



▲ Abb. 1

Abb. 1: Blick in das Plasmagefäß von ASDEX Upgrade.

Abb. 2: Der internationale Testreaktor ITER.

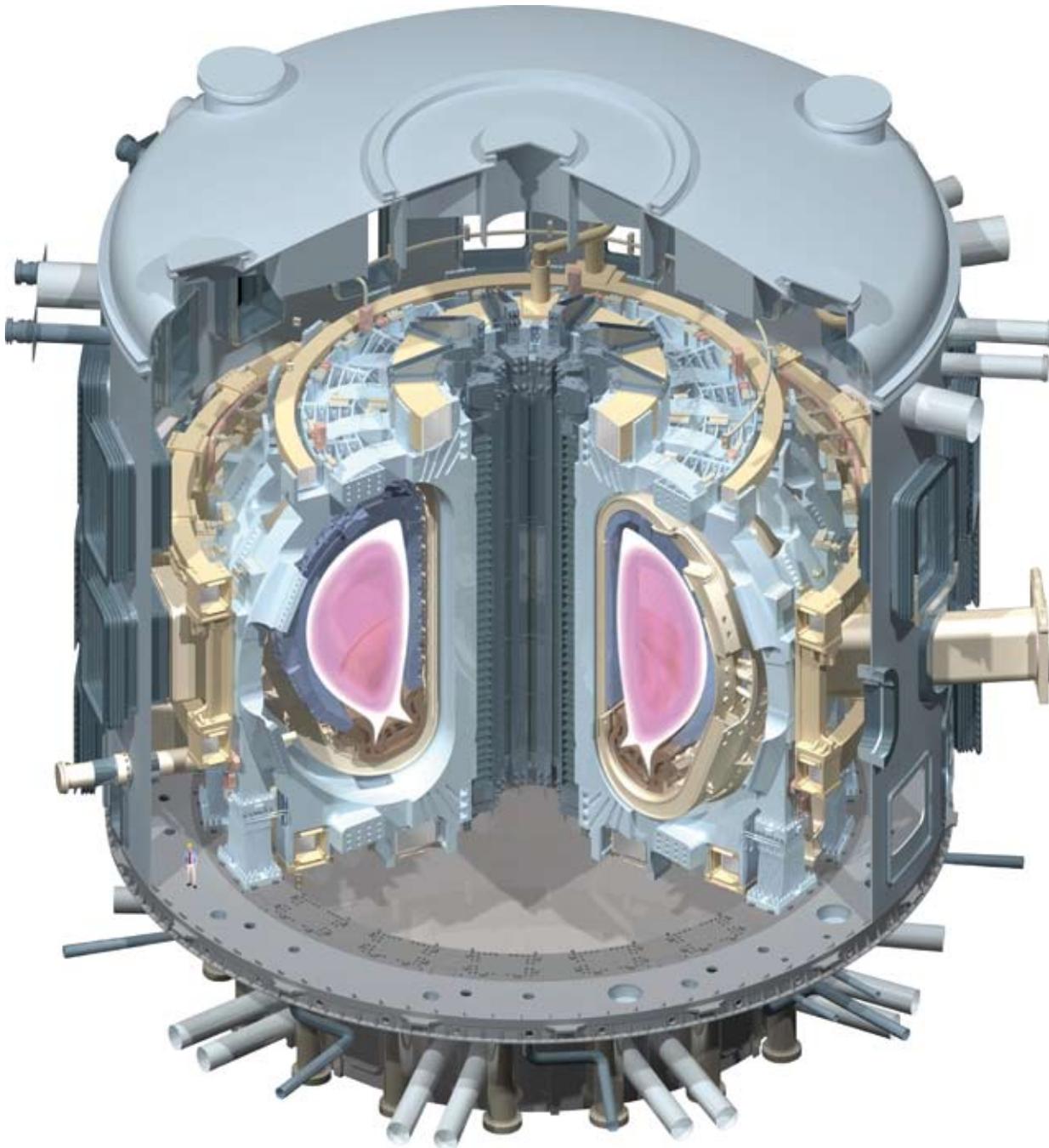
ITER, DEMO und das erste Kraftwerk

HARTMUT ZOHM

Obwohl die Untersuchung magnetisch eingeschlossener Plasmen auf vielen Gebieten noch Grundlagenforschung ist, geben die bisher erzielten Erfolge – speziell der Tokamak-Linie – das Vertrauen, den nächsten entscheidenden Schritt zum Fusionskraftwerk zu wagen: Mit dem Tokamak ITER¹ (lateinisch: der Weg) soll zum ersten Mal die Selbstheizung des Plasmas durch die bei der Fusionsreaktion entstehenden energiereichen Heliumkerne untersucht werden. Das ITER-Plasma soll zehnmal soviel Fusionsenergie erzeugen wie zum Aufheizen des Plasmas von außen eingekoppelt wird. Zusätzlich soll ITER bereits wesentliche Fusionstechnologien erproben, wie das Erbrüten des Brennstoffs Tritium aus Lithium in der ersten Wand.

Das ITER-Experiment ist ein Tokamak, der in seiner Geometrie dem Garching Experiment ASDEX Upgrade folgt. Mit einem großen Radius von 6,2 Metern wird ITER aber fast viermal größer sein (Abb. 1 und 2). Angesichts dieser Dimensionen wird die Experimentieranlage in internationaler Anstrengung verwirklicht; zum Bau von ITER haben sich die Partner China, Europa, Indien, Japan, Südkorea, Russland und die USA zusammengeschlossen. Standort ist Cadarache in Frankreich; das erste Plasma wird im Jahr 2019 erwartet. Bei entsprechendem Erfolg könnte ITER um 2025 ein stabiles, sich selbst heizendes Fusionsplasma demonstrieren.

Die experimentelle Tokamakforschung des IPP (siehe Kapitel 5) hat im Wechselspiel mit der Theorie (siehe Kapitel 6) in vieler Hinsicht zum Entwurf von ITER beigetragen. So soll ITER in



▲ Abb. 2

(Foto: ITER)

dem an ASDEX entdeckten H-Regime betrieben werden und die an ASDEX Upgrade entwickelten Methoden zur Kontrolle der Plasmastabilität verwenden. Auch die für ITER gewählte Spulen- und Divertorgeometrie nach dem Vorbild von ASDEX Upgrade zeugt von der Vorreiterrolle der IPP-Experimente. In Europa verfolgt die Fusionsforschung dabei den Ansatz einer ‚Stufenleiter zu ITER‘, denn auch das europäische JET-Experiment (Joint European Torus) in Culham/Großbritannien, mit 3 Metern großem Radius die derzeit weltgrößte Fusionsanlage², wurde nach der Entdeckung des H-Regimes an ASDEX mit der für ASDEX Upgrade typischen Divertorgeometrie ausgestattet (Abb. 3). Diese geometrische Ähnlichkeit der Plasmaquerschnitte zeigt Abbildung 4. Erkenntnisse, die an ASDEX Upgrade gewonnen werden, können so an JET auf ihre Anwendbarkeit in einer größeren Anlage überprüft werden. Dabei sind IPP-Wissenschaftler auch stark an den Experimentierbetrieb an JET eingebunden. In diesem Zusammenspiel der Experimente ASDEX Upgrade und JET werden bereits heute die Grundlagen für den Betrieb von ITER erarbeitet und eine neue Generation von Plasmaphysikern für ITER ausgebildet.

ITER profitiert aber bei Auslegung und Bau nicht nur von der experimentellen und theoretischen Tokamakforschung im IPP, sondern auch von vielen anderen Arbeiten der IPP-Wissenschaftler. So leistet das Institut entscheidende Beiträge zur Entwicklung der Plasmaheizung für ITER, vor allem auf dem Gebiet der Neutralteilchen-Heizung (siehe auch Kapitel 7) und beteiligt sich an der Entwicklung von Plasmadiagnostiken.

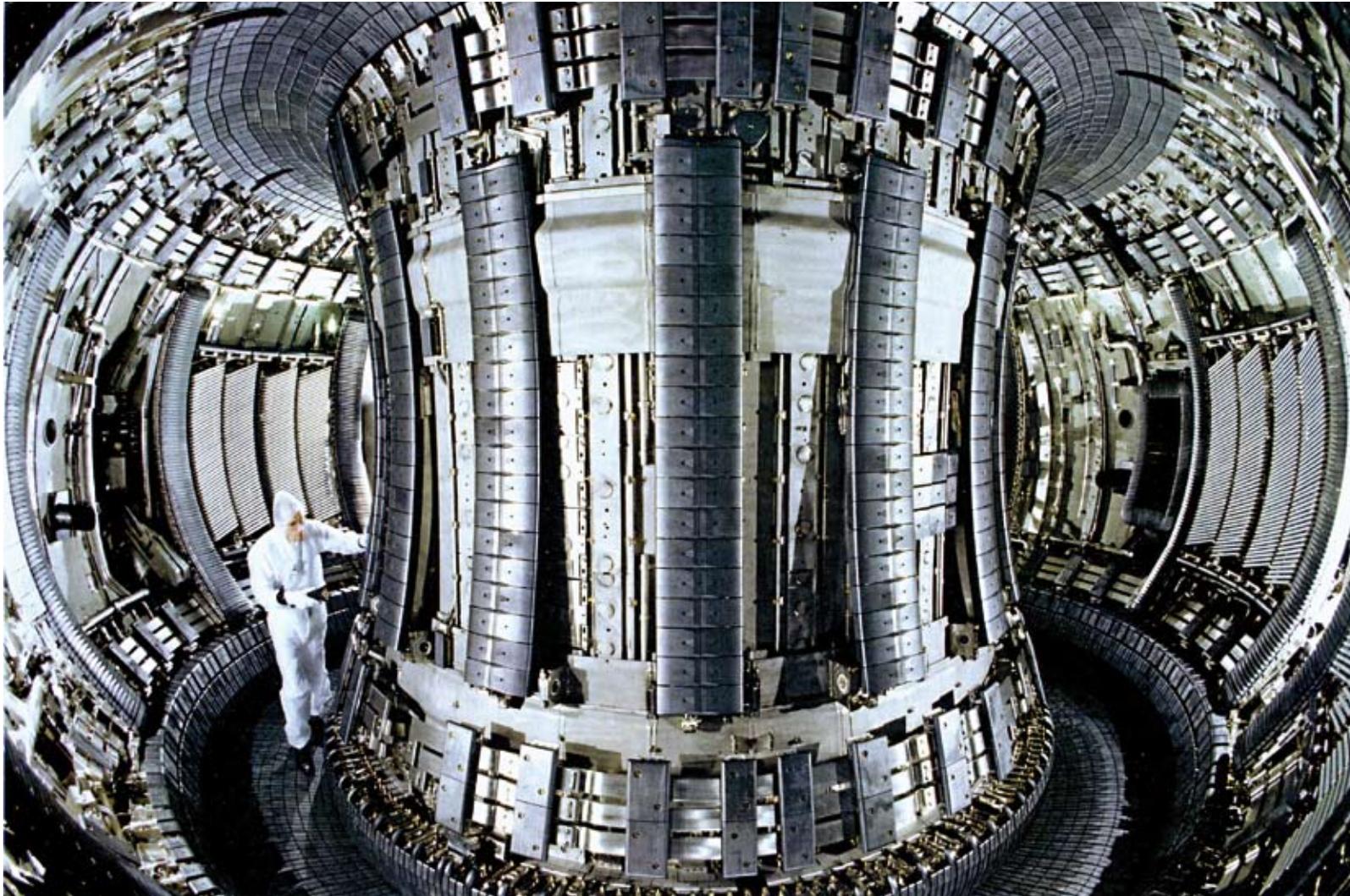


PHOTO: JET/EFDA

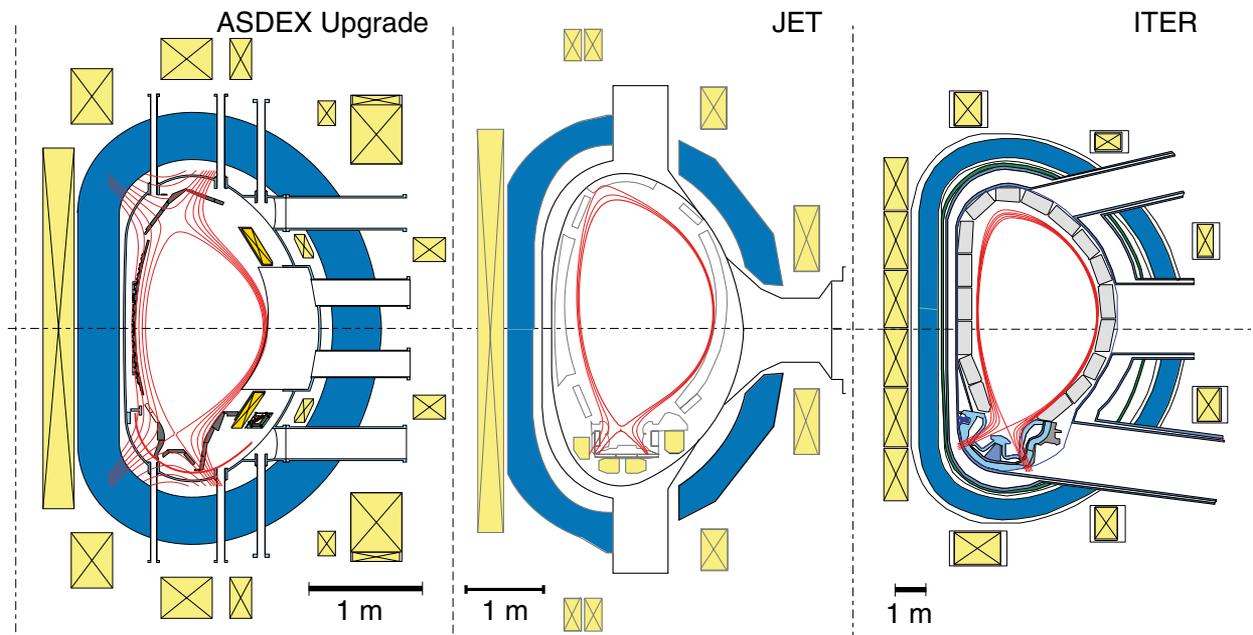
Abb. 3: Das europäische Gemeinschaftsexperiment JET.

Abb. 4: Stufenleiter zu ITER: Mit ASDEX Upgrade und JET werden im europäischen Fusionsprogramm zwei ITER geometrisch sehr ähnliche Fusionsanlagen betrieben, mit deren Hilfe sich Größenskalerungen aufstellen lassen.

Auch bei der Wahl des geeigneten Materials für die erste Wand von ITER fließt die IPP-Erfahrung auf dem Gebiet der Plasma-Wand-Wechselwirkung (siehe Kapitel 8) entscheidend ein.

Ist ITER erfolgreich, steht die Tür zum Fusionskraftwerk weit offen. Heutige Planungen gehen davon aus, dass nach ITER ein Demonstrationskraftwerk gebaut wird. Es soll nachweisen, dass sich Fusionsenergie verlässlich erzeugen lässt und soll bereits Strom ins Netz einspeisen. Diese DEMO genannte Anlage wäre keine Experimentieranlage mehr, sondern ein auf einen einzigen Betriebspunkt hin optimiertes Kraftwerk. Voraussetzung dafür ist ein grundlegendes physikalisches Verständnis des Systems, so dass man dessen Eigenschaften mit Sicherheit vorhersagen kann. Die Erarbeitung der physikalischen Grundlagen für ein Fusionskraftwerk ist daher weiterhin vorrangigstes Ziel der Arbeiten des IPP und wird die Plasmaphysiker in Theorie und Experiment noch für einige Zeit beschäftigen. Parallel dazu werden auch die spezifischen Technologieentwicklungen, etwa bei den Plasmaheizungen, weiter vorangetrieben werden.

Konzeptstudien³ für ein Fusionskraftwerk lassen erwarten, dass es eine elektrische Leistung von mindestens 1000 Megawatt erbringen wird. Daher geht man davon aus, dass auch DEMO zumindest mehrere 100 Megawatt ans Netz liefern wird. Nach heutigem Verständnis wird auch DEMO, wie ASDEX Upgrade und ITER, ein Tokamak sein. Sollten sich aber die von der Theorie vorhergesagten günstigen Eigenschaften des Stellarator-konzepts (siehe Kapitel 3) in künftigen Experimenten wie



▲ Abb. 4

Wendelstein 7-X bestätigen, würde der Stellarator zu einer sehr interessanten Alternative. Es ist daher erklärtes Ziel des IPP, beide Forschungslinien weiter zu verfolgen, um so das optimale Konzept für ein Fusionskraftwerk zu finden.