

PI 6/94

4.7.1994

Rechenprogramm für die Plasmarandschicht

Theorie und Experiment bei den Vorbereitungen für den Testreaktor ITER

Gemeinsam mit Wissenschaftlern aus New York und Jülich wurde im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching das weltweit leistungsfähigste Rechenprogramm entwickelt, um das Verhalten der Randschicht eines Fusionsplasmas zu berechnen. Das Programm wurde nun von dem ITER-Planungsteam für die Vorbereitung des internationalen Testreaktors ITER ausgewählt, der erstmals ein energielieferndes Plasma erzeugen soll.

Die Randschicht eines Fusionsplasmas - die Übergangszone zwischen dem heißem Plasma und der kalten Wand des Plasmagefäßes - bestimmt das Verhalten des gesamten Plasmas. Auf die physikalischen Abläufe in dieser Zone konzentriert sich gegenwärtig die Aufmerksamkeit der Fusionsforschung.

Ziel der Fusionsforschung ist die Entwicklung eines Fusionskraftwerks, das Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen gewinnen soll. Brennstoff ist ein sehr dünnes Gas - ein "Plasma" - aus den beiden Wasserstoffsorten Deuterium und Tritium. Zum Zünden des Fusionsfeuers wird das Plasma in ringförmigen Magnetfeldern eingeschlossen und auf hohe Temperaturen aufgeheizt. Oberhalb von 100 Millionen Grad beginnt das Plasma zu brennen, d.h. die Wasserstoffkerne verschmelzen miteinander zu Helium, wobei nutzbare Energie freigesetzt wird.

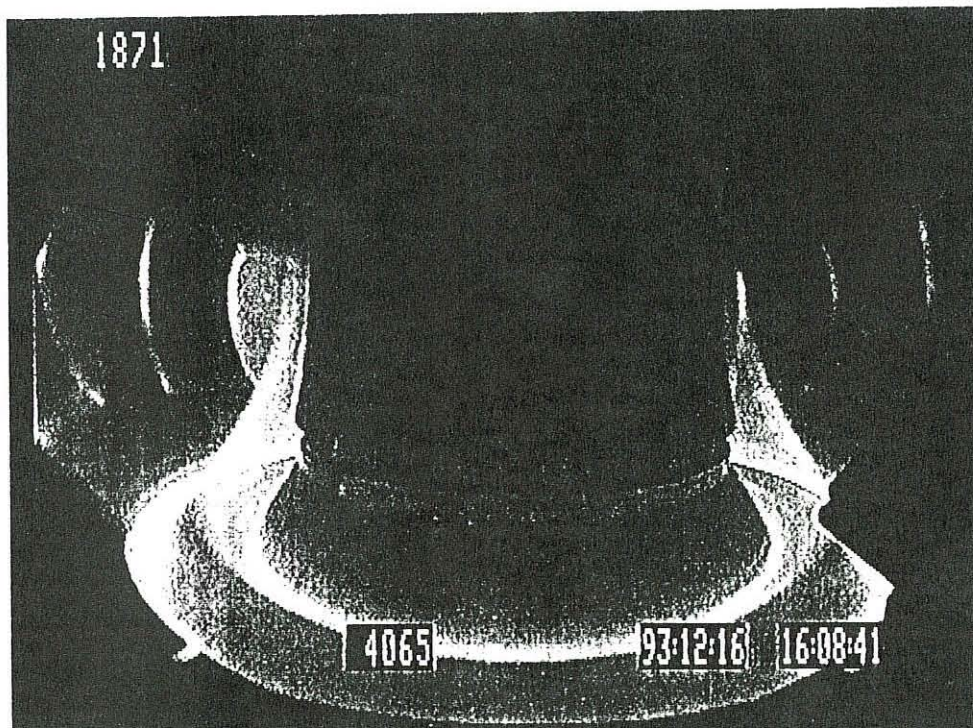


Abb. : Blick in das Plasma des Fusionsexperimentes ASDEX Upgrade im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching. Deutlich zu sehen ist die leuchtende Randschicht des Plasmas, die auf die Divertorplatten am Boden des Gefäßes gelenkt wird. Durch den Divertor werden Verunreinigungen aus dem Plasma entfernt.

Nachdem es im Verlauf der Forschung gelungen ist, Plasmen stabil einzuschließen und auf die nötigen Zündtemperaturen aufzuheizen, hat sich die Wechselwirkung des heißen Plasmas mit den umgebenden Wänden zu einem zentralen Untersuchungsgebiet entwickelt: Obwohl der heiße Plasmaring im Inneren des Gefäßes von magnetischen Kräften in Schwebelage gehalten wird, gerät das Plasma an seinem Außenrand dennoch in Kontakt mit den umgebenden Wänden. Dies kann zur Folge haben, daß Verunreinigungen von der Wand abgeschlagen werden, in das Plasma eindringen und es abkühlen, daß die Wand beschädigt und keine zur Zündung ausreichende Wärmeisolierung des Plasmas erreicht wird.

Die Lösung dieser Probleme, die inzwischen von allen modernen Fusionsanlagen übernommen wurde, brachte 1982 das IPP-Experiment ASDEX (Axialsymmetrisches Divertor-Experiment). Hier wurde die gesamte äußere Randschicht des Plasmas in einem sog. Divertor auf magnetische Weise auf Prallplatten abgelenkt, die an Boden und Decke des Plasmagefäßes angebracht waren. Die Plasmateilchen treffen dort abgekühlt und vom heißen Zentrum entfernt auf und werden abgepumpt. Ebenso können die störenden Verunreinigungen - in einem brennenden Plasma auch die "Fusionsasche" Helium - aus dem Plasma entfernt werden. Zugleich wird die Gefäßwand geschont und eine gute Wärmeisolation des Brennstoffes erreicht.

Ein Divertor für ITER

Für zukünftige Anlagen mit gezündetem Plasma ist die Planung eines Divertors jedoch - wegen der hohen Fusionsleistungen - nicht ohne Probleme. In dem geplanten Testreaktor ITER (Internationaler Thermonuklearer Experimentalreaktor), der erstmals ein energielieferndes Plasma erzeugen soll, ist von der insgesamt erzeugten Fusionsleistung von ca. 1500 Megawatt auf den Divertorplatten ein Anteil von 300 Megawatt zu erwarten. Dies ist wesentlich mehr, als die gegenwärtig arbeitenden Divertoren zu verkraften haben: Das weltweit größte Fusionsexperiment, das europäische Gemeinschaftsexperiment JET (Joint European Torus) im englischen Culham, ist mit 45 Megawatt Heizleistung ausgerüstet; der kleinere ASDEX Upgrade in Garching soll in der Ausbaustufe 27 Megawatt besitzen. Während die Heizleistung bei ASDEX Upgrade problemlos auf den Divertorplatten abgeladen werden kann, gilt dies für ITER nicht ohne weiteres. Würde hier die gesamte Leistung vollständig über die nur einige Millimeter breite Randschicht auf die Divertorplatten gelenkt, hätte dies auf der begrenzten Fläche untragbare Wärmebelastungen zur Folge: Zu viele Teilchen des Plattenmaterials würden abgeschlagen und als Verunreinigung in das Plasma eindringen - das Fusionsfeuer würde erlöschen.

Mögliche Lösungen: Damit nicht die gesamte Energie in Form schneller Plasmateilchen auf die Divertorplatten einprasselt, sollte stattdessen ein größerer Energieanteil das Plasma auf sanftere Weise als Röntgen- oder Ultraviolettlicht verlassen, das von Verunreinigungsatomen ausgesandt wird. Anders als im heißen Plasmazentrum, wo die abkühlende Wirkung von Verunreinigungen vermieden werden muß, sind damit am Plasmarand strahlende, energieabführende Verunreinigungen von großem Vorteil. Sie könnten - etwa in Form von Edelgasen - gezielt in die Randschicht eingeblasen werden. Eine andere

Möglichkeit, die Divertorplatten zu schützen, wäre der Aufbau eines dichten Polsters von kaltem Neutralgas vor den Platten. Ziel muß es in jedem Fall sein, ein "sauberes" heißes Plasmazentrum und eine "schmutzige" kalte Randschicht einzustellen.

Den Plasmarand berechnen

Für dieses "Maßschneidern" des Plasmarandes ist es nötig, die Vorgänge in der Randschicht genau zu kennen und bei geplanten Anlagen wie ITER zuverlässig voraussagen zu können. Laufende Fusionsanlagen, die ähnliche Struktur wie ITER besitzen - der europäische JET sowie ASDEX Upgrade in Garching - können hier wertvolle Hinweise geben. Es ist jedoch nicht möglich, in diesen kleineren Experimenten das Verhalten der Plasmarandschicht des wesentlich größeren ITER vollständig zu simulieren. Prof. Lackner, Leiter des IPP-Bereichs "Tokamakphysik": "Deshalb brauchen wir zur Ergänzung der experimentellen Aussagen die Theorie. Wir müssen die komplexen Vorgänge in der Randschicht numerisch beschreiben und den Computer daraus die zu erwartende Belastung der Divertorplatten bei ITER berechnen lassen".

Das rechnerische Nachvollziehen der Vorgänge in der Randschicht verlangt ein anspruchsvolles Rechenprogramm. Weltweit am weitesten fortgeschritten ist das Randschichtprogramm B2-EIRENE, das im IPP in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern aus New York und Jülich entwickelt wurde. Für eine vorgegebene Heizleistung und Geometrie des Experimentes gibt es Antwort auf folgende Fragen: Wie groß sind die Leistungsflüsse auf die Divertorplatten? Welche Dichte und Temperatur hat das Randplasma, das auf die Divertorplatten gelenkt wird? Gelingt es, die Verunreinigungen aus dem Divertorraum vom Eindringen in das Hauptplasma abzuhalten? Ist die Energieabfuhr durch Verunreinigungsstrahlung hoch genug? Kann das bei der Fusion entstehende Helium genügend gut abgepumpt werden? Um diese Fragen zu beantworten, muß B2-EIRENE sowohl das Verhalten der geladenen Plasmateilchen und Verunreinigungen im Magnetfeld beschreiben als auch die Wege der neutralen Teilchen nachzeichnen, die aus den Plasmaionen beim Kontakt mit den Divertorplatten entstehen. Hinzu kommen atomphysikalische Vorgänge wie das Ablösen von Teilchen aus den Divertorplatten, das je nach Material, Plasmatemperatur und -dichte verschieden ausfällt und die Aussendung von Lichtstrahlung durch die verschiedenen Verunreinigungen. Alle Prozesse muß das Programm gleichzeitig und in ihrer gegenseitigen Rückkopplung erfassen.

Genutzt wurde das Programm zunächst, um vorgeschlagene Umbauten in bestehenden Experimenten zu prüfen. Seine Leistungsfähigkeit wurde zuvor durch die Berechnung existierender Anlagen wie JET oder ASDEX Upgrade getestet. Im Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen hat B2-EIRENE sich bisher gut bewährt, wobei jede entdeckte Abweichung die Weiterentwicklung stimuliert. Es wurde nun von dem ITER-Planungsteam zur Vorbereitung von ITER ausgewählt. Im Wechselspiel von Experiment und Theorie sollte es so gelingen, den passenden Plasmarand für ITER zu finden. *Isabella Milch*

Anmerkung der Redaktion:

Dieser Text steht Ihnen zur beliebigen Auswertung auch ohne Namensnennung zur Verfügung. Reproduktionsfähige Abzüge des Fotos erhalten Sie (auch in Farbe) unter Tel. Nr. (089) 3299-1288.