

PI 8/04

11.11.2004

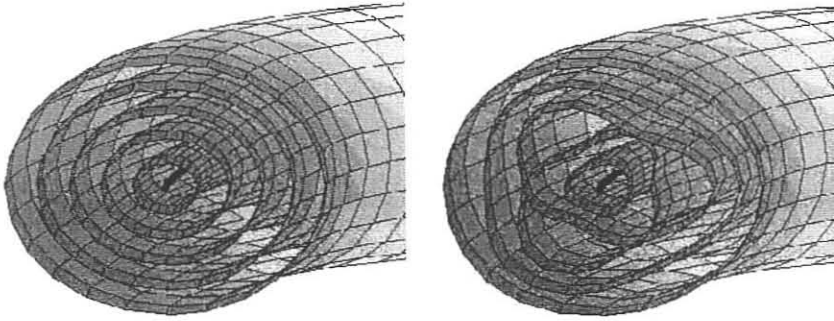
ASDEX Upgrade löst Instabilitäten auf*Theorie für internationalen Experimentalreaktor ITER bestätigt / Kraftwerkshindernis beseitigt*

Ein Höhepunkt auf der internationalen Konferenz zur Fusionsenergie (20th IAEA Fusion Energy Conference) vergangene Woche in Vilamoura/Portugal waren Ergebnisse der Forschungsanlage ASDEX Upgrade, die das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München als größtes deutsches Fusionsexperiment betreibt: Hier gelang die wirkungsvolle Bekämpfung besonders unerwünschter Instabilitäten im Plasma. Ohne Gegenmaßnahmen könnten sie im geplanten Testreaktor ITER und in einem späteren Fusionskraftwerk die Leistungsausbeute stark herabsetzen.

Ziel der weltweiten Bemühungen um die Kernfusion ist die Entwicklung eines Kraftwerks, das – ähnlich wie die Sonne – Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen gewinnt. Zum Zünden des Fusionsfeuers muss der Brennstoff, ein Wasserstoff-Plasma, auf Temperaturen über 100 Millionen Grad aufgeheizt werden. Um die hohe Temperatur aufrecht erhalten zu können, muss es gelingen, den Brennstoff in Magnetfeldern berührungsfrei und wärmeisolierend einzuschließen. Das komplexe Wechselspiel zwischen Plasmateilchen und magnetischem Käfig macht jedoch eine ganze Reihe von Instabilitäten möglich, die den Einschluss verschlechtern. Besonders unerwünscht sind so genannte „Neoklassische Tearing-Moden“: Sie treten auf, wenn Temperatur und Druck des Plasmas in die Nähe der Zündwerte kommen.

Wie gefährlich diese Instabilitäten für die Leistungsfähigkeit des geplanten internationalen Fusions-testreaktors ITER sein können, rechneten die Plasmatheoretiker des IPP bereits vor sechs Jahren vor: Die Obergrenze für den Plasmadruck liegt nämlich um so niedriger, je größer die Anlagen sind – bei ITER zehn mal niedriger als bei dem kleineren ASDEX Upgrade: also eine erhebliche Schwierigkeit für ITER und ein ernst zu nehmendes Hindernis auf dem Weg zu einem wirtschaftlich arbeitenden Kraftwerk. Unter Leitung des IPP sollte daher eine europäische Gruppe das Problem für ITER lösen. Beteiligt sind Wissenschaftler der Universität Stuttgart sowie der Fusionszentren in England, den Niederlanden und Italien.

Um die Tearing-Moden bekämpfen zu können, muss man zuvor ergründen, warum sie entstehen: Beim Bau des Magnetfeldkäfigs für das Plasma nutzen die Fusionsforscher aus, dass die geladenen Plasmateilchen – Ionen und Elektronen – von elektromagnetischen Kräften auf Schraubenbahnen 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 nach außen weisende Feldkomponenten vermieden, die die Plasmateilchen auf die Wände führen würden. Die hohen Zündtemperaturen wären dann unerreichbar. Auf den magnetischen Flächen sind Dichte und Temperatur jeweils konstant, während von Fläche zu Fläche – vom heißen Zentrum nach außen – Dichte, Temperatur und Plasmadruck abnehmen. >>



*Eine Instabilität entsteht:
Die zunächst sauber ineinander geschachtelten magnetischen Flächen (links) verformen sich – es bilden sich magnetische Inseln (rechts).*

Soweit das Prinzip – wären da nicht die Instabilitäten, die das einschließende Magnetfeld verformen. Wie die genaue Analyse zeigt, bilden sich im vormals symmetrischen Plasmaring blasenartige Störungen mit eigener, in sich geschlossener Magnetfeldstruktur: magnetische „Inseln“. Auslöser ist das Ansteigen des Plasmadrucks bei hoher Plasmatemperatur. Beim Entstehen der Inseln reißen die magnetischen Feldlinien auf und verbinden sich mit den Feldlinien benachbarter magnetischer Flächen. Es kommt quasi zu einem magnetischen Kurzschluss. Da nun ein schneller Energieaustausch auch quer zu den Flächen möglich wird, sinken Plasmatemperatur und Plasmadruck über die Breite der Insel stark ab. Damit beschränken sie den erreichbaren Plasmadruck: Die Leistungsausbeute von ITER und einem späteren Kraftwerks würde sehr darunter leiden.

Da die Obergrenze für den Plasmadruck um so niedriger liegt, je größer die Anlagen sind, schienen in einem Kraftwerk die Tearing-Moden zunächst unvermeidlich. Umso größer war das Aufsehen, als es an ASDEX Upgrade 1999 erstmals gelungen war, die Bildung dieser magnetischen Inseln zu behindern: Dazu hat man gezielt – auf Zentimeter genau – Mikrowellen in die Mitte einer entstehenden Insel eingestrahlt. So wurde lokal ein elektrischer Strom erzeugt, der die Insel auflöst. Die Magnetfeldstörung wird unterdrückt und der Plasmadruck kann wieder ansteigen. Durchschlagenden Erfolg hatte man dann ein Jahr später, als es gelang, eine Insel gänzlich wegzupusten. Bestätigt werden konnte die neue Methode kurz danach an Fusionsanlagen in den USA und in Japan.

Wie die IPP-Wissenschaftler auf der Konferenz berichten konnten, ist es nun an ASDEX Upgrade nicht nur gelungen, eine besonders störende Tearing-Mode zu stabilisieren, die bis zum Abbruch der Entladung führen kann. Nach der Verbesserung des Zielverfahrens gelang dies auch noch mit sehr geringer Mikrowellenleistung: Zur Stabilisierung genügte – präzise in die richtige Stelle eingestrahlt – weniger als zehn Prozent der insgesamt aufgewandten Heizleistung. Professor Dr. Hartmut Zohm vom ASDEX Upgrade-Team: „Wir sind jetzt sicher, ein Instrument zur Kontrolle der magnetischen Inseln gefunden zu haben. Nun müssen wir untersuchen, ob es für ITER alltagstauglich ist“. Um diesen Schritt von der Physik zur Technik zu gehen, will man das Verfahren automatisieren: Das Erkennen der Inseln und ihr Anzielen per Mikrowelle soll in die automatisierte Feed-Back-Steuerung von ASDEX Upgrade aufgenommen werden. Das System soll die Ausbildung einer Insel selbständig registrieren, dann die Insel mit beweglichen Spiegeln anvisieren und den Mikrowellenstrahl auslösen. In den ITER-Plänen ist für diesen Zweck bereits eine steuerbare Einkopplung für Mikrowellen vorgesehen (vgl. PI 6/04).

Isabella Milch