

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

Zeit: Donnerstag 10:30–12:55

Raum: HS C

**Hauptvortrag** P 21.1 Do 10:30 HS C  
**Wandmaterial im Grenzbereich - Einsatz von Wolfram in einem Fusionsreaktor** — J.W. COENEN und DAS TEXTOR-TEAM — Institut für Energie- und Klimaforschung - Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich GmbH, Association EURATOM-FZJ, Partner im Trilateralen Euregio Cluster, Jülich, Deutschland

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

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

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

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

Die Ladungsaustauschspektroskopie (CXRS) ist eine etablierte Methode zur Bestimmung von Verunreinigungsdichten in Fusionsplasmen. Bei der CXRS werden neutrale Wasserstoffatome in das Plasma injiziert, die über Ladungsaustausch (CX) ihr Elektron an die hoch ionisierten Verunreinigungen abgeben. Letztere sind nach der Rekombination i. d. R. hoch angeregt und emittieren Strahlungskaskaden. Die Linienintensität ist proportional zur Dichte der Verunreinigungionen und zum effektiven Ratenkoeffizienten für den Ladungsaustausch ( $Q_{eff}^{cx}$ ). An ITER sollen die absoluten Dichten von z. B. Helium und Argon über CXRS gemessen werden. Durch die angestrebte Messgenauigkeit von 10% ergeben sich neue Anforderungen an die Datenqualität von  $Q_{eff}^{cx}$ . Unter Verwendung des Stoßstrahlungsmodells NOMAD<sup>a</sup> und auf Basis neuer CX-Querschnitte<sup>b</sup> wird  $Q_{eff}^{cx}$

für die sichtbaren Übergänge von Argon bzw. Helium berechnet. Im Falle von Argon liegen die Ergebnisse bei niedriger Dichte ca. um den Faktor 2 höher als die bisher verfügbaren ADAS-Daten. In der Abhängigkeit von den Plasmaparametern ergeben sich z. T. qualitative Unterschiede. <sup>a</sup>Y Ralchenko, Y Maron (2001), J. of Quant. Rad. Transf. <sup>b</sup>D R Schultz et al. (2009), www-cfadc.phy.ornl.gov/eprints/argon2.html

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

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

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

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

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

Plasmabegrenzende Wandmaterialien auf Kohlenstoffbasis können in Fusionsexperimenten zur effektiven Speicherung von strahlungsaktivem Brennstoff (Tritium) in amorphen hydrierten Kohlenstoffschichten (a-C:H) und damit zu einem Sicherheitsproblem führen. Die Kastellie-

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

P 21.7 Do 12:40 HS C

**Determination of edge radial electric fields via charge ex- change recombination spectroscopy (CXRS) at ASDEX Up- grade** — ●E. VIEZZER, T. PÜTTERICH, R. DUX, R. M. McDER- MOTT, and THE ASDEX UPGRADE TEAM — Max-Planck-Institut für

Plasmaphysik, Boltzmannstr. 2, 85748 Garching, Germany

A new edge CXRS diagnostic, which utilizes one of the neutral heat- ing beams, has been installed in the ASDEX Upgrade tokamak. The system provides highly resolved radial profiles (~5mm) of impurity ion temperature, density and poloidal rotation, which are determined directly from the observed spectra, i.e. from the Doppler width, the Doppler shift and the line intensity. From these profiles, in conjunc- tion with the data from a second edge CXRS diagnostic, which pro- vides toroidal plasma rotation, the edge radial electric field ( $E_r$ ) can be determined.  $E_r$  can be calculated using the radial force balance which relates  $E_r$  with  $\nabla p/n$  as well as with both poloidal and toroidal rotation. It is widely accepted that  $E \times B$  velocity shear is fundamen- tal for suppressing edge turbulence thus, aiding the formation of the edge transport barriers and enabling the L-H transition. However, the origin and development of  $E_r$  is still an open issue. The  $E_r$  profile is determined in type-I ELMy H-mode discharges using CX measure- ments of several different fully ionized impurity ions. This provides a consistency check and validates the new CX system as all analyses must arrive at the same  $E_r$  profile regardless of the impurity species used. In addition, the effect of the recently installed resonant magnetic perturbation coils on the  $E_r$  profile is investigated.