

PI 3/20

1.7.2020

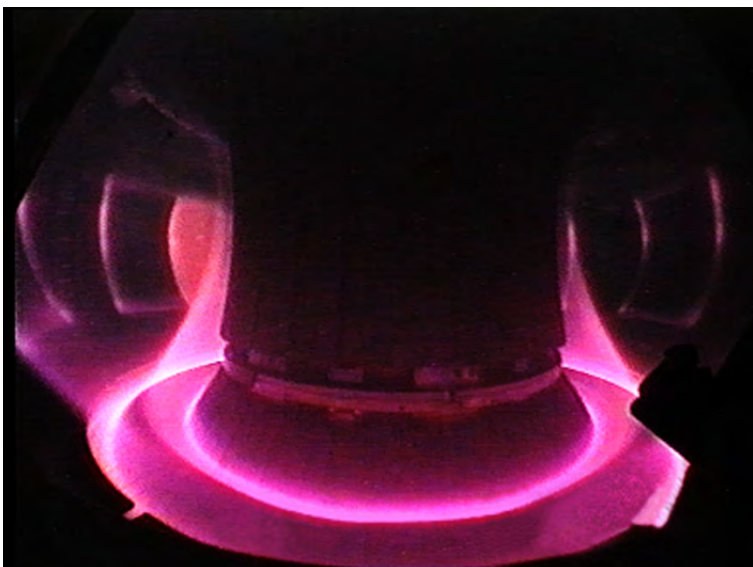
Sanfter Wandkontakt – das passende Szenario für ein Fusionskraftwerk

Quasikontinuierliche Leistungsabfuhr als wandschonende Methode an ASDEX Upgrade entwickelt

Eine aussichtsreiche Betriebsweise für das Plasma eines späteren Kraftwerks wurde jetzt an der Fusionsanlage ASDEX Upgrade im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching entwickelt. Mit ihr gelingt es, Instabilitäten des Plasmas zu vermeiden, die die Gefäßwand stark belasten, und Wärme und Teilchen sanfter als bisher aus dem Plasma abzuführen.

Mit ASDEX Upgrade – einer Fusionsanlage vom Typ Tokamak – will man Betriebsweisen für ein späteres Kraftwerk entwickeln. Damit genügend Fusionsreaktionen ablaufen, muss das ultradünne, in einem magnetischen Käfig schwebende Plasma im Zentrum extrem heiß sein: mindestens 100 Millionen Grad Celsius. Am Rand jedoch sollte es möglichst kalt sein, um die Wände des Vakuumgefäßes nicht zu überlasten. Insbesondere gilt dies für den sogenannten „Divertor“, wo das Plasma Wandkontakt hat. Ein spezielles Magnetfeld lenkt dazu den äußeren Rand des ringförmigen Plasmas auf robuste, gekühlte Platten am Boden des Gefäßes, die Divertor-Platten. So lassen sich störende Verunreinigungen aus dem Plasma entfernen. Zugleich wird der heiße Innenbereich des Plasmas wirksam von der kälteren Hülle getrennt. Denn die vom Divertorfeld geformte Randschicht hüllt das Zentralplasma wie ein wärmender Mantel ein – die Voraussetzung für gute Wärmeisolation.

Damit der Divertor diese Funktionen erfüllen kann, sollten zusätzliche Belastungen vermieden werden. Besonders unerwünscht sind sogenannte Edge Localized Modes, kurz ELMs – eine der Störungen des Plasmaeinschlusses, die die komplexe Wechselwirkung zwischen den geladenen Plasmateilchen und dem einschließenden Magnetfeld möglich macht. Dabei verliert das Randplasma kurzzeitig seinen Einschluss und wirft periodisch Plasmateilchen und -energien nach außen auf die Divertor-Platten. Typisch ein Zehntel des gesamten Energieinhalts können so schlagartig ausgeschleudert werden. Während die jetzige Generation mittelgroßer Fusionsanlagen dies leicht



Blick in das Plasma der Fusionsanlage ASDEX Upgrade: Das einschließende Magnetfeld lenkt die Randschicht des Plasmas auf speziell ausgerüstete Platten am Boden des Plasmagefäßes, die Divertor-Platten. (Foto: IPP)



*Das Plasmagefäß der Fusionsanlage
ASDEX Upgrade
(Foto: IPP, Bernhard Ludewig)*

verkräftet, wäre der Divertor in Großanlagen wie ITER oder einem späteren Kraftwerk dieser Strapaze nicht gewachsen.

Verfahren zum Abschwächen oder Unterdrücken der ELMs, zum Beispiel durch magnetische Kontrollspulen, wurden an ASDEX Upgrade bereits erfolgreich entwickelt (siehe PI 1/11).

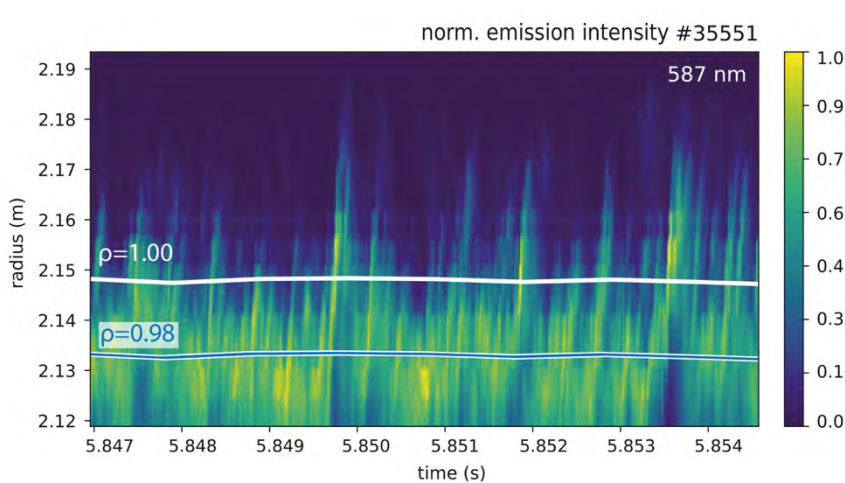
Allerdings: Vollständig lässt sich der Plasmarand des Testreaktors ITER oder eines späteren Kraftwerks in kleineren Anlagen wie ASDEX Upgrade nicht simulieren. Es ist also nicht völlig gewiss, dass diese Techniken in einer großen Anlage ebenso zuverlässig funktionieren werden. Ausgefeilte Experimente an ASDEX Upgrade konnten jedoch kürzlich zeigen, dass dies für eine alternative, bisher weniger in Betracht gezogene Methode anders ist: Denn die neue Methode setzt ganz am äußersten Plasmarand an. Die dort vorzufindenden Plasmawerte jedoch sind für ASDEX Upgrade und ein späteres Kraftwerk gleich.

Gelingt es, hier – über das Magnetfeld – die richtige Plasmaform einzustellen und zugleich – durch Einblasen von Wasserstoff – für eine genügend hohe Teilchendichte am Plasmarand zu sorgen, dann können sich ELMs nicht entwickeln. Stattdessen zeigen sich viele kleine Teilchenausbrüche. Sie flachen das Druckprofil am Plasmarand immer wieder ab, bevor sich ein zu steiler Druckanstieg in einer ELM-Instabilität entladen kann: In bis zu 500 kleinen Pulsen pro Sekunde kommt die Leistung aus dem Plasma quasikontinuierlich auf den Divertor-Platten an – und zwar ohne die gute Wärmeisolation des Zentralplasmas zu beeinträchtigen.

Die kleinen, hochfrequenten Pulse richten nicht nur keinen Schaden an, sie sind sogar nützlich. Denn sie werfen auch unerwünschte Verunreinigungen aus dem Plasmarand heraus. Die eingestellte hohe Teilchendichte am Plasmarand schützt darüber hinaus die Divertor-Platten. Außerdem sorgt der verbreiterte Plasmarand dafür, dass die im Divertor auftreffende Leistung sich auf eine vierfach größere Fläche verteilt. Selbst mit der etablierten Methode der Strahlungskühlung (siehe PI 12/12) ist das Verfahren vereinbar. Dabei wird zum weiteren Schutz der Divertor-Platten der Plasmarand aktiv gekühlt: durch Einblasen kleiner Mengen von Edelgasen in das Zentralplasma und Stickstoff

direkt vor den Platten. Diese Verunreinigungsteilchen werden beim Kontakt mit dem heißen Plasma zum Leuchten angeregt. So schaffen sie die Energie auf sanfte Weise als Ultraviolett- oder Röntgenlicht aus dem Plasma. Bevor die schnellen Plasmateilchen auf den Divertor-Platten aufprallen, haben sie ihre Energie bereits an die Verunreinigungsatome verloren.

Inzwischen konnte man an ASDEX Upgrade experimentell absichern, dass das neue Verfahren mit allen wichtigen Steuermethoden für das Plasma vereinbar ist. Diese Experimente wurden vom Europäischen Fusionsforschungsprogramm EUROfusion finanziell unterstützt. „Wir konnten an ASDEX Upgrade zeigen, dass die quasikontinuierliche Energieabfuhr die wesentlichen Anforderungen an ein Kraftwerksszenario erfüllt“, sagt Projektleiter Professor Arne Kallenbach: „Unter zahlreichen Ansätzen macht sie dies zu der interessantesten und erfolgversprechendsten Betriebsweise für ein Kraftwerksplasma“.



*Quasikontinuierliche Leistungsabfuhr im Plasmarand. Die kleinen, schnellen Pulse lassen sich mit Hilfe eines thermischen Heliumstrahls direkt beobachten: Eine lokal in den Plasmarand eingeblasene Helium-Wolke zeigt mit der Intensität ihres Aufleuchtens die kleinen Energie- und Teilchenausbrüche aus dem Plasmarand nach außen.
(Abbildung: Michael Griener)*

Hintergrund

Ziel der Fusionsforschung ist es, ein klima- und umweltfreundliches Kraftwerk zu entwickeln. Ähnlich wie die Sonne soll es aus der Verschmelzung von Atomkernen Energie gewinnen. Weil das Fusionsfeuer erst bei Temperaturen über 100 Millionen Grad zündet, darf der Brennstoff – ein dünnes Wasserstoffplasma – nicht in Kontakt mit kalten Gefäßwänden kommen. Von Magnetfeldern gehalten, schwebt er nahezu berührungsfrei im Inneren einer ringförmigen Vakuumkammer. Die Machbarkeit soll mit 500 Megawatt Fusionsleistung der internationale Experimentalreaktor ITER (lat.: der Weg) zeigen, der zurzeit in weltweiter Zusammenarbeit in Cadarache in Frankreich entsteht.

Isabella Milch