für Komplexe Plasmen — ●FRANK WIEBEN, JAN SCHABLINSKI und DIETMAR BLOCK — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Leibnizstr. 19, 24098 Kiel

Komplexe Plasmen haben wesentlich dazu beigetragen die Physik von stark korrelierten Systemen besser zu verstehen. Der Schlüssel hierfür war, dass man Struktur und Dynamik in komplexen Plasmen durch simultane Beobachtung aller Partikel und ihrer Trajektorien studieren kann. Folglich hofft man, dass die Kontrolle von Struktur und Dynamik einzelner Partikel in komplexen Plasmen ebenfalls ganz neue Möglichkeiten eröffnen wird. Dieser Beitrag stellt Experimente vor, die zeigen, dass es mit einer modifizierten optischen Pinzette (Optical Tweezer) möglich ist, einzelne Partikel einzufangen, zu bewegen und auf diese Weise die Struktur und die Dynamik von Partikelsystemen gezielt zu manipulieren. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Funktionsweise des Tweezers, die sich von klassischen optischen Pinzetten unterscheidet. Die Arbeiten wurden von der DFG im Rahmen des SFB-TR24 Projekt A3b gefördert.

P 7.6 Mo 16:30 Foyer Audimax

Optische Emissionsspektroskopie am partikelbildenden Plasma — ●ERIK VON WAHL¹, SAFA LABIDI², JEAN FRANÇOIS LAGRANGE², MAXIME MIKIKIAN², TITAÏNA GIBERT² und HOLGER KERSTEN¹ — ¹Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, CAU Kiel — ²GREMI, Groupe de Recherches sur l'Energétique des Milieux Ionisés, CNRS/Université d'Orléans

Mithilfe der optischen Emissionsspektroskopie können molekulare und atomare Spezies eines Plasmas in-situ nachgewiesen werden. Dies ist insbesondere zur Erforschung von Partikelherzeugung und -wachstum von Interesse, wo chemische Prozesse während der Polymerisation eine große Rolle spielen.

In dieser Studie wurde ein precursorhaltiges Plasma in einer RF-Parallelplattenentladung orts- und zeitaufgelöst spektroskopisch untersucht. Der Reaktor wurde im Push-Pull-Modus bei 1,2 bis 2,0 mbar in Argon betrieben. Der Precursor gelangt durch Zerstäubung von Melaminformaldehyd in die Gasphase, wo er Staub bildet und durch einen Laser sichtbar gemacht wird.

Vom Zünden des Plasmas über das Erscheinen der Partikel im Laserstrahl bis zu ihrem Verschwinden wurden in einem vertikalen Schnitt durch die Entladung die Intensitäten emittierten Lichtes der Moleküle CN, C₂, CH, CO und Ar aufgezeichnet. Das örtliche und zeitliche Verhalten dieser Spektrallinien gestattet Rückschlüsse auf die Konzentration der jeweiligen Spezies und auf die Elektronentemperatur des Plasmas.

P 7.7 Mo 16:30 Foyer Audimax

Viscosity of confined two-dimensional Yukawa-Liquids —

•STEFAN LANDMANN¹, HANNO KÄHLERT², HAUKE THOMSEN², and MICHAEL BONITZ² — ¹ITP, Universität Leipzig — ²ITAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Complex plasmas present an excellent system for the study of strongly coupled plasmas since the dust particles typically possess a high negative charge. In many cases their interaction can be modeled by a Yukawa potential. The transport properties of Yukawa liquids, such as diffusion or viscosity, have been studied both experimentally and theoretically.

Here, a nonequilibrium molecular dynamics simulation method is used to determine the viscosity of a two dimensional Yukawa liquid in an isotropic confinement, extending previous simulations for the heat transport [1]. The proposed method is simple but able to reproduce the minimum of the viscosity as a function of the coupling parameter, which was found in previous publications for macroscopic systems, e.g. [2]. The simulated setup is particularly suited to be realized experimentally.

This work is supported by the DFG via SFB-TR24, project A7.

[1] G. Kudelis, H. Thomsen, and M. Bonitz, *Phys. Plasmas* **20**, 073701 (2013)

[2] B. Liu and J. Goree, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 185002 (2005)

P 7.8 Mo 16:30 Foyer Audimax

Dust density waves in a magnetized complex plasma — •HANNO KÄHLERT — Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, ITAP

Dust density waves excited by streaming ions are a well-known phenomenon in complex plasmas and have been investigated in detail both experimentally and theoretically. With the superconducting magnets that are now available, it should be possible to study these waves in a regime where the ions are strongly magnetized. Theoretical calculations have already shown that strong magnetization may suppress the instability [1]. Based on an improved dielectric function, which accounts for deviations of the ion distribution function from a shifted Maxwellian, the effect of ion magnetization on the propagation of dust density waves is further explored. In the unmagnetized limit, comparisons with results using a shifted Maxwellian [2] are presented.

This work is supported by the DFG via SFB-TR24, project A7.

[1] M. Rosenberg and P. K. Shukla, *J. Plasma Physics* **70**, 317 (2004)

[2] M. Rosenberg, *J. Vac. Sci. Technol. A* **14**, 631 (1996); A. Piel *et al.*, *Phys. Rev. E* **77**, 026407 (2008)

P 7.9 Mo 16:30 Foyer Audimax

Vollständige Überprüfung der Epstein'schen Reibungstheorie bei staubigen Plasmen — •OGUZ HAN ASNAZ, HENDRIK JUNG, FRANKO GREINER and ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Die Epstein'sche Reibungstheorie [1] wird häufig zur Beschreibung der Reibung von Staubpartikeln am Neutralgas in Plasmen verwendet. Die Proportionalität des Gasreibungskoeffizienten γ mit dem Gasdruck wurde bereits mittels phasenaufgelöster Resonanzmessungen gezeigt [2]. Mit einer statistischen Analyse von über 100 PMMA- und MF-Partikeln verschiedener Größen wird die invers proportionale Beziehung zwischen Gasreibungskoeffizienten und Partikelradius nachgewiesen. Weiterhin erlaubt diese Statistik eine genaue Bestimmung des Reflexionskoeffizienten von $\delta = 1,44 \pm 0,05$.

Mit der nun vollständig überprüften Gültigkeit des Ausdrucks von Epstein, lässt sich die Größe eines Partikels durch eine Resonanzmessung präzise ermitteln.

Gefördert von der DFG im Rahmen des SFB-TR24, Projekt A2.

[1] P. S. Epstein. *Phys. Rev.* **23**, 1924.

[2] J. Carstensen *et al.* *IEEE Trans. Plasma Sci.* **41**, 2013.

P 7.10 Mo 16:30 Foyer Audimax

Untersuchung der Brownschen Bewegung eines einzelnen Mikropartikels mit hochauflösenden Videokameras — •NIKLAS KOHLMANN, CHRISTIAN SCHMIDT und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Für die Messung einer aussagekräftigen kinetischen Temperatur der Brownschen Bewegung ist eine ausreichend hohe zeitliche wie räumliche Auflösung der Trajektorie notwendig [1]. Daher wird ein einzelnes MF Mikropartikel über einer positiv vorgespannten "Pixel"-Elektrode, die in die untere Elektrode einer RF Parallelplattenentladung eingebettet ist und über der sich ein anodisches Plasma ausbildet, einge-

schlossen. Es werden zwei unterschiedliche hochauflösende Videokameras eingesetzt, um die Brownsche Bewegung des Mikropartikels zu beobachten. Zur Bestimmung der kinetischen Temperatur, der Eigen- und Reibungsfrequenz werden das mean square displacement (MSD), sowie die Geschwindigkeiten und ihr Fourierspektrum betrachtet. Es wird das MSD Verfahren nach Wang und Uhlenbeck [2] diskutiert und die Konsistenz zu anderen Methoden gezeigt. Es stellte sich heraus, dass die kinetische Temperatur immer über Raumtemperatur liegt. Weiter hat ein Vergleich zwischen den Kamerasystemen gezeigt, dass eine verringerte Ortsauflösung zu systematisch höheren Temperaturen führt.

Gefördert durch SFB-TR24/A2

[1] Li und Raizen, *Ann. Phys.* **525**, 281 (2013)

[2] Wang und Uhlenbeck, *Rev. Mod. Phys.* **17**, 323 (1945)

P 7.11 Mo 16:30 Foyer Audimax

Resolving phase transition in finite dust clusters — •HAUKE THOMSEN, PATRICK LUDWIG, and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, D-24098, Germany

Finite systems in confining potentials are known to undergo structural transitions similar to phase transitions. Due to their inhomogeneity, the melting process is qualitatively different from extended systems. Many melting criteria rely on precise energy measurement (heat capacity, c_V), on the dynamics (e.g. Lindemann criterion)^[1], on critical indices or on transport properties such as diffusion^[2], that are not directly accessible in experiments. Here we present a set of parameters that involve only the particle coordinates.

In numerical simulations^[3], we sample the spatial pair-density as well as the three-particle density in suitable coordinates^[4,5]. The next step is the computation of reduced entropies $S^{(2)}$ and $S^{(3)}$. Their temperature behavior allows us to clearly identify radial melting, intrashell disordering as well as inter-shell angular disordering processes in spherical dust clusters. Our method is very general and not restricted to dusty plasmas. It can also be applied to other trapped systems such as quantum dots, ions in traps or atomic clusters.

References:

[1] F. Calvo, and E. Yurtsever, *Eur. Phys. J. D* **44**, 81-91 (2007)

[2] H. Löwen *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 1557 (1993)

[3] H. Thomsen, and M. Bonitz, *Phys. Rev. E* (2014)

[4] P. Rehmus *et al.*, *Chem. Phys. Lett.* **58**, 321 (1978)

[5] H. Thomsen *et al.*, *J. Phys. D: Appl. Phys* **47** 383001 (2014)

P 7.12 Mo 16:30 Foyer Audimax

Influence of non-Maxwellian ions on the dust potential in a flowing magnetized plasma — •JAN-PHILIP JOOST, PATRICK LUDWIG, HANNO KÄHLERT, and MICHAEL BONITZ — Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, ITAP

The potential of a dust particle in a complex plasma is computed from a dielectric function, which takes ion acceleration by an external electric field explicitly into account, thereby leading to a non-Maxwellian velocity distribution [1]. We consider the case of a non-magnetized plasma as well as the situation where a magnetic field is aligned with the ion flow. In comparison with previous results based on a shifted Maxwellian ion velocity distribution [2], we find that only one positive peak behind the dust grain exists while the rest of the wake potential is largely suppressed.

[1] A. V. Ivlev, S. K. Zhdanov, S. A. Khrapak, and G. E. Morfill, *Phys. Rev. E* **71**, 016405 (2005)

[2] J.-P. Joost *et al.*, *Plasma Phys. Control. Fusion* **57**, 025004 (2015)

P 7.13 Mo 16:30 Foyer Audimax

Wake structures from fluid simulations of streaming ions in a complex plasma — •INGMAR SCHNELL, HANNO KÄHLERT, PATRICK LUDWIG, JAN-PHILIP JOOST, and MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

We present results from numerical fluid simulations for the ion flow around a dust particle in a complex plasma. The simulations are carried out under the influence of constant electric and magnetic fields and account for ion-neutral damping. Compared to calculations based on linear response theory [1], our method includes nonlinear effects such as shadowing when multiple dust particles are in close proximity within the plasma. The resulting wake structures show a crucial dependence on the Mach number and the magnetization. For the time evolution of the three dimensional model a pseudo-spectral method was used, which will be explained in more details. This work was supported by the DFG via SFB-TR24, projects A7 and A9.

[1] J.-P. Joost *et al.*, *Plasma Phys. Control. Fusion* **57**, 025004 (2015)

P 8: Poster Session - Laser Plasmas

Zeit: Montag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 8.1 Mo 16:30 Foyer Audimax

Dynamics of spatially overlapping flat top solitons in plasmas — ●SITA SUNDAR — Indian Institute of Technology Kanpur, India

Interaction of ultra-intense laser with plasma exhibits a rich variety of interesting nonlinear phenomena. Numerical and asymptotic solutions describing the interactions of relativistically intense plane electromagnetic waves and cold plasmas are of fundamental importance for nonlinear science and are considered to be a basic component of

turbulence in plasmas. The numerical identification of solitons stimulated a renewed interest in developing an analytical model and in envisaging ways of detecting solitons experimentally. The inclusion of ion response in the relativistically intense electromagnetic laser pulse propagation in plasma yields certain distinct varieties of single peak solitonic structures. A flat-top slow moving structure is one such solution. Here, detailed characterization and numerical investigations on mutual interactions between two spatially overlapping electromagnetic flat-top solitons in plasma will be presented.

P 9: Diagnostics I

Zeit: Dienstag 10:30–13:05

Raum: HZO 30

Hauptvortrag

P 9.1 Di 10:30 HZO 30

Oberflächenladungsmessungen an lateral strukturierten Barrierentladungen — ●ROBERT WILD und LARS STOLLENWERK — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald

In Barrierentladungen sind elektrische Ladungen, die auf den dielektrischen Oberflächen deponiert werden, maßgeblich am Entladungsverlauf beteiligt. Diese Oberflächenladungen sind insbesondere notwendig bei der Ausbildung von lateralen Entladungsstrukturen. Durch sie wird eine Struktur über viele Entladungen erhalten und somit oft mit bloßem Auge erkennbar.

Es wird eine Methode zur nicht-invasiven Bestimmung von Oberflächenladungen vorgestellt. Sie basiert auf der Änderung der Polarisation eines Referenzlichtstrahls, der ein elektro-optisch aktives Medium innerhalb der Entladungszelle passiert.

Diese Methode wird zur Bestimmung von Oberflächenladungen in lateral strukturierten Barrierentladungen eingesetzt. In diesem Beitrag werden phasenaufgelöste Messungen gezeigt, in denen die Deposition von Oberflächenladungen beobachtet wird. Messungen zum Abbau der Ladungen sowie eine Abschätzung der effektiven Lebensdauer werden vorgestellt. Weiterhin wird gezeigt, dass die laterale Struktur eine starke Abhängigkeit von der anliegenden Spannung und des Gasdrucks zeigt, die sich auf das Depositionsverhalten der Ladungsträger auswirkt.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Sonderforschungsbereich SFB TRR-24, Teilprojekt B14.

Fachvortrag

P 9.2 Di 11:00 HZO 30

Quantum cascade laser absorption spectroscopy for the detection of transient species in plasmas — ●JEAN-PIERRE VAN HELDEN¹, MARKO HÜBNER¹, ANDY NAVE¹, NORBERT LANG¹, PAUL DAVIES², and JÜRGEN RÖPCKE¹ — ¹Leibniz Institute for Plasma Science and Technology, F.-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Germany — ²Department of Chemistry, University of Cambridge, Lensfield Road, Cambridge CB2 1EW, UK

The detection and quantitative measurement of transient species is a major challenge in industrial plasma applications. We present examples applying laser-based diagnostics in the mid-infrared using lead salt diode lasers and quantum cascade lasers (QCLs). The first example is the measurement of chlorine atoms using the $^2P_{1/2} \leftarrow ^2P_{3/2}$ spin-orbit transition at 882 cm^{-1} in a pure Cl_2 ICP plasma by tunable diode laser absorption spectroscopy. The gas temperature and the Cl atom density were monitored as a function of gas pressure and RF power. The second example is the detection of CF_2 radicals around 1106.2 cm^{-1} in fluorocarbon plasmas employed to etch low-k dielectrics in industrial dielectric etching plasma processes. We found that the CF_2 radical concentration during the etching plasma processes directly correlates to the layer structure of the etched wafer. Another example is the detection of SiH_3 radicals around 2169 cm^{-1} , which is considered to be the most relevant radical in silane based plasma processes. As far as we are aware these are the first measurement in a silane plasma using the external-cavity QCL absorption technique, providing a new and reliable method for measuring quantum quantitatively the silyl radical.

Fachvortrag

P 9.3 Di 11:25 HZO 30

Neueste Entwicklungen zum Aufbau einer Plasmadiagnostik mittels optisch gefangener Mikropartikel — ●VIKTOR SCHNEI-

DER und HOLGER KERSTEN — Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der CAU zu Kiel, Deutschland

Die Idee, Mikropartikel zu plasmadiagnostischen Zwecken einzusetzen, wurde in den letzten Jahren durch unterschiedliche Experimente in Form von elektrostatischen oder thermischen Sonden umgesetzt.

Im Gegensatz zu den sonst üblichen Diagnostikmethoden haben Mikropartikel aufgrund ihrer Größe kaum Einfluss auf das sie umgebende Plasma. Allerdings ist die Partikelposition und damit die Messung meist durch ein Kräftegleichgewicht in der Randschicht eingeschränkt, sodass eine Positionsänderung nur mit erheblichem Aufwand - oft nur in eine Bewegungsrichtung möglich - oder über eine Änderung der Entladung und damit einer Änderung der Plasmamparameter verbunden ist. Basierend auf dem Prinzip der Laserpinzette stellen wir eine nichtinvasive Methode vor, mit der Mikropartikel im Plasma eingefangen und beliebig in ihrer Position verändert werden können. Wir zeigen, wie über eine Positionsbestimmung innerhalb der Falle, die extern auf die Partikel wirkende Kraft bestimmt wird. Ferner stellen wir den aktuellen Entwicklungsstand sowie die möglichen Anwendungen für die Plasmadiagnostik vor.

P 9.4 Di 11:50 HZO 30

Optical Plasma Diagnostics of a RIT-4 Ion Source Operating with Xenon — ●JULIAN KAUPE and SLOBODAN MITIC — I. Physikalisches Institut, Justus-Liebig-Universität Gießen

The recent trend towards miniaturization in the field of electric space propulsion emphasizes the need to apply non-invasive diagnostic techniques to gridded ion thrusters of the RIT family developed at Justus-Liebig-Universität Gießen. In order to develop and test optical plasma diagnostic methods a gridded RIT-4 ion thruster was modified in a way to grant optical access to the thruster plasma by attaching a pair of optical fibers to the extraction grid system. The thruster plasma was then characterized by emission spectroscopy in the optical range as well as absorption spectroscopy in the near IR was performed. Densities of the 1s-multiplet of xenon were calculated from self-absorption of the plasma emissions and compared with laser absorption measurements. This data was used as an input parameter for a line ratio model in order to estimate the electron temperature of the thruster at different points of operation. It is assumed that the techniques developed for the comparably small RIT-4 thruster with a vessel diameter of only 4cm can also be applied to other members of the RIT family with non or small modifications.

P 9.5 Di 12:05 HZO 30

Transient emission from a ns-discharge — ●BEATRIX BISKUP, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University, 44780 Bochum, Germany

To investigate transient continuum emission out of a ns-pulsed micro-thin cathode discharge (μTCD), a time resolved optical emission spectroscopy between 210 nm - 710 nm was applied. This μTCD was pulsed at atmospheric pressure in argon gas with a trigger voltage of 1400 V. The measured pulse length of the discharge had a duration of only 5 ns, with a peak current of 10 A. A continuum emission between 300 nm and 600 nm together with wide Ar II lines at the ignition point could be detected with a relatively calibrated spectrometer. The continuum is probably caused by an argon excimer (Ar_2^+). In addition to the tem-

poral evolution, the plasma density and temperature were calculated from measured Stark-broadening profiles, for atomic and ionic lines (H_{α} , Ar I and Ar II). For atomic lines a density $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and for ionic lines even higher densities near neutral gas density ($\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) were obtained. The difference could be due to varying density regions in the discharge orifice which are investigated by spatially resolved measurements.

P 9.6 Di 12:20 HZO 30

Laser-spectroscopic electric field measurements in near atmospheric ns-pulsed microplasmas in hydrogen and nitrogen — ●PATRICK BÖHM¹, BEN GOLDBERG², IGOR ADAMOVIČ², WALTER LEMPERT², DIRK LUGGENHÖLSCHER¹, and UWE CZARNETZKI¹ — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Germany — ²Department of Mechanical and Aerospace Engineering, the Ohio State University, Columbus, Ohio, USA

This work focuses on laser-spectroscopic electric field measurements in a fast ionization wave amongst other near atmospheric pressure ns-pulsed discharges in hydrogen and nitrogen. The laser technique for the electric field measurements is based on a four-wave mixing process similar to CARS (Coherent anti-Stokes Raman Scattering). This technique works in diatomic gases like hydrogen or nitrogen at higher pressures. The electric field can be calculated from the ratio of the generated signals without the necessity of knowing e.g. the gas density or any further parameters. A calibration measurement has to be applied to achieve absolute values for the electric field. Depending on the pulse width of the utilized laser system a high temporal resolution up to approximately 150 ps can be achieved. A sensitivity of around 50 - 100 V/mm in a pressure-range of 0.3 * 1 bar in pure nitrogen is achieved. The performance of Hydrogen is even better with sensitivities of up to 3 V/mm in 1 bar of pure Hydrogen. This made temporally and spatially resolved electric field measurements in a fast ionization wave in pure hydrogen possible. It also enables the use of Hydrogen as a tracer gas in non-Hydrogen discharges.

P 9.7 Di 12:35 HZO 30

Imaging of plasmas by optical lens-systems — ●SARAH SIEPA¹ and UWE CZARNETZKI² — ¹Institute for Experimental Physics II, Ruhr-University Bochum, 44801 Germany — ²Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44801 Germany

Optical emission spectroscopy of plasmas is a cheap and easy exper-

imental method to determine plasma parameters. One of its major drawbacks, though, is that it can only yield line-integrated information. Lenses are often used in order to enhance the spatial resolution of the method by sharply imaging the point of interest within the plasma. However, there still is a contribution also from other plasma volume elements. In this work the amount of light collected from different positions within the plasma is quantified for a typical lens-detector-system. A function is derived describing the detected fraction of light emitted from plasma volume elements on the axis of the optical system as well as from relevant positions off the axis. The relative contribution of each plane along the axis to the overall detected intensity is given. The possibility of using this detection function in order to gain spatial resolution is discussed.

P 9.8 Di 12:50 HZO 30

Thomson Scattering Diagnostic at PSI-2 — ●MICHAEL HUBENY¹, BERND SCHWEER¹, UWE CZARNETZKI², DIRK LUGGENHÖLSCHER², and BERNHARD UNTERBERG¹ — ¹Institute of Energy and Climate Research, FZ Jülich GmbH, 52425 Jülich — ²Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Bochum

Linear plasma devices are widely used to investigate fundamental plasma dynamics and plasma surface interactions. Processes involved in these interactions possess strong dependencies on plasma temperature and density, while turbulent, intermittent transport in the plasma edge region additionally complicates measuring plasma parameters. Thomson scattering represents a direct measurement of electron density and temperature via light scattering. PSI-2 is equipped with a Nd:YAG Laser with an energy per pulse of up to 1J at 532nm and a triple grating spectrometer, optimized for high efficiency and stray light suppression, can measure radially resolved spectra. Since the plasma exposures generally last several hours, the integration time is adjustable to achieve a higher accuracy. The short laser pulse duration and camera gating time of <10ns offer the possibility to observe plasma dynamics with an appropriate shot-to-shot selection method, which will be discussed. Furthermore, fast camera measurements show turbulent plasma structures in the far plasma edge, in which no significant background plasma is measured. Therefore, all scattered light from plasma is expected to originate from these turbulent structures. First Thomson scattering measurements on PSI-2 will be shown.

P 10: Theory and Modelling I

Zeit: Dienstag 10:30–13:15

Raum: HZO 50

Hauptvortrag P 10.1 Di 10:30 HZO 50
Theorie und Simulation dichter Plasmen — ●MARTIN FRENCH, ANDREAS BECKER und RONALD REDMER — Universität Rostock, Universitätsplatz 3, 18051 Rostock

Im Gegensatz zu niederdichten Plasmen, welche mit kinetischen Modellen, Massenwirkungsgesetzen und Störungstheorie gut verstanden werden können, müssen die langreichweitigen Coulombkräfte zwischen den Teilchen in dichten Plasmen systematisch berücksichtigt werden. Moderne Methoden zielen hier auf direkte, numerische Simulation der quantenmechanischen Wechselwirkungen zwischen den Teilchen. Dies geschieht entweder mit der Pfadintegral-Montecarlo-Methode oder mittels Dichtefunktionaltheorie (DFT), welche üblicherweise mit einer klassischen Molekulardynamik (MD) für die Ionen gekoppelt ist. Damit lassen sich sowohl die thermodynamischen Eigenschaften (Zustandsgleichungen, Phasendiagramme) dichter Plasmen als auch Transporteigenschaften (elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Viskosität) mit hoher Genauigkeit vorhersagen. Ein großer Vorteil der DFT-MD ist außerdem, dass sie nicht nur auf Plasmen beschränkt ist, sondern auch direkt den Übergang zur kondensierten Materie (Flüssigkeiten, Festkörper) beschreiben kann. Ein Hauptanwendungsgebiet für die thermodynamischen Eigenschaften dichter Plasmen ist die Modellierung des inneren Aufbaus, der Evolution und der Magnetfelder großer Planeten wie Jupiter und Saturn. Mit Hilfe der DFT-MD können dafür bedeutende Phänomene wie die Entmischung von Wasserstoff und Helium qualitativ und quantitativ verstanden werden.

P 10.2 Di 11:00 HZO 50

The reduction of distant blazars' inverse Compton cascade

emission by plasma instability induced beam plateauing — ●ULF MENZLER — Ruhr-Universität Bochum, Theoretische Physik IV

The attenuation of TeV γ -rays from distant blazars by the extragalactic background light produces collimated relativistic electron-positron pair beams. The pair beams traversing the intergalactic medium are unstable to linear two-stream instabilities of both electrostatic and electromagnetic nature. We investigate the case of weak blazars where the back reaction of generated electrostatic turbulence leads to a parallel plateauing of the electron energy spectrum. We determine the inverse-Compton cascade flux reduction above a certain normalized energy x_l resulting from the incorporation of plasma effects on the beam particles distribution functions. Deriving the exact reduction factors for a steady state and a flaring scenario, where we also investigate the influence of time averaging observations, we can show, that in most cases the reduction is well approximated with a function $R(x_l)$ resulting in the steady state scenario. For a typical blazar scenario the cascade flux reduction factor above 10 GeV is ~ 0.1 . Application of our findings to the spectrum of 1ES 0229+200 show, that the incorporation of plasma effects leads to a natural explanation of the reduced GeV flux. Claims on the lower bound of the intergalactic magnetic field strengths, made by several authors to explain the flux reduction while neglecting plasma effects, are thus put into question.

P 10.3 Di 11:15 HZO 50

The marginal instability condition of the aperiodic ordinary mode for counter-stream bi-Maxwellian distribution function — ●SERGEI VAFIN and REINHARD SCHLICKEISER — Institut für Theoretische Physik, Lehrstuhl IV: Weltraum- & Astrophysik, Ruhr-Universität, Bochum, Germany

In situ observations of solar wind temperature anisotropy do not fit predictions in the low parallel plasma beta regime. At the same time the aperiodic O-mode might be additionally destabilized at low plasma betas by counter-streams, which implies an excess of free energy in the direction parallel to the ordered magnetic field. This fact has been recently discovered analytically and confirmed numerically, solving the dispersion equation of O-mode for both equal-mass and electron proton plasmas, assuming different counter-stream parameter scalings. The marginal instability condition exhibits a sensitive behaviour on a counter-stream parameter scaling and under certain assumptions can explain the observations.

P 10.4 Di 11:30 HZO 50

Plasma Effects on Extragalactic Ultra-high-energy Cosmic Ray Hadron Beams in Cosmic Voids — ●STEFFEN KRAKAU and REINHARD SCHLICKEISER — Institut für Theoretische Physik, Lehrstuhl IV: Weltraum- und Astrophysik, Ruhr-Universität Bochum
The linear instability of an ultrarelativistic hadron beam ($\Gamma_b \approx 10^6$) in the unmagnetized intergalactic medium is investigated with respect to the excitation of collective electrostatic and aperiodic electromagnetic fluctuations. This analysis is important for the propagation of extragalactic ultrarelativistic cosmic rays ($E > 10^{15}$ eV) from their distant sources to Earth. We calculate minimum instability growth times which are orders of magnitude shorter than the cosmic ray propagation time in the IGM. Due to nonlinear effects, especially the modulation instability, the cosmic ray beam stabilizes and can propagate with nearly no energy loss through the intergalactic medium.

P 10.5 Di 11:45 HZO 50

Quasilinear theory of spontaneously emitted field fluctuations and the genesis of cosmological magnetic fields — ●ULRICH KOLBERG and REINHARD SCHLICKEISER — Institut für Theoretische Physik, Lehrstuhl IV: Weltraum- und Astrophysik, Ruhr-Universität Bochum

Any fully-ionized collisionless plasma with finite random particle velocities contains electric and magnetic field fluctuations. The fluctuations can be of three different types: weakly damped, weakly propagating or aperiodic. The kinetics of these fluctuations in general unmagnetized plasmas, governed by the competition of spontaneous emission, absorption and stimulated emission processes, is investigated, extending the well-known results for weakly damped fluctuations. The generalized Kirchhoff radiation law for both collective and non-collective fluctuations is derived, which in stationary plasmas provides the equilibrium energy densities of electromagnetic fluctuations by the ratio of the respective spontaneous emission coefficient and the true absorption coefficient. As an illustrative example the equilibrium energy densities of aperiodic transverse collective electric and magnetic fluctuations in an isotropic thermal electron-proton plasmas of density n_e is calculated as $|\delta B| = \sqrt{(\delta B)^2} = 2.8(n_e m_e c^2)^{1/2} g^{1/2} \beta_e^{7/4}$ and $|\delta E| = \sqrt{(\delta E)^2} = 3.2(n_e m_e c^2)^{1/2} g^{1/3} \beta_e^2$, where g and β_e denote the plasma parameter and the thermal electron velocity in units of the speed of light, respectively. For densities and temperatures of the reionized early intergalactic medium $|\delta B| = 6 \cdot 10^{-18}$ G and $|\delta E| = 2 \cdot 10^{-16}$ G result.

P 10.6 Di 12:00 HZO 50

Die Rolle der Elektron-Elektron-Stöße für Transporteigenschaften warmer dichter Materie — ●SEBASTIAN ROSMEJ, HEIDI REINHOLZ und GERD RÖPKE — Universität Rostock, Institut für Physik, 18051 Rostock, Deutschland

Die Frage nach dem Einfluss von Elektron-Elektron-Stößen auf Transporteigenschaften dichter Plasmen wird diskutiert. Insbesondere wird die Gleichstromleitfähigkeit untersucht. Bei geringen Dichten im klassischen Grenzfall ist das Spitzer-Verhalten bekannt, bei höheren Dichten im entarteten Bereich die viel verwendete Ziman-Formel. Beide Grenzfälle können ausgehend von der von uns verwendeten Linearen-Response-Theorie abgeleitet werden, sodass eine konsistente und die Grenzfälle enthaltene Näherung bei beliebiger Entartung vorliegt. Im klassischen Bereich ist der Einfluss der Elektron-Elektron-Stöße nicht vernachlässigbar, nimmt jedoch mit zunehmender Entartung als Folge des dort dominanten Pauli-Blockings ab. Es wird daher ein Korrekturfaktor vorgeschlagen, der die Berücksichtigung der Elektron-Elektron-Stöße bei der Behandlung der Leitfähigkeit für beliebige Entartung enthält. Analytische Fitformeln, die in einem weiten Dichte-Temperaturbereich gültig sind, werden angegeben.

P 10.7 Di 12:15 HZO 50

Numerical study of impeller-driven turbulence and dynamo action using a penalization method — ●SEBASTIAN KREUZAHNER¹, HOLGER HOMANN², YANNICK PONTY², and RAINER GRAUER¹ — ¹Institut für Theoretische Physik I, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum, Germany — ²Université de Nice-Sophia, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, BP 4229 06304 Nice Cedex 4, France

The process, in which magnetic fields are amplified exponentially by flows of electrically conducting fluids, is known as dynamo action. It is believed to be the origin of many magnetic fields in the universe. One successful laboratory experiment investigating the underlying mechanisms is the Von Kármán Sodium device, a cylindrical vessel filled with liquid sodium, stirred by two counter-rotating soft-iron impellers. Nevertheless the experiment leaves unresolved questions regarding the interaction of liquid metal and solid impellers.

It is our aim to design and to perform direct numerical simulations of spatially and temporally resolved flow and magnetic fields, inaccessible to experimental measurements. The geometry of rotating impellers similar to experimental configurations is implemented in a massively parallel pseudospectral MHD solver via a penalization technique.

The investigation of hydrodynamic properties of the system shows a good quantitative agreement with experimental results. Simulations of the full MHD system reveal effects of the magnetic permeability of the impellers on the magnetic field growth and shape.

P 10.8 Di 12:30 HZO 50

Rydberg atoms in dense plasma — ●CHENGLIANG LIN, HEIDI REINHOLZ, and GERD RÖPKE — Universität Rostock, Institut für Physik, Deutschland

The transition rates of a Rydberg atom in plasma are derived by means of a quantum master equation approach. The coupling of the Rydberg atom with the plasma causes pressure broadening and is described by the density-density correlation function. It is shown that the transition rates can be obtained describing the highly excited Rydberg electron as a coherent quasi-classical state. The coherent state is constructed from Gaussian weighted eigenstates of the Rydberg electron. The calculated transition rates are shown to be in a good agreement with classical Monte-Carlo-simulation results.

P 10.9 Di 12:45 HZO 50

Self-Consistent Three-Dimensional Plasma and Neutral Gas Modeling — ●ROBERT HENRICH and CHRISTIAN HEILIGER — I. Physikalisches Institut, Justus-Liebig-University of Giessen, Germany

Designing and optimizing micro-Newton radio frequency ion thrusters (μ N-RITs) for applications in space are challenging and ongoing processes. For that, the plasma parameters of the inductively coupled discharge are of main importance. These values are tedious to measure without influencing the discharge due to the small size of the discharge chamber which is a few centimeters.

As a result of this we have developed our three-dimensional "particle in Cell" (PIC) code "PlasmaPIC" from scratch. We will show that the three-dimensional description is necessary due to the broken rotational symmetry of the slope of the coil as well as the grid system. A main feature of "PlasmaPIC" is the ability of an excellent massive parallelization of the computation, which scales linearly up to a few hundred cpu cores. Moreover, "PlasmaPIC" includes the support of arbitrary geometries as well as the interaction of the neutral gas and the plasma discharge. Because the neutral gas and the plasma simulation are acting on different time scales we perform the simulation of both separately in a self-consistent treatment, whereas the neutral gas distribution is calculated using the "direct simulation Monte Carlo method" (DSMC).

With our "PlasmaPIC" simulation tool we are now on the verge of predicting performance parameters for new designs of our thrusters on a microscopic level.

P 10.10 Di 13:00 HZO 50

Ab initio thermodynamic results for the degenerate electron gas at finite temperature — TIM SCHOOF, SIMON GROTH, JAN VORBERGER, and ●MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität Kiel Leibnizstr. 15, 24098 Kiel, Germany

The uniform electron gas (UEG) at finite temperature is of key relevance for many applications in dense plasmas, warm dense matter and laser excited solids. Recently, first principle restricted path integral Monte Carlo results became available [1] which, however, due to the Fermion sign problem (FSP), are confined to moderate degeneracy, i.e.

low to moderate densities with $r_s = \bar{r}/a_B \gtrsim 1$ [\bar{r} is the mean interparticle distance and a_B the Bohr radius]. Here we present novel first principle configuration PIMC [2,3] results for polarized electrons, for $r_s \lesssim 1$ that close this gap and indicate that the previous data of Ref. [1] are inaccurate [4]. We also present quantum statistical data within the e^4 -approximation which agree very well with our CPIMC results at high densities.

Supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft via project BO1366-10

[1] E. Brown et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 146405 (2013). [2] T. Schoof et al., Contrib. Plasma Phys. **51**, 687 (2011). [3] T. Schoof, S. Groth, and M. Bonitz, Contrib. Plasma Phys. (2015), DOI: 10.1002/ctpp.201400072. [4] T. Schoof et al., submitted to Phys. Rev. Lett.

P 11: Low Temperature Plasmas I

Zeit: Dienstag 14:00–15:55

Raum: HZO 30

Hauptvortrag

P 11.1 Di 14:00 HZO 30

Cold atmospheric plasmas in medicine: basic mechanisms and practical applications — ●THOMAS VON WOEDTKE — Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP Greifswald), Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald — Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Universitätsmedizin, 17475 Greifswald

Plasma medicine has been developed as innovative medical research field during the last years. The direct application of plasma as part of therapeutic concepts is most promising in dermatology, plastic surgery or dentistry, and is up to now focused on tissue regeneration, infected and/or chronic wounds as well as infective and inflammatory skin diseases. Another field of big interest is oncology. To establish cold atmospheric pressure plasma sources as medical devices, detailed understanding of plasma action on living systems is indispensable. It was found that biological plasma effects are significantly caused by plasma induced changes of the liquid environment of cells and that redox-active species generated in or transferred into liquid phases by plasma treatment play a dominating role in transmission of biological plasma effects. Based on these fundamental insights the huge field of redox biology has been opened for basic research in plasma medicine because plasma generated redox-active species are the same as occurring in living cells as part of regular physiological and biochemical processes. This will contribute to consolidate a sound scientific basis of plasma medicine and will help to assess and control both further chances but also possible risks of plasma application in medicine.

Fachvortrag

P 11.2 Di 14:30 HZO 30

Phase resolved correlation of surface charge distribution with emission and electrical signals from an atmospheric pressure plasma jet in helium — ●TORSTEN GERLING¹, ROBERT WILD², ANDREI VASILE NASTUTA³, LARS STOLLENWERK², CHRISTIAN WILKE¹, and KLAUS-DIETER WELTMANN¹ — ¹INP Greifswald, Germany — ²University Greifswald, Germany — ³Alexandru Ioan Cuza University, Iasi, Romania

A capillary plasma jet in helium close to a surface is investigated by means of phase resolved optical imaging and electrical current and voltage measurements. In addition the Pockels-effect is used to investigate the space and phase resolved distribution of surface charge on the dielectric surface in front of the plasma jet.

The phase resolved optical imaging reveal the discharge dynamics with a dielectric barrier discharge between the two ring electrodes as well as plasma bullets exiting the capillary. In addition, the discharge dynamics are simultaneously observed on the current signal. Finally, the contribution will correlate these results with the phase resolved distribution of surface charge. It is concluded, that the charge exchange between the jet and the surface occurs within the channel that is left behind by the plasma bullet and not from the bullet itself.

P 11.3 Di 14:55 HZO 30

Excitation Dynamics and Alpha to Gamma Transition in an Argon Micro Atmospheric Pressure Plasma Jet: Diagnostics and Modelling — ●MARIO DÜNNBIER^{1,2}, MARKUS BECKER¹, DETLEF LOFFHAGEN¹, KLAUS-DIETER WELTMANN¹, and STEPHAN REUTER^{1,2} — ¹Centre for Innovation Competence plasmatis, 17489 Greifswald, Germany — ²Leibniz Institute for Plasma Science and Technology e.V. (INP Greifswald), 17489 Greifswald, Germany

Argon as a feed gas for a novel megahertz driven atmospheric pressure plasma jet (APPJ) has been investigated experimentally and numerically. The micro-scale APPJ under consideration usually runs with helium and is well described in the literature [1]. Up to now it was impossible to ignite a discharge in argon within this jet geometry. To meet this challenge a self-made plasma tuning unit (PTU) was designed. Ad-

ditionally the PTU enables the measurements of the dissipated power in the plasma itself. Therefore, the power can be varied in the range between 500 and 1500 mW. Phase resolved optical emission spectroscopic measurements of the argon transition at 750.39 nm shows only one intensity maximum at each half cycle of the applied voltage for the low power range. At increasing power a second maximum arises immediately after the first one. Comparison with numerical modelling shows that the first maximum contributes to the excitation due to bulk electrons and the second maximum to secondary electrons from the electrodes.

[1] S. Schneider, M. Dünnbier et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **47** 50520, 2014

P 11.4 Di 15:10 HZO 30

Zündverhalten von dielektrisch behinderten Entladungen im gepulsten Betrieb mit Sub-ns-Anstiegszeit — ●HANS HÖFT¹, TOM HUISKAMP², MANFRED KETTLITZ¹ und GUUS PEMEN² — ¹INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Straße 1, 17489 Greifswald, Deutschland — ²TU Eindhoven, Dept. of Electrical Engineering, Eindhoven 5600 MB, Niederlande

Die Steilheit der Spannungsflanken hat bei gepulsten dielektrisch behinderten Entladungen (DBE) einen signifikanten Einfluss auf die Entladungscharakteristik. Eine koaxiale DBE wurde mit ultrasteilen Hochspannungspulsen (ca. 0,2 ns Anstiegszeit auf 20 kV, $dU/dt \sim 100 \text{ kV/ns}$, 5 ns Pulsbreite) bei Repetitionsfrequenzen zwischen 1 Hz und 1 kHz in O_2/N_2 -Gasgemischen bei Atmosphärendruck betrieben. Das Zündverhalten wurde mit einer schnellen iCCD zeitaufgelöst verfolgt. Der Durchbruch während des ersten Pulses ist unabhängig von der Wiederholfrequenz und der O_2 -Konzentration durch eine diffuse Emission vor der metallischen Elektrode charakterisiert. Aufgrund der kurzen Pulsbreite kann sich aus diesem ionisierten Gebiet aber kein Streamerdurchbruch entwickeln. Da nicht die gesamte Energie des Pulses in die DBE eingekoppelt wird, kommt es nach dem ersten Durchbruch zu wiederholten Reflexionen des Hochspannungspulses, die zur Wiederzündung im von den vorherigen Entladungen vorionisierten Volumen führen. Während dieser Reflexionen ändert sich die Entladungsstruktur signifikant von einem diffusen Modus hin zu kontrahierten Kanälen. Dieser Übergang ist von der O_2 -Konzentration abhängig.

P 11.5 Di 15:25 HZO 30

Spectroscopic studies of mw plasmas containing hexamethyldisiloxane — ●ANDY NAVE¹, FELIX MITSCHKER², PETER AWAKOWICZ², and JÜRGEN RÖPCKE¹ — ¹INP Greifswald, 17489 Greifswald, Germany. — ²Ruhr-Universität Bochum, Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik AEPT, 44780 Bochum, Germany.

Plasmas containing organosilicon precursors are used in a variety of processes to deposit thin films with advantageous mechanical, electrical or optical properties. Since many years plasma-assisted polymerization has been based on hexamethyldisiloxane (HMDSO). To open up new fields of application the deposition of coatings in a wide range of chemical and physical properties by varying plasma parameters is a challenging subject. The key to an improved understanding of related plasma chemical phenomena is the analysis of the fragmentation of the precursor and the monitoring of transient and stable reaction products.

In mw plasmas infrared absorption spectroscopy based on Tunable Diode Laser (TDLs) and External Cavity Quantum Cascade Laser (EC-QCL) has been used to monitor the ground state concentrations of HMDSO, and of the reaction products CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO , CO_2 and CH_3 as a function of the HMDSO/ O_2 mixture ratio, and the applied power at various pressure values. In addition, the neutral gas temperature could be determined. Optical emission spectroscopy has been applied as complementary diagnostics in order to evaluate

electron density and electron temperature.

P 11.6 Di 15:40 HZO 30

Laser-photodetachment of negative ions in He/O₂ barrier discharges — ●ROBERT TSCHIRSCH, SEBASTIAN NEMSCHOKMICHAL, and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

The influence of negative ions on the properties of atmospheric pressure barrier discharges is of fundamental interest. Laser photodetachment experiments are performed in a glow-like barrier discharge in helium with small admixtures of oxygen at a pressure of 500 mbar and a gas gap of 3 mm. The discharge properties are studied by electrical measurements and optical emission spectroscopy. A Nd:YAG laser en-

ables both the detachment of solely O₂⁻ at the fundamental wavelength $\lambda = 1064$ nm, and of O⁻, O₂⁻ as well as O₃⁻ at the second harmonic wavelength $\lambda = 532$ nm. The laser is guided through the discharge gap without noticeable interaction with the electrodes. This is proofed in the pure helium discharge as there is no effect at all. In contrast, when adding oxygen the laser affects the discharge breakdown exclusively during its pre-phase. The discharge ignition starts earlier in comparison to the unaffected discharge. This time shift indicates an enhanced pre-ionization which, most likely, is connected with the photodetachment of negative ions. Additional photoelectrons support the positive space charge formation. Furthermore, this time shift grows with increasing oxygen admixture and laser pulse energy. The investigation underlines the significant importance of the discharge pre-phase and tries to differentiate between the contribution of O⁻, O₂⁻, and O₃⁻.

P 12: Helmholtz Graduate School for Plasma Physics I

Zeit: Dienstag 14:00–16:10

Raum: HZO 50

Fachvortrag P 12.1 Di 14:00 HZO 50
3D structure of large dust clouds in dusty plasmas — ●CARSTEN KILLER and ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Dust clouds which fill almost the entire discharge volume can be confined in capacitively coupled radio frequency plasmas. In contrast to many dusty plasma experiments with finite dust clouds, which are studied by observing individual particles, our large dust clouds consist of about 10⁶ particles, requiring a more global experimental approach.

In order to investigate the global properties of such a cloud, a plasma chamber with a 360° optical access has been constructed. The 3D dust density distribution is obtained by a computer tomography-like technique, where the line-of-sight integrated light extinction (due to scattering and absorption by the dust particles) is measured from many different angles.

Furthermore, the dust size distribution is investigated with a spatially resolving Mie Imaging technique, which is able to determine the dust size very precisely. The high resolution is achieved by measuring the angle-resolved Mie scattering intensities of illuminated particles over a wide angular range. Using the Mie Imaging technique, interesting effect such as the self-organized de-mixing of slightly differently sized dust particles or variations of the dust size over time (due to dust-plasma interaction) are investigated.

Fachvortrag P 12.2 Di 14:25 HZO 50
Electronic correlations during the neutralization of strontium ions on gold surfaces — ●MATHIAS PAMPERIN, FRANZ XAVER BRONOLD, and HOLGER FEHSKE — Institut für Physik, Universität Greifswald, 17489 Greifswald, Germany

Wall recombination of positively charged ions is one of the main surface-based loss processes for positive ions in a low-temperature gas discharge. It thus affects the overall charge balance of the discharge significantly. Depending on the electronic structure of the ion and the wall electronic mixed-valence correlations may lead to an unexpectedly high recombination probability with an anomalous temperature dependence. There is experimental evidence that this is the case for strontium ions hitting a gold surface. Because of its fundamental importance we analyzed this particular charge-transferring atom-surface collision theoretically using an Anderson-Newns model and non-equilibrium Green function techniques. Our results for the neutralization probability do not yet agree with the experimental data quantitatively. The order of magnitude can be however reproduced as well as the tendency of a negative temperature dependence at high temperatures. The projectile's time-resolved spectral densities show moreover a strong enhancement near the Fermi energy, which is a clear indication that mixed-valence correlations are present. Refinements of the theory necessary to bring experimental and theoretical data in better agreement will be discussed. Supported by the DFG through CRC/Transregio TRR24 and the Federal State of Mecklenburg-Vorpommern through the International Helmholtz Graduate School.

Fachvortrag P 12.3 Di 14:50 HZO 50
Dissipation processes in turbulent plasmas: Hybrid Vlasov-Maxwell simulations — ●SILVIO SERGIO CERRI¹, FRANCESCO CALIFANO², FRANK JENKO³, and FRANCESCO PEGORARO² — ¹Max Planck Institute for Plasma Physics, Garching, Germany — ²Physics

Dept., Univ. of Pisa, Italy — ³Dept. of Physics and Astronomy, Univ. of California Los Angeles, USA

Turbulence is an ubiquitous phenomenon observed in laboratory, space and astrophysical collisionless plasmas where kinetic effects do play a fundamental role by affecting the turbulent spectrum. In particular, these effects come into play as soon as the ion Larmor scale is approached by the turbulent cascade, entering the so-called dissipation range, on which recent and on-going satellite measurements in the solar wind have focused their attention. This first transition from fluid to ion kinetic turbulence is our main focus. We use a hybrid Vlasov-Maxwell approach (VESPA code) where ions are treated as kinetic and electrons are assumed as a neutralising background massless fluid.

We present a high-resolution numerical study of 2D3V magnetised driven turbulence and a survey of similarities and differences between various regimes is given. One of the main result is the formation of strong current sheets where magnetic reconnection occurs within a turbulent environment. The reconnection events represent a fundamental transition for what concerns the nature of the turbulence as represented by the slope of power-law energy spectra, here covering more than two decades in wave numbers. We also show the formation of plasmoid chains and shocks structures.

Fachvortrag P 12.4 Di 15:15 HZO 50
Computer simulations of the Scrape Element for the nuclear fusion experiment Wendelstein 7-X — ●HAUKE HÖLBE, THOMAS SUNN PEDERSEN, JOACHIM GEIGER, SERGEY BOZHENKOV, and YÜHE FENG — Max Planck Institute for Plasma Physics, Wendelsteinstr. 1, 17491 Greifswald, Germany

The nuclear fusion experiment Wendelstein 7-X (W7-X), located in Greifswald (Germany), will go into operation in a few months (summer 2015). Than W7-X will become the world leading stellarator. The stellarator concept is intrinsically capable of steady state operation while other nuclear fusion concepts based on magnetic confinement such as the Tokamak have to operate in pulsed mode.

In W7-X the plasma-wall interaction will take place at a specifically designed region called the divertor. The divertor itself has regions with different heat load capabilities, the most prominent parts can withstand energy fluxes of up to 10 MW/m² in steady state operation (almost the energy flux at the surface of the sun).

Simulations of certain experimental scenarios have shown that the heat flux limit may be exceeded at one special region of the divertor where the cooling capabilities are less strong. There are several options to deal with this challenge. One of them are an additional divertor plate, called the scraper element (SE), that takes up some of the heat load that would otherwise hit and damage the vulnerable region.

The talk is about the effects of an SE in steady state operation as well as the development of new magnetic field configurations to test the SE in an early operational phase.

P 12.5 Di 15:40 HZO 50
Quenching processes in terrestrial nightglow green line and Meinel band emissions in the MLT region — ●OLEXANDR LEDNYTS'KYI and CHRISTIAN VON SAVIGNY — Ernst-Moritz-Arndt-University of Greifswald, Greifswald, Germany

We consider terrestrial airglow emissions used for remote sensing

of the chemical composition of the Earth's upper mesosphere and lower thermosphere (MLT). Atomic oxygen concentration ([O]) profiles were retrieved from O(¹S-¹D) nightglow emission rates (provided by SCIAMACHY (SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartographY) on Envisat from August 2002 to April 2012 daily at approximately 22:00 local solar time) according to the 2-step Barth transfer scheme. A comparison between the retrieved [O] profiles and available reference [O] profiles enabled a selection of the most appropriate photochemical model. The Bates-Nicolet mechanism was applied to model the OH Meinel band emission layer in the MLT. The performed modeling confirms the previously considered assumption that collisional quenching of OH* by O causes vertical shifts of the OH layers. The retrieval results show that there is a significant correlation of solar forcing activity with [O] and [OH*] at high altitudes. Chemical reactions involved into both the 2-step Barth transfer scheme and the Bates-Nicolet mechanism were considered with account of quenching processes.

P 12.6 Di 15:55 HZO 50

A Particle in Fourier Method for Field Aligned Gyrokinetic Models — ●JAKOB AMERES^{1,2}, ROMAN HATZKY¹, and ERIC

SONNENDRÜCKER^{1,2} — ¹Max Planck Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany — ²Technische Universität München, Lehrstuhl für Numerische Methoden der Plasmaphysik, Garching, Germany

The gyrokinetic model, which approximates the Vlasov-Maxwell equations by averaging over the gyro-motion, is well suited for the study of turbulent transport in tokamaks and stellarators. Gyrokinetic PIC codes using a finite element field description are known to conserve energy but not momentum. Using the Vlasov-Poisson equations in periodic domains with a purely Fourier based field solver yields a Monte Carlo particle method, Particle in Fourier (PIF), conserving both energy and momentum. Similar to Fourier filtering techniques on finite elements this also reduces the statistical noise. However, the computational costs per particle are high. But for many problems the total number of physically relevant Fourier modes remains small thus reducing the overall computational effort. In the scope of a field aligned description we derive a field solver, which couples a two dimensional Fourier transform in the torus' angular directions to B-splines over the radial coordinate yielding a hybrid PIC/PIF scheme. We study our solver for a guiding center approximation in polar and cylindrical coordinates, in particular to quantify the stochastic error.

P 13: Poster Session - Plasma Wall Interactions

Zeit: Dienstag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 13.1 Di 16:30 Foyer Audimax

Hodographs in the Analysis of Resonant Magnetic Perturbations — ●PHILIPP DREWS, PETER DENNER, and YUNFENG LIANG — Forschungszentrum Jülich IEK 4 Institut für Plasmaphysik, Jülich, Deutschland

The measurement of the plasma response to resonant magnetic perturbations is of great interest for the mitigation of edge localized modes, which will be required on ITER in order to reduce the heat load and damage to plasma facing components. Hodographs represent a unique tool for visualizing the phase and the amplitude of time-varying resonant magnetic perturbations. Hodographs also allow an easy way of comparing experimental data with simulated fields. This comparison already shows that, for time-varying perturbations, the simple vacuum assumption is not enough even when there is no plasma; it is necessary to include other effects, such as eddy currents in the vessel wall, in order to reproduce the measured field. This hodograph method has been used to analyse data obtained from the TEXTOR experiment, with perturbations applied by the Dynamic Ergodic Divertor (DED) system.

P 13.2 Di 16:30 Foyer Audimax

Method development for detecting divertor failures during steady state operation of Wendelstein 7X — ●ALEXANDER RODATOS¹, MARCIN JAKUBOWSKI¹, THOMAS SUNN PEDERSEN¹, and HENRI GREUNER² — ¹Max Planck Institute for Plasma Physics, Wendelsteinstr. 1, Greifswald, Germany — ²Max Planck Institute for Plasma Physics, Boltzmannstr. 2, Garching, Germany

Wendelstein 7-X (W7-X) is stellarator fusion experiment, which will start operation in 2015. One of its goals is the demonstration of the stellarator concepts steady state capability while operating with fusion relevant plasma parameters. For particle and heat exhaust from

the plasma a set of 10 island divertor units is installed in the machine. During the steady state operation they are exposed to a heat flux of up to 10MW/m² for up to 30 min. Transient, even higher heat fluxes are possible. To guarantee the safe operation of W7-X a continuous surveillance of the divertor is mandatory, which is realized by a set of 10 infrared cameras observing the divertor surface. These data needs to be evaluated during the experiment identifying defects, surface layers and actual hot spots caused by overheating.

P 13.3 Di 16:30 Foyer Audimax

Quarzkristall-Mikrowaagen zur Quantifizierung laserbasierter — ●TORSTEN SCHILDT, N. GIERSE und U. SAMM — Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, D-52425 Jülich

Die Wand von Fusionsreaktoren wird durch hohe Wärme- und Teilchenflüsse extremen Bedingungen ausgesetzt. Um in dieser Umgebung Messungen durchführen zu können, werden laserbasierte Methoden wie die Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) entwickelt. Bei laserbasierten Untersuchungsmethoden besteht eine zentrale Herausforderung darin, quantitative Aussagen zu treffen. Ein Ansatz hierfür ist die Verwendung von Quarzkristall-Mikrowaagen (Quartz Microbalance, QMB), um pulsaufgelöst die abgetragene Masse bestimmen zu können. QMBs schwingen mit einer bestimmten Frequenz, welche in direktem Zusammenhang mit der Massenbelegung steht. Es wurden QMBs in einem Magnetron mit Kupfer und Chrom beschichtet und mit einem Laser beschossen. Der Laser trug hierbei Masse von der QMB ab, was Auswirkungen auf deren Schwingfrequenz hat. Um die Frequenzanalyse zu verifizieren, wurden die Massen der QMBs sowohl vor und nach der Beschichtung als auch nach dem Beschuss gemessen. Weitere oberflächensensitive Analysemethoden wie Focused Ion Beam (FIB) wurden verwendet, um die durch den Ablationsprozess entstandenen Krater zu vermessen und zu analysieren.

P 14: Poster Session - Theory and Modelling

Zeit: Dienstag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 14.1 Di 16:30 Foyer Audimax

PIC/MCC simulation of a helium benchmark discharge plasma — ●ANBANG SUN, MARKUS M. BECKER, SERGEY GORCHAKOV, and DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

A particle-in-cell/Monte Carlo collision (PIC/MCC) model developed to simulate streamers and the inception of pulsed discharges [1] has been extended to allow for the analysis of technological low-temperature plasmas. Therefore, the movement and collisions of ions have been included in the PIC/MCC code which uses adaptive particle

management for the super-particles. As a first step, simulations related to a spatially one-dimensional capacitively coupled discharge in helium have been performed. The comparison with the benchmark results presented in [2] shows generally good agreement. Aspects substantial for the comparison like the treatment of the collision processes of ions are discussed. In addition, the impact of the movement of ions and different boundary conditions as e.g. partial electron and ion reflection or secondary electron emission are represented.

The work has been partly supported by the European Union's 7th Framework Programme for research, technological development and

demonstration under grant agreement no. 316216 and the German Research Foundation (DFG) within SFB TRR 24. The authors thank A. Derzsi, Z. Donkó and M. Turner very much for their kind assistance in benchmarking the code.

[1] A. Sun et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **47** (2014) 445205

[2] M. M. Turner et al., *Phys. Plasmas* **20** (2013) 013507

P 14.2 Di 16:30 Foyer Audimax

Modellierung von Plasmafilament und Gasfluss in einem RF-Plasmajet — ●FLORIAN SIGENEGER — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Ein nichtthermischer Plasmajet wird durch Kombination verschiedener Methoden untersucht. Der Jet besteht aus zwei konzentrischen Kapillaren und zwei ringförmigen Elektroden, die die äußere Kapillare umschließen und die RF-Leistung bei 27.12 MHz zuführen.

Der erste Teil des Modells ist der Beschreibung eines einzelnen Filamentes im aktiven Volumen zwischen den beiden Kapillaren gewidmet. Hierfür wird ein zweidimensionales axialsymmetrisches Fluidmodell verwendet, das Kontinuitätsgleichungen für die Teilchendichten der Elektronen und der wichtigsten Argon-Spezies, die Energiebilanzgleichung der Elektronen, die Poissongleichung sowie eine Gleichung für die Oberflächenladung umfasst. Außerdem wird die Gastemperatur durch Lösen der Wärmebilanzgleichung bestimmt. Die Einbeziehung von Kontraktionsmechanismen führt zur Herausbildung von schmalen Dichteprofilen und ausgeprägten Schichtstrukturen, wie sie auch experimentell beobachtet werden.

Der zweite Teil des Modells nutzt das aus dem ersten Teil ermittelte Heizungsprofil, um den Einfluss der lokalen Heizung auf den Gasfluss zu untersuchen. Auf diese Weise wird die Erzeugung einer azimuthalen Geschwindigkeitskomponente nachgewiesen, die im Experiment zur Rotation der Filamente führt.

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB TRR 24 unterstützt.

P 14.3 Di 16:30 Foyer Audimax

Efficient Computation of Instantons for Multi-Dimensional Turbulent Flows with Large Scale Forcing — ●STEPHAN SCHINDEL¹, RAINER GRAUER¹, and TOBIAS GRAFKE² — ¹Institut für Theoretische Physik I, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland — ²Weizmann Institute of Science, Rehovot 76100, Israel

Extreme events play a crucial role in fluid turbulence. Inspired by methods from field theory, these extreme events, their evolution and probability can be computed with help of the instanton formalism as minimizers of a suitable action functional. Due to the high number of degrees of freedom in multi-dimensional fluid flows, traditional global minimization techniques quickly become prohibitive in their memory requirements. We outline a novel method for finding the minimizing trajectory in a wide class of problems that typically occurs in turbulence setups, where the underlying dynamical system is a non-gradient, non-linear partial differential equation, and the forcing is restricted to a limited length scale. We demonstrate the efficiency of the algorithm in terms of performance and memory by computing high resolution instanton field configurations corresponding to viscous shocks for 1D and 2D compressible flows.

P 14.4 Di 16:30 Foyer Audimax

Self-consistent collisional-radiative model for non-uniform argon plasmas: with or without "escape factor" — ●XI-MING ZHU, TSANKO TSANKOV, DIRK LUGGENHÖLSCHER, and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Bochum, Germany

Collisional-radiative models for low-temperature rare-gas plasmas are widely investigated [1]. When the plasmas are optically thick, an "escape factor" is used to account for radiation trapping, assuming a uniform density profile of excited atoms [2]. However, this assumption is not satisfied in non-uniform plasmas. This work reports a self-consistent collisional-radiative model for the Ar(2p) states (Paschen's notation) without an ad hoc "escape factor". The rate balance equations are numerically solved to yield the actual density profiles. The predicted Ar(2p) densities are compared with those from a spatial measurement by an optical probe [3]. The novel model agrees well with the experiment but the "escape factor" model does not. The shortcomings of "escape factor" concept used previously are thus revealed. [1] X M Zhu and Y K Pu, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **43**, (2010) 403001 [2] X M Zhu, Y K Pu, Y Celik, S Siepa, E Schüngel, D Luggenhölscher and U Czarnetzki, *Plasma Sources Sci. Technol.* **21**, (2012) 024003 [3] B Du, Y Celik, D Luggenhölscher and U Czarnetzki, *Plasma Sources Sci.*

Technol. **19**, (2010) 045008

P 14.5 Di 16:30 Foyer Audimax

Generalized Analytical Model for the Radio-Frequency Sheath — ●UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, Bochum, 44780, Bochum

An analytical model for the planar radio frequency (RF) sheath in capacitive discharges is developed based on the applied RF voltage as the boundary condition. The model applies to all kind of waveforms for the applied RF voltage, includes both sheaths in a discharge of arbitrary symmetry, and allows for an arbitrary degree of ion collisionality in the sheaths (charge-exchange collisions). Further, effects of the finite floating potential during sheath collapse are included. The model can even be extended to electronegative plasmas with low bulk conductivity. The individual sheath voltages, the self-bias, and the RF floating potentials are explicitly calculated by a voltage balance equation using a cubic-charge voltage relation for the sheaths. In particular, the RF-phase as a function of the sheath voltage is determined. This is an input for a single second order non-linear integro-differential equation which is governing the ion flow velocity in the sheath [1]. Fast numerical integration is straight forward and in many cases approximate analytical solutions can be obtained. Based on the solution for the ion flow velocity, densities, electric fields, currents, and charge-voltage relations are calculated. Further, the Child-Langmuir laws for the collisionless as well as the highly collisional case are derived. Very good agreement between model and experiments is obtained. [1] U.Czarnetzki, *Phys. Rev. E* **88**, 063101 (2014).

P 14.6 Di 16:30 Foyer Audimax

Global Modeling of DLC-coatings for automotive applications — ●WLADISLAW DOBRYGIN¹, DIRK BLUHM¹, STEPHAN DANKO¹, OLIVER SCHMIDT¹, and RALF PETER BRINKMANN² — ¹Department for Coating Technologies and Surface Engineering, Robert Bosch GmbH, Germany — ²Institut für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum, Germany

Diamand-like Carbon (DLC) coatings are very important for nowadays injection technology to prevent friction and wear. They enable high injections pressure and thus contribute to the reduction of fuel consumption and emission. DLC coatings are deposited using plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) processes. Film properties and deposition rates are determined by the plasma process conditions. It takes great amount of time and effort to investigate all correlations experimentally in industrial scale chambers. An efficient way to study complex plasmas and fundamental processes is a zero-dimensional global chemical model. The process conditions (absorbed power, pressure, gas flow), the plasma chemistry and the electron energy distribution function are the crucial model input parameters. This fast model allows us to analyze a few hundred operating points with different input parameters per day. Important parameters like deposition rate, gas utilization, dust formation and layer composition can be derived from the simulation. This helps to understand and optimize the coating process. In this work we present details and challenges of a global model for DLC coating deposition. We demonstrate the influence of different PECVD processes on the derived results.

P 14.7 Di 16:30 Foyer Audimax

Simulation of Nanocolumn Formation in a Plasma Environment — ●JAN WILLEM ABRAHAM¹, THOMAS STRUNSKUS², FRANZ FAUPEL², and MICHAEL BONITZ¹ — ¹Institut für Theoretische Physik und Astrophysik, CAU Kiel — ²Institut für Materialwissenschaft, CAU Kiel

Recent experiments and kinetic Monte Carlo (KMC) simulations [1,2] demonstrated that physical vapor co-deposition of a metal alloy (Fe-Ni-Co) and a polymer (Teflon AF) can lead to self-organized growth of magnetic nanocolumns. While these experiments have been carried out with thermal sources, we analyze the feasibility of this process for the case of a sputtering source. For that purpose, we extend our previous simulation model by including a process that takes into account the influence of ions impinging on the substrate [3]. The simulation results predict that metal nanocolumn formation should be possible. Furthermore, we show that the effect of ions, which create trapping sites for the metal particles, is an increased number of nanocolumns.

[1] H. Greve et al., *Appl. Phys. Lett.* **88**, 123103 (2006)

[2] L. Rosenthal et al., *J. Appl. Phys.* **114**, 044305 (2013)

[3] J.W. Abraham et al., submitted to *J. Appl. Phys.* (2014)

P 14.8 Di 16:30 Foyer Audimax

Cluster Growth Processes in Magnetron Plasmas — ●KENJI FUJIOKA, SEBASTIAN WOLF, and MICHAEL BONITZ — ITAP, University Kiel, Germany

Nanoparticles and nanomaterials have become media buzz words in recent years owing to their utilization in the fabrication of unique and novel materials. As fundamental building blocks to many materials and thin films, nano-scaled metal clusters are of great importance. These clusters can be easily and efficiently generated, and subsequently deposited, with magnetron sputtering sources. Perhaps the most critical property of these clusters is their size distribution. To that end, we present recent kinetic Monte Carlo simulations [1] that model the formation and growth processes of metal clusters in a magnetron cluster source environment. We focus on the interplay of key processes that give rise to size distribution line shapes as observed in experiments [2]. [1] M. Bonitz et al, Contrib. Plasma Phys. 52, No. 10, 804 (2012). [2] M. Ganeva et al, Plasma Sources Sci. Technol. 22, 045011 (2013).

P 14.9 Di 16:30 Foyer Audimax

Modelling and characterization of a microwave driven low pressure lamp based on indium(I)iodide argon system — ●CELAL MOHAN ÖGÜN, TIMO DOLL, and RAINER KLING — Lichttechnisches Institut des Karlsruher Instituts für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

Compact fluorescent lamps struggle with acceptance problems due to the hazardous mercury they contain. Light Technology Institute carries out a project to substitute mercury with non-hazardous metal halides. Thus, a collisional-radiative model of a low pressure plasma based on the indium(I)iodide-argon system is developed. The electron impact cross sections for collisions of the first as well the second kind are calculated by means of Gryzinski method and Klein-Rosseland formula. Additionally, the Gryzinski method is extended for the molecular indium(I)iodide. Furthermore, the lifetimes of each species due to the free and ambipolar diffusions are calculated by Chapman-Enskog-theory. The rate balance equations for individual generation and loss processes have been created. The densities of electrons, heavy particles and line emission coefficients have been calculated as a function of electron temperature for varied lamp parameters, such as argon buffer gas pressure and cold spot temperature. The lamp was characterized experimentally by means of spatially resolved radiance measurements. The measurement results were converted to line emission coefficients with the help of the inverse Abel transform. The plasma parameters were determined by comparing the measured values with the calculated ones from the model.

P 14.10 Di 16:30 Foyer Audimax

Modellierung von Atmosphärendruck-Plasmaprozessen für die Abscheidung dünner Schichten — ●MARTINA LEINS¹, SANDRA GAISER¹, JENS PHILIPP², CLAUS-PETER KLAGES², MARKUS BECKER³, RÜDIGER FOEST³, DETLEF LOFFHAGEN³, GERRIT MÄDER⁴, JULIUS ROCH⁴, ECKHARD BEYER⁴ und THOMAS HIRTH¹ — ¹Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie der Universität Stuttgart — ²Institut für Oberflächentechnik der Technischen Universität Braunschweig — ³Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e. V. in Greifswald — ⁴Institut für Laser- und Oberflächentechnik der Technischen Universität Dresden

Atmosphärendruck-Plasmaprozesse gewinnen zunehmend bei der Abscheidung dünner Schichten an Bedeutung, da sie einige Vorteile wie die Vermeidung von aufwändiger Vakuumausrüstung bieten. Allerdings müssen, um eine erfolgreiche Einführung dieser Prozesse in die industrielle Fertigung zu ermöglichen, noch einige Herausforderungen bewältigt werden. Hier wäre beispielsweise die geringe Ressourcenausnutzung zu nennen. Der AiF/DFG-Cluster „Optimierung der Gasausnutzung bei Atmosphärendruck-Plasmaprozessen OGAPlas“ befasst sich mit dieser Problemstellung.

Um eine bessere Ausnutzung der Ressourcen zu erzielen, ist ein genaues Verständnis der Prozesse – insbesondere des Plasmas, des Gasmanagements und der Schichtbildung selbst – notwendig. Die Modellierung dieser Prozesse gibt darüber Aufschluss. Der Beitrag gibt einen Überblick über diese Arbeiten und deren Ergebnisse.

P 14.11 Di 16:30 Foyer Audimax

Application of the magnetohydrodynamic energy principle to space and laboratory plasmas. Dimensional analysis of instability occurrence — ●CLAUDIA-VERONIKA MEISTER and DIETER H.H. HOFFMANN — Technische Universität Darmstadt, Institut für Kernphysik

Recent applications of the magnetohydrodynamic energy principle to laboratory and space plasmas are briefly reviewed. In detail, the energy principle is presented for an internally homogeneous pinch in a perfectly conducting wall. The plasma is separated from the wall by a vacuum. The derived model is applied to magnetically confined laboratory and lightning systems. In doing so, mathematical equations of motion for fluid elements are derived using a cylindrical coordinate system for equilibrium states. From the equations of motion, an analytical relation for the radial displacements of the fluid elements is found, which describes magnetohydrodynamic waves as e.g. sausage and kink ones. In case of lightnings, the radial displacements in the plasma are numerically calculated. A dimensional analysis of occurring plasma instabilities is performed.

P 14.12 Di 16:30 Foyer Audimax

Thermal parameters of Super-Fragment Separator target materials — ●CLAUDIA-VERONIKA MEISTER, DIETER H.H. HOFFMANN, and BOWEN JIANG — Technische Universität Darmstadt, Institut für Kernphysik

In the targets and beam catchers of the future Super-Fragment Separator (S-FRS) of the Facility for Antiproton and Ion Research FAIR at GSI, stress waves will be generated by intense, fast ion beams, which deposit a high amount of energy within a very short time interval. This may cause a thermo-mechanical damage of the material. In this connection, a comprehensive theoretical study of thermal parameters, such as heat capacity, coefficient of thermal expansion, as well as the thermal transport coefficients in the warm dense matter is necessary. In the present work, the thermal parameters are being estimated based on a virial expansion of the equation of state of nonideal plasmas up to the density order 2 at least. The thermal conductivity is being found using the linear response theory. In doing so, the Zubarev-formalism is applied, as it takes also non-mechanical perturbations, e.g. the heat current, into account. Within the frame of the Zubarev formalism, the transport coefficients are expressed by force-force correlation functions depending on structure factors of the target material. The structure factors are being calculated using the mean spherical approximation. Within the present work, some results are obtained for alkali and aluminum targets, especially at the melting point.

P 14.13 Di 16:30 Foyer Audimax

The ion potential in warm dense matter: wake effects due to streaming degenerate electrons — ZHANDOS MOLDABEKOV¹, ●PATRICK LUDWIG², MICHAEL BONITZ¹, and TLEKKABUL RAMAZANO² — ¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan — ²Universität Kiel

The effective dynamically screened potential of a classical ion in a stationary flowing quantum plasma at finite temperature is investigated. This potential has been studied before within hydrodynamic approaches or based on the zero temperature Lindhard dielectric function. Here we extend the kinetic analysis by including the effects of finite temperature and of collisions based on the Mermin dielectric function. The resulting ion potential exhibits an oscillatory structure with attractive wake minima and, thus, strongly deviates from the static Yukawa potential of equilibrium plasmas. This potential is analyzed in detail for high-density plasmas for a broad range of plasma temperature and electron streaming velocity. It is shown that wake effects become weaker with increasing temperature of the electrons. Finally, we obtain the minimal electron streaming velocity for which attraction between ions occurs. This velocity turns out to be less than the electron Fermi velocity. Our results allow for reliable predictions of wake effects in nonequilibrium quantum plasmas with fast streaming electrons showing that these effects are crucial for transport under warm dense matter conditions, in particular for laser-matter interaction, electron-ion temperature equilibration and for stopping power. [1] arXiv:1409.8079 [physics.plasm-ph]

P 14.14 Di 16:30 Foyer Audimax

Efficient multi-threaded implementation of a semi-Lagrangian relativistic Vlasov-Maxwell code — ●GÖTZ LEHMANN — Institut für Theoretische Physik I, Heinrich-Heine Universität, 40225 Düsseldorf, Germany

A multi-threaded implementation of a semi-Lagrangian scheme for the numerical solution of the relativistic Vlasov-Maxwell system is presented. We discuss a scalable multi-threaded implementation that performs well in a many-core environment. Applications and benchmarks are presented for high-harmonic generation from overdense laser-plasma interaction and parametric laser-pulse amplification. Compar-

isions to standard PIC simulations are presented and discussed.

P 14.15 Di 16:30 Foyer Audimax

Kinetische Modellierung und Analyse der planaren Multipol-Resonanz-Sonde — ●MICHAEL FRIEDRICH, SEBASTIAN WILCZEK, EFE KEMANEKI und RALF PETER BRINKMANN — Lehrstuhl für theoretische Elektrotechnik, Ruhr Universität Bochum

Das kontinuierliche Monitoring von Plasma-Parametern, z.B. der Elektronendichte und der Elektronentemperatur, bietet vielversprechende Ansätze zur Überwachung und Regelung von industriellen Plasmaprozessen. Für diesen Zweck wurde mit der Multipol-Resonanz-Sonde (MRP) im Rahmen eines BMBF Projekts (PluTO) eine Diagnostik entwickelt. Eine besonders attraktive Ausführung stellt die sogenannte planare MRP dar, die aufgrund ihrer kompakten Bauweise in der Reaktorwand befestigt werden kann und somit keine lokale Störung im Plasma bewirkt. Dieser Beitrag präsentiert erste Ansätze zur Modellierung der MRP mit den Methoden der kinetischen Theorie, die im Gegensatz zu fluiddynamischen Modellen, nicht nur eine Messung der Elektronendichte, sondern auch der Elektronentemperatur erlauben sollte.

P 14.16 Di 16:30 Foyer Audimax

Nonequilibrium Green functions approach to transport properties in strongly coupled finite quantum systems — NICLAS SCHLÜNZEN, SEBASTIAN HERMANN, and ●MICHAEL BONITZ — ITAP, Christian-Albrechts-Universität Kiel Leibnizstr. 15, 24098 Kiel, Germany

Transport properties of strongly correlated spatially inhomogeneous quantum systems is of central interest in dense plasmas [1], ultracold atoms and condensed matter. This is possible in the framework of nonequilibrium Green functions using suitable many-body approximations. Here we present results for finite Hubbard clusters studied within the T-matrix approximation [2,3]. Specifically we analyze quantum dif-

fusion of correlated electrons as a function of coupling strength and particle number in one, two and three dimensions.

Supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft via project BO1366-9

[1] K. Balzer et al., Phys. Rev. B **79**, 245306 (2009) [2] N. Schlünzen, S. Hermanns, and M. Bonitz, Phys. Rev. B **90**, 125111 (2014) [3] M. Bonitz et al., Contrib. Plasma Phys. (2015), DOI: 10.1002/ctpp.201400065

P 14.17 Di 16:30 Foyer Audimax

Ion-acoustic Shocks with Reflected Ions — ●TATYANA LISEYKINA¹, GALINA DUDNIKOVA², and MIKHAIL MALKOV³ — ¹Universität Rostock, Germany — ²University of Maryland, USA — ³University of California, San Diego, USA

Non relativistic collisionless shock waves are widespread in space and astrophysical plasmas and are known as efficient particle accelerators. Microscopically, these shocks are believed to be supported by suitable plasma waves that randomize particle trajectories in lieu of binary collisions. These waves are driven by non-equilibrium components of the plasma such as shock reflected or shock accelerated particles. We present the results of numerical modelling of an ion acoustic collisionless shock based on 1D kinetic approximation both for electrons and ions with a real mass ratio. Special emphasis is made on the shock reflected ions as the main driver of shock dissipation. The reflection efficiency, the distribution of reflected particles and the shock electrostatic structure are studied in terms of the shock parameters. An analytic solution for ion-acoustic collisionless shock with reflected ions is also presented. It extends a classic soliton propagating at the Mach numbers $M < M^* = 1.6$ beyond this value at which the soliton reflects the upstream ions. The soliton turns into a shock whose parameters are obtained in terms of the number of reflected ions. Applications to particle acceleration in geophysical and astrophysical shocks are discussed.

P 15: Poster Session - Magnetic Confinement

Zeit: Dienstag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 15.1 Di 16:30 Foyer Audimax

Experimental and numerical investigations of the energy confinement times in the stellarator TJ-K — ●AHMED ALI¹, ALF KÖHN¹, ALEJANDRO MUÑOZ¹, EBERHARD HOLZHAUER¹, GREGOR BIRKENMEIER², and MIRKO RAMISCH¹ — ¹Institute of Interfacial Process Engineering and Plasma Technology IGVP, Uni Stuttgart, Stuttgart, Germany — ²Max-Planck Institute für Plasmaphysik, Garching, Germany

A particle and power balance model has been employed to numerically simulate and qualitatively understand transport processes, which determine equilibrium density and temperature profiles in the stellarator TJ-K. To quantify losses by these processes, the e-folding time of density and energy after switching off the heating source is used as a measure of the corresponding confinement times. For comparison with numerical simulation, both quantities are investigated experimentally in TJ-K. The particle confinement can be directly deduced from an interferometer or from Langmuir probes measuring the ion-saturation current. A commercial satellite receiver is used to measure the emitted radiation around 12 GHz, which is assumed to be dominated by Bremsstrahlung. In addition, the signal from a fast diode, which is sensitive in the visible range of light, is used. Results of the comparative numerical and experimental studies will be presented.

P 15.2 Di 16:30 Foyer Audimax

Effects of increased microwave heating power in the stellarator TJ-K — ●ALEJANDRO MUÑOZ, ALF KÖHN, AHMED ALI, and MIRKO RAMISCH — Institute of Interfacial Process Engineering and Plasma Technology, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany

One of the microwave heating systems at the stellarator TJ-K has been recently upgraded: a third klystron has been installed, increasing the heating power from 4 kW to 6 kW operating at 14 GHz. A phased-array antenna is used which allows to vary the injection angle by sweeping the microwave frequency in order control the coupling mechanism of the microwave to the plasma. With the two klystrons already installed, ionization degrees of $\alpha \simeq 1$ have been reached. We expect that an increased heating power, by means of the third klystron

put into operation, leads to an increase in the electron temperature T_e only, rather than in electron density n_e , and thus a decrease in the collision frequency $\nu_{ei} \propto n_e T_e^{-3/2}$ which has an impact on heating flow damping and neoclassical properties.

Parameter scans have been performed in order to characterize the new heating scenario. A radial movable Langmuir probe has been used to obtain radial profiles of the electron density and temperature. An arrangement of bolometers and an optical diode have been used to obtain the power losses by radiation. A particle and power balance model is used to obtain estimated densities and temperatures in order to compare with the experimental results.

P 15.3 Di 16:30 Foyer Audimax

Design of an novel antenna for EBW heating in FLIPS — ●LUKAS RUDISCHHAUSER, KIRILL RUMIANTCEV, and WALTER KASPAREK — Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie, Universität Stuttgart, Germany

Electron Bernstein waves (EBW) are electrostatic waves which do not have an O-wave cutoff. This enables them to penetrate into overdense plasmas and be absorbed at multiples of the electron cyclotron resonance frequency. These waves cannot propagate in free space, necessitating generation of EBW within the plasma volume through O-X-B or X-B conversion processes only possible for certain plasma parameters and injection angles. The aim of this work is to design a high directivity antenna which can excite EBW in FLIPS (Flexible Linear Plasma Experiment Stuttgart). We use commercial and scientific software such as CST MS and PROFUSION to produce two designs, a Vlasov-type cut waveguide and a circular slotted waveguide antenna. This second design is to line the inside of the vessel with rotational symmetry, simplifying comparison to numerical results. To find optimal injection angles and polarisations extensive use is made of simulations using a FD3D code and previous work on the plasma configuration in FLIPS. In a first step radiation pattern measurements outside of the plasma will be performed, the antenna will then be installed and generation of EBW indirectly shown by increased heating in the overdense plasma region.

P 15.4 Di 16:30 Foyer Audimax

Curvature dependence of blob dynamics in TJ-K — ●STEPHEN GARLAND, MIRKO RAMISCH, and THOMAS HIRTH — Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie, Universität Stuttgart

Turbulent transport in the scrape-off layer (SOL) is an important area of investigation in magnetic confinement fusion research. Relatively dense and hot, field-aligned, filament-like structures (blobs) have been observed to propagate radially through the SOL in many fusion devices, and contribute significantly to SOL transport. The torsatron TJ-K is well suited to turbulence studies since it operates with a low-temperature plasma, allowing Langmuir probe measurements in the entire plasma volume. Despite the low temperature, investigations are relevant to fusion research due to dimensionless plasma parameters similar to those in the edge region of fusion plasmas.

Blob dynamics have been studied in the SOL of TJ-K using a 2D movable probe and the conditional averaging technique. In addition, emissive probes have been used to determine equilibrium electric fields, allowing the calculation of background ExB flows. Experimentally deduced centre of mass radial and poloidal blob velocity components have been compared to an analytical blob model, which has been simplified to express blob velocity in terms of the magnetic field curvature vector. Experimental radial blob velocity components compare well to the model, confirming the normal curvature drive of blob polarisation. On the other hand, poloidal velocity components are comparable to the model only when background ExB flow is also taken into account.

P 15.5 Di 16:30 Foyer Audimax

Propagation and absorption of electron Bernstein waves in the linear device FLiPS — ●KIRILL RUMIANTSEV, ALF KÖHN, CARSTEN LECHTE, and WALTER KASPAREK — IGVP, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569, Stuttgart

In overdense plasmas the O-mode encounters a O-cutoff before being able to deposit its energy at ω_{ce} . In order to overcome this issue heating of the plasma by Bernstein waves is proposed. These electrostatic waves have no density cutoff and are strongly absorbed on harmonics of ω_{ce} . Their electrostatic nature leads to the fact that they cannot propagate in the vacuum and have to be created by a conversion process.

A linear device FLiPS is now equipped with an R-wave axial heating system and basic plasma diagnostics. The O-X-B process is experimentally studied using an oblique injection of the O-mode.

In this work we will present results of a numerical investigation of the O-X conversion process by using a full-wave time domain code and the first measurements of plasma parameters of FLiPS.

P 15.6 Di 16:30 Foyer Audimax

High-speed lithium pellet injector commissioning in ASDEX Upgrade to investigate impact of Li in an all-metal wall tokamak — ●RODRIGO ARREDONDO PARRA¹, ANTONINO CARDELLA^{2,3}, PETER THOMAS LANG¹, RAFAEL MACIAN JUAN², RUDOLF NEU^{1,2}, and BERNHARD PLOECKL¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Deutschland — ²Technische Universität München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching, Deutschland — ³Fusion for Energy; Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Deutschland

Encouraging results with respect to plasma performance have been observed in several tokamak devices (TFTR, NSTX, etc) when injecting Lithium. Recently, a pedestal broadening resulting in an enhanced energy content during transient ELM-free H-mode phases was achieved in DIII-D. Experiments are planned at ASDEX Upgrade, aiming to investigate the impact of Li in an all-metal wall tokamak and to enhance the pedestal operational space. For this purpose, a Lithium pellet injector has been developed, capable of injecting pellets with a particle content up to $1.64 \cdot 10^{20}$ atoms (1.89 mg) at a foreseen maximum repetition rate of 3 Hz. Free flight launch from the torus outboard side without a guiding tube is envisaged. A transfer efficiency exceeding 90 % was achieved in the test bed. Pellets will be accelerated in a gas gun; hence special care must be taken to avoid deleterious effects by the propellant gas pulse, this being the main plasma gas, leading to speeds ranging from $500 \frac{m}{s}$ to $800 \frac{m}{s}$. Additionally, a large expansion volume equipped with a cryopump is added in to the flight path. The injector is expected to commence operation by May 2015

P 15.7 Di 16:30 Foyer Audimax

Capabilities of nitrogen admixed cryogenic deuterium pellets — ●IGOR SHAROV¹, PETER LANG², BERNHARD PLOECKL², MARCO CAVEDON², GABOR KOCSIS³, TAMAS SZEPESI³, VLADIMIR SERGEEV¹, and ASDEX UPGRADE TEAM² — ¹SPU, Saint-Petersburg, Russia — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany — ³Wigner RCP RMI, Budapest, Hungary

Operation at high core density with high energy confinement - as foreseen in a future fusion reactor like DEMO - is being investigated at ASDEX Upgrade tokamak. The efficiency of pellet fuelling from the high-field side usually increases with increasing injection speed. Due to the fragile nature of the deuterium ice, however, the increment of pellet mass losses and subsequent pellet fragmentations take place when the speed is increased. Studies show, that admixing of a small amount of nitrogen (N₂) into D₂ gas can be favorable for the mechanical stability of pellets. This might be helpful for deeper pellet penetration. Besides, seeding by N₂ can enhance plasma performance due to both increasing the energy confinement time and reducing the divertor heat load in the envisaged ELMy H-mode plasma scenario. Fuelling efficiency of N₂-admixed solid D₂ pellets and their nitrogen seeding capabilities were investigated. It was found that both the overall plasma density increase and the measured averaged pellet penetration depth were smaller in case of the admixed (1% mol. in the gas resulting in about 0.8% in the ice) pellet fuelling. Possibility of the N₂-seeding by admixed pellets was confirmed by CXRS measurements of N₇₊ content in plasma.

P 15.8 Di 16:30 Foyer Audimax

Phase Contrast Imaging diagnostic for Wendelstein 7-X — ●LUKAS-GEORG BÖTTGER¹ and OLAF GRULKE² — ¹Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald — ²Max Planck Institute for Plasma Physics, 17491 Greifswald, Germany

The Phase Contrast Imaging (PCI) diagnostic allows non-invasive measurements of density fluctuations in high temperature plasmas.

The index of refraction in a plasma depends approximately linearly on its density. Therefore an incoming probing laser beam is shifted in phase by the density fluctuations. This phase shift information can be translated into intensity variations by interference after a phase plate.

In general the signal contains only the line-integrated information along the beam path. This limitation can be overcome by the fact that the density fluctuations form filament structures well aligned with the local magnetic field. If the pitch angle of the magnetic field varies significantly along the beam path, optical filtering allows for localization of the density fluctuations. First estimates show that a resolution of about 15 cm in W7-X can be achieved, which will allow for a clear separation of edge and core fluctuations.

The process of integration starts with the development of a virtual diagnostic revealing the specific behaviour of the PCI diagnostic at W7-X for standard operation scenarios. In this contribution first results of these investigations are presented.

P 15.9 Di 16:30 Foyer Audimax

Blob dynamics simulations for the TJ-K plasma — ●ALLAH RAKHA¹, STEPHEN GARLAND¹, MIRKO RAMISCH¹, and BRUCE SCOTT² — ¹Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie, Universität Stuttgart, Germany — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Euratom Association, D-85748 Garching, Germany

Radially propagating filaments elongated along magnetic field lines, known as blobs, are responsible for a major part of particle density and energy cross-field transport in the scrape-off layer (SOL) of fusion devices. Blobs, which are born in the vicinity of the last closed flux surface, are denser and hotter than the background SOL plasma, and can cause damage to plasma facing components. A good understanding of their trajectories is therefore important for the design of future fusion reactors.

As the dynamics of blobs in the SOL is governed by nonlinear phenomena, and analytical models are insufficient for their detailed study, nonlinear simulations are necessary to gain a better understanding. First simulations of plasmas with TJ-K equivalent parameters have been carried out using the GEMR gyrofluid code (an energy conserving electromagnetic six field gyrofluid model with radially dependent geometry). The simulation results are compared with experimental data from the TJ-K Stellarator in order to improve the understanding of SOL transport.

P 16: Poster Session - Helmholtz Graduate School for Plasma Physics

Zeit: Dienstag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 16.1 Di 16:30 Foyer Audimax

Comparison of the inter-ELM pedestal profile recovery in plasmas with different main ion species — ●FLORIAN M. LAGGNER¹, GREGOR BIRKENMEIER², MIKE G. DUNNE², RAINER FISCHER², ELEONORA VIEZZER², MATTHIAS WILLENSDORFER², ELISABETH WOLFRUM², FRIEDRICH AUMAYR¹, and THE ASDEX UPGRADE TEAM² — ¹Institute of Applied Physics, TU Wien, Fusion@ÖAW, Wiedner Hauptstr. 8-10, 1040 Vienna, Austria — ²Max Planck Institute for Plasma Physics, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany

Since edge localised modes (ELMs) strongly affect the performance of fusion plasmas a deeper understanding of the underlying physics is required to optimise future fusion devices. This contribution investigates the recovery of the edge electron density (n_e) and temperature (T_e) profiles in between ELMs. A comparison of a hydrogen (H) and a deuterium (D) plasma is presented. In the experiment a match of the collisionality (ν^*) and the normalised plasma pressure (β) was achieved at the pedestal top. For this, roughly a factor of 2 higher heating power as well as a factor of almost 10 higher fuelling rates were necessary in the H plasma. The measured n_e edge profiles are much steeper in D than in H, while the T_e gradients are similar. The recovery of the pedestal top n_e takes place at similar time scales in both plasma species. T_e recovers faster after the ELM in H, which is due to the higher heating power, although the energy loss per ELM is larger. The experimental results are presented together with ideal MHD stability analysis and the role of the ELM losses on the plasma stored energy is investigated.

P 16.2 Di 16:30 Foyer Audimax

High Speed Gas Valve for Massive Gas Injection in Tokamaks — ●MATHIAS DIBON^{1,2}, ALBRECHT HERRMANN¹, KLAUS MANK¹, VITUS MERTENS¹, RUDOLF NEU^{1,2}, GABRIELLA PAUTASSO¹, and BERNHARD PLOECKL¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany — ²Technische Universität München, Boltzmannstr. 15, 85748 Garching, Germany

For the purpose of mitigating the forces on the vessel during disruptions, a system for massive gas injection is used at the tokamak ASDEX Upgrade. Three gas valves are mounted inside the vacuum vessel with a distance of 10 cm between the nozzle exit (diameter 14 mm) and the plasma edge. This requires the valves to be insensitive to strong magnetic fields, especially on the magnetic high field side, to high temperatures and ionizing radiation. The new High Speed Gas Valve is meant to replace an old electromagnetic valve in order to increase the gas delivery efficiency and the operational reliability. The valve is closed by compressed air (20 bar) acting on through a piston on the stem and valve plate, pushing the seal onto the sealing edge and closing the gas chamber. Piezoelectric clamps secure the stem while the 80 cm³ gas chamber is filled with neon or argon at a pressure of up to 50 bar. The valve opens up when the piezoelectric actuators release the stem and a stack of disk springs accelerates the valve plate until it reaches its maximum stroke of 4,5 mm after 4 ms. This allows a mass flow rate of the gas up to $10^5 \frac{\text{Pa}\cdot\text{m}^3}{\text{s}}$. A characterisation of the valve will be presented in the contribution.

P 16.3 Di 16:30 Foyer Audimax

Neutral argon measurements in a high-power helicon discharge — ●NILS FAHRENKAMP, BIRGER BUTTENSCHÖN, and OLAF GRULKE — Max Planck Institute for Plasma Physics, 17491 Greifswald, Germany

The laser-induced-fluorescence (LIF) method is a widely used non-invasive technique to gain information about the velocity distribution, temperature and density of the plasma ions and the neutral gas. It has often been speculated that neutral gas pumping represents an important mechanism limiting the plasma density in high-power helicon discharges. Prometheus-A is an extremely high-power helicon discharge using multiple distributed helicon antennas to achieve rf power densities up to $P_{rf} \leq 100 \text{ MW/m}^{-3}$. The peak plasma density decreases in time with a typical timescale of $\approx 1 \text{ ms}$, which indicates the importance of the neutral gas inventory. LIF is used to measure the neutral gas density profile with high spatial resolution. The excitation vacuum-wavelength for the metastable argon atoms of 667.91 nm is provided by a diode laser system and the fluorescence signal of 750.39 nm is collected by an external pick-up optic, filtered and detected by a pho-

tomultiplier tube. Detailed measurements of the neutral pumping effect for various operation parameters are presented with special emphasis on its effect on the peak plasma density.

P 16.4 Di 16:30 Foyer Audimax

Experimental study of the radial structure of turbulence with an ultra-fast swept reflectometer in ASDEX Upgrade — ●ANNA MEDVEDEVA^{1,2,3,4}, CHRISTINE BOTTEREAU², FREDERIC CLAIRET², GARRARD D. CONWAY¹, STEPHANE HEUREAUX³, DIEGO MOLINA², ULRICH STROTH^{1,4}, and AUG TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstraße 2, D-85748 Garching, Germany — ²CEA, IRFM, F-13108 St-Paul-Lez-Durance, France — ³Institut Jean Lamour UMR 7198 CNRS, Université de Lorraine, 34 cours Leopold, F-54000 Nancy, France — ⁴Technische Universität München, James-Frank-Straße 1, D-85748, Garching, Germany

Confinement of fusion plasmas is restricted by anomalous transport where micro-turbulence is suspected to play a major role. Experimental documentation of this turbulence, its dependence on the plasma temperature, density, current will provide insights in the nature of this turbulence and the driving parameters. In this work advantage is taken of the ultra-fast sweep capabilities of the V and W band (50-110 GHz) reflectometers, developed by CEA, to record fast plasma turbulent events on ASDEX Upgrade. The X-mode polarization provides a rather large radial access to the plasma from the very edge to, under certain conditions, the center. The scope of the work is to exploit the specific strengths of the diagnostic in order to study the radial spectra of fluctuations, radial turbulence spreading and the fast dynamic profile evolution after confinement transitions or changes in the discharge control parameters. The latest experimental data obtained during the ASDEX Upgrade campaign 2014 will be presented.

P 16.5 Di 16:30 Foyer Audimax

Hydrogen Diffusion in Tungsten near Room Temperature — ●STEFAN KAPSER^{1,2} and ARMIN MANHARD¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany — ²Physik-Department E28, Technische Universität München, 85748 Garching, Germany

Tungsten is a promising candidate for the use as plasma-facing material of a future nuclear fusion reactor, where it would be subjected to high fluxes of deuterium and tritium. It is crucial for safety considerations to estimate the uptake of the radioactive tritium by tungsten and its possible diffusion through it. Most investigations of hydrogen diffusion in tungsten have been performed only at very high temperatures. Thus measurements at lower temperatures are needed to verify or correct extrapolations from high temperature data.

A very direct method to study the diffusion of hydrogen in metals are permeation experiments. For hydrogen permeation measurements on tungsten, extremely thin samples are needed to achieve a measurable signal due to the very low solubility, and thus permeability, of hydrogen in tungsten. Such thin tungsten samples have been produced by electrochemical thinning of rolled foils. Hydrogen diffusion in these samples is studied using an electrochemical method. For comparison deuterium plasma implantation with subsequent diffusion is investigated in the same material. The dependence of the results on the tungsten microstructure is analyzed.

P 16.6 Di 16:30 Foyer Audimax

Doppler coherence imaging of ion dynamics in the plasma experiment VINETA — ●DOROTHEA GRADIC, OLIVER FORD, and ROBERT WOLF — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Wendelsteinstraße 1, D-17491 Greifswald, Germany

Ion flows are investigated with the Doppler coherence imaging system (CIS) in the linear plasma experiment VINETA. The Doppler CIS is a passive optical diagnostic for the observation of plasma bulk ion dynamics. It enables line-integrated measurements to obtain 2D images of the ion flow and ion temperature. With a few birefringent plates, a narrow UV-VIS bandpass filter and a CCD camera a plasma image is acquired, modulated with an interference pattern induced by the plates. The fringe phase and contrast of the interference pattern encode the spectral information of the light. The spectral position and width are dependent on the Doppler shift and broadening induced by the movement of the light-emitting plasma particles.

The major objective of this study is the research of ion dynamics during a driven magnetic reconnection event in VINETA. Magnetic reconnection is of importance in space phenomena, such as solar flares or in the Earth's magnetosphere, as well as in fusion experiments. It will be investigated whether magnetic reconnection has an influence on VINETA ion dynamics.

First studies have been made to analyse the dependence of the measured phase difference on spectral wavelength changes. Additionally, ion dynamics in VINETA without reconnection were investigated.

P 16.7 Di 16:30 Foyer Audimax

EMC3-Eirene simulations of gas puff effects on edge density and ICRF coupling in ASDEX Upgrade — ●WEI ZHANG^{1,2}, DAVID COSTER¹, JEAN-MARIE NOTERDAEME^{1,2}, TILMANN LUNT¹, VOLODYMYR BOBKOV¹, YUEHE FENG¹, and ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max Planck Institute for Plasma physics, Garching, Germany — ²University of Ghent, Ghent, Belgium

Ion cyclotron range of frequency (ICRF) heating relies on the Fast Wave (FW) to transport the power from the edge (the antenna) to the plasma center. Since the FW is evanescent below a critical density (typically in the 10^{18} m^{-3} range), the wave does not propagate in the region where the density is below this value in the very edge of the plasma. The coupling depends strongly on the width of this region. The distance between the ICRF antenna and the FW cut-off layer can be made smaller by increasing the edge density in front of the ICRF antenna.

Previous experiments in many tokamaks and preliminary simulation results for AUG and JET with EDGE2D-EIRENE show that the edge density could indeed be increased with gas puffing at the top of the vessel or in the midplane. But the 2D code cannot quantitatively reproduce the experimental results, mainly due to the assumptions of toroidal axisymmetry. EMC3-EIRENE is a 3D Edge Monte Carlo plasma fluid transport code. By including the toroidal nonaxisymmetric plasma facing components and 3D positions of gas valves in the code, the simulations can be made more realistic. We will show first simulation results of the code and a comparison to experiments.

P 16.8 Di 16:30 Foyer Audimax

Vlasov-hybrid simulations of firehose-unstable plasmas — ●PATRICK ASTFALK¹, FRANK JENKO^{1,3}, TOBIAS GÖRLER¹, and FRANCESCO CALIFANO² — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany — ²Physics Department, University of Pisa, Pisa, Italy — ³Department of Physics and Astronomy, University of California, Los Angeles, USA

The firehose instability is a kinetic instability which is driven by pressure anisotropies in high-beta space plasmas such as the solar wind. Since the occurrence of the firehose is connected to a subsequent reduction of the pressure anisotropy, its instability threshold sets a limit to the observable anisotropies in firehose-unstable space plasmas. We carried out fully kinetic plasma simulations using the semi-Lagrange code VESPA (Mangeny et al. 2002, Valentini et al. 2007) to investigate the firehose instability in 1D3V and 2D3V setups. Starting from a successful benchmark with the PIC-code PEGASUS (Kunz et al., 2014), we revisited the linear and quasilinear theory of the firehose and checked the theoretical predictions for expected growth rates, frequencies and anisotropy reduction. Perhaps the most interesting topic in current research is the nonlinear evolution of firehose-unstable systems. Nonlinear wave-particle interactions lead to a dissipation of the injected magnetic and electric energy and a subsequent heating of the plasma particles. The detailed mechanisms in this regime are still not fully understood. However, they are the key to an explanation of turbulent heating processes in the solar wind, making this an active field of research.

P 16.9 Di 16:30 Foyer Audimax

Poloidal asymmetries of the heavy ions in the ASDEX Upgrade tokamak — TOMÁŠ ODSTRČIL^{1,2}, THOMAS PÜTTERICH¹, DIDIER MAZON³, CLEMENTE ANGIONI¹, ROBERTO BILATO¹, ANJA GUDE¹, DIDIER VEZINET¹, and ●ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstraße 2, D-85748 Garching, Germany — ²Physik-Department E28, Technische Universität München, 85747 Garching, Germany — ³CEA, IRFM F-13108 Saint Paul-lez-Durance, France

Poloidal asymmetries of heavy ions in the tokamak plasma are caused by the presence of forces parallel with field-lines which have comparable magnitude to the thermal pressure. The most important examples are the centrifugal force (CF) and the electric force (EF). The CF is

caused by fast toroidal rotation of the plasma column which is pushing impurity ions, that have a substantially higher mass than the main ions, on the outer-side of the plasma. And the EF can be produced by ion cyclotron heated fast particles with high pitch angle that are trapped by the mirror force on the low field side of the plasma. The excessive charge produced by these particles is affecting highly charged impurities and pushing them to the high field side of the plasma.

From predictions based on neoclassical and turbulent theory, it follows that the radial flux of heavy ions will be significantly changed by the presence of these asymmetries. The purpose of this study is to investigate the presence of these asymmetries in ASDEX Upgrade and verify the predicted consequences on the particles flux.

P 16.10 Di 16:30 Foyer Audimax

Change of the SOL power width with the toroidal B-field direction in ASDEX Upgrade — ●MICHAEL FAITSCH, THOMAS EICH, BERNHARD SIEGLIN, HONG-JUAN SUN, ALBRECHT HERRMANN, and THE ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institute for Plasma Physics, Boltzmannstr. 2, D-85748 Garching, Germany

The change of the scrape-off layer power width in dependence on the toroidal magnetic field direction has been investigated in L-mode discharges in upper single null (USN) configuration in ASDEX Upgrade. The heat flux onto the outer and inner divertor plates was measured using a fast 2D infrared camera. The heat flux distribution is described by an exponential power fall-off length λ_q and a diffusive broadening in the divertor region S . The parameters, S and λ_q , for the inner and outer divertor target are compared for both toroidal magnetic field directions. For the divertor broadening S no dependence on the toroidal magnetic field direction is observed. The comparison between the near scrape-off layer electron temperature fall-off length λ_{Te} and the power fall-off length λ_q are in agreement with the 2-point model. Therefore it is concluded that electron conduction is the main contribution for the scrape-off layer parallel transport in this discharges. The ratio between inner, λ_q^{inner} , and outer, λ_q^{outer} , power fall-off length λ_q is dependent on the toroidal magnetic field direction. The numerical values are $\lambda_q^{inner}/\lambda_q^{outer} = 0.44$ for favourable $\mathbf{B} \times \nabla B$ ion drift direction and $\lambda_q^{inner}/\lambda_q^{outer} = 0.85$ for non-favourable drift direction. The different ratios are explained assuming vertical drifts, which are dependent on the toroidal magnetic field direction.

P 16.11 Di 16:30 Foyer Audimax

Measurements and Modelling of Hydrogen Dynamics in Tungsten — ●JOHANNES BAUER^{1,2}, THOMAS SCHWARZ-SELINGER¹, KLAUS SCHMID¹, UDO VON TOUSSAINT¹, and WOLFGANG JACOB¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, D-85748 Garching — ²Technische Universität München, James-Franck-Str. 1, D-85748 Garching

Although hydrogen retention in defect free tungsten is low it can be significantly altered by plasma wetting. Thus understanding the interaction and dynamics of hydrogen in tungsten becomes an important issue. Present understanding distinguishes between solute and trapped hydrogen inventory. The solute hydrogen is located in the tetrahedral interstitial sites of bcc tungsten and can diffuse rapidly due to the low activation energy of 0.2-0.4 eV. The trapped hydrogen inventory resides at defects like vacancies, grain boundaries or dislocations, with de-trapping energies between 0.8-2.0 eV and is therefore less mobile. Common ex-situ experiments only allow the investigation of hydrogen retained in traps, while the solute is out of experimental reach due to its fast out-gassing at ambient temperatures. In this study the dynamics of the solute hydrogen in tungsten is measured in-situ for the first time. Diffusion/trapping simulations reveal that for low temperature e.g. 200 K, the solute hydrogen dominates the total inventory and its out-gassing after implantation is slowed down to the timescale of hours. Therefore in-situ hydrogen implantation and nuclear reaction analysis of tungsten samples are conducted at temperatures down to 140 K investigating experimentally the dynamics of solute hydrogen.

P 16.12 Di 16:30 Foyer Audimax

A new thermal He-beam diagnostic for electron density and temperature measurements in the scrape-off layer of ASDEX Upgrade — ●MICHAEL GRIENER¹, ELISABETH WOLFRUM¹, THOMAS EICH¹, ALBRECHT HERRMANN¹, VOLKER ROHDE¹, OLIVER SCHMITZ², ULRICH STROTH^{1,3}, and THE ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max Planck Institute for Plasma Physics, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany — ²Engineering Physics Department, University of Wisconsin-Madison, USA — ³Physik Department E28, Technische Universität München, 85748 Garching, Germany

In a nuclear fusion device power is exhausted across the last closed flux surface into the so-called ‘scrape-off layer’, SOL. In order to study the transport dynamics to (a) the divertor via parallel heat flux and (b) to the wall via filaments, a diagnostic for the determination of n_e and T_e with high spatial and temporal resolution is required. Although the diagnostic capabilities of the ASDEX Upgrade edge plasma are excellent, there is a lack of spatially and temporally highly resolved electron temperature measurements in the SOL.

Therefore a piezo valve will be installed in ASDEX Upgrade in April 2015. It allows fast chopping of a thermal He-beam which is part of the new diagnostic. In the first campaign, existing lines of sight of the CXRS diagnostic will be used to measure various He I transitions to confirm the collisional radiative model for He.

The principle of the thermal He-diagnostic as well as calculations of the achievable spatial resolution of the initial set-up will be presented.

P 16.13 Di 16:30 Foyer Audimax

Stromtrieb durch Neutralteilchen-Injektion an ASDEX Upgrade — ●DAVID RITTICH, URSEL FANTZ, CHRISTIAN HOPF, BENEDIKT GEIGER, FRANCOIS RYTER und DAS ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut fuer Plasmaphysik, Garching

Um einen Tokamak stationär zu betreiben oder zumindest dessen Pulsdauer zu verlängern, muss der Plasmastrom oder zumindest ein Teil davon nicht-induktiv erzeugt werden. Zudem sind für Szenarien mit verbessertem Plasmaeinschluss maßgeschneiderte Stromprofile nötig. Zum nicht-induktiven Stromtrieb und zu gezielten Modifikationen des Stromprofils eignen sich sämtliche Zusatzheizungen, die entweder auf der Einstrahlung von elektromagnetischen Wellen oder der Injektion von neutralen Wasserstoffatomen (NBI) beruhen. Am Tokamak ASDEX Upgrade erlaubt die große Flexibilität der installierten NBI, während einer Entladung radiale Quellen, welche nahe der magnetischen Achse einen geringen Strom treiben, durch tangentielle Quellen, die etwas abseits der magnetischen Achse einen höheren Strom treiben, zu ersetzen. Untersucht werden die dadurch auftretenden räumlichen und zeitlichen Veränderungen des Stromprofils, sowie dessen Zusammensetzung. Gezeigt werden Messergebnisse der Motional-Stark-Effect-Diagnostik (MSE), der Fast-Ion-D-Alpha-Spektroskopie (FIDA) und der Faraday-Rotations-Polarimetrie in Endladungen in denen etwa 20% des Stroms durch NBI getrieben werden. Die Messergebnisse dieser Diagnostiken werden mit Vorwärtsrechnungen verglichen, welche unter Zuhilfenahme des Transportcodes TRANSP [1] erzeugt werden. [1] TRANSP home page, <http://w3.pppl.gov/transp>

P 16.14 Di 16:30 Foyer Audimax

Non-linear simulations of ELMs in ASDEX Upgrade including diamagnetic drift effects — ●ALEXANDER LESSIG¹, MATTHIAS HOELZL¹, ISABEL KREBS¹, EMMANUEL FRANCK¹, SIBYLLE GUENTER¹, FRANCOIS ORAIN², JORGE MORALES², MARINA BECOULET², and GUIDO HUYSMANS³ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstrasse 2, 85748 Garching, Germany — ²CEA-IRFM, Cadarache, 13108 Saint-Paul-Lez-Durance, France — ³ITER Organization, 13067 Saint-Paul-Lez-Durance, France

Large edge localized modes (ELMs) are a severe concern for ITER due to high transient heat loads on divertor targets and wall structures. Using the non-linear MHD code JOREK, we have performed ELM simulations for ASDEX Upgrade (AUG) including diamagnetic drift effects. The influence of diamagnetic terms onto the evolution of the toroidal mode spectrum for different AUG equilibria and the non-linear interaction of the toroidal harmonics are investigated. In particular, we confirm the diamagnetic stabilization of high mode numbers and present new features of a previously introduced quadratic mode coupling model for the early non-linear evolution of the mode structure. Preliminary comparisons of full ELM crashes with experimental observations are shown aiming at code validation and the understanding of different ELM types. Work is ongoing to include toroidal and neoclassical poloidal rotation in our simulations.

P 16.15 Di 16:30 Foyer Audimax

Indirect measurement of the poloidal velocity using charge exchange recombination spectroscopy — ●ALEXANDER LEBSCHY^{1,2}, BENEDIKT GEIGER¹, RACHAEL MCDERMOTT¹, MARCO CAVEDON¹, MIKE G. DUNNE¹, RAINER FISCHER¹, ELEONORA VIEZZER¹, and THE ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, D-85748 Garching, Germany — ²Physik-Department E28, Technische Universität München, D-85748 Garching, Germany

Plasma rotation has a strong influence on plasma transport by the sta-

bilization of modes and the suppression of plasma turbulence, which affects the transport of heat, particles, and momentum. In tokamaks, the toroidal rotation is essentially a free parameter that is usually dominated by the external momentum input from neutral beams used to heat the plasma. The poloidal rotation, on the other hand, is strongly damped and is expected to remain at neoclassical levels. A commonly used diagnostic to measure impurity ion rotation as well as temperature and density is charge exchange recombination spectroscopy. Measuring the inboard-outboard asymmetry of the toroidal rotation enables an indirect measurement of the poloidal rotation so that both, poloidal and toroidal rotation, can be measured with toroidal viewing chords. Additional benefits of this technique are that poloidal velocities are amplified with the safety factor and that the technique is less sensitive to atomic physics effects like the gyro motion. In this poster, first reconstructions of the poloidal rotation are shown and compared to neoclassical theory and to other direct measurements.

P 16.16 Di 16:30 Foyer Audimax

Study of Turbulence Structures using Poloidal Correlation Reflectometry at AUG — ●DMITRII PRISIAZHNIK^{1,2}, ANDREAS KRÄMER-FLECKEN³, GARRARD CONWAY¹, ULRICH STROTH^{1,2}, and THE ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstrasse 2, 85748 Garching, Germany — ²Physik-Department E28, Technische Universität München, 85748 Garching, Germany — ³Institut für Energieforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich, Association EURATOM-FZJ, 52425 Jülich, Germany

A poloidal correlation reflectometer (PCR) system has been installed on AUG, which is able to measure key properties of turbulence such as correlation length, decorrelation time, inclination of eddies and propagation velocity. Additionally, these measurements provide information on global plasma properties such as the velocity of plasma rotation and the shear of the magnetic field (q-profile). After a first campaign of operation of the PCR at AUG, preliminary results for pitch angle and velocity measurements have been obtained. Initial cross-comparison of the measured velocity with the Doppler reflectometry system are presented. The measured pitch angles are compared with magnetic equilibrium reconstruction from the Clite code. This comparison showed similar trends and values of measured angle for L-mode confinement, but some deviations from Clite results have been found.

P 16.17 Di 16:30 Foyer Audimax

Computational Grids Adapted to the Background Distribution Function for Eulerian Gyrokinetic Simulations — HANS-JOACHIM BUNGARTZ², TOBIAS GÖRLER¹, ●DENIS JAREMA², FRANK JENKO¹, TOBIAS NECKEL², and DANIEL TOLD¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM-Assoziation, Boltzmannstraße 2, 85748 Garching — ²Scientific Computing in Computer Science, Technische Universität München, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching

Gyrokinetics has been shown to be an appropriate model to simulate microturbulence in fusion plasma. The dimensionality of the phase-space grids, however, makes gyrokinetics computationally expensive already for the local flux-tube plasma simulations, where the radial direction range is small compared to the machine size and the plasma temperature radial variation can be neglected. In global simulations, nevertheless, the radial range has to be extended to the full machine size in order to capture global effects. The corresponding computational domain spans now over areas with significantly different temperatures. This leads to different plasma properties in different radial positions and, thus, other computational grids in the velocity directions are required. The temperature variations are reflected in the background distribution function, which appears in the numerically-solved gyrokinetic equations. We develop computational grids adjusted to the background distribution function, thus enabling faster and more stable gyrokinetic plasma simulations on massively parallel machines.

P 16.18 Di 16:30 Foyer Audimax

Application of Radial Correlation Doppler Reflectometry on the ASDEX Upgrade tokamak — ●J.R. PINZÓN^{1,2}, T. HAPPEL¹, P. HENNEQUIN³, U. STROTH^{1,2}, and THE ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, D-85748 Garching — ²Physik-Department E28, TUM, D-85748 Garching — ³Laboratoire de Physique des Plasmas, Ecole Polytechnique, France

Doppler Reflectometry (DR) is a diagnostic used for the characterization of plasma density turbulence in magnetic confinement devices. It allows to measure the perpendicular propagation velocity of density fluctuations and their perpendicular wavenumber spectrum with good

spatial resolution. By studying the correlation between signals of two reflectometers probing at different radial positions (Radial Correlation DR), it is possible to evaluate the radial correlation length L_r of the plasma turbulence by scanning the radial separation Δr .

However, results from analytical calculations and two-dimensional full-wave simulations indicate that the L_r measurement by RCDR is not straightforward and might depend on factors such as plasma velocity, fluctuation amplitudes and probing beam angle. Experimental data from the ASDEX Upgrade tokamak are studied. An assessment of the viability of the use of different signals and analysis methods, including an evaluation of potential caveats, is given.

P 16.19 Di 16:30 Foyer Audimax

Optimization of Caesium Dynamics in Large and Powerful RF Sources for Negative Hydrogen Ions — ●ALESSANDRO MIMO, CHRISTIAN WIMMER, DIRK WÜNDERLICH, and URSEL FANTZ — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748 Garching

The development of large and powerful RF sources for negative hydrogen and deuterium ions is mandatory for the realization of the Neutral Beam Injection system at ITER. Caesium seeding into negative ion sources is necessary to obtain the required ion current with a tolerable level of co-extracted electrons. The caesium dynamics, during both plasma and vacuum phases, was investigated by means of the Monte Carlo transport code CsFlow3D, which is used to simulate the time evolution of the distribution of neutral and ionic caesium in the IPP prototype RF ion source. Simulations were performed for different durations of plasma-on and plasma-off phases, with the purpose of understanding how the duty cycle influences the caesium distribution and hence the source performance. In order to investigate asymmetry effects in the caesium distribution, caused by the positioning of caesium evaporator, the caesium coverage on the top and on the bottom part of the plasma grid was simulated and data were compared to the caesium density measured by laser absorption in the prototype source. The next step will be to introduce in the code the simulation of diagnostics such as laser absorption spectroscopy and optical emission spectroscopy, in order to achieve a direct benchmark of the code with experimental data.

P 16.20 Di 16:30 Foyer Audimax

Investigation of momentum loss mechanisms in the divertor region of ASDEX Upgrade with EMC3-Eirene — ●DOMINIK BRIDA^{1,2}, TILMANN LUNT¹, MARCO WISCHMEIER¹, and THE ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany — ²Physik-Department E28,

Technische Universität München, 85747 Garching, Germany

In future fusion devices, such as ITER and DEMO, it will be necessary to prevent direct contact between the hot confined plasma and the vessel wall. This will be achieved by employing divertors, which offer a number of desirable advantages, such as screening of impurities from the core plasma, improved energy confinement (H-mode) and effective pumping of helium ash and hydrogen. However, due to material limits, the power and particle flux as well as the temperature at the target must be reduced to acceptable levels. This can be attained by operating the divertor in a (partially) detached regime, which requires considerable volumetric energy and momentum losses in the divertor region. Previous studies identified ion-neutral friction as the principal momentum loss factor. For this contribution the fluid code EMC3-Eirene was applied to simulate ASDEX Upgrade discharges with increasing plasma densities and investigate the role of different momentum loss mechanisms by switching on and off respective terms in the simulation. Interestingly, even without the charge-exchange collisions a strong momentum loss is observed in the simulation.

P 16.21 Di 16:30 Foyer Audimax

Experimental investigation of specific heat in finite 3D Yukawa-balls — ●MATTHIAS MULSOW¹, ANDRÉ SCHELLA², and ANDRÉ MELZER¹ — ¹Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17487 Greifswald — ²Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, 37077 Göttingen

In low-temperature plasmas micrometer-sized particles are able to form highly ordered structures. Using a harmonic three-dimensional trapping potential strongly coupled finite systems can be created, the Yukawa-balls. The characteristic crystal-like structure and its phase transitions during heating can be quantified by the center-two-particle correlation function (C2P) and the triple correlation function (TCF). While the C2P takes all particles of the spherical cluster into account, the TCF is computed for each shell individually.

Recently it was shown by Thomsen and Bonitz [1] that reduced Shannon entropies and reduced specific heats can be derived from these distribution functions. The authors used the latter to identify the onset of the well known radial melting on the one hand but also discovered new intrashell structural transitions in the specific heats associated with the C2P.

To investigate these predictions experimentally, spherical Yukawa-balls are observed at different temperatures to which they are tuned by heating lasers. This poster presents the current status and results of these observations in order to verify the new structural transitions.

[1] H. Thomsen and M. Bonitz, arXiv:1410.2393v1 (2014)

P 17: Poster Session - Plasma Technology

Zeit: Dienstag 16:30–18:30

Raum: Foyer Audimax

P 17.1 Di 16:30 Foyer Audimax

Fortschritte bei der Etablierung einer Reaktionskinetik für Hexamethyldisiloxan im Atmosphärendruckplasmajet in Argon — ●DETLEF LOFFHAGEN, MARKUS M. BECKER, RÜDIGER FOEST, JAN SCHÄFER und FLORIAN SIGENEGER — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald

Hexamethyldisiloxan (HMDSO) ist eine siliziumorganische Verbindung, die aufgrund ihrer hohen Depositionsrate und geringen Toxizität vielfach als Präkursor bei der Dünnschichtabscheidung mittels plasmagestützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD) verwendet wird. Zur Verbesserung des physikalischen Verständnisses der Beschichtungsprozesse werden grundlegende Untersuchungen durchgeführt, um die plasmachemischen Reaktionskanäle von HMDSO und ihren Einfluss auf die Zusammensetzung und Struktur der abgeschiedenen Schicht aufzuklären. Dieser Beitrag befasst sich mit den wesentlichen plasmachemischen Prozessen und deren Reaktionsprodukten im Effluen eines Atmosphärendruckplasmajets in Argon. Die Bedeutung der verschiedenen Stoßprozesse der Elektronen und schweren Teilchen in der frühen Mischungsphase wird anhand von Ergebnissen einer numerischen Modellierung des zeitabhängigen Verhalten des Ar-HMDSO-Plasmas für unterschiedliche Plasmaparameter analysiert. Dabei werden die ionischen und neutralen Polymerisationsprodukte und Fragmentationsprodukte diskutiert und Aussagen zu eventuell messbaren Spezies getroffen.

Die Arbeiten werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft

unter dem Geschäftszeichen LO 623/3-1 unterstützt.

P 17.2 Di 16:30 Foyer Audimax

Technological plasma etch challenges for preparation of silicon optical modulators — ●HARALD RICHTER¹, DAVID STOLAREK¹, MIRKO FRASCHKE¹, STEFFEN MARSCHMEYER¹, LARS ZIMMERMANN¹, STEFAN MEISTER², CHRISTOPH THEISS², and HANJO RHEE² — ¹IHP, Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt (Oder), Germany — ²Technische Universität Berlin, Institut für Optik und Atomare Physik, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Germany

A combination of silicon photonic and electronic components on the same chip is a prospective approach for processing of optoelectronic integrated circuits. Optical modulation is one of the main building blocks for such circuits in the future. The present work is focused on the technological fabrication of a very small fully integrated silicon modulator device using resonator structures. Plasma etching is a key technological process step for preparation of different silicon modulator components (rib waveguides, nanowires, coupling structures and photonic crystals). Diverse hard mask stacks for the several plasma etch processes were tested and optimized. Experiments have shown the mask opening step is significant for preparation of high-performance silicon photonic modules. Thus, the disadvantage of conventional plasma etching creating rough sidewalls resulting in scattering loss and degrading the photonic device performance is overcome. A further essential requirement for a high-quality plasma etch process for photonic applications the good

control over critical dimensions is realized by accurately etch rate control and in-situ photoresist and anti-reflective coating removal after hard mask opening.

P 17.3 Di 16:30 Foyer Audimax

Pulsed Corona Discharges Generated in Water with Sub-Microsecond High Voltage Pulses for the Degradation of Pharmaceutical Residues — ●ROBERT BANASCHIK¹, PETR LUKES², JUERGEN F. KOLB¹, and PATRICK BEDNARSKI³ — ¹Leibniz Institute for Plasma Science and Technology, Greifswald, Germany — ²Institute of Plasma Physics, Prague, Czech Republic — ³University of Greifswald, Greifswald, Germany

Water pollution with chemical compounds is a steadily growing problem. In particular pharmaceutical residues are raising concern.

Plasmas that are generated at atmospheric pressure can provide a promising solution for water decontamination. We have found that pulsed corona discharges that are generated in a coaxial geometry directly in water are able to degrade a wide range of pharmaceutical residues. Diclofenac, ibuprofen, ethinylestradiol, carbamazepine, diazepam, and trimethoprim were degraded by 45 - 99 percent for treatment times between 15 - 66 minutes.

To identify reactive species that are primarily responsible for the degradation of these components and to distinguish between different reaction pathways, we used phenol as a chemical model system. This way we were able to identify the attack by hydroxyl radicals as the main reaction pathway in our system. Accordingly, we applied these findings to investigate and explain the degradation of the more complex pharmaceuticals diclofenac. Experiments were conducted with GC-MS in combination with the NIST database and solid phase extraction.

P 17.4 Di 16:30 Foyer Audimax

Auswahl von Dielektrika für Plasmamedizinische Anwendungen — ●JAN-SIMON BAUDLER — INP Greifswald, Deutschland

Die Entwicklung von Plasmaquellen für medizinische Anwendungen bringt aufgrund von Zulassungsregularien Anforderungen mit sich, welche im konventionellen Quellenbau nicht existieren.

Vorteilhaft für die Zulassung einer solchen Quelle ist es, wenn das Plasma bei vergleichsweise niedrigen Spannungen zündet und die Quelle möglichst gute Isolationseigenschaften zeigt. Hinzu kommt, dass bei der Zündung keine schädlichen Inhaltsstoffe freigesetzt werden dürfen. Diese Eigenschaften sind üblicherweise alle gegenläufig und werden zu einem großen Teil vom Dielektrikum bestimmt.

In dieser Arbeit wurde daher versucht, ein geeignetes Dielektrikum für die medizinische Anwendung zu finden. Für eine Vorauswahl wurden Kapazitätsmessungen und Isolationsprüfungen vorgenommen. Die Zündeneigenschaften der Quellen wurden zudem in Form von Resonanzfrequenz, Zündspannung und Leistungseinkopplung vermessen. Es zeigte sich schnell, dass die Klasse der Fluoropolymere hier dem Optimum am nächsten kommt. Fluoropolymere setzen allerdings im Kontakt mit Plasma giftiges Fluor frei. Dies wurde für die verschiedenen Polymere und Spannungen mittels VUV-Spektroskopie relativ quantifiziert. In der Folge wurden verschiedene Ansätze verfolgt, um der Emission entgegenzuwirken. Nachdem erste Versuche mit einer De-

fluorisation der Oberfläche schon positive Ergebnisse lieferten, zeigte sich zudem, dass auch hier eine Optimierung der Betriebsparameter den gewünschten Erfolg verspricht.

P 17.5 Di 16:30 Foyer Audimax

Combination of discharge- and laser-produced plasmas for high brightness extreme ultraviolet (EUV) light sources — ●RICHARD LENSING^{1,2,4}, FLORIAN MELSHEIMER^{1,2,4}, GIRUM BEYENE^{1,2,3,4}, and LARISSA JUSCHKIN^{1,2,4} — ¹Experimental Physics of EUV, RWTH Aachen University — ²Peter Grünberg Institut (PGI-9), Research Centre Jülich GmbH — ³School of Physics, University College Dublin — ⁴Jara - Fundamentals of Future Information Technology

We present the concept of a compact EUV light source using a hybrid approach combining the techniques of discharge and laser produced plasmas. In this so called laser-heated discharge plasma (LHDP) approach a Z-pinch plasma is electrically generated and optically heated. The goal of the project is to generate highly brilliant incoherent EUV radiation with minimum required laser pulse energy and discharge currents. To achieve this, the discharge of a triggered hollow cathode source produces and confines a "cold" and dense plasma, which is used as a target for a pulsed Nd:YAG laser beam. The optical heating of the plasma partially restores the energy, which is lost due to the EUV emission. Thus the time for the emission of EUV radiation is prolonged and the collapse due to energy losses can be delayed. Furthermore the etendue of the EUV emission is reduced, since the size of the optically heated area is controlled by the laser focus diameter, which is far smaller than the Z-pinch diameter.

P 17.6 Di 16:30 Foyer Audimax

Charakterisierung des Plasmas beim kommerziellen HF-chirurgischen Schnitt — ●INES BÜRGER^{1,2}, NIKITA BIBINOV¹ und PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44780 Bochum — ²ERBE Elektromedizin GmbH, Waldhörnlstr. 17, 72072 Tübingen

In der HF-Chirurgie wird ein hochfrequenter, elektrischer Strom über eine Elektrode auf biologisches Gewebe geleitet. Diese Technik erlaubt es u.a., ähnlich einem Skalpell durch das Gewebe zu schneiden.

Hierbei entsteht zwischen der Elektrode und dem Gewebe ein Plasma, über welches die Energie in das Gewebe übertragen wird. Durch die hohe Stromdichte wird das Gewebe aufgeheizt, sodass die Gewebeflüssigkeit vaporisiert und das Gewebe dadurch mechanisch zerrissen wird. Die Untersuchungen zeigen, in wie weit das bei diesem Vorgang entstehende Plasma (Gastemperatur, Elektronendichte, reduziertes elektrisches Feld) einen Einfluss auf den Gewebeeffekt hat und welche Eigenschaften des Plasmas durch eine Veränderung der Spannung beeinflusst werden.

Die mit Hilfe von optischer Emissionsspektroskopie und ICCD-Kameraaufnahmen bestimmten Plasmaparameter sowie Wärmebildaufnahmen zeigen eine Veränderung des Plasmavolumens, der Temperatur und des Stroms bei Erhöhung der Spannung, aber keine Veränderung von Elektronendichte und red. el. Feld.

P 18: Low Temperature Plasmas II

Zeit: Mittwoch 10:30–12:00

Raum: HZO 30

Hauptvortrag

P 18.1 Mi 10:30 HZO 30

En route to matter-antimatter pair plasmas — ●EVE V. STENSON¹, UWE HERGENHAHN¹, HOLGER NIEMANN^{1,2}, NORBERT PASCHKOWSKI¹, HARUHIKO SAITOH¹, JULIANE STANJA¹, THOMAS SUNN PEDERSEN^{1,2}, LUTZ SCHWEIKHARD², CHRISTOPH HUGENSCHMIDT³, JAMES R. DANIELSON⁴, and CLIFFORD M. SURKO⁴ — ¹Max Planck Institute for Plasma Physics, Greifswald & Garching, Germany — ²Ernst Moritz Arndt University of Greifswald, Greifswald, Germany — ³Technische Universität München, Garching, Germany — ⁴University of California, San Diego, La Jolla, U.S.A.

The APEX and PAX projects have as their overarching goal the laboratory creation and confinement of the world's first positron-electron pair plasma. Plasmas of this type have been the subject of hundreds of theoretical investigations and are also believed to play a role in various astrophysical environments. In order to achieve this goal in an experimentally accessible volume (e.g., 10 liters), a record number

($\geq 10^{10}$) of cold (~ 1 eV) positrons are to be accumulated and combined with a corresponding population of electrons. Notable requirements include a high-intensity positron beam (such as NEPOMUC), a suitable magnetic confinement device for the pair plasma (such as a levitated dipole), high-efficiency tools for bridging the two (i.e., means by which the positrons can be efficiently cooled, trapped, and injected across flux surfaces), and diagnostics not only for the pair plasma, but also for the positron beam and for intermediary non-neutral plasmas. This talk will summarize the project as a whole and recent work by the APEX/PAX team on its various elements.

P 18.2 Mi 11:00 HZO 30

Plasmaoszillation und lokale Störungen in kapazitiv gekoppelten Niederdruck-Plasmen — ●SEBASTIAN WILCZEK¹, JAN TRIESCHMANN¹, RALF PETER BRINKMANN¹, JULIAN SCHULZE², EDMUND SCHÜNGEL², ARANKA DERZSI³, IHOR KOROLOV³, ZOLTÁN DONKÓ³ und THOMAS MUSSENBRÖCK¹ — ¹TET, Ruhr-Universität

Bochum, Germany — ²Department of Physics, West Virginia University, Morgantown, USA — ³Wigner Research Center for Physics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

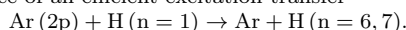
In kapazitiv gekoppelten Plasmen wird eine Wechselspannung zwischen den Elektroden angelegt, welche mit einer Frequenz von 1 bis 100 MHz oszilliert. In diesem RF-Regime können nur die Elektronen aufgrund ihrer geringen Masse den von Außen angelegten elektrischen Feldern folgen. Die schweren Ionen hingegen reagieren nur auf das zeitlich gemittelte elektrische Feld. Neben der Anregungsfrequenz gibt es noch eine weitere charakteristische Frequenz, welche die Oszillation der Elektronen vor einem ruhenden Ionenhintergrund beschreibt, die Elektronenplasmafrequenz. Diese kann bei sehr geringen Plasmadichten die Größenordnung der Anregungsfrequenz erreichen. Trifft in diesem Regime beispielsweise die lokale Plasmafrequenz ein Vielfaches der Anregungsfrequenz, kann es zu lokalen Störungen in der Entladung kommen, bei denen sich signifikante Felder im Plasmabulk einstellen. In dieser Arbeit werden im Rahmen von Particle-In-Cell Simulationen solche Störungen im Niederdruckbereich untersucht. Es ist zu erkennen, dass diese Störungen signifikante Auswirkungen auf die stochastische Heizung von hochenergetischen Elektronen haben.

P 18.3 Mi 11:15 HZO 30

Investigation of resonant energy transfers in an argon/hydrogen plasma by laser collisional induced fluorescence

— ●EMILE CARBONE^{1,2}, JAN VAN DIJK¹, and GERRIT KROESEN¹ — ¹Elementary Processes in Gas Discharges group, Technical University of Eindhoven, The Netherlands — ²Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany

Laser collisional induced fluorescence (LCIF) is used to probe resonant excitation transfers by heavy particle collisions in an argon/hydrogen plasma. Different radiative transitions between the 1s and 2p states (in Paschen's notation) of argon are optically pumped by a nanosecond laser pulse. The spontaneous fluorescence and collisional responses of the argon and hydrogen systems are monitored by optical emission spectroscopy. For the first time, we give a direct experimental evidence of the existence of an efficient excitation transfer



Additionally, measurements are performed to estimate the resonant energy transfer between the resonant argon 1s₂ and 1s₄ states and hydrogen atoms H (n=1) for which no cross sections could be previously measured in the literature. These are extra quenching channels of argon 1s and 2p states that should be included in collisional radiative modeling of argon-hydrogen discharges. LCIF was previously developed to measure electron or species densities locally in the plasma. We demonstrate that it can be advantageously used to probe collisional transfers between very short-lived species as well which exist only in the plasma phase.

P 18.4 Mi 11:30 HZO 30

Influence of a phase-locked RF bias on the E-to-H mode

transition in an inductively coupled plasma — ●PHILIPP AHR¹, TSANKO VASKOV TSANKOV¹, EDMUND SCHÜNGEL², JULIAN SCHULZE², and UWE CZARNETZKI¹ — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr University Bochum, 44780 Bochum, Germany — ²Department of Physics, West Virginia University, 26506 West Virginia, USA

The coupling mechanisms between inductive and capacitive power deposition in inductively coupled discharges (ICP) with a capacitive (CCP) rf bias in hydrogen are investigated. As a new feature the phases of the two power sources are synchronized, allowing for a defined phase difference. Two effects are observed: First, the electron density depends on the applied rf bias power. Second, the E-H-mode transition takes place at lower values of the inductive power with the rf bias power being present. The electron dynamics is observed by phase resolved optical emission spectroscopy. The observed effects are caused by the confinement (trapping) of the electron beams generated by the CCP. The efficiency of the trapping can be adjusted by the phase difference. In order for the coupling to be efficient, the penetration depth of the beam should be larger than the gap between the CCP and the ICP coil window. This sets a upper pressure value. In conclusion the performance of the ICP can be manipulated significantly by the CCP bias.

P 18.5 Mi 11:45 HZO 30

Instabilities in a capacitively coupled RF oxygen plasma

— ●CHRISTIAN KÜLLIG, THOMAS WEGNER, and JÜRGEN MEICHSNER — Institute of Physics, University of Greifswald

Instabilities in a capacitively coupled radio frequency (13.56 MHz) plasma (CCP) in oxygen were experimentally investigated using Gaussian beam microwave interferometry, Langmuir probe diagnostics and optical emission spectroscopy. The fluctuating line integrated electron density, spatio-temporally resolved floating potential and optical emission intensity were measured, respectively. Whereby, the appearance of an instable RF plasma depends on the total gas pressure and RF power. The frequency of the periodic fluctuations varies between 0.3 to 3 kHz. The electron density fluctuation is between 0.2×10^{15} and $3.5 \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$, which can be the same order of magnitude as the mean electron density. The temporally resolved floating potential profiles show that the instability represents a kind of discharge breathing. During one fluctuation period the discharge changes between a low and high electronegative mode, whereupon the electric field reversal appears additionally to the RF sheath heating at the high electronegative mode. Furthermore, a perturbation calculation was performed, taking into account four particle balance equations (O_2^+ , e, O^- , O_2^-) and 16 elementary processes, which provides a fluctuation frequency in the range comparable to the experimental results. The calculation indicates the important role of the negative ions and the interaction of ionization, attachment and detachment processes for the origin of the instability. // Funded by the DFG CRC, Transregio 24, project B5.

P 19: Dusty Plasmas II

Zeit: Mittwoch 10:30–11:55

Raum: HZO 50

Hauptvortrag

P 19.1 Mi 10:30 HZO 50

Staubige Plasmen in Magnetfeldern — ●MARIAN PUTTSCHER und ANDRÉ MELZER — Universität Greifswald, Greifswald

Staubige Plasmen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie neben Elektronen, Ionen und Neutralteilchen auch größere Partikel, typischerweise auf der Mikrometer-Skala, enthalten. Eingebettet in ein Plasma laden sich diese Staubpartikel durch den Zustrom von Ladungsträgern in der Regel stark negativ auf, bilden stark gekoppelte Systeme und interagieren untereinander über ein abgeschirmtes Coulombpotential. Derzeit besteht ein großes Interesse an der Untersuchung staubiger Plasmen in Magnetfeldern. Dabei werden sowohl direkte Auswirkungen auf die Staubpartikel durch Lorentzkraft betrachtet, als auch, wie es in dieser Arbeit (hauptsächlich) der Fall ist, indirekte Wirkungen des Magnetfeldes auf die Staubpartikel aufgrund der Beeinflussung anderer Plasmaspezies. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit paramagnetischen und unmagnetischen Staubpartikeln, die in der Randschicht einer RF-Entladung gefangen werden. Zusätzlich zum elektrischen Feld der Randschicht wird senkrecht dazu ein externes Magnetfeld bis zu 50mT angelegt. Es wird dann der Transport der Staubpartikel parallel bzw.

senkrecht zum B-Feld untersucht und mit Hilfe von Plasma-basierten Kräften beschrieben.

Fachvortrag

P 19.2 Mi 11:00 HZO 50

Entstehung von Wirbelströmungen in einem komplexen Plasma unter Schwerelosigkeit — ●TIM BOCKWOLDT¹, OLIVER ARP¹, KRISTOFFER OLE MENZEL² und ALEXANDER PIEL¹ — ¹Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, CAU zu Kiel, D-24098 — ²ABB Switzerland Ltd., Corporate Research Center, 5405 Dättwil, Switzerland

Unter Schwerelosigkeit können mikrometergroße Kunststoffpartikel in einer Parallelplatten-Hochfrequenzentladung eine ausgedehnte Staubwolke bilden. In derartigen Staubwolken wird die Anwesenheit großskaliger Wirbel beobachtet, zu deren Entstehung verschiedene Erklärungen existieren. Es werden neue experimentelle Beobachtungen vorgestellt, die sowohl eine dipolare als auch eine quadrupolartige Topologie der Wirbel zeigen. Für Potentialverteilungen aus Simulationsrechnungen werden die Kraftfelder modelliert und die Entstehung der Wirbel demonstriert. Anhand der Modellierung wird außerdem gezeigt, dass die Kombination aus Ionenwindkraft und Ladungsgradienten die kom-

plexen Topologien erzeugen kann.

Gefördert durch das DLR unter 50WM1139.

P 19.3 Mi 11:25 HZO 50

Experimentelle Untersuchung der Brownschen Bewegung einzelner Mikropartikel — ●CHRISTIAN SCHMIDT und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Aus Experimenten im Bereich der Staubigen Plasmaphysik ist bekannt, dass die gemessenen kinetischen Partikeltemperaturen im Bereich von wenigen hundert bis einigen tausend Kelvin liegen [1]. Einzelne Melamin-Formaldehyd Partikel ($r=1.75\text{-}6.2\ \mu\text{m}$) wurden oberhalb eines sekundären anodischen Plasmas vor einer positiv vorgespannten Pixel-Elektrode eingefangen, die in die untere Elektrode der primären Parallelplatten-Hochfrequenz-Entladung integriert ist. Zur detaillierten zeitlichen und räumlichen Beobachtung der Brownschen Bewegung wurde eine Hochgeschwindigkeitskamera verwendet.

Die kinetische Temperatur, Eigenfrequenz und Neutralgasreibung eines Partikels wurde mit verschiedenen Methoden, dem Mean Square Displacement (MSD), der Fourieranalyse der Geschwindigkeitsverteilung und der mittleren Geschwindigkeit, bestimmt. Die gefundenen Partikeltemperaturen liegen stets oberhalb der Raumtemperatur. Als Ursache wurde eine Kombination aus Ladungsfluktuationen, systematischen Messfehlern, sowie einer erhöhten Neutralgas- und Partikeloberflächentemperatur identifiziert.

Gefördert durch SFB-TR24/A2.

[1] Melzer et al., Phys. Rev. E 53, 2757 (1996)

P 19.4 Mi 11:40 HZO 50

Experimentelle Beobachtung expandierender Yukawa-Cluster — ●MATTHIAS MULSOW und ANDRÉ MELZER — Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 17487 Greifswald

In Niedertemperaturplasmen können mikrometergroße Partikel hoch geordnete Strukturen ausbilden. Mithilfe eines dreidimensionalen Einfangpotentials lassen sich stark gekoppelte finite Systeme erzeugen, die sogenannten Yukawa-Cluster. Deren Dynamik ist im Gegensatz zu Coulomb-Clustern zusätzlich durch die Plasmaabschirmung bestimmt. Dieser Unterschied wird unter anderem in der Form der freien Expansion des Systems deutlich.

Für die Untersuchung der freien Expansion muss der Cluster zunächst in eine Gleichgewichtsposition innerhalb des harmonischen Einfangpotentials gebracht werden. Im darauffolgenden Schritt wird dieses Potential dann möglichst schnell abgeschaltet und die Teilchentrajektorien werden mithilfe von Hochgeschwindigkeitskameras aufgezeichnet.

In diesem Beitrag wird eine neuartige Methode vorgestellt, durch die das Einfangpotential in zwei Raumrichtungen quasi-instantan abgeschaltet werden kann, ohne die übrigen Plasmamparameter zu verändern. Das daraufhin beobachtete Expansionsverhalten wird dann qualitativ mit entsprechenden Simulationen von Coulomb- und Yukawa-Clustern verglichen, um Rückschlüsse auf die dynamischen Eigenschaften des Systems zu ziehen.

P 20: Laser Plasmas I

Zeit: Mittwoch 14:00–15:45

Raum: HZO 30

Hauptvortrag

P 20.1 Mi 14:00 HZO 30

Non-equilibrium Warm Dense Matter — ●ANDREW NG — Department of Physics & Astronomy, University of British Columbia, Vancouver, Canada

Warm Dense Matter (WDM) refers to states in which the electron temperature is comparable to the Fermi energy and the ion potential energy exceeds their kinetic energy. Such states are governed by the complex interplay between electron degeneracy, excited electronic states and strong ion-ion coupling. Since its introduction in 1999 and the first International Workshop on Warm Dense Matter in 2000, WDM has emerged as a new frontier in plasma and condensed matter physics, attracting interest in broad disciplines including matter under extreme conditions, laser ablation, inertial confinement fusion, and planetary physics. While theoretical studies of WDM are challenging, experiments are equally daunting. With high energy densities, WDM cannot be readily confined in the laboratory. In unconfined states, gradients of temperature and density would develop rapidly and measurements can only be interpreted via complex numerical simulations. Advance in WDM science hinges on our ability to measure physical properties of uniform states. Currently, there are two primary approaches, namely, shock compression and isochoric heating of solids. In this talk, I will review the study of femtosecond-laser heated gold that is driving our understanding of non-equilibrium Warm Dense Matter physics related to lattice stability, high-energy-density solid phase, electron-ion coupling and electron kinetics.

P 20.2 Mi 14:30 HZO 30

Electric field development and ion dynamics at the magnetic cavity edge of laser produced plasma expansion — ●BO RAM LEE¹, ANTON BONDARENKO², ERIC CLARK², CARMEN CONSTANTIN², ERIK EVERSON², DEREK SCHAEFFER², CHRISTOPH NIEMANN², and DIETER H. H. HOFFMANN¹ — ¹Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany — ²University of California, Los Angeles, Los Angeles, USA

The Raptor kJ class 1053 nm Nd:Glass laser in the Phoenix laser facility at University of California, Los Angeles (UCLA) in conjunction with the Large Plasma Device (LAPD), which creates a tenuous, uniform, and quiescent ambient magnetized plasma of peak plasma density of $n_i \sim 1.0 \times 10^{13}\text{ cm}^{-3}$ and the background magnetic field varying from 200G to 1400G, provides a very unique and space-like plasma environment. Debris ions from a carbon or polyethylene target are accelerated with super-Alfvénic speed by laser irradiation, and coupled to the ambient ions, the magnetic field background is expelled. The in-

teraction of the debris-ambient plasma and the magnetic field creates a diamagnetic cavity, which acts as a piston launching magnetized collisionless shocks in laboratory plasma reproducing collisionless shocks observed in space. In the recent experiment at UCLA, a heated Langmuir probe has been employed to measure the electric field. Radial electric field development as well as in azimuthal direction has been investigated and its correlation with the magnetic field and ion dynamics, especially at the cavity edge, is studied. The experimental results are compared to two-dimensional hybrid simulations.

P 20.3 Mi 14:45 HZO 30

Bright subcycle XUV bursts from a single dense relativistic electron sheet — ●WENJUN MA¹, JIANHUI BIN^{1,2}, HONGYONG WANG^{2,3}, MARK YEUNG^{4,5}, CHRISTIAN KREUZER¹, PETA FOSTER⁶, XUEQING YAN³, BREDAN DROMEY⁴, JUERGEN MEYER-TER-VEHN², MATTHEW ZEPF^{4,5}, and JOERG SCHREIBER^{1,2} — ¹Fakultät für Physik, Ludwig-Maximilians-University, Munich, Germany — ²Max-Planck-Institute of Quantum Optics, Garching, Germany, — ³State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, Peking University, Beijing, China, — ⁴Department of Physics and Astronomy, Queen's University Belfast, Belfast, UK, — ⁵Helmholtz Institute Jena, Jena, Germany, — ⁶Central Laser Facility, STFC Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, Didcot, UK

Relativistic electrons are prodigious sources of photons. Beyond classical accelerators, ultra-intense laser interactions are of particular interest as they allow the coherent motion of relativistic electrons to be controlled and exploited as sources of radiation. Here we report that bright extreme ultraviolet (XUV) radiation was generated when double foil targets separated by a low density plasma were irradiated by a PW-class laser. Simulations show that a dense sheet of relativistic electrons is formed during the interaction of the laser with the tenuous plasma between the two foils. The coherent motion of the electron sheet as it transits the second foil results in a subcycle XUV pulse, consistent with our experimental observations.

P 20.4 Mi 15:00 HZO 30

First results of laser-proton acceleration with cryogenic hydrogen targets at the POLARIS laser — ●GEORG ALEXANDER BECKER¹, JENS POLZ¹, ANTON KALININ³, ALEXANDER ROBINSON⁴, DIETHARD KLÖPFEL¹, WOLFGANG ZIEGLER¹, RUI COSTA FRAGA³, SEBASTIAN KEPPLER¹, HARTMUT LIEBETRAU¹, ALEXANDER KESSLER², FRANK SCHORCHT², MARCO HELLWING¹, MARCO HORNUNG², ROBERT GRISENTI³, and MALTE CHRISTOPH KALUZA^{1,2} — ¹Institut für Optik und Quantenelektronik, Friedrich-Schiller-

Universität, 07743 Jena, Germany — ²Helmholtz Institut Jena, 07743 Jena, Germany — ³Institut für Kernphysik, Goethe-Universität, 60438 Frankfurt am Main, Germany — ⁴Central Laser Facility, Rutherford-Appleton Laboratory, Chilton, Oxon., OX11 0QX, UK

For the first time on the POLARIS laser system, a laser-driven proton acceleration experiment with cryogenic hydrogen droplets and filaments has been performed. Most laser-driven proton acceleration experiments use target materials including metals, plastics or diamond-like carbon. Due to the multitude of ion species accelerated from such targets, understanding the acceleration processes becomes quite complicated. The use of liquid or frozen hydrogen targets reduces the accelerated species to protons only and additionally produces, due to the mass limited droplets or filaments, a higher acceleration field. The experimental setup and results, including isolated monoenergetic peaks in the high energy range of the proton spectra, will be discussed.

P 20.5 Mi 15:15 HZO 30

Heating and Ionization Dynamics in Solid Density Plasmas Driven by Ultra-short Relativistic Lasers — ●LINGEN HUANG¹, THOMAS KLUGE¹, MICHAEL BUSSMANN¹, and THOMAS COWAN^{1,2} — ¹Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), Bautzner Landstraße 400, D-01328 Dresden, Germany — ²Technische Universität Dresden, D-01062 Dresden, Germany

The dynamics of heating and ionization, which determines the crucial plasma parameters such as temperature, free electron density and so on, is one of the fundamental issues in the realm of ultra-short relativistic laser-solid target interactions. We present our work on investigation of heating and ionization dynamics in solid copper target irradiated by ultra-short intense laser pulse using two dimensional particle-in-cell simulations. The simulation results show that the bulk electron temperature is very sensitive to the initial preplasma scale length. By varying the preplasma scale length from 0 to 0.08 micrometer, the bulk

electron temperatures in the interest of region increase from ~ 26 eV to ~ 109 eV, which agrees very well with the theory based on Ohmic heating mechanism by treating the return current correctly. The bulk electron heating is finally translated into bulk ionization, which leads to the average Cu ion charge state increasing from ~ 4.3 to ~ 10.7 .

P 20.6 Mi 15:30 HZO 30

Investigation of Warm Dense Carbon in the 100-200 GPa regime — ●JAN HELFRICH¹, SIMON FRYDRYCH¹, GABRIEL SCHAUMANN¹, BENJAMIN BARBREL², JAN VORBERGER³, DIRK GERICKE⁴, BENJAMIN BACHMANN⁵, LUKE FLETCHER⁶, ELISEO GAMBOA⁶, SEBASTIAN GÖDE⁶, MAXENCE GAUTHIER⁶, EDUARDO GRANADOS⁶, HAE JA LEE⁶, BOB NAGLER⁶, ALESSANDRA RAVASIO⁶, WILLIAM SCHUMAKER⁶, TILO DÖPPNER⁵, ROGER FALCONE², SIEGFRIED GLENZER⁶, DOMINIK KRAUS², and MARKUS ROTH¹ — ¹TU Darmstadt IKP, Germany — ²UC Berkley, USA — ³MPIPKS Dresden, Germany — ⁴University of Warwick, UK — ⁵LLNL Livermore, USA — ⁶SLAC, Menlo Park, USA

The behavior of carbon under high pressure and high temperature are important for inertial confinement fusion (ICF). For fusion experiments samples with solid state densities traverses the Warm Dense Matter (WDM) region to reach the plasma state. In ICF, the ablator always contains carbon and one of the problems there is the re-freezing of the ablator carbon layer after the first shock. For the investigation of this high-pressure solid-liquid transition we used angle resolved X-ray scattering and a laser-driven shock wave to reach the WDM conditions. We compressed three different types of graphite to reach different final states with pressures up to 200 GPa. By comparing the scattering contributions from elastic to inelastic scattering we are able to determine the ion-ion structure factor. We are able to measure the ion-ion structure factor for k -values from $4.1e10$ to $6.1e10$ 1/m. The measurements are agreed with ab-initio DFT quantum simulations.

P 21: Theory and Modelling II

Zeit: Mittwoch 14:00–16:10

Raum: HZO 50

Hauptvortrag P 21.1 Mi 14:00 HZO 50

Turbulence optimisation in stellarator experiments — ●JOSEFINE H. E. PROLL^{1,2}, BENJAMIN J. FABER³, PER HELANDER¹, SAMUEL A. LAZERSON⁴, HARRY E. MYNICK⁴, and PAVLOS XANTHOPOULOS¹ — ¹Max-Planck/Princeton Center for Plasma Physics — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Wendelsteinstr. 1, 17491 Greifswald, Deutschland — ³HSX Plasma Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706, USA — ⁴Plasma Physics Laboratory, Princeton University, P.O. Box 451 Princeton, New Jersey 08543-0451, USA

Stellarators, the twisted siblings of the axisymmetric fusion experiments called tokamaks, have historically suffered from confining the heat of the plasma insufficiently compared with tokamaks and were therefore considered to be less promising candidates for a fusion reactor. This has changed, however, with the advent of stellarators in which the laminar transport is reduced to levels below that of tokamaks by shaping the magnetic field accordingly. As in tokamaks, the turbulent transport remains as the now dominant transport channel. Recent analytical theory suggests that the large configuration space of stellarators allows for an additional optimisation of the magnetic field to also reduce the turbulent transport. In this talk, the idea behind the turbulence optimisation is explained. We also present how an optimised equilibrium is obtained and how it might differ from the equilibrium field of an already existing device, and we compare experimental turbulence measurements in different configurations of the HSX stellarator in order to test the optimisation procedure.

Fachvortrag P 21.2 Mi 14:30 HZO 50

2D multiscale model for coupling mesoscale drift fluid dynamics and macroscale particle transport in the tokamak plasma edge — ●FELIX HASENBECK¹, DIRK REISER¹, PHILIPPE GHENDRIH², YANNICK MARANDET³, PATRICK TAMAIN³, and DETLEV REITER¹ — ¹IEK-4 - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Germany — ²CEA Cadarache, DRFC/SPPF, Saint-Paul-lez-Durance, France — ³PIIM, CNRS/Université de Provence, Marseille, France

Radial transport in the plasma edge is decisive for the lifetime and performance of a tokamak fusion reactor. While mesoscale drift fluid

models allow for detailed assessment of transport processes, they remain computationally expensive for predictions on the reactor scale. So-called macroscale transport codes are less resource-demanding but typically describe radial transport via simplified models with empirical transport coefficients. Here, a multiscale approach is presented which includes the effects of averaged mesoscale dynamics on the macroscale profiles. Its implementation within the B2-ATTEMPT coupled code system for enhanced radial particle transport description is outlined. Simulations of experiments performed at the tokamak TEXTOR show reasonable agreement for profiles of n_e and T_e at the outer midplane with a 5 to 25% level of uncertainty. The poloidal dependence of self-consistently determined profiles of the radial particle diffusion coefficient D reflects the ballooning character of transport. Typical values of D are between 0.3 and 0.9 m²/s and are within a 10 to 30% range of effective diffusion coefficients employed hitherto in B2-EIRENE simulations with freely adjusted radial diffusivities to match experiments.

P 21.3 Mi 14:55 HZO 50

Longitudinal and transverse structure functions in homogeneous isotropic MHD turbulence — ●JAN FRIEDRICH¹, HOLGER HOMANN², TOBIAS SCHÄFER³, and RAINER GRAUER¹ — ¹Theoretische Physik I, Ruhr-Universität, 44780 Bochum, Germany — ²Laboratoire J.-L. Lagrange, Université de Nice-Sophia Antipolis, CNRS, France — ³Department of Mathematics, College of Staten Island, CUNY, USA

We investigate the scaling behaviour of longitudinal and transverse structure functions in homogeneous and isotropic MHD turbulence by means of exact structure function equations as well as numerical simulations of three-dimensional MHD turbulence. A hierarchy of structure function relations is obtained from the basic MHD equations in making use of the tensor calculus introduced by Chandrasekhar [1]. It is found that no fundamental difference between longitudinal and transverse structure functions in the inertial range exists, in contrast to the hydrodynamic case, where transverse structure functions prove to be slightly more intermittent than their longitudinal counterparts [2]. This peculiar behaviour can be attributed to a local alignment between velocity and magnetic field that leads to an effective reduction

of pressure contributions.

- [1] S. Chandrasekhar, Proc. R. Soc. Lond. A, 204, 1079 (1951)
 [2] R. Grauer, H. Homann, J.F. Pinton, NJP, 14:063016 (2012)

P 21.4 Mi 15:10 HZO 50

Particle merging algorithm for PIC codes by using Voronoi tessellation method — ●PHUC T. LUU and ALEXANDER PUKHOV — Institut für Theoretische Physik I, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Germany

We present the results concerning a novel particle merging algorithm for particle-in-cell codes. Our algorithm is based on the Voronoi tessellation method for partitioning a given simulation cell of n particles into k clusters. Each cluster consists of particles which are close to each other in the phase space. The algorithm is implemented into Virtual Laser Plasma Laboratory (VLPL) code and compared in the case of QED-cascade.

P 21.5 Mi 15:25 HZO 50

Determination of ion mobilities from the ion energy distribution functions — ●TSANKO VASKOV TSANKOV and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany

The ion mobilities or, equivalently, the ion-neutral collision frequencies are important input parameters not only for numerical simulations but also for the general understanding of the discharge structure and the ionisation balance. Due to the complex internal structure of both collision partners, the theoretical calculation of the collision characteristics is in this case a cumbersome task and most of the available data comes from drift tube experiments [1]. The ion mobilities in a foreign gas are difficult to obtain even experimentally and such data are scarce.

Here a relation between the ion energy distribution functions at the wall of an inductive discharge and the plasma parameter profiles is derived which allows the determination of ion-neutral collision frequencies. The technique works equally well for ion collisions with the parent gas or with foreign species. Values for several noble gases and their mixtures are obtained and compared with available literature data [1]. [1] E W McDaniel, E A Mason, *The Mobility and Diffusion of Ions in Gases* (John Wiley & Sons, New York, 1973)

P 21.6 Mi 15:40 HZO 50

Adaptive Coupling of Different Plasma Models in Numerical Simulations — ●THOMAS TROST and RAINER GRAUER — Institute for Theoretical Physics I, Ruhr-University Bochum, Germany

Plasmas are complex systems. Depending on the regime, different mod-

els are appropriate for describing a certain situation. In most cases of interest, the underlying equations can only be solved numerically and even that can be challenging, for example if kinetic effects in a two- or three-dimensional configuration are studied, as it is done in our project.

Nevertheless, many interesting plasma phenomena, as for example magnetic reconnection, depend on multiscale effects and exhibit a clear spatial separation of different regimes. This can be exploited for gaining significant speedup in numerical simulations by restricting the expensive solution of kinetic equations to the smallest region possible.

We present an algorithmic approach to combine kinetic and fluid models during the runtime of a simulation depending on the local plasma regime in an adaptive way. Subregions of the numerical domain are described with different plasma models and interact through carefully chosen boundary conditions. Furthermore, the kinetic equations are solved on graphic cards in order to obtain further speedup.

We present first examples of our method and compare them to previous results that were obtained with more conventional methods.

P 21.7 Mi 15:55 HZO 50

Untersuchung der Zyklotrondämpfung von L-Moden in PiC Simulationen — ●CEDRIC SCHREINER^{1,2}, ANDREAS KEMPF³ und FELIX SPANIER¹ — ¹Center for Space Research, North-West University Potchefstroom, Südafrika — ²Lehrstuhl für Astronomie, Universität Würzburg — ³Lehrstuhl für Theoretische Physik IV, Ruhr-Universität Bochum

Plasmawellen werden im Bereich der Zyklotronfrequenzen der geladenen Teilchen im Plasma gedämpft. Die Dämpfungsrates, die die Zeitskala dieses Prozesses beschreibt, ist analytisch nur schwer zugänglich, was eine theoretische Beschreibung erschwert.

Zahlreiche Vereinfachungen und Näherungen sind zwar vorhanden, lassen aber jeweils nur die Betrachtung einzelner Spezialfälle zu. Einzig das numerische Lösen der exakten Dispersionsfunktion liefert ein vollständiges Bild der Dämpfungsrates in einem weiten Frequenzbereich, ist aber zugleich aufwändig und umständlich.

Mit Hilfe der exakten Dispersionsfunktion der L-Mode wurde eine Parameterstudie durchgeführt, um die Abhängigkeit der Dämpfungsrates von verschiedenen Plasmametern (Magnetfeld, Plasmafrequenz, Temperatur) zu untersuchen. Die daraus resultierenden Ergebnisse erlauben eine einfache Abschätzung der Dämpfungsrates mittels einer analytisch lösbaren Funktion in Abhängigkeit der oben genannten Parameter.

Weiterhin wurde das Verhalten von gedämpften Wellen in Particle-in-Cell (PiC) Simulationen analysiert. Es zeigt sich, dass das erwartete Verhalten in PiC Simulationen korrekt reproduziert wird.

P 22: Helmholtz Graduate School for Plasma Physics II

Zeit: Mittwoch 16:30–18:25

Raum: HZO 50

Fachvortrag

P 22.1 Mi 16:30 HZO 50

Confinement and stability of plasmas with externally driven steady-state elevated q-profiles — ●ALEXANDER BOCK, JÖRG STÖBER, RAINER FISCHER, EMILIANO FABLE, MATTHIAS REICH, and ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching bei München, Deutschland

The helicity profile of the magnetic field lines is an important quantity for the operation of Tokamak fusion devices and can be expressed as the so-called safety factor q . It has profound influence on both the stability of the fusion plasma, as well as its confinement properties.

Operation scenarios with centrally elevated and flat, or even reversed q -profiles promise fewer central instabilities and better core confinement and are thus considered potentially attractive for future fusion power plants. To verify these predictions, centrally elevated q -profiles are created using external counter current drive, with additional heating power added afterwards to explore the stability limits and transport properties of the resulting plasmas. The tailored q -profiles are calculated using magnetic equilibrium reconstruction constrained by internal motional Stark effect data to confirm to the presence of the desired helicities. They are then used as a basis for simulations of the transport properties with the gyro-Landau-fluid code TGLF. The simulation results are then compared to the experimentally measured kinetic profiles.

Fachvortrag

P 22.2 Mi 16:55 HZO 50

Study of the edge radial electric field during the L-H transition — ●MARCO CAVEDON^{1,2}, THOMAS PUETTERICH¹, ELEONORA VIEZZER¹, GREGOR BIRKENMEIER^{1,2}, TIM HAPPEL¹, FRANCOIS RYTER¹, ULRICH STROTH^{1,2}, and the ASDEX UPGRADE TEAM¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, D-85748 Garching — ²Physik-Department E28, TUM, D-85748 Garching

The access to the high confinement mode in fusion plasmas occurs through a transport barrier whereby plasma turbulence is reduced by the shear of the edge radial electric field (E_r). The neoclassical theory predicts E_r to be driven by the main plasma ions, as also suggested by experimental observations. A recent upgrade of the charge exchange recombination spectroscopy diagnostic (CXRS) in the ASDEX Upgrade tokamak (AUG) provides a full reconstruction of the impurity density, temperature and E_r profiles and allows us to address the fast dynamics of these quantities during the L-H transition. The characteristic time scale of the L-H transition can be associated to the typical frequency (1-10 kHz) of the fluctuating phases (often called limit cycle oscillations) observed before the L-H transitions. The new CXRS system has a time resolution of $50\mu\text{s}$ which allows to investigate these phenomena and analyze the causality of the transition mechanism. Correlations between turbulent fluctuations and changes in the edge profile gradients will be presented.

Fachvortrag

P 22.3 Mi 17:20 HZO 50

Fluid-electron, gyrokinetic-ion simulations of global modes

in magnetic fusion devices — ●MICHAEL COLE, ALEXEY MISHCHENKO, and AXEL KÖNIES — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 17491 Greifswald, Germany

A practical fusion reactor will require a plasma beta of around 5%. In this regime, the MHD stability of the plasma is an important limiting factor. The influence of gyrokinetic effects on the stability of MHD modes is incompletely understood. Some phenomena, such as the Toroidal Alfvén Eigenmode, are inherently unstable as a result of kinetic interactions with MHD modes. Others, such as ballooning modes, may be significantly stabilised or destabilised by gyrokinetic effects. In this work, a fluid-electron, gyrokinetic-ion model is implemented for an existing gyrokinetic code. This model offers certain practical benefits over full gyrokinetic codes, such as faster running times and reduced utilisation of computational resources, at the expense of reduced completeness. When combined with existing MHD and gyrokinetic models, however, a hierarchy of numerical tools can be applied to isolate and characterise the relative influence of different physical effects. It is intended to apply these models to investigate the behaviour of large tokamaks such as ITER and optimised stellarators such as Wendelstein 7-X at realistic reactor betas.

Fachvortrag P 22.4 Mi 17:45 HZO 50
Modelling the Vlasov equation on complex geometries using the Semi-Lagrangian scheme — ●LAURA MENDOZA¹, VIRGINIE GRANDGIRARD², AHMED RATNANI¹, and ERIC SONNENDRÜCKER¹ — ¹Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, 85748, Garching, Germany — ²CEA-Cadarache, IRFM, 13108, Saint-Paul-lez-Durance, France

The GYSELA code is a non-linear 5D global gyrokinetic code which performs flux-driven simulations to solve the gyrokinetic Vlasov equation coupled with the Poisson equation. Its 3D spatial representation is limited to circular toroidal geometry (r, θ, φ) . Currently the poloidal plane, a circular cross-section, is discretized with a polar mesh. Due to the singularity of this mapping on its origin, the geometry is discontinuous (with a hole in the center).

Thus our aim is to generalise GYSELA's geometry definition using IGA so that any geometry, however complex, can be simulated by

mapping one or multiple patches. We decided to study two different approaches to solve this problem: on the one hand, Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS), which provide an exact representation of complex shapes; on the other hand, using a regular equilateral triangle mesh of hexagonal form on which we will work with Box-Splines.

The GYSELA code is one of many examples of why we need Semi-Lagrangian codes adapted to complex geometries. Other examples from plasma physics (and further goals) are the X-point, the scrape-off layer or edge plasma, 3D representation of a Tokamak and Stellarator, etc.

P 22.5 Mi 18:10 HZO 50
Influence of Alfvén eigenmodes and ion cyclotron heating on the fast-ion distribution in the ASDEX Upgrade tokamak — ●MARKUS WEILAND, BENEDIKT GEIGER, ROBERTO BILATO, PHILIP SCHNEIDER, GIOVANNI TARDINI, PHILIPP LAUBER, FRANCOIS RYTER, MIRJAM SCHNELLER, and ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching

Fast, supra-thermal ions are created in the tokamak ASDEX Upgrade by neutral beam injection and ion cyclotron resonance heating (ICRH) and they are needed for plasma heating and current drive. A possibility to study them is the spectroscopic observation of line radiation (fast-ion D-alpha, FIDA), which emerges from charge exchange reactions. Here, the fast ions can be distinguished from the thermal particles through their strong Doppler-shift, and their radial density profile can be measured and compared to theoretical models.

An analysis of the whole Doppler spectrum yields information about the 2D velocity distribution $f(v_{\parallel}, v_{\perp})$. Observation from different viewing angles allows consequently a tomographic reconstruction of $f(v_{\parallel}, v_{\perp})$. For this purpose, the FIDA diagnostic at ASDEX Upgrade has been extended from two to five views, and the spectrometer setup was improved to allow a simultaneous measurement of blue and red Doppler shifts. These recently developed diagnostic capabilities are used to study changes in the fast-ion distribution, which are caused by Alfvén eigenmodes. Moreover, the further acceleration of fast ions through 2nd harmonic ICRH is investigated and compared to theoretical predictions.

P 23: Plasma Technology II

Zeit: Mittwoch 16:30–18:25

Raum: HZO 30

Hauptvortrag P 23.1 Mi 16:30 HZO 30
Physical Modeling and Numerical Simulation of Vacuum Switch Arcs — ●NORBERT WENZEL — Siemens AG, Corporate Technology, Günther-Scharowsky-Str. 1, 91058 Erlangen, Germany

Vacuum arcs are successfully used in vacuum interrupters for medium-voltage (1kV - 36kV) and high-voltage (above 52kV) applications. Switch arcs in vacuum are metal vapor plasmas drawn between separating contact electrodes and sustained by contact material during current interruption. The contact systems are generally designed to superimpose a magnetic field to the arc plasma in order to stabilize the arc in a diffuse mode or to force the arc to move in a constricted mode across the contact surfaces. The extension of such arc control techniques to high currents and voltages constitutes a technological challenge requiring advanced concepts of electrode designs. Physical modeling and numerical simulation of vacuum arc plasmas are suitable approaches to develop such concepts, particularly if plasma modeling is closely coordinated with appropriate modeling of cathode and anode phenomena. This presentation is dedicated to theoretical description of physical processes in diffuse and in constricted vacuum arcs that burn in axial and in radial magnetic fields, respectively. Particular emphasis is placed on fundamentals and application status of a magneto-hydrodynamic plasma model. Results of simulations are reported using commercial simulation software. The computations are compared with experiments under realistic switching conditions. The investigations are performed in context of general trends of switching applications. Possible directions of future research are discussed.

Fachvortrag P 23.2 Mi 17:00 HZO 30
Laser-Schlieren-Deflektometrie zur Temperaturmessung filamentierter Entladungen unter Atmosphärendruck — ●JAN SCHÄFER¹, ZDENĚK BONAVENTURA², DETLEF LOFFHAGEN¹, MARKUS BECKER¹, RÜDIGER FOEST¹ und FLORIAN SIGENEGGER¹ — ¹INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, 17489 Greifswald, Deutschland —

²UFE Masaryk-Universität, Kotlářská 2, 61137 Brno, Tschechien

Laser-Schlieren Deflektometrie (LSD) ist eine neue Methode, die als Hochgeschwindigkeitstemperaturdiagnostik eines miniaturisierten zylindrisch symmetrischen Gas-Kanals entwickelt wurde [1]. Die Methode kann ihren Vorteil insbesondere dann ausspielen, wenn messtechnisch hohe Anforderungen an die Zeit- und Ortsauflösung bei der experimentellen Bestimmung der Neutralgastemperatur gestellt werden, wie das beispielsweise bei der Diagnostik von filamentierten Mikroentladungen der Fall ist. Die gängigen Methoden erfordern oft eine zeitaufwändige Datenerfassung (nichtinvasive Methoden) oder beruhen auf einer örtlichen Mittelung der Temperatur (Kontaktmethoden). In dem Beitrag werden grundlegende Untersuchungen zur LSD präsentiert und in Bezug zu Alternativmethoden gestellt. Die Methode LSD wurde exemplarisch zur Vermessung des nichtthermischen Atmosphärendruckplasmajets in Argon eingesetzt. Die zeitlich und räumlich aufgelöste Information über die Neutralgastemperatur findet Eingang in die Modellierung des Entladungsplasmas.

Die Arbeiten werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft unter dem Geschäftszeichen LO 623/3-1 unterstützt.

[1] J. Schäfer et al., Rev. Sci. Instrum. 83 (2012) 103506

P 23.3 Mi 17:25 HZO 30
Electrical and optical investigations of constricted high-current vacuum arcs — ●KRISTOFFER OLE MENZEL¹, NILS LUKAT^{1,2}, and MARKUS ABPLANALP¹ — ¹ABB Switzerland Ltd, Corporate Research Center, 5405 Baden-Dättwil, Switzerland — ²IEAP, CAU Kiel, D-24098 Kiel

Vacuum interrupters (VI) represent the state-of-the-art technology for high-current interruption at medium AC-voltages of 1kV-36kV. While breaking the current a vacuum arc is ignited between the contacts of the VI. The arc is sustained by copper vapor from the hot electrodes. For high currents above 10kA the arc is found to burn in a constricted

mode at very high current densities of the order of 10^8 A/m^2 . In order to reduce the thermal load of the VI in this regime a transverse magnetic field (TMF) can be generated between the contacts that move the arc over the electrode surfaces. As this approach is very common for real devices the underlying physical process have to be known in great detail. To systematically investigate such arcs a simple electrode setup was designed that allows for an easy access of all employed diagnostics. We used spatially resolved optical emission spectroscopy in order to obtain the spatiotemporal temperature distribution. Moreover, an electrostatic Langmuir probe allowed to deduce plasma properties in the vicinity of the arc, where the emitted light intensity is comparably low. In this contribution, measurements of the main characteristics of constricted arcs are presented. We will discuss the main results of our investigations, as e.g., the establishment of a constant temperature profile for almost all examined maximum currents.

P 23.4 Mi 17:40 HZO 30

Pulsed laser speckle imaging of switching arcs — ●JAN CARSTENSEN, PATRICK STOLLER, EMMANOUIL PANOUSIS, and VALERIA TEPPATI — ABB Corporate Research, Baden-Daettwil, 5405, Switzerland

High voltage circuit breakers (hvcb) are vital for the protection of electricity transmission networks. When a hvcb interrupts alternating current, the arc established between its contacts is axially blown by a transonic gas flow until it is extinguished at a current-zero crossing. Improvement of circuit breaker design to achieve higher short circuit current ratings or more compact equipment relies on an understanding of the processes involved in cooling and interruption of the arc. At present, current, voltage, and pressure measurements together with CFD simulations give only limited insight into how the arc is cooled. We have developed a Speckle imaging technique that permits determination of the arc and boundary layer width and the temperature in the high current and the current zero phase. In this contribution we focus on the dependence of the arc width on blowing conditions and on the comparison to theoretical predictions.

P 23.5 Mi 17:55 HZO 30

Optische Charakterisierung der Effluent-Substrat-Wechselwirkung eines Referenz-Mikroplasmajets — ●JUDITH GOLDA, DANIEL SCHRÖDER und VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN — Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum

RF-betriebene Atmosphärendruck-Plasmen erlauben durch ihre niedrige Gastemperatur die Behandlung von hitzesensitiven Materialien wie Haut und Zellkulturen. Daher sind sie besonders für zahlreiche

Anwendungen in der Biomedizin interessant. Bekannte Vertreter sind jet-ähnliche Plasmaquellen, die in einer Vielzahl von Geometrien existieren und in unterschiedlichen Entladungsmodi betrieben werden. Diese Vielfalt erschwert jedoch direkte Vergleiche zwischen den einzelnen Quellen. Als Lösung dieses Problems wird eine Abwandlung des bereits etablierten μAPPJ (micro-scaled atmospheric pressure plasma jet) als standardisierte Referenz-Quelle vorgeschlagen: Der neue Entwurf besitzt ein einfaches und robustes Design, wodurch optische Diagnostiken und simple Modell-Ansätze für Simulationen ermöglicht werden.

Eine besondere Herausforderung in biomedizinischen Anwendungen ist die Komplexität und die Rückkopplungen innerhalb des Systems. Um die biologischen Prozesse kontrollieren zu können, ist daher eine exakte Charakterisierung der Wechselwirkung zwischen Effluent und behandeltem Substrat notwendig. Durch optische Verfahren wurde diese untersucht, um Gasdynamik, Temperatur und reaktive Spezies zu analysieren. Dazu wurden Schlierenbilder, Infrarot- und TALIF-Messungen verwendet.

Gefördert durch die DFG (PAK 816, PlaCID).

P 23.6 Mi 18:10 HZO 30

Charakterisierung des Modenübergangs an Wolframelektroden in Automobilscheinwerferlampen durch optische Emissionsspektroskopie und Pyrometrie — ●ALEXANDER ALEXEJEV¹, PETER FLESCH², THOMAS HÖBING¹, JÜRGEN MENTEL¹ und PETER AWAKOWICZ¹ — ¹Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44801 Bochum — ²OSRAM AG, Nonnendammallee 44, 13629 Berlin

HID-Lampen finden in Frontscheinwerfern von Automobilen eine breite Anwendung. Eine hohe Lebensdauer der Lampen wird momentan durch eine Dotierung der Lampenelektroden aus Wolfram mit Thorium erreicht. Sie reduziert die Austrittsarbeit der Elektroden von 4.5 eV auf 3.0 eV und senkt dadurch die mittlere Elektrodentemperatur um bis zu 1000 K ab. Dies führt zu einer geringeren Belastung der Elektroden, was sich positiv auf der Lebensdauer der Lampe auswirkt.

Nach der Zündung steigt die Elektrodentemperatur in der Lampe sehr stark an. Während des Hochlaufs der Lampe findet ein Modenwechsel des Bogenansatzes auf den Elektroden statt, wobei der Ansatz kontrahiert und die Elektrodentemperatur um bis zu 300 K abnimmt. Um eine möglichst schnelle Abkühlung der Elektroden im Betrieb zu erreichen, ist es wichtig, den Modenwechsel zu verstehen. Dadurch ließe sich der Modenübergang beschleunigen und würde bei der Suche nach einem geeigneten Ersatz für Thorium in den Lampen helfen.

Es werden pyrometrische Messungen vorgestellt, die den Modenwechsel und seinen Effekt auf die Elektrode zeigen, sowie spektroskopische Messungen, die seine Ursache demonstrieren.

P 24: Theory and Modelling III

Zeit: Donnerstag 10:30–12:40

Raum: HZO 50

Fachvortrag P 24.1 Do 10:30 HZO 50
Modellierung von dielektrisch behinderten Atmosphärendruckentladungen in Argon und Ar-HMDSO-Gasgemischen — ●MARKUS M. BECKER und DETLEF LOFFHAGEN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff-Str. 2, D-17498 Greifswald

Dielektrisch behinderte Atmosphärendruckentladungen werden zunehmend zur Behandlung von Oberflächen eingesetzt. Hier ist Argon ein häufig genutztes Trägergas, das z. B. zum Aufbringen siliziumhaltiger Schichten mit Hexamethyldisiloxan (HMDSO) als Präkursorgas gemischt wird. Zur Optimierung derartiger technologischer Anwendungen wurde ein zeitabhängiges, räumlich eindimensionales Fluid-Modell entwickelt, das eine gegenüber herkömmlichen Modellen verbesserte Beschreibung des Teilchen- und Energietransports der Elektronen beinhaltet. In dem Beitrag wird das raumzeitliche Verhalten unterschiedlicher Entladungsanordnungen diskutiert. Für eine einseitig behinderte Einzelfilamententladung in reinem Argon wird gezeigt, dass mit steigender Spannungsamplitude der Einfluss metastabiler Argonatome auf das Entladungsverhalten zunimmt. Insbesondere die Chemionisation spielt bei Spannungsamplituden $> 2 \text{ kV}$ eine entscheidende Rolle. Weiterhin wird für eine symmetrische Entladungsanordnung der Einfluss geringer Beimischungen von HMDSO auf das Entladungsverhalten untersucht. Hier zeigt sich, dass die Penning-Ionisation in Stößen von HMDSO-Molekülen mit metastabilen Argonatomene eine bedeutende Rolle einnimmt.

Die Arbeiten wurden durch die DFG im Rahmen des SFB-TRR 24

sowie unter dem Geschäftszeichen LO 623/3-1 unterstützt.

P 24.2 Do 10:55 HZO 50

Consol hybride Plasma-Simulation: Ergebnisse und Experimente — ●HORIA-EUGEN PORTEANU — Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik, Berlin, Germany

Das Ziel einer neu entwickelten mikrowellengetriebenen ICP-Quelle ist die energetisch sparsame Erzeugung von hochreinen Plasmastrahlen. Sie wird bereits in PEALD-Prozessen angewendet. Die Optimierung der Quelle erfordert neben experimentellen Untersuchungen eine verlässliche und schnelle Simulation der plasma-chemischen Reaktionen im Detail. Dazu wurde eine hybride Simulationsmethodik entwickelt, bestehend aus einem Boltzmann-Solver und einem Fluid-Modell-Solver. Die einzelnen Module sind Teile der kommerziellen Software COMSOL Multiphysics[®] und in Matlab als iteratives Programm implementiert. Das Programm berechnet einen Mittelwert der Elektrodentemperatur und Gastemperatur. Der Zwei-Term-Boltzmann-Solver berechnet mit Hilfe dieser Werte die Verteilungsfunktion der Elektronenenergie und wichtige Transportparameter wie Beweglichkeit und Diffusion. Es wird angenommen, dass die Verteilung und die Transportparameter im ganzen Plasmavolumen homogen sind. Die Simulation zeigt für Ar und experimentelle Daten wie Mikrowellenleistung 10 W, Druck 100 Pa, Gasfluss 100 sccm eine stabile Lösung 1ms nach der Zündung, mit einer Elektronendichte von ca. 10^{18} m^{-3} und eine afterglow-Verteilung der metastabilen Atome von einigen mm. Diese Werte entsprechen im Wesentlichen mit dem Experiment. Die eingesetzte Drude-

Leitfähigkeit, basierend auf dem berechneten Transportparameter, ist aber fast zwei Größenordnungen kleiner als im Experiment.

P 24.3 Do 11:10 HZO 50

Das elektrische Feld in kapazitiv gekoppelten HF-Plasmen: Eine Erweiterung der Advanced Algebraic Approximation — ●RALF PETER BRINKMANN — Theoretische Elektrotechnik, Ruhr-Universität Bochum

Das elektromagnetische Feld ist eine zentrale Größe in der Dynamik hochfrequenzgekoppelter Plasmen. Auf fundamentaler Ebene ist es als Lösung der Maxwell-Gleichungen durch die im Plasma vorhandenen Ladungen und Ströme sowie die externen Randbedingungen bestimmt. Allerdings macht das Selbstkonsistenz-Problem – bewirkt durch die Kopplung der Felder an die Bewegungsgleichungen – die konkrete Berechnung oft schwierig. Dieser Beitrag analysiert das dynamische elektrische Feld in einem planarer kapazitiv gekoppelten Reaktor (CCP) unter der Annahme, dass die angelegte Hochfrequenz zwischen der Plasmafrequenz der Ionen und der Elektronen liegt, und die Debye-Länge kleiner ist als die Skalenlänge des Plasmas. Als Resultat ergibt sich eine Erweiterung der bislang nur für statische Fälle verfügbaren "Advanced Algebraic Approximation". Der Vergleich mit numerisch berechneten exakten Lösungen fällt zufriedenstellen aus.

P 24.4 Do 11:25 HZO 50

Analyse der Elektronentrajektorien in magnetisierten Hochleistungsplasmen — ●DENNIS KRÜGER, SARA GALLIAN, JAN TRIESCHMANN, THOMAS MUSSENBRÖCK und RALF PETER BRINKMANN — TET, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

High Power Pulse Magnetron Sputtering (HPPMS) ist neben anderen Anwendungen ein wichtiges Beispiel technischer magnetisierter Plasmen. Weitere Beispiele sind z.B. Hall Thruster, oder die Advanced Plasma Source (APS). Der Fokus bei HPPMS liegt auf der Erzeugung eines hochdichten Plasmas mit sehr hohem Ionisationsgrad. In der Fusionsforschung, die im Gegensatz zu den aufgezeigten Beispielen im Regime der Hochtemperaturplasmen angesiedelt ist, ist die Gyrokinetik eine seit Jahrzehnten erfolgreich etablierte Theorie. Im Hinblick auf die Verwendung dieser Theorie im Regime magnetisierter Nieder-temperaturplasmen, im Speziellen bei HPPMS, bestehen einige fundamentale Unterschiede. Diese betreffen insbesondere den Grad der Magnetisierung und die zugrundeliegende B-Feld Konfiguration (Wand-Wechselwirkung). Somit besteht die Notwendigkeit zur Prüfung einiger essentieller Annahmen, wie z.B. die Isotropie der Verteilungsfunktion. Zur Validierung dieser Annahmen wird im Rahmen dieser Arbeit die Einzelteilchenbewegung von Elektronen in einer Zone über dem Target, welche durch das statische, extern vorgegebene Magnetfeld dominiert wird, untersucht. (Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB/Transregio 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.)

P 24.5 Do 11:40 HZO 50

Collisionless electron heating in periodic arrays of inductively coupled plasmas — ●UWE CZARNETZKI¹ and KHRISTO TARNEV² — ¹Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Bochum, Germany — ²Department of Applied Physics, Technical University-Sofia, BG-1000 Sofia, Bulgaria

A novel mechanism of collisionless heating in large planar arrays of small inductive coils operated at radio frequencies is presented. In contrast to the well-known case of non-local heating related to the transversal conductivity, when the electrons move perpendicular to the planar coil, we investigate the problem of electrons moving in a plane parallel to the coils. Two types of periodic structures are studied. Resonance velocities where heating is efficient are calculated analytically by solving the Vlasov equation. Certain scaling parameters are identified. The concept is further investigated by a single particle simulation based on the ergodic principle and combined with a Monte Carlo code allowing for collisions with Argon atoms. Resonances, energy exchange, and distribution functions are obtained. The analytical results are confirmed by the numerical simulation. Pressure and electric field

dependences are studied. Stochastic heating is found to be most efficient when the electron mean free path exceeds the size of a single coil cell. Then the mean energy increases approximately exponentially with the electric field amplitude.

P 24.6 Do 11:55 HZO 50

To the self-forces on structured nonuniform orthogonal grids in Particle-in-cell Codes. — ●DENIS EREMIN and THOMAS MUSSENBRÖCK — Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

A popular approach for kinetic simulation of low-pressure technical plasma behavior is the particle-in-cell method. Bounded nature of technical plasmas leads to several different spatial scales which need to be resolved during a simulation. Additionally, it is often convenient to use non-Cartesian coordinates which conform to the problem's geometry. As a result, the logical coordinates used for discretization of the fields in the simulation have a non-uniform metric tensor. The downside of using such coordinates is the emergence of unphysical self-forces acting on the particles, which arises due to the inaccuracies between the extrapolation of a particle's charge to the grid and the consequent reciprocal interpolation of the resulting fields back to the particle's location. In this work we discuss how such self-forces can be avoided in case of orthogonal logical coordinates.

P 24.7 Do 12:10 HZO 50

A comparative study of pulsed multi-source RF CCP discharges — ●SCHABNAM NAGGARY¹, FRANK ATTELN¹, THOMAS MUSSENBRÖCK¹, RALF PETER BRINKMANN¹, and MUSTAFA MEGAHED² — ¹Ruhr-University Bochum — ²ESI Group

Pulsed multi-frequency CCP reactors provide additional means to manipulate the plasma characteristics and in particular the ion energy distribution. The interaction of the plasma with the pulse duty cycle and frequency is not fully understood yet, due to complex excitation and de-excitation of the rf and pulsing signals. Numerical models were demonstrated to accurately capture the transient behavior of the pulsed plasma. The high computational effort, however, makes these models very inaccessible to the community and do not allow for systematic study of the different parameters of interest to system designers. This work presents an efficient model that allows the characterization of the main plasma properties including the ion energy distribution functions within seconds. The zero dimensional model allows the analysis of the reactor operation parameter space and it provides the boundary conditions for more details, spatially resolved models that are used to fine tune the design including the resolution of wafer edge and wave effects.

P 24.8 Do 12:25 HZO 50

Jet formation and multi-fluid effects in dynamic magnetic flux tubes — ●THOMAS TACKE and JÜRGEN DREHER — Theoretische Physik I, Ruhr-Universität Bochum

As part of a collaboration with the coronal loop experiment FlareLab at Bochum university, different aspects of the dynamics of arch-shaped current-carrying magnetic flux tubes are investigated. The equations of magnetohydrodynamics are solved numerically using an initial cylindrical configuration in radial force equilibrium with an axial pressure gradient. The following formation of a plasma jet and its evolving structure within the simulation is then compared to phenomena observed in the electrode region in FlareLab. In a second study, the dispersion relation of an ion acoustic-type instability is derived from fluid equations including collisions between charged and neutral particles. The instability is first investigated numerically in one dimension and its growth compared to the analytical growth rate. Two-dimensional initial equilibrium configurations are derived, resulting in the collisional equivalent of the Harris-sheet and the Bennett pinch. The existence and growth of the instability in these configurations is then investigated and discussed as possible candidates for explaining small density bulges observed in the early phase of numerous discharges in FlareLab.

P 25: Low Temperature Plasmas III

Zeit: Donnerstag 10:30–12:25

Raum: HZO 30

Fachvortrag

P 25.1 Do 10:30 HZO 30

PROMETHEUS-A: A helicon plasma source for future wakefield accelerators — ●BIRGER BUTTENSCHÖN, NILS FAHRENKAMP, and OLAF GRULKE — Max Planck Institute for Plasma Physics, Wendelsteinstr. 1, 17491 Greifswald, Germany

High density plasma sources are of interest for a wide range of applications like plasma-wall interaction studies, plasma thrusters for space propulsion, or future plasma wakefield particle accelerators. In this contribution, we present a high power helicon cell designed for the world's first proton-beam driven plasma wakefield accelerator experiment AWAKE. Using a modular concept with four antennas distributed along a one meter long, five centimeter diameter prototype module providing up to 35 kW of rf power to the plasma, accelerator relevant densities of $6 \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}$ are transiently achieved and exceeded. These high density plasmas are characterized for the use with wakefield accelerators, considering density evolution and its reproducibility, plasma profiles and neutral gas inventory.

P 25.2 Do 10:55 HZO 30

Helium Metastabilen Dynamik einer selbst-pulsenden und propagierenden γ -mode' Entladung im Mikroplasma-Jet (μ -APPJ) — ●DANIEL SCHRÖDER, STEFAN SPIEKERMEIER, SEBASTIAN BURHENN, MARC BÖKE, VOLKER SCHULZ-VON DER GATHEN und JÖRG WINTER — Institut für Experimentalphysik II, Ruhr-Universität Bochum

Niedertemperatur-Mikroplasmaquellen, betrieben an Atmosphärendruck, finden aktuell u.a. Anwendung in der Plasmamedizin. Ihre charakteristische Nichtgleichgewichtchemie ermöglicht die Produktion verschiedener Radikale und Strahlung für die Behandlung von Gewebe und Zellen. Allerdings neigen Plasmaentladungen, besonders an Atmosphärendruck, zur Ausbildung von Instabilitäten. Im Mikroplasma-Jet (μ -APPJ) findet hierbei ein Übergang von einer homogenen Glimmentladung (α -mode) zu einer kontrahierten Entladung mit hoher Leistungsdichte und charakteristischer Plasmaemission an den Oberflächen der Elektroden statt (γ -mode). Prozesse, induziert durch Heliummetastabile, spielen bei der Ausbildung und der Erhaltung dieser kontrahierten γ -mode Entladung eine fundamentale Rolle. Durch die Wahl einer keilförmigen Elektrodenkonfiguration des Mikroplasmajets ist es möglich die Zündung dieser Entladungsform repetitiv zu provozieren. Das somit erzeugte selbstpulsende Verhalten erlaubt die Untersuchung der Dynamik der Heliummetastabilen innerhalb dieser Entladung. Hierfür wurde zeit- und ortsaufgelöste "Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy" (TDLAS) angewendet. Gefördert durch die DFG (FOR1123, TP A1 & A2)

P 25.3 Do 11:10 HZO 30

Characterization of Propagating Ionization Waves in Atmospheric Pressure Discharges — ●MAX ENGELHARDT, NIKITA BIBINOV, and PETER AWAKOWICZ — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

The phenomenon of propagating ionization waves at atmospheric pressure, which is often referred to as plasma bullets, is well described in literature. This field of research is especially interesting for biomedical applications, where simple discharge types are needed, that allow direct treatment of biological tissue. The device used is a dielectric barrier plasma jet, which is basically a quartz tube in which plasma is excited by application of high voltage (HV) pulses to an electrode wrapped around the outer wall of the tube. Out of the open end, a so-called effluent is ejected several centimeters beyond the tube. HV pulses are produced in a custom-made generator, which allows studies with independent tuning of relevant parameters. The discharge is characterized with different diagnostic methods, namely current-voltage characteristics and short-time photography. Short-time photography is performed with an intensified CCD camera which has a minimum exposure time of 200 ps. By using a delay generator between the pulse generator and the camera, pictures can be taken of the temporal evolution of plasma bullets. The results show considerably deviating discharge properties for different parameters. Variations are also noticeable in effluent properties, such as varying length and electric current through the discharge.

P 25.4 Do 11:25 HZO 30

Untersuchung und Charakterisierung eines Surfatron-induzierten Atmosphärendruck-Plasmajets bei geringen mittleren Plasmatemperaturen — ●TIMO DOLL, CELAL MOHAN ÖGÜN und RAINER KLING — Lichttechnisches Institut, Karlsruhe Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland

Die Einsatzgebiete offener Plasmen zur Beschichtung, Reinigung oder Konditionierung erlangen immer steigende Beachtung, womit diese Plasmen zu einer Technologie von zentraler Bedeutung heranwachsen. Nicht zuletzt, da Atmosphärendruckplasmen den Bogen zwischen den nicht-thermischen Niederdruckplasmen und thermischen Hochdruckplasmen schlagen. Sie ermöglichen heiße Plasmen und nicht-thermische kalte Plasmen mit hochenergetischen Elektronen. So kann eine Plasmaflamme bei mittleren Plasmatemperaturen von weniger als 50°C realisiert werden - der sogenannte Plasmajet - der eine Behandlung temperatursensibler Materialien wie menschlichem Gewebe ermöglicht.

Die Anregung des Plasmas erfolgt bei einer Frequenz von 2,45 GHz durch den Mikrowellenkoppler Surfatron, dessen Geometrie am Lichttechnischen Institut des Karlsruher Institut für Technologie optimiert wurde, um über höhere Feldstärken im Entladungsbereich zu verfügen. Über eine Änderung der eingespeisten Leistung und der Flussrate des Gases kann die Temperatur reguliert werden.

Der Vortrag zeigt eine umfassende Charakterisierung des Atmosphärendruck-Plasmajets hinsichtlich relevanter Plasmaparameter und diskutiert die Ergebnisse in Hinblick auf Anwendungsmöglichkeiten.

P 25.5 Do 11:40 HZO 30

Untersuchung von Gasdichtewellen an einem Atmosphärendruck-Plasmajet mittels Schlierenphotographie und Strömungssimulation — ●PATRICK HERMANN, MAX ENGELHARDT und PETER AWAKOWICZ — Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik (AEPT), Ruhr-Universität Bochum, Deutschland

Atmosphärendruck-Plasmajets werden unter anderem in der Biomedizintechnik oder der Materialtechnik zur Behandlung von Oberflächen eingesetzt. Das Plasma steht dabei in einer direkten Wechselwirkung mit dem inerten Hintergrundgas. Die Ausbreitungslänge des Plasmas wird durch die molare Konzentration des Hintergrundgases und der Länge der laminaren Gasströmung bestimmt. Zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Gasströmung und Plasmaausbreitung wird die Gasströmung mittels Schlierenphotographie visualisiert. Diese Daten werden mit einer FEM-Simulation und Kurzzeitaufnahmen von Plasmaentladungen ergänzt. Die Simulation des Teilchentransports basiert auf einem $k - \epsilon$ -Turbulenzmodell und einem Diffusions-Konvektionsmodell.

Die Ergebnisse zeigen den Übergangsbereich von einer laminaren zu einer turbulenten Strömung in Abhängigkeit der elektrischen Parameter. Des Weiteren werden ortsabhängige Dichtewellen am Gasauslass des Atmosphärendruck-Plasmajets sichtbar. Diese sind abhängig von der Gasgeschwindigkeit, der angelegten Pulsfrequenz und der Pulsspannung. Es wird eine erste Theorie zur Entstehung und Ausbreitung dieser Dichtewellen gegeben und unter Einbezug der Simulation bestätigt.

P 25.6 Do 11:55 HZO 30

Mass spectrometry of ions originating from atmospheric pressure plasmas — ●SIMON GROSSE-KREUL, SIMON HÜBNER, GERT WILLEMS, JAN BENEDIKT, and ACHIM VON KEUDELL — RD Plasmas with Complex Interactions, Ruhr-Universität Bochum

The investigation of ions originating from atmospheric pressure plasma (APP) sources plays an important role to understand their interaction with both liquid and solid samples. Mass spectrometry is a powerful diagnostic tool for the characterization of APPs. However, the process of ion sampling is a challenging task since the sampling orifice has to be small in order to avoid penetration of the plasma sheath into the vacuum system leading to distorting effects. Positive ions created by an APP jet operated with He and small ($< 2\%$) admixtures of N_2 and O_2 are extracted from the effluent through a sampling orifice ($20 \mu\text{m}$) into a differentially pumped vacuum system. An ion lens is mounted in the first pumping stage and is used to extract and focus sampled ions into the second stage containing a quadrupole mass spectrometer. Ion trajectory simulation reveals an ion energy of less than 0.5 eV which shows that the analyzed ions are originating from the plasma. Water

cluster ions of the form $H^+(H_2O)_n$ are dominating the mass spectrum in the case that the feed gas is not further purified. A significant signal of NO^+ can be observed even with highly purified feed gas depending on the operating conditions. This is attributed to the low ionization energy of NO of only 9.26 eV which causes it to win in charge transfer reactions during the sampling process.

P 25.7 Do 12:10 HZO 30

Transport Phenomena in Plasma Jets interacting with Liquids — ●STEPHAN REUTER, ANSGAR SCHMIDT-BLEKER, SYLVAIN ISENI, HELENA JABLONOWSKI, JÖRN WINTER, MALTE HAMMER, MARIO DÜNNBIER, and KLAUS-DIETER WELTMANN — INP Greifswald, Felix-Hausdorff Str. 2, 17489 Greifswald

Argon plasma jets at atmospheric pressure usually are filamented -

despite the fact that they might appear homogeneous to the eye as homogeneous plasma plume. In the present work, imaging during one excitation period reveals the streamer like structure of the plasma effluent. Several subsequent images reveal that the streamer path is changing with the flow field. Former measurements comparing these images to OH-planar laser induced fluorescence measurements show that the streamer path is coinciding with ambient impurities. A study of the generation and interaction of plasma with ambient surroundings was presented and the resulting effect and generation pathways of reactive species are shown. Plasma reactive species composition can be tailored in the gas phase as well as in the liquid phase. Transport and generation mechanisms have to be studied in greater detail. For application, this approach can be used to study and decorelate the effect of respective reactive species groups. Acknowledgement: funding by the BMBF (03Z2DN12) for the ZIK plasmatis is gratefully acknowledged

P 26: Plasma Technology III

Zeit: Donnerstag 14:00–16:00

Raum: HZO 50

P 26.1 Do 14:00 HZO 50

In-situ Untersuchung der ThO_2 - / La_2O_3 -Verteilung auf Elektroden für HID-Lampen — ●HÖBING THOMAS¹, HERMANN PATRICK¹, BERGNER ANDRE¹, TRAXLER HANNES², WESEMANN INGMAR², AWAKOWICZ PETER¹ und MENTEL JÜRGEN¹ — ¹Ruhr-Universität Bochum, 44801 Bochum, Deutschland — ²Plansee SE, Metallwerk-Plansee-Str. 71, 6600 Reutte, Österreich

Wolfram-Kathoden in Gleichstrom Hochdruck-Gasentladungslampen (HID-Lampen) werden mit den Emitterstoffen ThO_2 oder La_2O_3 dotiert, um die effektive Austrittsarbeit Φ des Kathodenmaterials zu reduzieren. Durch thermische Aktivierung gelangen diese während des Betriebs an den Grenzen der W-Körner zur Oberfläche und erzeugen auf ihr eine Bedeckung, welche entlang der Elektrodenachse Anreicherungs- und Verarmungszonen aufweist. Das Bedeckungsprofil resultiert aus der Bilanz des Abdampfens von der heißen Oberfläche, der Nachlieferung aus dem Inneren der Elektrode und einem rückführenden Ionenstrom aus dem Lichtbogen. Die Elektrode weist dann eine ortsabhängige Austrittsarbeit auf, welche zeitlichen Änderungen unterliegt und dadurch den Bogenansatz destabilisiert. Die Entstehung von Anreicherungen und Verarmungen auf der Elektrodenoberfläche wird durch die Kombination von in-situ Messungen der optischen Oberflächenemissivität und pyrometrischen Messungen der Temperaturverteilung der Elektrode mit ex-situ Messungen der Emitterverteilung untersucht. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und PLANSEE SE.

P 26.2 Do 14:15 HZO 50

Untersuchung der Kombination von Zündhilfen für Xe-HID-Lampen — ●ANDRE BERGNER, MAX ENGELHARDT, SVEN GRÖGER, THOMAS HÖBING, JÜRGEN MENTEL und PETER AWAKOWICZ — Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik, Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

HID-Lampen werden u. a. als Lichtquelle in Frontscheinwerfern von Kraftfahrzeugen eingesetzt. In diesem Anwendungsgebiet werden aus Sicherheitsgründen sehr hohe Anforderungen an die Sofortlichteigenschaft und den Schnellanlauf gestellt. Dies lässt sich durch einen hohen Xenonkaltfülldruck erreichen, der seit dem Verzicht auf Quecksilber ca. 15 bar beträgt. Als Folge haben HID-Lampen für den Automobilbereich besonders hohe Zündspannungen. Daher ist ein Ziel aktueller Forschung, die Zündspannung zu senken.

Die so genannte Außenkolbenentladung, eine DBD im Außenkolben der Lampe, ist eine bereits kommerziell eingesetzte Zündhilfe, die die Zündspannung der Lampe deutlich senkt. Außerdem werden auch Antennen als Zündhilfe in HID-Lampen erfolgreich eingesetzt. Diese Arbeit präsentiert Untersuchungen zur Kombination dieser beiden Zündhilfen. Die Kombination der beiden Zündhilfen sorgt für einen Synergieeffekt, d.h. die Absenkung der Zündspannung ist so groß, wie mit keiner der beiden Zündhilfen allein. Zur Untersuchung des Zündprozesses werden verschiedene elektrische und optische Diagnostiken eingesetzt. Für ein vertieftes Verständnis sorgt die Nutzung einer Vierfach-CCD-Kamera, mit der der Zündprozess visualisiert wird. Im Ergebnis wird die Lampenzündspannung von ca. 20 kV auf ca. 10 kV abgesenkt.

P 26.3 Do 14:30 HZO 50

Charakterisierung einer dielektrischen Barriereentladung — ●FRIEDERIKE KOGELHEIDE, SABRINA BALDUS, NIKITA BIBINOV und PETER AWAKOWICZ — Lehrstuhl für Allgemeine Elektrotechnik und Plasmatechnik (AEPT), Ruhr-Universität Bochum

Nicht-thermische Atmosphärenplasmen haben in der Medizin den Vorteil, kontaktlose und schmerzfreie Behandlungen zu ermöglichen. Um eine gesundheitsschädigende Wirkung für den Patienten ausschließen zu können, ist es notwendig, die einzusetzenden Parameter und Wirkungsweisen der Entladung zu kennen, sodass die eingesetzte Plasmen für den Menschen risikolos konfiguriert werden können. Aus diesem Grund ist es wichtig, die elektrischen sowie physikalischen Eigenschaften der verwendeten Plasmaquelle zu untersuchen. Die verwendete dielektrische Barriereentladung eignet sich aufgrund der Ein-Elektroden-Konfiguration besonders für biologisch-medizinische Anwendungen, da sie in Luft gezündet werden kann und sich somit jedes beliebige Objekt als geerdete Elektrode eignet. Desweiteren zeichnet sich die verwendete Plasmaquelle durch eine Möglichkeit des Umpolens des Spannungspulses aus. Die Leistungseinkopplung und Plasmaparameter werden nicht nur in Bezug auf eine Spannungs- und Frequenzvariation, sondern auch in Bezug auf die Polung der Spannung untersucht. Die Elektronendichte und das reduzierte elektrische Feld werden mit optischer Emissionsspektroskopie sowohl räumlich und zeitlich gemittelt als auch orts- und zeitaufgelöst ermittelt. Die Ergebnisse werden vorgestellt und die Unterschiede diskutiert. Gefördert durch die DFG (PAK 816 'Plasma Cell Interaction in Dermatology') und die Fa. Cinogy.

P 26.4 Do 14:45 HZO 50

Global model of deposition plasmas fed with an oxygen admixture — ●EFE KEMANECI — Institute for Theoretical Electrical Engineering, Department for Electrical Engineering and Information Technologies, Ruhr University Bochum, D-44780 Bochum, Germany

The plasma deposition is used in many processes ranging from the manufacture of optical fibers to the production of solar cells. In these processes, the plasma converts chemically inactive species to the deposition material. Beside many other physical phenomena occurring in the system, the chemical kinetics plays a vital role for the application. Since detailed models of such processes are numerically expensive, global (volume-averaged) models are often preferred to investigate such plasmas. In this contribution we investigate oxygen plasmas, which is one of the main ingredient in deposition processes, via global models. We validate the model by benchmarking against experimental data on various oxygen plasmas in literature with continuous as well as pulsed power coupling. As a preliminary step, we further investigate a plasma chamber fed with an admixture of $O_2/SiCl_4$ used in the optical fiber production.

P 26.5 Do 15:00 HZO 50

Numerische Simulation eines Mikrowellen-Plasmabrenners bei Atmosphärendruck — ●SANDRA GAISER, MARTINA LEINS, ANDREAS SCHULZ, MATTHIAS WALKER und THOMAS HIRTH — Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

Für Atmosphärendruckplasmen bieten sich eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten, wie z. B. die Schichtabscheidung oder die Reinigung

von kritischen Abgasen. Bei der energieeffizienten und ressourcenschonenden Gestaltung dieser Prozesse ist die numerische Modellierung zur Optimierung der eingesetzten Plasmaquellen von großer Bedeutung.

Der in dieser Arbeit vorgestellte Mikrowellen-Plasmabrenner wird mit Hilfe der numerischen Simulationssoftware COMSOL Multiphysics modelliert. Es werden dabei zunächst mehrere Modelle entwickelt, welche die einzelnen physikalischen Vorgänge beschreiben. Dazu gehört die Simulation der kalten Gasströmung und die Optimierung der Gaszuführung. Darauf aufbauend wird das Plasma zunächst vereinfacht als Wärmequelle in das Strömungsmodell implementiert und damit das Verhalten des heißen Gases untersucht. Ein weiteres Modell befasst sich mit der Verteilung des Mikrowellenfeldes in der Resonatorgeometrie des Plasmabrenners. Dabei wird die Auswirkung des Plasmas auf die Feldverteilung betrachtet, wobei mit Hilfe des Drude-Modells die frequenzabhängige Leitfähigkeit und Permittivität berücksichtigt werden.

P 26.6 Do 15:15 HZO 50

Numerische Analyse der Ausbreitung von Mikrowellen in einem Plasma — •DANIEL SZEREMLEY¹, THOMAS MUSSENBRÖCK¹, RALF PETER BRINKMANN¹, MARC ZIMMERMANN², ILONA ROLFES² und DENIS EREMIN¹ — ¹Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Ruhr - Universität Bochum, D-44780 Bochum, Deutschland — ²Lehrstuhl Hochfrequenzsysteme, Ruhr - Universität Bochum, D-44780 Bochum, Deutschland

Auf Grund ihrer besonderen Eigenschaften sind Mikrowellenentladungen ein wichtiges Werkzeug für die Beschichtungstechnik. Insbesondere die Möglichkeit, durch eine zusätzliche Bias-Spannung Ionen-Energieverteilungsfunktionen vor Substraten über einen großen Bereich nahezu frei einstellen zu können, macht diese Entladungen zu leistungsstarken Werkzeugen zur Abscheidung nanostrukturierter Funktionsschichten. Eine weitreichende Analyse der Moden und Ausbreitungseigenschaften elektromagnetischer Wellen in einem Plasma entlang einer Antenne ist von besonderem Interesse. Diese Informationen sind notwendig, um einen Plasmareaktor den Ansprüchen der jeweiligen Anwendung optimal anpassen zu können. In diesem Beitrag werden numerische Simulationsergebnisse einer Mikrowellenentladung entlang der Plasmaline präsentiert werden. Im Mittelpunkt steht dabei die Charakterisierung der Moden, die sich entlang der Antenne ausbreiten können.

Die Autoren danken der Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB-TR 87.

P 26.7 Do 15:30 HZO 50

Kinetische Simulation der Dynamik gesputterten Aluminiums in kapazitiv gekoppelten Mehrfrequenzplasmen —

•JAN TRIESCHMANN¹, STEFAN RIES², STEFAN BIENHOLZ², NIKITA BIBINOV², PETER AWAKOWICZ², RALF PETER BRINKMANN¹ und THOMAS MUSSENBRÖCK¹ — ¹TET, Ruhr-Universität Bochum — ²AEPT, Ruhr-Universität Bochum

Für viele technische Anwendungen sind Sputterprozesse von großer Bedeutung. Zur Charakterisierung der zugrunde liegenden Prozesse ist hierbei insbesondere die räumliche Verteilung gesputterter Teilchen innerhalb der Reaktorkammer entscheidend. In komplexen Reaktorgeometrien ist eine Vorhersage dieser häufig nur simulativ möglich. Ferner folgt die Geschwindigkeitsverteilung gesputterter Teilchen inhärent keiner Maxwellverteilung. Aus diesem Grund kann letztere nur mittels kinetischer Lösungsansätze bestimmt werden.

In dieser Arbeit werden Direct-Simulation Monte-Carlo (DSMC) Ergebnisse der Verteilung gesputterten Aluminiums vor einem Argon Hintergrund innerhalb einer kapazitiv gekoppelten Mehrfrequenzsputteranlage diskutiert. Das zugrunde liegende Simulationsmodell basiert hierbei auf der frei verfügbaren Software OpenFOAM. Es werden sowohl räumlich aufgelöste Dichte-, als auch Geschwindigkeitsverteilungen der gesputterten Atome während des Sputterprozesses untersucht. Die Simulationsergebnisse werden darüber hinaus im Kontext experimenteller Untersuchungen des Plasmaprozesses betrachtet.

(Diese Arbeit wird im Rahmen des SFB/Transregio 87 durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.)

P 26.8 Do 15:45 HZO 50

Electron energy distribution in HiPIMS discharges: analytic and numerical modeling — •SARA GALLIAN¹, JAN TRIESCHMANN¹, THOMAS MUSSENBRÖCK¹, WILLIAM N G HITCHON², and RALF PETER BRINKMANN¹ — ¹TET, Ruhr-Universität Bochum, Deutschland — ²ECE, University of Wisconsin-Madison, USA

High Power Impulse Magnetron Sputtering (HiPIMS) is a novel Ionized Physical Vapor Deposition (IPVD) technique, able to achieve an ultra dense plasma with a high ionization degree among the sputtered atoms. This is accomplished by applying a large bias voltage to the target in short pulses with low duty cycle. The electrons emitted by the target because of the ion bombardment are accelerated in the cathode fall and reach the magnetized plasma bulk with a large energy. In this contribution we present an analytic calculation of the distribution function of these energetic electrons. The electrons are inserted into the system as a monoenergetic beam which slows down by Coulomb collisions with a Maxwellian distribution of bulk electrons, and by inelastic collisions with neutrals. The results are verified for parameters appropriate to HiPIMS discharges, by comparing the analytic result with that of a numerical global model. We expect this work to be applicable to a variety of magnetron systems such as HiPIMS and dc discharges.

P 27: Diagnostics II

Zeit: Donnerstag 14:00–15:45

Raum: HZO 30

Hauptvortrag P 27.1 Do 14:00 HZO 30
Kalorimetrische Sonden und Kraftsonden zur Plasmadiagnostik — •THOMAS TROTTEBERG — Universität Kiel

In diesem Beitrag wird ein Überblick über den Stand der Entwicklung der nichtelektrostatischen Sondendiagnostiken für Plasmen an der Universität Kiel gegeben. Es handelt sich zum einen um passive und aktive kalorimetrische Verfahren, und zum anderen um Techniken, mit denen Kräfte der Größenordnung von Mikronewton gemessen werden können, die auf eine ein Plasma begrenzende Wand ausgeübt werden. Diese eher unkonventionellen Verfahren messen letztendlich im Vergleich zu elektrische Ströme messenden Sonden höhere Momente von Geschwindigkeitsverteilungen, nämlich Energie- und Impulsströme. Bei elektrischen Verfahren (Langmuir-Sonde, Faraday Cup, ...) treten Nebeneffekte wie die Erzeugung von Sekundärelektronen auf, die verstanden und beherrscht werden müssen, wenn es als quantitative Diagnostik verwendet werden soll. Entsprechende Effekte gibt auch bei den hier vorgestellten Sonden, wobei insbesondere Sputtern, Schichtbildungen und chemische Reaktionen zu nennen sind, die zur Energie- und Impulsbilanz beitragen. Anwendungsbereiche, Nutzen und Grenzen der kalorimetrischen und kraftmessenden Diagnostiken werden diskutiert.

P 27.2 Do 14:00 HZO 30

Investigations on the Bohm criterion in two-component plas-

mas — •TSANKO VASKOV TSANKOV and UWE CZARNETZKI — Institute for Plasma and Atomic Physics, Ruhr-University Bochum, 44780 Germany

Despite the long history of the field of plasma physics and the ubiquitous investigations and application of plasmas with multiple ion species, the fundamental problem about the Bohm criterion [1-3] in such plasmas remains unsatisfactorily resolved. The generalisation of the well-known Bohm criterion for more than one species of ions gives only a general relation between the velocities of the various ion species at the sheath edge but does not specify them uniquely. Theoretical works [1,2] suggest different possibilities for fixing the velocities of the ions entering the sheath. Laser induced measurements [3], however, at somewhat untypical conditions seem to support one of the theories.

In this work we employ a different experimental approach to the problem. By combining information about the spatial distributions of the plasma parameters and the mass-resolved energy distributions of the ions reaching the walls we shed some light on the problem in a more typical plasma configuration. The results seem to disagree both with the main theories [1,2] and the previous measurements [3].

[1] R N Franklin, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **33** (2000) 3186

[2] S D Baalrud, C C Hegna, *Phys. Plasmas* **18** (2011) 023505

[3] N Hershkovitz, C-S Yip, G D Severn, *Ibid.* 057102

P 27.3 Do 14:15 HZO 30

Robustheit der in-situ Größenbestimmung von a:C-H Nanostaub mittels Mie-Ellipsometrie — ●SEBASTIAN GROTH, FRANKO GREINER und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Germany

Das Wachstum von Nanopartikeln und die Dynamik von Nanostaubwolken in einem Argon-Acetylen Plasma werden mit kinetischer Mie-Ellipsometrie in-situ untersucht. Dabei werden mittels entsprechender Ellipsometer-Aufbauten die ellipsometrischen Winkel Ψ und Δ bestimmt und aus diesen mit Hilfe der Mie-Theorie der Größenparameter $x(t)$ sowie der komplexe Brechungsindex N der Partikel. Die Bestimmung von $x(t)$ aus $\Psi(t)$ und $\Delta(t)$ erfolgt in der Regel mittels gausscher Fehlerminimierung. Dabei muss neben dem Einfluss der Signal-Rausch-Verhältnisse zusätzlich die Fehleranfälligkeit der Radiusbestimmung in Bezug auf den Brechungsindex betrachtet werden. Es werden ellipsometrische Messungen von Partikelwachstum im Bereich 100-200 nm in einem Argon-Acetylen-Plasma in einer Hochfrequenz-Parallelplatten-Entladung präsentiert und die Stabilität und Qualität der verwendeten Datenanalyse, bezogen auf die oben genannten Aspekte, untersucht. Die ermittelten Wachstumskurven werden mit ex-situ SEM-Messungen überprüft.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im SFB-TR24, Projekt A2.

P 27.4 Do 14:30 HZO 30

In-situ Bestimmung der orts- und zeitaufgelöste Verteilungsfunktion von a:C-H Nanostaub in einem Argon-Acetylen-Plasma — ●FRANKO GREINER, FRANK WIEBEN, SEBASTIAN GROTH und ALEXANDER PIEL — IEAP, Christian-Albrechts-Universität, Kiel

In einem Argon Plasma, dem ein circa zwanzig prozentiger Anteil Acetylen zugegeben wird, wachsen Staubteilchen von molekularer Ebene bis zu einigen hundert Nanometern Radius heran. Die Plasmabedingungen bewirken ein im wesentlichen monodisperses Wachstum von nahezu sphärischen Nanopartikeln aus amorphem, hydrogeniertem Kohlenstoff. Methoden der bildgebenden Mie-Ellipsometrie [1] erlauben es, zweidimensionale, zeitaufgelöste Untersuchungen der Größenverteilung der Nanoteilchen in-situ durchzuführen. Der Größenbereich in dem dies möglich ist, beginnt derzeit bei etwa 80 nm Radius und ist prinzipiell nur durch die technischen Gegebenheiten begrenzt. Die Methode eignet sich sowohl zur Überwachung des monodispersen Wachstums, als auch zur Untersuchung dynamischer Phänomene, wie zum Beispiel dem Einfluss von Plasma-Filamenten auf das Teilchenwachstum.

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Projekt A2 des SFB-TR24.

[1] F. Greiner et al.; Plasma Sources Science and Technology; 11/2012; 21(6):065005.

P 27.5 Do 14:45 HZO 30

Analytic Investigation of the Resonance Frequencies of the Curling Probe — ●ALI ARSHADI and RALF PETER BRINKMANN — Institute for Theoretical Electrical Engineering Ruhr University Bochum, D-44780 Bochum, Germany

The term active plasma resonance spectroscopy (APRS) denotes a class of plasma diagnostic methods which utilizes the natural ability of plasmas to resonate on or near the electron plasma frequency ω_{pe} : An electrical radio frequent signal (in the GHz range) is coupled into the chamber via an antenna or probe, the spectral response is recorded, and a mathematical model is used to determine plasma parameters such as the plasma density or the electron temperature. The curling probe [1], is a novel realization of APRS which has many practical advantages. Especially, it can be miniaturized and flatly embedded into the wall of a plasma reactor.

Physically, the curling probe can be understood as a "curled" form of the hairpin probe [2]. Assuming that the spiralization has little electrical effect, this presentation investigates the characteristics of a "straightened" curling probe by modeling it as an infinite slot-type resonator which is in direct contact with the plasma. The diffraction of an incident plane wave at the slot is calculated by solving the cold plasma model and Maxwell's equations simultaneously. The resonance frequencies of the probe are derived and good agreement with the numerical results of the probe inventors is demonstrated.

[1] I. Liang et. al., *Appl. Phys. Express* 4 (2011) 066101.

[2] R. L. Stenzel, *Rev. Sci. Instrum.* 47 (1976) 603.

P 27.6 Do 15:00 HZO 30

Diagnostiken mit hoher zeitlicher Auflösung zur Untersuchung der Teilchendynamik in HiPIMS Plasmen — ●WOLFGANG BREILMANN¹, FELIX MITSCHKER², KATHARINA GROSSE¹, CHRISTIAN MASZL¹, JAN BENEDIKT¹ und ACHIM VON KEUDEL¹ — ¹Ruhr-Universität Bochum, Institute for Experimental Physics II, 44780 Bochum, Germany — ²Ruhr-Universität Bochum, AEPT, 44780 Bochum, Germany

High Power Magnetron Sputtering (HiPIMS) Plasmen erzeugen Beschichtungen mit vorteilhaften mechanischen Eigenschaften, weisen jedoch verringerte Beschichtungsraten auf verglichen mit dcMS Plasmen. Aus diesem Grund werden große Anstrengungen unternommen die Dynamiken von HiPIMS Plasmen zu verstehen. Da typische Entladungsdauern im Bereich von $5\mu s$ bis $400\mu s$ liegen, werden Diagnostiken mit ausreichend hoher Zeitauflösung benötigt. Es werden drei Diagnostiken erläutert.

Die Methode des rotierenden Shutters erzeugt ein zeitlich aufgelöstes Profil des Schichtwachstums am Substrat (Auflösung $25\mu s$), welches mittels Profilometrie analysiert werden kann. Die Verwendung eines Massenspektrometers mit einem Transientenrekorder liefert energie-, zeit- und massenaufgelöste Ionenenergieverteilungen und Ionenflüsse mit einer zeitlichen Auflösung von 100 ns. Mit Phase Resolved Optical Emission Spectroscopy (PROES) Messungen kann die Emission verschiedener Spezies zeit- und orts aufgelöst im Mikrosekunden Bereich beobachtet werden. Besprochen werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden anhand von Ergebnissen aus Messungen.

P 27.7 Do 15:15 HZO 30

Absolute VUV and UV measurements in a low pressure DICP in different gas mixtures for biological applications — ●MARCEL FIEBRANDT, NIKITA BIBINOV, BENJAMIN DENIS, KATHARINA STAPELMANN, and PETER AWAKOWICZ — Ruhr University Bochum, Institute for Electrical Engineering and Plasma Technology, Bochum, 44801, Germany

VUV and UV spectra are measured in the range of 130 nm to 400 nm in different argon, hydrogen, nitrogen, and oxygen mixtures in a double inductively coupled plasma reactor (DICP) at 10 Pa. Measurements are performed with a monochromator in the VUV and a broadband echelle spectrometer in the UV. The relative VUV spectra are fitted to the absolutely calibrated spectra in the UV. Thereby, it is possible to obtain absolutely calibrated VUV spectra, thus enabling to determine quantitatively the VUV and UV dose applied to biological samples. Combined with biological experiments, the effectiveness of the VUV dose depending of the wavelength can be studied.

P 27.8 Do 15:30 HZO 30

Experimental Plasma Diagnostics at JLU Giessen — ●SLOBODAN MITIC and JULIAN KAUPE — I. Physikalisches Institut, Justus-Liebig-Universität Giessen, Germany

Experimental Plasma Diagnostics at JL University in Giessen is new research group focusing on development and integration of different plasma diagnostic techniques into the existing research activities. For this purpose different diagnostics approaches are being developed targeting low temperature plasmas, complex plasmas, ion thrusters plasmas and ion beams, processing plasmas, atmospheric plasmas

Depending on the targeted plasma species and plasma conditions different optical and electrical measurements and models are used. Models for optical emission diagnostics are developed for group of monoatomic and molecular gasses. This models were used for monitoring the plasma in complex plasma experiments and during nanowire growth.

Laser induced fluorescence and laser absorption techniques are used for spatial and time resolved monitoring of xenon plasmas under different experimental conditions (LTP, complex plasma, thrusters).

Electrical diagnostics was used for diagnostics of plasma densities and temperatures. Langmuir probes and retarding field analyzer were used for monitoring electron and ion energies and densities in LTP and processing plasmas.

Along this activities Experimental Plasma Diagnostic group is also active in development and diagnostics of plasma sources for atmospheric plasma material processing and medical applications.

P 28: Laser Plasmas II

Zeit: Donnerstag 16:30–17:30

Raum: HZO 50

P 28.1 Do 16:30 HZO 50

Direct measurement of electron's dephasing in a laser-driven wakefield — •D. E. CARDENAS^{1,2}, S. W. CHOU^{1,2}, J. XU^{1,3}, A. BUCK^{1,2}, K. SCHMID^{1,2}, C. M. S. SEARS¹, B. SHENG³, F. KRAUSZ^{1,2}, and L. VEISZ¹ — ¹Max-Planck-Institute für Quantenoptik, Hans-Kopfermann Strasse 1, 85748, Garching, Germany — ²Ludwig-Maximilians-Universität, Am Coulombwall 1, 85748, Garching, Germany — ³State Key Laboratory of High Field Laser Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 800-211, Shanghai 201800, China

One of the most important effects limiting the maximal achievable energy of a laser-wakefield-accelerated electron [1] is dephasing. This process limits the acceleration length to a distance an electron must propagate in the lab system until it outruns the plasma wave by half of the plasma wavelength, i.e. the dephasing length $L_d \approx \lambda_p^3/\lambda_0^2$, where λ_p and λ_0 are the plasma and laser wavelength, respectively [2]. In resonant conditions, the laser pulse duration should match half of the plasma wavelength. Using the pulses delivered by the < 5 fs Light Wave Synthesizer 20 (LWS-20) and the 8 fs LWS-10 [3], dephasing lengths in the order of 100 μm become measurable using shock-front injection [4]. These results match quite well the linear theory and give a solid basis to design higher energy accelerators using longer laser pulses. [1] T. Tajima and J.M. Dawson, *Phys. Rev. Lett.* 43, 267 (1979) [2] E. Esarey, C. B. Schroeder, and W. P. Leemans. *Rev. Mod. Phys.* 81, 1229. (2009). [3] K. Schmid et al., *Phys. Rev. Lett.* 102, 124801 (2009) [4] K. Schmid et al., *Phys. Rev. ST Accel. Beams* 13, 091301 (2010)

P 28.2 Do 16:45 HZO 50

Thomson Scattering from Warm Dense Matter — •MOHAMMED SHIHAB^{1,2}, KAI-UWE PLAGEMANN¹, HANNES R. RÜTER¹, THOMAS BORNATH¹, WOLF-DIETRICH KRAEFT¹, CARSTEN FORTMANN³, SIEGFRIED H. GLENZER⁴, and ROLAND REDMER¹ — ¹Institut für Physik, Universität Rostock, Germany. — ²Physics Department, Tanta University, Egypt. — ³Quantumwise A/S, DK-2100 Copenhagen, Denmark. — ⁴SLAC, Menlo Park, CA 94025, USA.

Thomson scattering is a promising tool to infer warm dense matter (WDM) properties [1]. WDM is characterized by densities near to solid-density up to compressed matter well above solid-density and electron temperatures of several electron volts. In this plasma region, the transition from ideal plasmas to degenerate and strongly coupled plasmas occurs. Accurate measurements of plasma temperature and densities and rigorous understanding of correlations and quantum effects are of great importance for modelling laser-shock and inertial confinement fusion experiments. Free electron lasers such as FLASH (Hamburg) or LCLS (Stanford) provide high-brilliance and coherent radiation sources that allow to resolve the ultra-short time kinetics of WDM in pump-

probe experiments. For instance, collective x-ray Thomson scattering yields information on the density, temperature, and the ionization balance of WDM [2]. In this contribution we will highlight the theoretical basis of Thomson scattering and propose new experiments that can be performed at FLASH, LCLS or the future European XFEL in Hamburg. [1] Glenzer S.H. and Redmer R., *Rev. Mod. Phys.* 81 1625(2009) [2] Glenzer et.al., *Phys. Rev. Lett.* 98 065002(2007)

P 28.3 Do 17:00 HZO 50

Generation of ultra-short high-power laser pulses via strongly-coupled Brillouin amplification — •FRIEDRICH SCHLUCK, GÖTZ LEHMANN, and KARL-HEINZ SPATSCHEK — Institut für Theoretische Physik I, Heinrich-Heine Universität, 40225 Düsseldorf, Germany

Amplification of ultra-short laser pulses via strongly-coupled Brillouin scattering is a promising technique for the generation of multi-Petawatt to Exawatt laser pulses. Energy is transferred from a long pump pulse (ps to ns duration) to a short seed pulse (about 100fs duration) via a resonant interaction with an ion quasi-mode. We present an envelope model to investigate this process in multi-dimensional geometry. In particular we focus on the influence of a frequency chirp of the pump pulse. The chirp affects the resonance condition for frequency matching of pump, seed and plasma wave and thus the energy transfer from pump to seed. On the one hand a residual chirp will always be present in experiments, on the other hand, we find that artificially chirping the pump pulse may increase the amplification efficiency in the nonlinear phase of the amplification process.

P 28.4 Do 17:15 HZO 50

Towards Atomic Physics in PIConGPU — •AXEL HUEBL^{1,2}, MARCO GARTEN¹, RENE WIDERA¹, LINGEN HUAN¹, THOMAS KLUGE¹, and MICHAEL BUSSMANN¹ — ¹Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf — ²Technische Universität Dresden

Particle-in-Cell (PIC) codes are a ubiquitous tool to study laser-plasma physics in a fully relativistic environment. Theoretical models for plasma based accelerators and corresponding experiments, as planned by the HIBEF collaboration (XFEL), depend dramatically on the ability to precisely predict the complex processes inside of targets.

Unfortunately, basic atomic processes like the ionization dynamics of solid foil target in ultra-high fields of modern short-pulse laser systems in the PW class are not covered by the basic PIC algorithm. This poster shows ways to introduce the microscopic ionization dynamics inside the targets in a self-consistent and rigorous way. Combined with modern compute hardware such as GPUs and manycore systems in general, this paves the road to a new quality of multi-physics simulations with ab-initio modeling of atomic processes in strong laser fields.

P 29: Magnetic Confinement II

Zeit: Donnerstag 16:30–17:40

Raum: HZO 30

Hauptvortrag P 29.1 Do 16:30 HZO 30
Abschwächung von Disruptionen in Tokamakplasmen durch massive Gasinjektion — •HANS RUDOLF KOSLOWSKI — Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich

Disruptionen in Tokamakplasmen resultieren aus dem Verlust der Plasmakontrolle und führen zur Abgabe der im Plasma gespeicherte thermischen und magnetischen Energie, und dem Abbruch des Plasmastroms innerhalb weniger ms. Als Folge treten impulsartige Wärmelasten auf der ersten Wand und Kräfte auf Wandelemente und Strukturen auf. Durch die beim Stromabbruch erhöhte Umfangsspannung können Elektronen auf relativistische Energien beschleunigt werden. Diese *Runaway Elektronen* (RE) können einen beträchtlichen Teil des Plasmastroms tragen und extreme Wärmelasten auf der Wand verursachen. In den letzten Jahren wurde die schnelle Injektion großer Gasmenngen zur Abschwächung dieser Effekte entwickelt. Ziel ist eine gezielte Abstrahlung der Plasmaenergie sowie die Unterdrückung der RE Produktion durch erhöhte Stoßraten. In Experimenten an den Tokamaks TEXTOR und JET wurde der Einfluss auf Wandbelastungen, Kräfte und RE untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Erzeugung

von RE verhindert werden kann falls eine hinreichend große Gasmenge früh genug injiziert wird. Experimente zeigen eine Abnahme der Effizienz, d.h. bei zunehmendem Plasmaenergieinhalt wird ein geringerer Prozentsatz abgestrahlt. Aufgrund der Lokalisierung der Gasinjektion kommt es zu asymmetrischen Strahlungsverteilungen. Der Vortrag erläutert den aktuellen Stand der Untersuchungen und derzeitige Probleme im Hinblick auf Tokamaks der nächsten Generation.

Fachvortrag P 29.2 Do 17:00 HZO 30

Interplay between sheared flows and turbulent eddies at the TEXTOR tokamak — •ILYA SHESTERIKOV¹, YUHONG XU², and CARLOS HIDALGO³ — ¹Max Planck Institute for Plasma Physics, 17491 Greifswald, Germany — ²Southwestern Institute of Physics, China — ³Laboratorio Nacional de Fusion (CIEMAT), 28040 Madrid

Turbulent structures are considered to be highly elongated along magnetic field lines. Consequently, characterizing and understanding the underlying physical mechanisms require essentially two-dimensional (radial *vs* poloidal) turbulence measurements. For these purposes, the gas-puff imaging diagnostic (GPI), assigned to measure 2D effects of

the plasma turbulence, has been developed for the TEXTOR tokamak.

The systematic study of the eddy decorrelation by sheared flows observed by the GPI diagnostic in the edge of the TEXTOR tokamak is presented in this work. In particular, we present the direct experimental evidence of breaking and tilting of turbulent eddies. Here, one has to emphasize that the breaking of eddies in fusion plasma by sheared $E_r \times B$ flows has been observed for the first time.

Meanwhile, externally induced poloidal flows are applied in order to study intermediate mechanisms involved in the turbulence-flow interaction across the transition to an improved confinement. These results present the first evidence of the eddy stretching and splitting process in a confinement device and the intimate interaction among sheared flows, eddy structures, Reynolds stress, zonal flows and ambient fluctuations during the transition to an improved confinement.

P 29.3 Do 17:25 HZO 30

An Automated Approach to Magnetic Divertor Configuration Design, Using an Efficient Optimization Methodology — ●MAARTEN BLOMMAERT¹, HOLGER HEUMANN², MARTINE BAELEMANS³, NICOLAS RALPH GAUGER⁴, and DETLEV REITER¹ —

¹Institute of Energy and Climate Research (IEK-4), FZ Jülich GmbH,

D-52425 Jülich, Germany — ²Centre de Recherche INRIA Sophia Antipolis, BP 93 06902 Sophia Antipolis, France — ³KU Leuven, Department of Mechanical Engineering, 3001 Leuven, Belgium — ⁴TU Kaiserslautern, Chair for Scientific Computing, 67663 Kaiserslautern, Germany

At present, several plasma boundary codes exist that attempt to describe the complex interactions in the divertor SOL (Scrape-Off Layer). The predictive capability of these edge codes is still very limited. Yet, in parallel to major efforts to mature edge codes, we face the design challenges for next step fusion devices. One of them is the design of the helium and heat exhaust system. In past automated design studies, results indicated large potential reductions in peak heat load by an increased magnetic flux divergence towards the target structures. In the present study, a free boundary magnetic equilibrium solver is included into the simulation chain to verify these tendencies. Additionally, we expanded the applicability of the automated design method by introducing advanced “adjoint” sensitivity computations. This method, inherited from airfoil shape optimization in aerodynamics, allows for a large number of design variables at no additional computational cost. Results are shown for a design application of the new WEST divertor.