

Das Tokamak-Prinzip

Die Fusionsforschung konzentriert sich gegenwärtig beim Prinzip des magnetischen Einschlusses auf zwei Anlagentypen, den Tokamak und den Stellarator. Beide werden im IPP untersucht. ASDEX Upgrade ist – wie die meisten der heute betriebenen Fusionsanlagen – vom Typ Tokamak. In einem ringförmigen Vakuumgefäß schließen zwei sich überlagernde Magnetfelder das Plasma ein: erstens ein ringförmiges Feld, das durch äußere Magnetspulen erzeugt wird, und zweitens das Feld eines im Plasma fließenden Stroms. In dem kombinierten Feld ist die zum Plasmaeinschluss nötige Verdrillung der Feldlinien erreicht. Ein drittes Feld – das durch äußere Ringspulen erzeugte Vertikalfeld – bestimmt die Plasmaform und die Lage des Stromes im Plasma.

Der Strom im Plasma wird durch eine Transformatorspule induziert, die in der Achse des Plasmaringes steht. Wegen des Transformators arbeitet ein Tokamak nicht kontinuierlich, sondern gepulst. Da dies jedoch ungünstig für ein Kraftwerk ist, werden Methoden untersucht, den Strom im Dauerbetrieb zu erzeugen.

Ziele von ASDEX Upgrade

Untersuchung von Kernfragen der Fusion unter kraftwerksähnlichen Bedingungen, insbesondere zur Vorbereitung des internationalen Testreaktors ITER und eines Demonstrationskraftwerks:

- Teilchen- und Energietransport im Plasma
- Plasmen mit erhöhter Wärmeisolation
- Physik von Plasmarandschicht und Divertor
- Plasmainstabilitäten
- Wandmaterialien

Material für die Gefäßwand

An Bereichen der Gefäßwand, die Teilchen- und Energieflüssen aus dem Plasma ausgesetzt sind, hat sich Kohlenstoff als besonders widerstandsfähig erwiesen. Da das Material jedoch Wasserstoff in größeren Mengen binden kann, ginge in einem Kraftwerk zu viel Brennstoff verloren. Das Plasmagefäß von ASDEX Upgrade wurde daher mit Kacheln aus dem Metall Wolfram ausgekleidet. Die erfolgreichen Experimente machten Wolfram zum Referenzmaterial für ein Demonstrationskraftwerk.

Sie wollen mehr über ASDEX Upgrade und den Stand der Forschung erfahren? Besuchen Sie uns: www.ipp.mpg.de/besucher

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP)
Boltzmannstraße 2
85748 Garching bei München

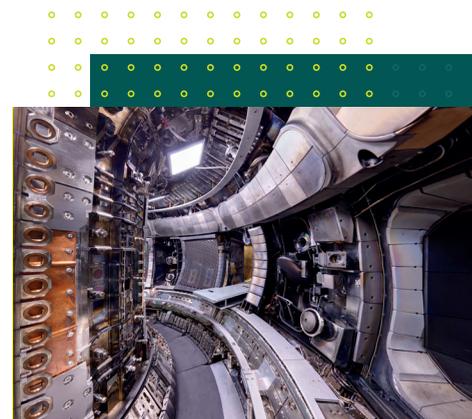
Tel. (089) 3299-01

E-Mail: info@ipp.mpg.de
www.ipp.mpg.de

ASDEX Upgrade im interaktiven Panorama:
www.sonnenmaschine.eu

Titelbild: Blick in das Vakuumgefäß
Foto: Bernhard Ludewig

MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR PLASMAPHYSIK



FUSIONS- ANLAGE ASDEX UPGRADE

Fusionsanlage ASDEX Upgrade

Das „Axialsymmetrische Divertor-Experiment“ ASDEX Upgrade ist eine Kernfusionsanlage vom Typ Tokamak. Sie wird seit 1991 im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching bei München betrieben.

Ziel der Forschung ist es, ein Kraftwerk zu entwickeln, das – ähnlich wie die Sonne – Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen gewinnt. Brennstoff ist ein extrem dünnes, ionisiertes Wasserstoffgas, ein „Plasma“. Zum Zünden des Fusionsfeuers muss das Plasma in Magnetfeldern eingeschlossen und auf Temperaturen über 100 Millionen Grad aufgeheizt werden.

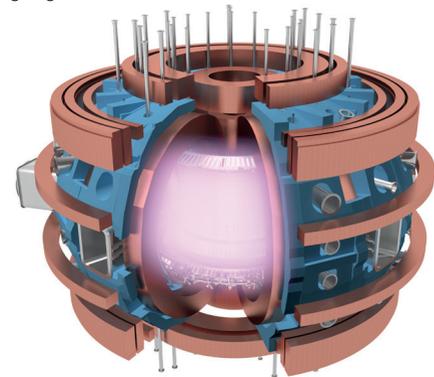


Wartungsarbeiten im Vakuumgefäß

Foto: DAAD / Jan Zapfner

Fusionsanlage ASDEX Upgrade

ASDEX Upgrade soll Kernfragen der Fusionsforschung unter kraftwerksähnlichen Bedingungen untersuchen. Dazu sind die Anordnung der Magnetspulen, die Plasmaform sowie wesentliche Plasmaeigenschaften den Verhältnissen in einem späteren Kraftwerk angepasst. Ein wichtiges Bauteil ist der Divertor. Ein spezielles Magnetfeld lenkt die Randschicht des Plasmas – und mit ihr Teilchen und Energie aus dem Plasmainternen – auf robuste, gekühlte Stellen der Gefäßwand. Diese Divertor-Platten sind fern vom heißen Zentrum angeordnet. Dadurch wird das Gefäß vor Teilchen aus dem Plasma und umgekehrt das Plasma vor Verunreinigungen aus der Wand geschützt. So wird die Wand geschont und eine gute Wärmeisolation des Plasmas erreicht. Zugleich lassen sich die störenden Verunreinigungen aus dem Plasma entfernen. In einem brennenden, also sich selbst aufrechterhaltenden Plasma gehört dazu auch die „Fusionsasche“ Helium. ASDEX Upgrade hat nicht die volle Größe eines Kraftwerks und erzeugt auch keine brennenden Plasmen, kann aber dennoch die Wechselwirkung zwischen Plasma und Wand unter realistischen Bedingungen untersuchen. Es genügt, allein die Plasmarandschicht, d.h. die äußeren zehn Zentimeter eines Kraftwerksplasmas zu simulieren. Um eine Wandbelastung wie im Kraftwerk zu erreichen, stehen zum Aufheizen des Plasmas bis zu 27 Megawatt Heizleistung gleichzeitig zur Verfügung.

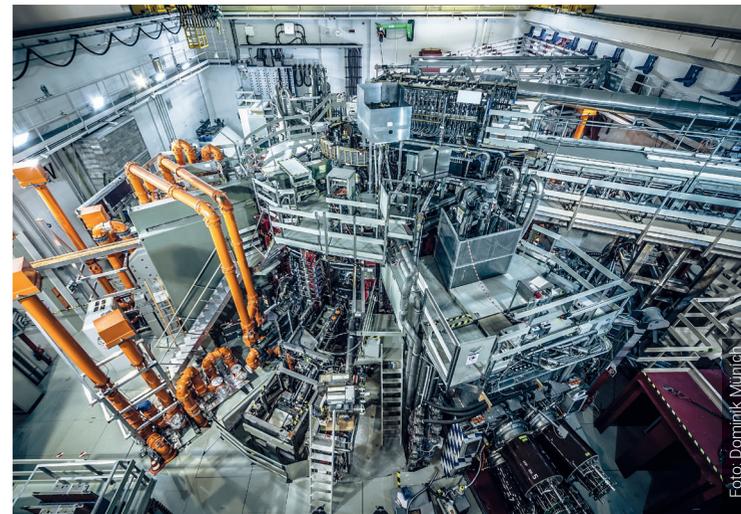


Schematische Darstellung des Plasmagefäßes mit Magnetspulen

Grafik: Mathias Dibon

Wesentliche Daten von ASDEX Upgrade

Größe der Anlage	Ø 10 Meter; 9 Meter Höhe
Gewicht	800 Tonnen
Großer Plasmaradius	1,65 Meter
Plasmaquerschnitt	1 Meter breit; 1,6 Meter hoch
Plasma	
• Zusammensetzung	Wasserstoff, Deuterium
• Volumen	14 Kubikmeter
• Menge	3 Milligramm
Magnetfeld	bis 3,2 Tesla
Plasmastrom	bis 1,4 Mio. Ampere
Pulsdauer	10 Sekunden
Plasmaheizung	
• Neutralteilchenheizung	20 Megawatt
• Ionen-Zyklotronheizung	6 Megawatt
• Elektronen-Zyklotronheizung	6 Megawatt
Plasmatemperatur	bis 150 Millionen Grad
Plasmadichte	bis 2×10^{20} Teilchen pro m^3
Energieeinschlusszeit	bis 0,2 Sekunden

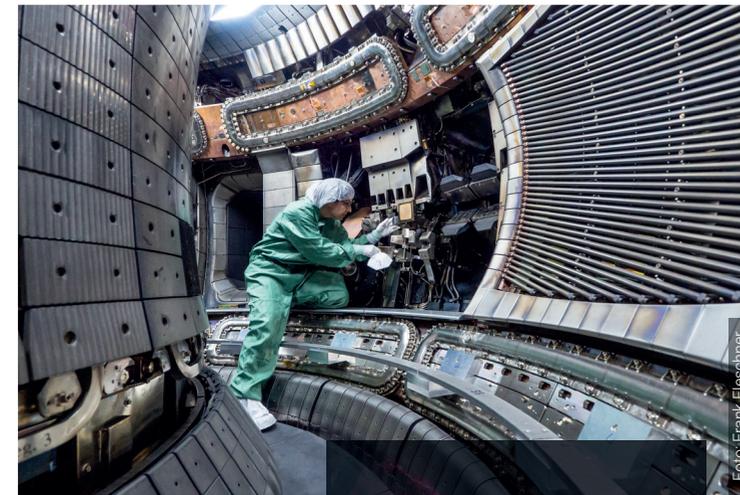


Experimenthalle mit ASDEX Upgrade

Foto: Dominik Münich

ASDEX Upgrade, ITER und DEMO

Weil der Aufbau, die Ausrüstung und wichtige Plasmaeigenschaften einem späteren Kraftwerk angepasst sind, ist ASDEX Upgrade unter den Anlagen des europäischen Fusionsprogramms besonders geeignet, den Betrieb des internationalen Experimentalreaktors ITER und die Planungen für ein Demonstrationkraftwerk DEMO vorzubereiten. Untersuchungen für DEMO – zum Beispiel zur Wärmeisolation des Plasmas, zur Stabilität des Plasmaeinschlusses sowie zur Teilchen- und Leistungsabfuhr – bestimmen wesentlich das experimentelle Programm. Es wird durch ein europäisches Programmkomitee aufgestellt. Forscher aus ganz Europa nutzen die Anlage für ihre Experimente.



Arbeiten im Plasmagefäß

Foto: Frank Fleschmer



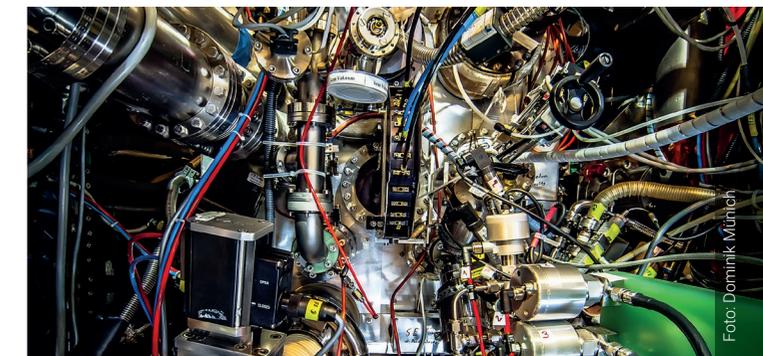
Plasmaentladung

Divertor und Plasmarandschicht

Die Übertragung des bewährten Divertor-Betriebs auf größere Anlagen wie ITER oder ein Kraftwerk ist nicht problemlos. Die eng gebündelt in den Divertor strömenden Plasmateilchen bringen sehr viel Energie auf die Divertor-Platten. Mögliche Lösungen hat ASDEX Upgrade erarbeitet: Man kann die belastete Fläche geeignet formen und vergrößern und so die Spitzenlast senken. Damit nicht die gesamte Energie in Form schneller Plasmateilchen auf die Platten einfällt, muss ein Teil das Plasma auf sanfte Weise als Lichtstrahlung verlassen. Sie kann von Verunreinigungen, zum Beispiel von Edelgasen, ausgesandt werden, die man in die Plasmarandschicht einbläst. Auch ein Polster von kaltem neutralen Wasserstoffgas kann die Divertor-Platten schützen.

Plasmainstabilitäten

Die Wechselwirkung der Plasmateilchen untereinander und mit dem Magnetfeld kann im Plasmainternen verschiedene Instabilitäten hervorrufen. Sie wirken wie ein Kurzschluss für den Wärmetransport und verschlechtern den Energieeinschluss. Die Beseitigung oder Abmilderung dieser Instabilitäten wird an ASDEX Upgrade untersucht.



Port mit Druckluftleitungen und elektrischer Verkabelung für Diagnostiken

Foto: Dominik Münich