

P 11: Poster: Magnetischer Einschluss

Time: Tuesday 16:30–19:00

Location: Poster.III

P 11.1 Tue 16:30 Poster.III

Untersuchung von Plasmaströmungen in TJ-K mittels laserinduzierter Fluoreszenz — ●RAIMUND WÖRL¹, MIRKO RAMISCH¹, ALF KÖHN¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, BERNHARD NOLD¹ und ULRICH STROTH² — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Das Stellarator-Experiment TJ-K erlaubt es, die für den Plasmaeinschluss verantwortliche Magnetfeldkonfiguration über Variation des Stromverhältnisses durch die Vertikal- und Helikalfeldspulen zu verändern. In diesem Beitrag wird das Verhalten der Ionen in unterschiedlichen Konfigurationen in TJ-K untersucht. Dazu werden Ionentemperatur, -dichte und Strömungsgeschwindigkeit mit Hilfe laserinduzierter Fluoreszenz (LIF) bestimmt. Besonderes Interesse gilt den toroidalen Ionenströmungen, zu deren Verständnis die Ergebnisse aus den LIF-Messungen mit ExB-Driften verglichen werden. Zu diesem Zweck wurde das Plasmapotential mit Glühsonden vermessen. Daraus kann numerisch die toroidale Projektion der senkrechten Drift bestimmt werden.

Die berechneten Driftgeschwindigkeiten geben den Trend der gemessenen Geschwindigkeitsprofile mit stellenweise sehr guten Übereinstimmungen in den Absolutwerten wieder. Zusätzliche Korrekturen, die z.B. die Ionengrationsbewegung über die diamagnetische Drift oder Pfirsch-Schlüter-Strömungen mit einschließen, sind Bestandteil weiterer Betrachtungen.

P 11.2 Tue 16:30 Poster.III

Einfluss magnetischer Konfigurationen auf globalen Plasmaeinschluss — ●RALF KONNERTH¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, EBERHARD HOLZHÄUER¹, ALF KÖHN¹, MIRKO RAMISCH¹ und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Die magnetische Topologie in einem Fusionsexperiment kann erheblichen Einfluss auf die Einschlussqualität des Plasmas haben. Dies wird besonders deutlich, wenn die magnetischen Flussflächen durch kleine Störfelder deformiert werden und sich magnetische Inseln ausbilden. Der Stellarator TJ-K der Universität Stuttgart erlaubt die bewusste Erzeugung solcher Inseln, deren Einfluss auf das globale Plasma hier studiert wird. Dazu wird bei ansonsten konstanten Hintergrundparametern wie Gasart, Neutralgasdruck und Mikrowellenheizleistung sowohl die Magnetfeldstärke, als auch die magnetische Konfiguration variiert. Mittels Interferometrie wird dabei die Plasmadichte untersucht und über ein Goldfolienbolometer die von dem Plasma abgestrahlte Leistung aufgenommen. Es zeigt sich, dass bei bestimmten Konfigurationen stark erhöhte Plasmadichten erreicht werden, was auf einen verbesserten Einschluss hinweist. Ziel dieser Arbeit ist es, optimale Operationsbereiche in TJ-K zu finden und das Auftreten solcher Bereiche durch genaue Betrachtungen der magnetischen Konfigurationen zu verstehen.

P 11.3 Tue 16:30 Poster.III

Transportuntersuchungen in der Abschältschicht von TJ-K — ●THOMAS HERZOG¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, GOLO FUCHERT¹, BERNHARD NOLD¹, MIRKO RAMISCH¹ und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Am Stellarator TJ-K wird der intermittente Transport in der Abschältschicht untersucht. Dessen Verständnis ist wichtig für magnetisch eingeschlossene Plasmen. Einen wesentlichen Anteil machen quasi-kohärente Dichtestrukturen, sogenannte Blobs, aus. Im Vordergrund der Arbeit steht die Bestimmung der skalenaufgelösten Phasenbeziehung zwischen Dichte- und Potentialstörungen. Die Kreuzphase ist ein Indikator für die Turbulenz treibende Instabilität und ist maßgeblich für den Transport. Frühere Arbeiten am TJ-K zeigten, dass die Kreuzphase im Einschlussbereich nahe Null ist, wie es für die Driftwellenturbulenz erwartet wird. Es wird untersucht, ob in der Abschältschicht Abweichungen von diesem Verhalten auftreten und in welcher Beziehung sie zu Blobs stehen. Als Diagnostik kommt eine Multi-sondenanordnung zum Einsatz, deren Sondenspitzen in konstantem radialen Abstand zur letzten geschlossenen Flussfläche angeordnet sind, sodass ausschließlich die poloidale Dynamik betrachtet wird.

Aus den Messdaten wurde die Kreuzphase sowie die Kreuzkorrelation ermittelt, welche Aufschluss über die Dynamik quasi-kohärenter Ereignisse liefert. Eine von Null abweichende Kreuzphase wurde beobachtet. Es zeigt sich, dass der Transport in der Abschältschicht hauptsächlich auf einer Größenskala abläuft, welche der Blobgröße entspricht.

P 11.4 Tue 16:30 Poster.III

Charakterisierung der 2. Harmonischen Elektronbernsteinwellen-Heizung — ●UDO HÖFEL¹, ALF KÖHN¹, MIRKO RAMISCH¹, STEFAN WOLF¹ und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Elektronbernsteinwellen (EBW) können dazu benutzt werden, ein überdichtetes Plasma effektiv zu heizen, da für sie kein oberes Limit in der Plasmadichte existiert, sie allerdings sehr gut an der Elektronenzyklotronresonanz (EZR) absorbiert werden. Dies gilt nicht nur für die direkte Absorption an der EZR, sondern auch an deren Harmonischen. Die EBW muss dazu allerdings durch Modenkonzentrationsprozesse aus einer von außen eingestrahlten Mikrowelle erzeugt werden, da sie im Vakuum nicht ausbreitungsfähig ist.

Im Stellarator TJ-K der Universität Stuttgart konnten erstmals Plasmen durch EBW-Heizung an der zweiten Harmonischen stabil erzeugt und somit gezielt untersucht werden. Hierzu wird eine Mikrowelle mit einer Frequenz von 8 GHz und einer Leistung von 2,7 kW in ein Plasma mit einer Magnetfeldstärke von ungefähr 300 mT eingestrahlt. Umfangreiche Studien der Plasmamaparameter, wie z.B. des Plasmastromes mittels Rogowski-Spulen, der Elektronentemperatur mithilfe von Langmuir-Sonden und der Plasmadichte deuten auf eine gesteigerte Heizeffizienz im Vergleich mit bisherigen Operationsbereichen in TJ-K hin.

P 11.5 Tue 16:30 Poster.III

Erweiterung des Anwendungsbereichs der Elektronenzyklotron-Heizung an ASDEX Upgrade — ●H. HÖHNLE¹, J. STÖBER², K. BEHLER², A. HERRMANN², A. KALLENBACH², W. KASPAREK¹, M. REICH², U. STROTH^{1,2}, W. TREUTTERER² und DAS ASDEX UPGRADE TEAM² — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching

Die Elektronenzyklotron-Heizung an ASDEX Upgrade wird standardmäßig in der außerordentlichen Polarisation bei der zweiten harmonischen Resonanz (X2-Mode) verwendet. Der Einsatz dieser Mode ist jedoch bei hohem Plasmastrom und gutem Einschluss vom Cutoff begrenzt. Mit einer Reduzierung des Magnetfeldes (X3-Mode) oder der Änderung der Polarisation (O2-Mode) kann dieser Nachteil überwunden werden. Diese Szenarien sind aber mit unvollständiger Absorption verbunden, die einen sicheren Betrieb behindern.

Durch geschickte Wahl des Magnetfeldes lässt sich bei der X3-Mode eine vollständige, jedoch nicht komplett zentrale Absorption erreichen. Mit dem Ausbau des neuen ECRH-System konnte mit bis zu 3,7 MW in der X3-Mode ohne erhöhte Streustrahlung geheizt werden.

Um eine hohe Absorption bei der Heizung mit der O2-Mode zu bewerkstelligen, werden holographische Spiegel für einen weiteren Plasmadurchgang des Strahls verwendet. Erstmals konnten 2 Spiegel gleichzeitig eingesetzt und mittels Echtzeit-Regelung die Strahlen bei variierenden Plasmamparametern auf den Spiegel zentriert werden.

Die Heizszenarien, die Spiegel, die Echtzeit-Regelung und Experimente werden präsentiert.

P 11.6 Tue 16:30 Poster.III

Plasmaheizung an Harmonischen der Elektronenzyklotronresonanz — ●STEFAN WOLF¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, HENDRIK HÖHNLE¹, WALTER KASPAREK¹, ALF KÖHN¹, BURKHARD PLAU¹, MIRKO RAMISCH¹, DIETMAR WAGNER² und ULRICH STROTH^{1,2} — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Eine Möglichkeit zur Heizung überdichteter Plasmen sind Elektronen-Bernstein-Wellen. Als elektrostatische Wellen müssen sie in einem Modenkonzentrationsprozess im Plasma aus von außen eingestrahlten elektromagnetischen Wellen erzeugt werden. Am Stellarator TJ-K können überdichtete Plasmen mittels einer 8 GHz-Mikrowellenheizung erzeugt werden. Bei Parameterstudien wurden Belege für Elektronen-Bernstein-Heizung an der 4. Harmonischen der Elektronenzyklotronreso-

nanz (EZR) gefunden: Entladungen, die bei Magnetfeldstärken auf der magnetischen Achse $B_0 > 200$ mT gestartet wurden, konnten beim Absenken bis $B_0 \approx 60$ mT aufrechterhalten und in stationäre Zustände überführt werden. Bei diesem Feld befinden sich nur höhere als die 3. Harmonische der EZR im Plasma, insbesondere liegt die 4. im überdichten Bereich, sodass auf eine O-X-B-Konversion und Absorption an höheren Harmonischen der EZR geschlossen werden kann. Erste Untersuchungen zeigen außerdem, wie für die O-X-Konversion erwartet, eine Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel.

Des Weiteren wird eine 14 GHz-Mikrowellenheizung aufgebaut. Insbesondere wird auf eine dämpfungsarme Mikrowellenübertragungsleitung Wert gelegt. Erste Messergebnisse werden präsentiert.

P 11.7 Tue 16:30 Poster.III

Zonalströmungen im Stellarator TJ-K — ●BERNHARD SCHMID¹, GREGOR BIRKENMEIER¹, BERNHARD NOLD¹, MIRKO RAMISCH¹ und ULRICH STROTH² — ¹Institut für Plasmaforschung, Universität Stuttgart — ²Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, EURATOM Assoziation, Garching

Zonalströmungen sind für die Fusionsforschung von großer Bedeutung, da sie mit der Bildung von Transportbarrieren in Zusammenhang stehen. Für eine detaillierte Untersuchung dieser Strukturen wurden Potential- und Dichtemessungen im gesamten poloidalen Querschnitt am Stellarator TJ-K durchgeführt. Die Niedertemperaturplasmen lassen hierbei den Einsatz von Langmuir-Sonden zu. Durch konditionelle Mittelung konnte die Dynamik quasi-kohärenter Strukturen im Zweidimensionalen sichtbar gemacht werden. Die Untersuchungen zeigen poloidal symmetrische Strukturen nur im Potential. Über die E×B-Drift haben diese eine Scherströmung zur Folge, welche typisch für Zonalströmungen ist. Mit der frequenz aufgelösten Kohärenz lassen sich die Zonalströmungen von den Driftwellen trennen und in den Frequenzbereich unter 10 kHz einordnen. Als Antriebsmechanismus konnte der Reynolds-Stress identifiziert werden, wobei ein Phasenversatz zwischen

dem Antriebsterm und der Poloidalgeschwindigkeit beobachtet wurde. Dieser lässt sich möglicherweise auf den Einfluss der Dämpfung zurückführen. Für die Wechselwirkung mit der umgebenden Turbulenz konnte gezeigt werden, dass diese in einer Räuber-Beute-Beziehung mit der Zonalströmung steht, was sich in Räuber-Beute-Zyklen im Phasenraum zeigt.

P 11.8 Tue 16:30 Poster.III

Analysis of bifurcated stationary zonal flow states in plasmas and planetary atmospheres - predicting climate change on Jupiter? — ●ANDREAS KAMMEL and KLAUS HALLATSCHKEK — Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching b. München

Zonal flows are a hot topic in both fusion plasmas and the atmospheres of gas giants as they are closely related to the improvement of confinement (H-barrier!) as well as the understanding of climate changes.

Studies of the interaction between drift waves and flows in a self-consistent resistive drift wave system - representing the highly nonlinear plasma edge - have been undertaken with the help of the two-fluid code NLET. A bifurcation into separate, stationary transport states has been observed, which depends only on a single regime-defining dimensionless parameter, marked by the ion sound Larmor radius and the length of maximal drift wave growth at a given parallel shear length. These states correspond to two different stable density gradients associated with a significant change in the shape of the respective flows, generated by negative turbulence viscosity - all explainable with only local dependencies and mentioned parameter.

The implications of these findings for gas giants such as Jupiter could be severe. Geostrophic modes are the fluid analog to plasma drift waves, making the existence of similar stable states in turbulent planetary atmospheres highly likely. This in turn could lead to a much improved model for the changes of large atmospheric structures in gas giants: a climate forecast for Jupiter, with possible implications for Earth and ITER alike.