



Treffpunkt Garching

Die Fusionsanlage ASDEX Upgrade – ein europäisches Forschungsinstrument.

Ein Beitrag aus dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching



Forscherinnen und Forscher aus ganz Europa arbeiten inzwischen am größten deutschen Fusionsexperiment, dem ASDEX Upgrade in Garching bei München, das vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) betrieben wird. Zurzeit gilt ihre Aufmerksamkeit zum Beispiel so genannten „neoklassischen Tearing-Moden“. Denn so schön der Name auch ist – die Tearing-Moden haben äußerst unangenehme Eigenschaften: Sie zerstören die Stabilität des Plasmas.

Ein Kernfusionskraftwerk soll – ähnlich wie die Sonne – Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen gewinnen. Um das Fusionsfeuer zu zünden, muss der Brennstoff, ein Wasserstoff-Plasma, auf Temperaturen von über 100 Millionen Grad aufgeheizt werden. Das gelingt nur, indem man dieses Plasma in Magnetfeldern „einschließt“ und auf diese Weise wärmeisoliert. Kommen Temperatur und Druck des Plasmas aber in die Nähe der Zündwerte, treten unglücklicherweise Instabilitäten – eben jene Tearing-Moden – auf, die den magnetischen Einschluss begrenzen. Ein ernstes Problem auf dem Weg zu einem wirtschaftlichen Kraftwerk!

Ein Problem daher auch für ITER. Der von Europa, Japan, Russland, den USA, China und Südkorea gemeinsam vorbereitete Testreaktor ITER (lat.: der Weg) soll zeigen, dass es physikalisch und technisch möglich ist, durch Kernverschmelzung Energie zu ge-

Für Fusion brauchen die Forscher stabiles Plasma. Dieses Gerät an ASDEX Upgrade bestimmt die Plasmatemperatur.



winnen. Wenn dieses weltumspannende Großprojekt nach vieljähriger Vorbereitung realisiert ist, dann wird sich das europäische Fusionsprogramm – zu dem das IPP gehört – auf den Betrieb weniger, jedoch europaweit genutzter Anlagen konzentrieren müssen. Mit seiner ausgefeilten Diagnostik und der ITER-ähnlichen Geometrie spielt ASDEX Upgrade dabei eine entscheidende Rolle. So ist etwa sein flexibles Heizsystem mit allen drei für ITER vorgesehenen Plasma-Heizverfahren einmalig in Europa.

Es ist also nahe liegend, dass eine europäische Gruppe unter der Leitung des IPP damit beauftragt wurde, das „Tearing-Moden-Problem“ für ITER zu lösen. Beteiligt sind Wissenschaftler der Universität Stuttgart und Forscher der Fusionszentren in England, den Niederlanden und Frankreich.

Magnetischer Kurzschluss

Die erste Frage, der sich die Forscherinnen und Forscher widmeten: „Warum entstehen überhaupt Tearing-Moden?“ Beim Bau eines Magnetfeldkäfigs für das Plasma nutzen die Fusionsforscher die Tatsache, dass die geladenen Plasmateilchen – Ionen und Elektronen – von elektromagnetischen Kräften auf Schraubenschraubenbahnen um magnetische Feldlinien gezwungen werden. Von einem geeignet geformten Magnetfeld wie auf Schienen geführt, können die schnellen Teilchen so von den Wänden des Plasmagefäßes ferngehalten werden. Für einen

„dichten“ Käfig müssen die Feldlinien innerhalb des ringförmigen Plasmagefäßes geschlossene, ineinander geschachtelte Flächen aufspannen – wie die ineinander liegenden Jahresringflächen eines Baumstamms. So werden Feldkomponenten vermieden, die die Plasmateilchen nach außen auf die Wände führen und so die hohen Zündtemperaturen unerreichbar machen würden. Auf den magnetischen Flächen sind Dichte und Temperatur jeweils konstant, während von Fläche zu Fläche – vom heißen Zentrum nach außen – Dichte, Temperatur und damit auch der Plasmadruck abnehmen.

Soweit das Prinzip. Wären da nicht die Instabilitäten: Sie verformen das einschließende Magnetfeld; schlimmstenfalls bricht die Plasmaentladung sogar ganz ab. Die Forscher konnten zeigen, dass im vormals symmetrischen Plasmaring blasenartige Störungen entstehen mit eigener, in sich geschlossener Magnetfeldstruktur: magnetische „Inseln“, ausgelöst durch das Ansteigen des Plasmadrucks bei hoher Plasmatemperatur. Wenn solche Inseln entstehen, reißen die magnetischen Feldlinien auf und verbinden sich mit den Feldlinien benachbarter magnetischer Flächen. Es kommt zu einem „Kurzschluss“ der Feldlinien, der einen schnellen Energieaustausch von innen nach außen ermöglicht: Damit beschränken die Instabilitäten den erreichbaren Plasmadruck. Die Leistungsausbeute eines späteren Kraftwerks würde stark darunter leiden.

Heißer als 100 Millionen Grad und in Magnetfelder eingeschlossen: das Plasma in der Fusionsanlage ASDEX Upgrade.

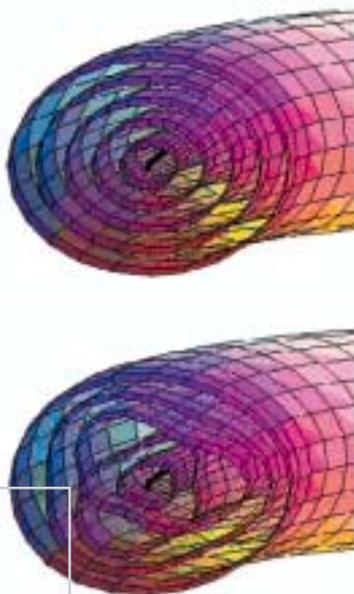


Mikrowellen gegen Inseln

Wie die Plasmatheoretiker vorrechnen, liegt die Grenze für den noch erlaubten Plasmadruck umso niedriger, je größer die Anlagen sind – bei ITER zehnmal niedriger als bei dem kleineren ASDEX Upgrade. In einem Kraftwerk schienen die Tearing-Moden daher unvermeidlich. Umso größer war das Aufsehen, als es an ASDEX Upgrade 1999 erstmals gelungen ist, die Bildung dieser magnetischen Inseln zu unterbinden. Die Forscher haben Mikrowellen in die Mitte einer entstehenden Insel eingestrahlt und so lokal einen elektrischen Strom erzeugt, der die Insel auflöst, die Magnetfeldstörung unterdrückt und den Plasmadruck wieder ansteigen lässt.

Erste Ideen zu dieser Methode hatten Experimentalphysiker Mitte der 90er Jahre, stimuliert von theoretischen Arbeiten in Princeton. Auch im IPP kümmerte sich zunächst die Abteilung Plasmatheorie um die Analyse der hochkomplexen Vorgänge im Plasma. Die Frage der Experimentatoren: „Kann unser Verfahren funktionieren?“ sollten sie vor der Investition in technische Ausrüstung rechnerisch klären. Nach ermutigendem Resultat wurde 1997 das System der Mikrowellenheizung fertig gestellt, 1999 stellten sich erste experimentelle Ergebnisse ein. Durchschlagenden Erfolg hatte man dann ein Jahr später, als es gelang, eine Insel gänzlich wegzupusten. Bestätigt werden konnte die neue Methode kurz danach in den USA und in Japan an den Fusionsexperimenten DIII-D sowie JT-60 Upgrade.

Im Jahr 2003 ist es nun an ASDEX Upgrade gelungen, eine besonders störende Tearing-Mode zu stabilisieren. Sie begrenzt nicht nur den Plasmadruck, sondern bricht sogar den gesamten Plasmastrom ab. Zur Stabilisierung genühten – präzise in die richtige Stelle eingestrahlt –



Eine Tearing-Mode entwickelt sich: Die anfänglich symmetrisch ineinander geschachtelten magnetischen Flächen (oben) verformen sich. Dadurch können sich die Flächen an einigen Stellen berühren (unten). Es entstehen magnetische Inseln.

knapp zwei Megawatt Mikrowellenleistung, nicht mehr als zehn bis zwanzig Prozent der gesamten Heizleistung. Damit könnte also ein attraktives Instrument zur Kontrolle magnetischer Inseln gefunden sein. Weitere Untersuchungen mit einer auf vier Megawatt aufgestockten Mikrowellenheizung sollen in den nächsten Jahren zeigen, dass die Methode kraftwerkstauglich ist.

Europäische Öffnung

„Die aus ganz Europa hinzu gewonnene Expertise“, so freut sich Professor Hartmut Zohm vom ASDEX Upgrade-Team, „ist eine große Bereicherung, die auch in Zukunft aufregende neue Resultate erhoffen lässt.“ Die europäischen Forscher, die ASDEX Upgrade für ihre Experimente nutzen, sind an den Entscheidungen über das wissenschaftliche Arbeitsprogramm der Anlage beteiligt. Dem Programmkomitee gehören deshalb auch externe Wissenschaftler an: Zehn der insgesamt 19 Mitglieder kommen aus Instituten in Dänemark, Deutschland, Großbritannien, der Schweiz, Österreich, Ungarn, Italien, Portugal, Irland und Finnland. Auch in die Diskussionsgremien, in denen die Programmvorschläge erstellt werden, in die Zusammenkünfte der thematisch orientierten Arbeitsgruppen sowie in das wöchentliche Treffen zur kurzfristigen Programmplanung sind externe Teilnehmer – häufig per Videokonferenz und Internet – eingebunden. So lässt sich die verstärkte internationale Koordination mit flexibler Programmplanung in Einklang bringen. Das Verfahren trägt inzwischen reichlich Früchte: Von den mehr als 150 Experimentvorschlägen, die dem Programmkomitee für die vergangene Experimentier-Kampagne eingereicht wurden, stammte ein Fünftel von den europäischen Partnern.

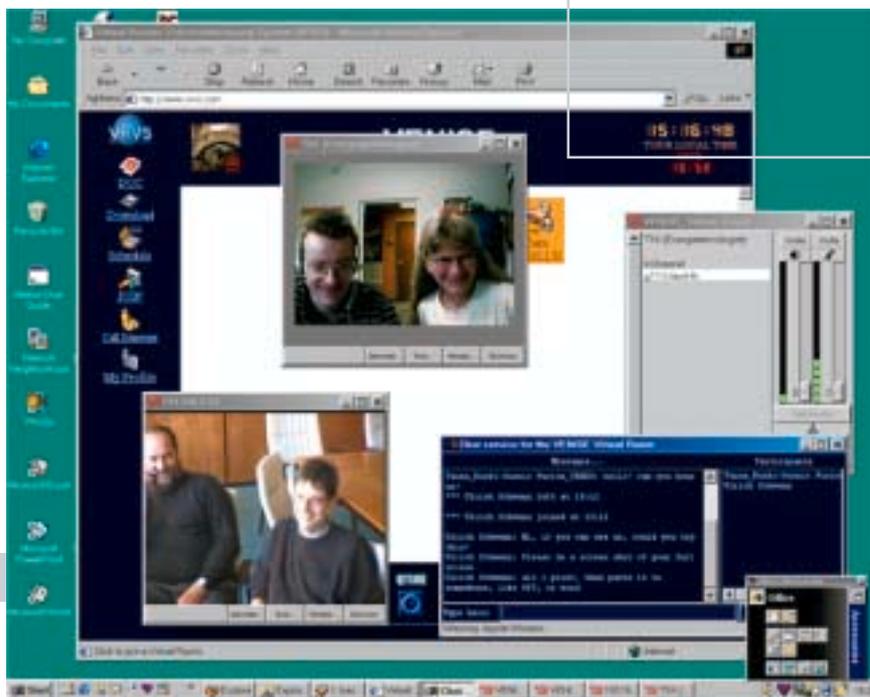
Isabella Milch

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik,
Garching, Greifswald



Unterhaltung per Internet: Video-konferenz zwischen Helsinki und Garching. Rechts oben Dr. Taina Kurki-Suonio.

Interview



Die Physikerin Dr. Taina Kurki-Suonio vom Institute for Advanced Energy Systems der Technischen Universität Helsinki in Finnland hat zwei der insgesamt fast 40 für 2004 eingegangenen externen Projektvorschläge für ASDEX Upgrade eingereicht.

einem ausgefeilten Monte-Carlo-Rechenverfahren, das die Bewegung der geladenen Plasmateilchen in der realistischen Geometrie von ASDEX Upgrade nachvollzieht. Meine finnischen Kollegen von der Materialforschung untersuchen, wie Wärmeschutzkacheln, die sie in das Plasmagefäß von ASDEX Upgrade einbauen, durch das Plasma verändert werden.

Warum arbeiten Sie an ASDEX Upgrade?

Finnland hat, wie auch andere kleinere Länder in Europa, keine eigene Fusionsanlage. Für die finnischen Plasmaphysiker ist es deshalb sehr interessant, an ASDEX Upgrade zu forschen. Die europaweite Zusammenarbeit funktioniert hier sehr flexibel und ohne große Reibungsverluste. Und die Möglichkeiten, unsere Experimentierwünsche und Programmvorstellungen zu verwirklichen, sind wirklich beachtlich.

Forschen aus der Ferne – geht das?

Tatsächlich halte ich mich während meiner Arbeiten für ASDEX Upgrade vor allem in Finnland auf. Der Informationsaustausch läuft dann über E-Mail, Internet oder Telefon. Meine Messdaten hole ich mir elektronisch aus der Datenbank in Garching. Und an den Treffen des ASDEX Upgrade-Teams zur Besprechung der Wochenpläne oder an der langfristigen Programmplanung kann ich per Videokonferenz teilnehmen. Natürlich sind auch persönliche Kontakte wichtig, deshalb komme ich für mindestens vier Wochen im Jahr aus Helsinki nach Garching. Umgekehrt besuchen uns auch die deutschen Kollegen in Finnland.

Woran arbeiten Sie an ASDEX Upgrade?

Mein Thema ist die rechnerische Interpretation der Experiment-Ergebnisse. Speziell untersuche ich, wie sich schnelle Ionen im Magnetfeld verhalten. Dabei geht es um die Verbesserung der Wärmeisolation und um die Wandbelastung bei ASDEX Upgrade und auch später bei ITER. Dabei nutzen wir die erhebliche Rechnerleistung, über die wir in Finnland verfügen. Wir arbeiten mit

Das Gespräch führte Isabella Milch.