

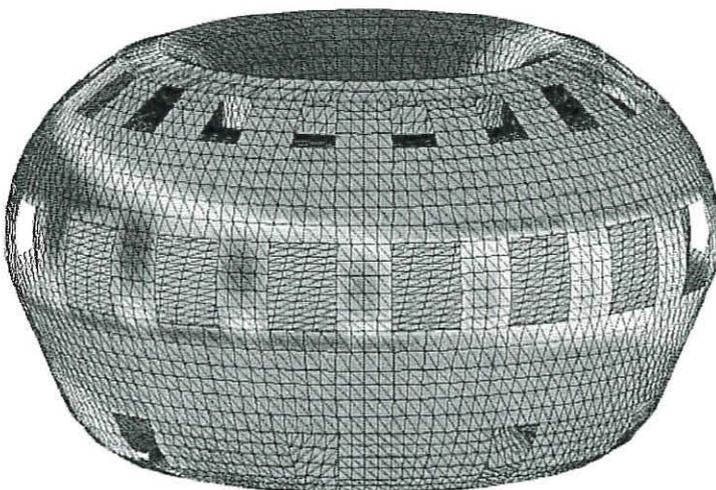
Stabiles Plasma für ITER

IPP entwickelt weltbesten Code für Stabilitätsrechnungen / Tokamak-Theorie mit Stellarator-Hilfe

Zum Betrieb künftiger Fusionskraftwerke muss es gelingen, den heißen Brennstoff gut wärmeisoliert einzuschließen. Der dazu benutzte magnetische Käfig muss daher möglichst robust sein. Ausgerechnet bei den besonders interessanten „fortgeschrittenen“ Betriebsweisen, die im internationalen Fusionstestreaktor ITER geplant sind, sind jedoch störende Instabilitäten zu erwarten: So genannte „Externe Kink-Moden“ könnten die von ITER erreichbare Fusionsausbeute empfindlich absenken. Gegenmaßnahmen wurden nun vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in europäischem Auftrag untersucht. Das dazu entwickelte neue Rechenprogramm „Starwall“ darf als weltbestes seiner Art gelten – dank der Expertise der Stellarator-Fachleute im IPP, die in diesen Tokamak-Code eingeflossen ist.

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. Nächster großer Schritt der Forschung ist die internationale Testanlage ITER (lat.: „der Weg“). Sie soll über längere Zeit eine Fusionsleistung von 500 Megawatt liefern – zehnmal mehr, als zur Aufheizung des Plasmas verbraucht wird. Der Bau der Anlage soll im kommenden Jahr in Cadarache/Südfrankreich beginnen.

Um die hohe Temperatur aufrechterhalten 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 stören. In den bisherigen Anlagen ohne große Bedeutung, aber äußerst unerwünscht im Fusionstestreaktor ITER sind so genannte „Externe Kink-Instabilitäten“, die das einschließende Magnetfeld verformen: Die entstehenden schlauchförmigen Ausbeulungen und Dellen an der Außenseite des Plasmas verschlechtern den Einschluss und senken damit die Fusionsausbeute. Bei ITER würden sie – so die IPP-Rechnungen – genau in den Plasmazuständen auftreten, auf die man bei der Entwicklung eines dauerbetriebsfähigen Tokamak setzt.



Berechnung der Kink-Instabilitäten für ITER: Zu sehen sind die Ströme, die das sich verformende Plasma (lila eingefärbt) in der von zahlreichen Öffnungen durchbrochenen Gefäßwand hervorruft.

Gegenmaßnahmen sind jedoch möglich: Umschlossen von einer unendlich leitfähigen – bzw. supraleitenden – Wand, könnten sich die Instabilitäten gar nicht erst ausbilden. Die Plasma-bewegung induziert nämlich elektrische Ströme in der Wand, deren magnetisches Feld der Ursache entgegen wirkt: Das Plasma wird stabilisiert. Eine „normale“ Stahlwand kann die Ausbildung der Kink-Instabilitäten immerhin noch abbremsen – von Mikro- auf Millisekunden. Der Prozess wird damit langsam genug, dass ein automatisches Feedback-System eingreifen kann. Schwache elektrische Kontrollströme, die in kleinen, an der Wand befestigten Magnetspulen fließen, können die Beulen und Dellen bereits vor dem Anwachsen „einfangen“ und auflösen. Sie simulieren quasi die magnetische Antwort einer supraleitenden Wand auf die Bewegungen des Plasmas.

Damit dies technisch funktionieren kann, muss man die Vorgänge präzise beschreiben und berechnen können. Dabei profitieren Rechnungen für Fusionsanlagen vom Typ Tokamak – zu denen ITER gehört – gewöhnlich vom einfachen Aufbau dieser Experimente. Das ringförmige Plasma-gefäß, der magnetische Ringkäfing und das darin eingeschlossene ringförmige Plasma haben eine axialsymmetrische Gestalt: Beim Umlaufen um diesen Ring gibt es keine Änderungen. Entsprechend genügt es daher meist, mit nur zwei Raumdimensionen zu rechnen. Will man aber die elektro-magnetischen Wechselwirkungen zwischen dem Plasma und der Gefäßwand beschreiben, ist zu berücksichtigen, dass trotz der allgemeinen Symmetrie die Wand nicht überall gleich ist. An einigen Stellen besitzt sie große Öffnungen, die das Plasma für Heizungen, Pumpen und Messgeräte zugänglich machen. Für das genaue Berechnen der Kink-Instabilitäten und ihre Stabilisierung durch die Wand sind damit alle drei Raumdimensionen wichtig.

Genau dies kann der neu entwickelte IPP-Rechencode „Starwall“. Er beschreibt – weltweit einmalig – Plasma und Gefäßwände in allen drei Raumdimensionen. Profitiert haben die Tokamak-Theoretiker dabei von der Zusammenarbeit mit der Stellarator-Theorie: Stabilitätscodes für Fusionsanlagen vom Typ Stellarator – wie der im IPP-Teilinstitut Greifswald entstehende Wendelstein 7-X – sind nämlich immer dreidimensional. Denn Stellaratoren mit ihrem bizarren Spulensystem besitzen die vereinfachende Symmetrie der Tokamaks nicht. Ohne diese Vorarbeit der Stellarator-Theoretiker wäre die Entwicklung viel zu aufwändig gewesen.

Die Rechnungen mit „Starwall“ für ITER zeigen: Mit einem Feedback-System könnten die ITER-Entladungen bis zu einem Plasmadruck stabil bleiben, der – je nach Druck- und Stromprofilen im Plasma – um 50 Prozent höher liegt als ohne Stabilisierung: Ein großer Fortschritt. Experimentelle Voruntersuchungen sind an der Garching Tokamak-Anlage ASDEX Upgrade geplant: Mit 24 Kontrollspulen und einer Wand nahe am Plasma will man für ITER untersuchen, wie gut sich die Kink-Instabilitäten beeinflussen lassen.

Isabella Milch