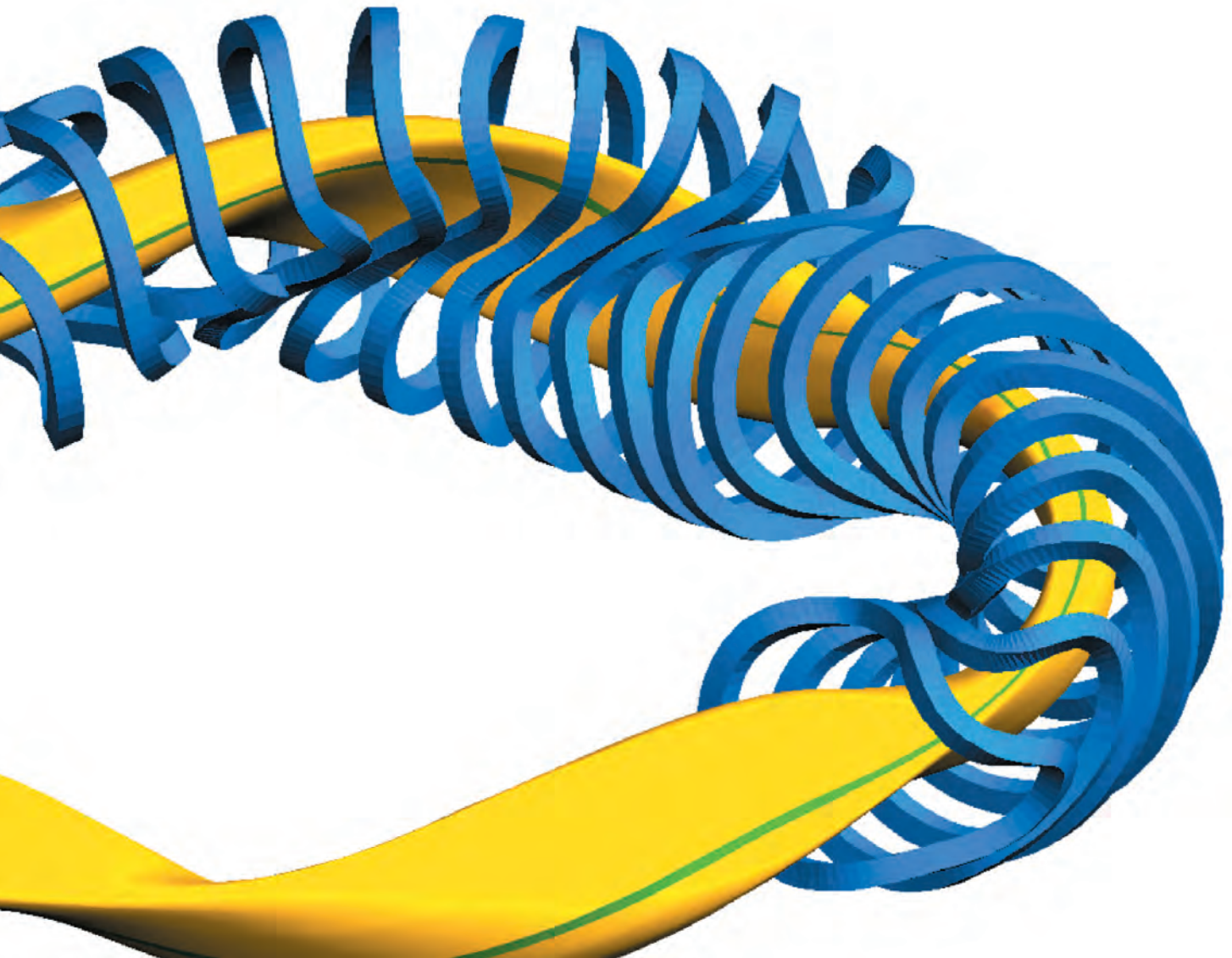


Forschung für die Energie der Zukunft



Das Forschungsprogramm

Aufgabe der rund 1100 Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP) in Garching und Greifswald ist es, die Grundlagen für ein Fusionskraftwerk zu erforschen. Es soll – ähnlich wie die Sonne – Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen erzeugen. Die für den Fusionsprozess nötigen Grundstoffe – Deuterium und Lithium – sind in nahezu unbegrenzter Menge vorhanden und über die ganze Welt verteilt. Da ein Fusionskraftwerk zudem günstige Sicherheits- und Umwelteigenschaften verspricht, könnte die Kernfusion einen nachhaltigen Beitrag zur Energieversorgung der Zukunft leisten.

Ein Käfig aus Magnetfeldern zum Einschließen des Brennstoffs

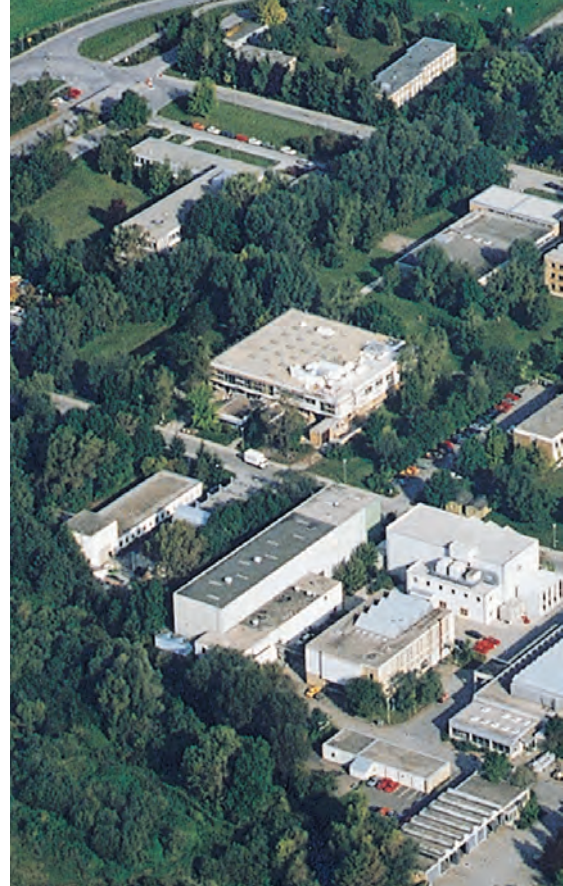
Wie ein Holzfeuer setzt auch das Fusionsfeuer nicht selbstständig, sondern erst bei den passenden Zündbe-



Das europäische Gemeinschaftsexperiment JET in Culham

dingungen ein. Brennstoff der Fusion ist ein extrem dünnes, ionisiertes Gas – ein „Plasma“ – aus den beiden Wasserstoff-Sorten Deuterium und Tritium. Es muss auf eine Zündtemperatur von 100 Millionen Grad aufgeheizt werden. Man kann das Plasma daher nicht unmittelbar in materiellen Gefäßen einschließen. Bei jedem Wandkontakt würde sich das dünne, heiße Gas sofort wieder abkühlen. Stattdessen nutzt man magnetische Felder, die das Plasma wärmeisoliert einschließen und von den Gefäßwänden fernhalten.

Die Fusionsforschung konzentriert sich gegenwärtig auf zwei Anlagentypen, den Tokamak und den Stellarator. Beide schließen das Plasma in einem ringförmigen Magnetfeldkäfig ein. In Tokamaks wird der eine Teil des Feldes von äußeren Magnetspulen aufgebaut. Der andere Teil wird von einem im Plasma fließenden elektrischen Strom erzeugt, der pulsweise von einem



Transformator induziert wird. Stellaratoren dagegen arbeiten mit einem Feld, das allein durch komplex geformte äußere Spulen erzeugt wird. Dies macht den Dauerbetrieb der Stellaratoren möglich.

Tokamak und Stellarator

Beide Anlagentypen werden im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik untersucht: In Garching wird der Tokamak ASDEX Upgrade betrieben. Der Stellarator Wendelstein 7-X, der die Kraftwerkstauglichkeit des im IPP entwickelten Stellaratorkonzepts zeigen soll, entsteht im Teilinstitut Greifswald.



Das IPP auf dem Garching
Forschungsgelände



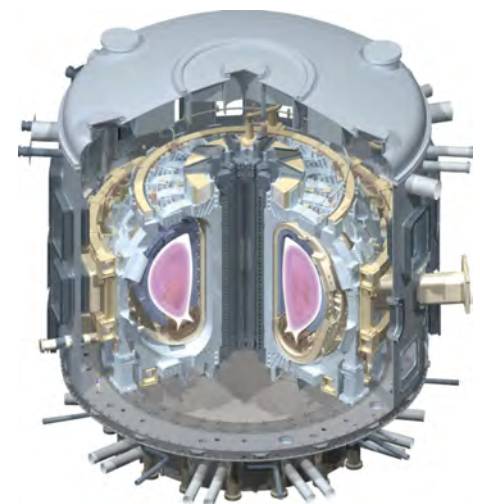
Im Rahmen des europäischen Fusionsprogramms ist das IPP an dem europäischen Gemeinschaftsexperiment Joint European Torus (JET) in England beteiligt – unter anderem durch Abordnungen von Mitarbeitern. Das Plasma dieser weltweit größten Fusionsanlage kommt in vielem bereits einem Kraftwerksplasma nahe. Im Deuterium-Tritium-Betrieb hat der Tokamak JET 1997 kurzzeitig eine Fusionsleistung von 16 Megawatt erzeugt und dabei 65 Prozent der zur Plasmaheizung verbrauch-

ten Energie als Fusionsenergie zurückgewonnen.

Auch an dem nächsten Schritt auf dem Weg zu einem Kraftwerk, dem internationalen Experimentalreaktor ITER (lateinisch „der Weg“), wirken Wissenschaftler des IPP mit. Die Fusionsanlage vom Typ Tokamak wird in weltweiter Zusammenarbeit in Cadarache in Südfrankreich aufgebaut. ITER soll 500 Megawatt Fusionsleistung erzeugen – zehnmal mehr als zum Aufheizen des Plasmas verbraucht

1994 gegründet: Das IPP-Teilinstitut Greifswald

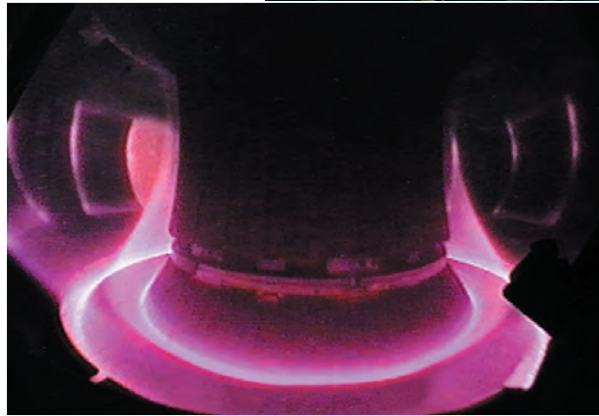
wird – und zugleich technische Komponenten eines Fusionskraftwerks untersuchen.



Der internationale
Experimentalreaktor ITER

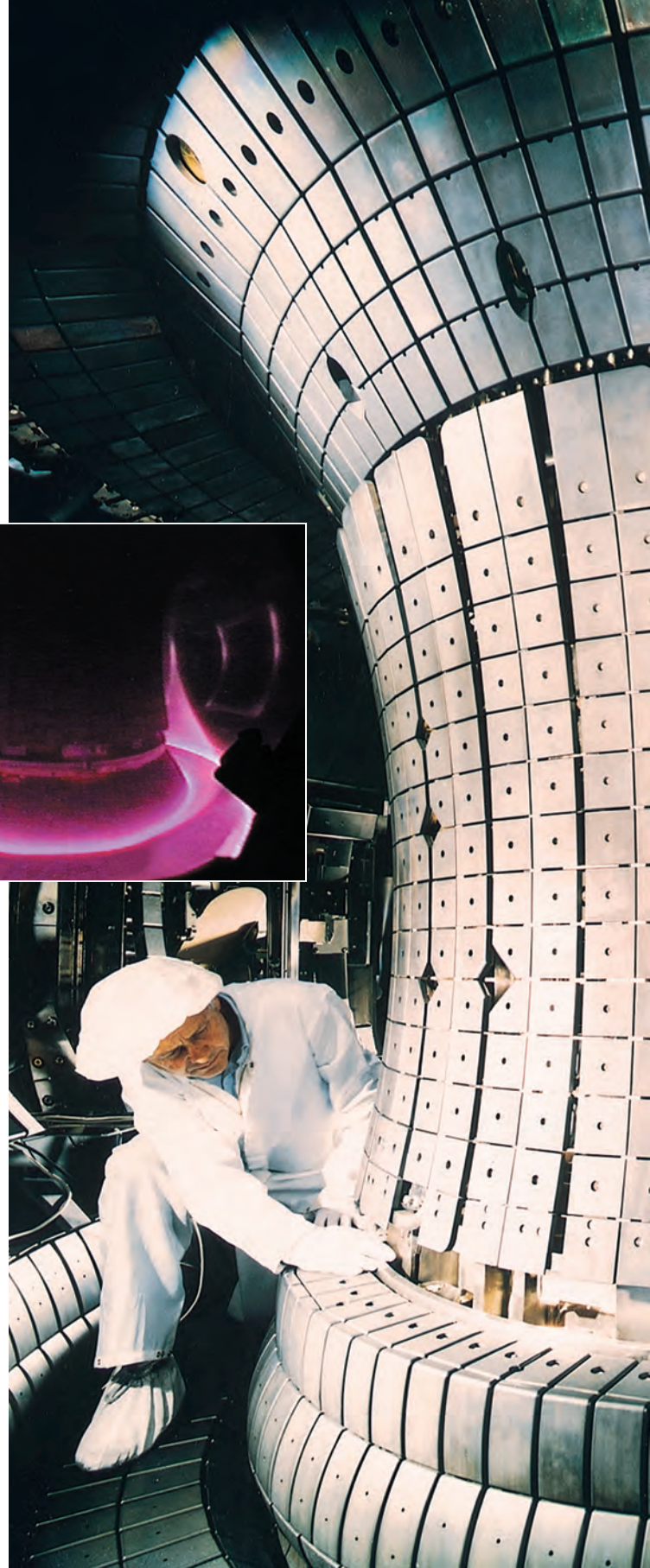
Tokamaks

Der Tokamak ASDEX Upgrade, die größte deutsche Fusionsanlage, wird seit 1991 in Garching betrieben. Sie soll Kernfragen der Fusionsforschung unter kraftwerksähnlichen Bedingungen untersuchen. Wesentliche Plasmaeigenschaften sind dazu den Verhältnissen in einem späteren Kraftwerk angepasst. Ihren Namen – **Axialsymmetrisches Divertorexperiment** – verdankt die Anlage einer speziellen Magnetfeldanordnung, dem Divertor. Mit seiner Hilfe lässt sich die Wechselwirkung zwischen dem heißen Brennstoff und den umgebenden Wänden beeinflussen: Das Divertorfeld lenkt die äußere Randschicht des Plasmas auf Prallplatten ab. So werden störende Verunreinigungen aus dem Plasma entfernt, zugleich wird die Gefäßwand geschont und eine gute Wärmeisolation des Plasmas erreicht. Diese Arbeiten an ASDEX Upgrade und seinem Vorgänger ASDEX legten die Grundlagen für den Experimentalreaktor ITER.



Blick in das Plasma von
ASDEX Upgrade

Der Tokamak ASDEX
Upgrade:
das Plasmagefäß



Stellaratoren



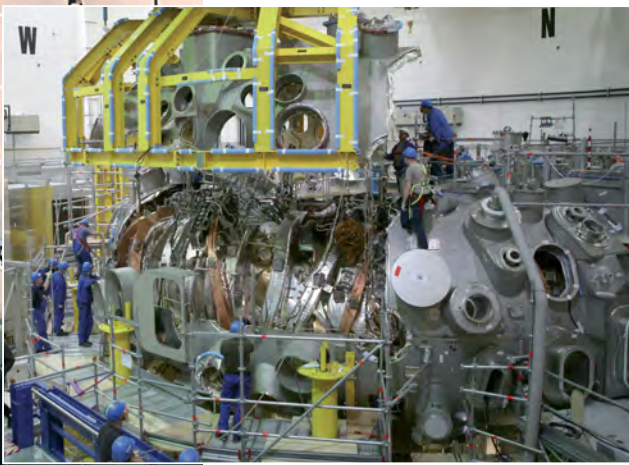
Plasmakammer von Wendelstein 7-X

Das Experiment Wendelstein 7-A konnte das Stellaratorprinzip 1980 weltweit zum ersten Mal mit einem heißen Plasma demonstrieren. Hierauf aufbauend betrieb das IPP in Garching von 1988 bis 2002 den „Advanced Stellarator“ Wendelstein 7-AS mit verbessertem Magnetfeld. Seine 45 dreidimensional verformten Spulen erprobten erstmals auch den modularen Aufbau des Spulen Kranzes. Wendelstein 7-AS konnte die zugrunde gelegten Optimierungsprinzipien bestätigen und hat alle Stellarator-Rekorde in seiner Größenklasse gebrochen.

Parallel zum Betrieb der Anlage liefen die numerischen und theoretischen Stellaratorstudien weiter. Ergebnis sind die Pläne für den Nach-

folger Wendelstein 7-X, dessen Magnetfeld entsprechend den Kraftwerkserfordernissen optimiert wurde.

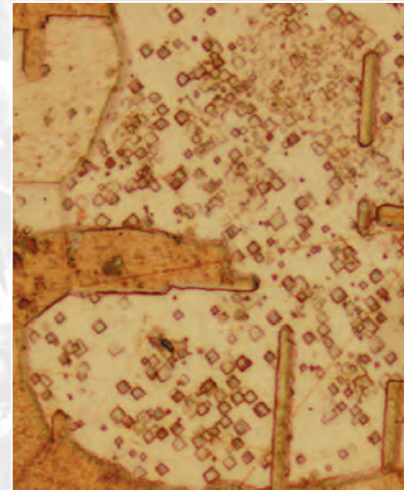
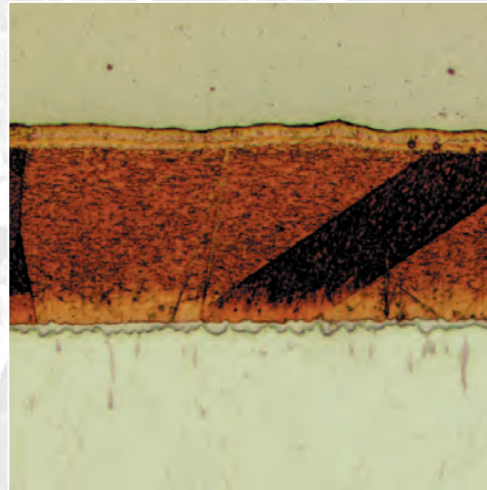
Die Anlage wird gegenwärtig im IPP-Teilinstitut Greifswald aufgebaut. Die Mikrowellenheizung für Wendelstein 7-X wird das Forschungszentrum Karlsruhe bereitstellen, das Forschungszentrum Jülich beteiligt sich unter anderem an der Diagnostikentwicklung. Mit 50 nicht-ebenen und supraleitenden Magnetspulen will Wendelstein 7-X die wesentliche Stellaratoreigenschaft zeigen, den Dauerbetrieb. Die Anlage soll die Kraftwerkstauglichkeit der neuen Stellaratoren demonstrieren, ohne bereits ein Energie lieferndes Plasma herzustellen. Letzteres soll der internationale Tokamak-Testreaktor ITER untersuchen.



Montage von Wendelstein 7-X

Oberflächenphysik

6



Die starken Belastungen, denen die innere Oberfläche des Plasmagefäßes ausgesetzt ist, werden im IPP im Detail untersucht. Zum Beispiel können energiereiche Plasmateilchen aus den Gefäßwänden Partikel herausschlagen, die das Plasma verunreinigen. Dabei kann zudem das Wandmaterial erodieren und seine Eigenschaften ändern. Schließlich kann an der Wand abgelagerter Wasserstoff als kaltes Gas in das Plas-

ma zurückströmen und es abkühlen.

Auch neue Baustoffe für Fusionsanlagen werden im IPP entwickelt und unter Plasmabelastung getestet. Für besonders beanspruchte Stellen wird an Materialien und Beschichtungen gearbeitet, die – wie etwa mit Wolfram-Draht verstärkte Wolfram-Komposite – hitzebeständig sind, wärmeleitfähig und widerstandsfähig gegen Erosion.

Kupfergefuge –
Materialuntersuchung für
Wendelstein 7-X

Bild im Hintergrund:
Probe aus kohlefaser-
verstärktem Kohlenstoff

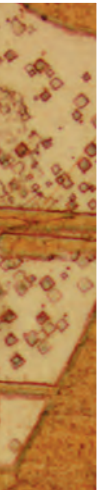
100µm

1

91

792

Plasmaheizung



Auch die Geräte für die Plasmaheizung, die an den Fusionsanlagen eingesetzt werden, werden im IPP entwickelt. Die Heizung des Plasmas auf viele Millionen Grad wird durch den Einschuss energiereicher neutraler Wasserstoffatome erreicht. Injektoren mit einigen Megawatt Leistung schießen dazu neutrale Wasserstoffteilchen in das Plasma, wo sie ihre Energie durch Stöße weitergeben. Ebenso werden Hochfrequenzwellen zur Heizung benutzt: Sendeantennen am Plasmarand oder Wellenleiter strahlen bei bevorzugten Frequenzen große Energiemengen in das Plasma.

Wellenleiter für die Hochfrequenzheizung des Plasmas im Fusionsexperiment ASDEX Upgrade

Theorie

Um experimentelle Ergebnisse auszuwerten und Folgerungen daraus ziehen zu können, sind theoretische Untersuchungen unerlässlich. Die Simulation plasmaphysikalischer Vorgänge mit dem Computer steht dabei im Vordergrund: In den Theorie-Bereichen des IPP in Garching und Greifswald untersuchen und berechnen Physiker die Bewegung der Plasmateilchen im Magnetfeld und ihr Einschlussverhalten, Gleichgewichtszustände der heißen Plasmen, die Entstehung von Instabilitäten oder auch neuartige Magnetfeldspulen.

Mit dem Computer simuliert:
Instabilitäten
und Turbulenzen
im Plasma



Zusammenarbeit mit Hochschulen

Wesentliche Teile der Mikrowellenheizung für das Experiment Wendelstein 7-X werden an der Universität Stuttgart entwickelt. Insbesondere die Fertigung der Übertragungsleitungen wird hier geplant und überwacht. Zusammen mit der Universität Augsburg läuft die Entwicklung einer Ionenquelle für die Heizung des ITER-Plasmas. Gemeinsame Berufungen verbinden das IPP mit der Universität Greifswald sowie den Technischen Universitäten in Berlin und München. Darüber hinaus tragen IPP-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler an acht weiteren Hochschulen als Professoren oder Lehrbeauftragte zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses bei.

Simulation einer Instabilität
für ein Stellaratorplasma

Rechenzentrum Garching

Zum Berechnen der Magnetfelder, zur numerischen Simulation des Plas-maverhaltens oder zum schnellen Erfassen und Auswerten der umfangreichen Messdaten sind leistungsfähige Rechnersysteme erforderlich. Hierzu betreibt das IPP zusammen mit der Max-Planck-Gesellschaft in Garching ein gemeinsames Rechenzentrum. Den Nutzern stehen Supercomputer vom Typ IBM p575 (Power 6) und BlueGene/P sowie umfangreiche Linux-Cluster zur Verfügung, ergänzt durch große Massenspeicher.

Technische Einrichtungen

Für den Aufbau und den Betrieb der Plasmaexperimente in Garching und Greifswald können die Projekte eine Reihe von technischen Einrichtungen in Anspruch nehmen: Laboratorien für Elektronik, Materialuntersuchungen, Hochspannungs- und Vakuumtechnik, Konstruktionsbüros und Werkstätten für Galvanik sowie für mechanische, elektrische und elektronische Fertigung und Gebäudetechnik.

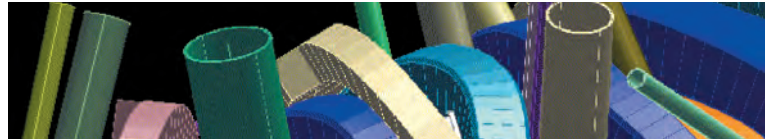
Energie- versorgung

Die elektrische Energie für das Großexperiment ASDEX Upgrade in Garching liefern große Schwungradgeneratoren, deren größter mit einer 230 Tonnen schweren Schwungrad-masse für etwa zehn Sekunden eine Leistung von 150 Megawatt liefert. Wendelstein 7-X in Greifswald wird für die geplanten Langzeitexperimente direkt über das Hochspannungsnetz versorgt werden.

Schwunradgenerator
in Garching



Entwicklung und Organisation



Das IPP wurde 1960 als „Institut für Plasmaphysik GmbH“ gegründet. Gesellschafter waren die Max-Planck-Gesellschaft und Professor Werner Heisenberg. 1971 wurde das IPP in das „Max-Planck-Institut für Plasmaphysik“ überführt. Von 1992 bis 2003 wurde der Bereich Plasmadiagnostik in Berlin betrieben, 1994 das Teilinstitut Greifswald gegründet.

Die Forschungsarbeiten des IPP sind seit 1961 in ein europäisches Gesamtprogramm zur Kernfusion eingebettet, das durch die Europäische Atomgemeinschaft Euratom koordiniert wird. Das Institut ist ebenso assoziiertes Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Finanzierungsträger des IPP sind der Bund, die Länder Bayern und Mecklenburg-Vorpommern sowie die Europäische Union. Die Zuwendungen betragen 2012 rund 120 Millionen Euro. Mit rund 1100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern – davon et-

wa 400 in Greifswald – ist das IPP eines der größten Zentren für Fusionsforschung in Europa.

Das Forschungsprogramm des Instituts wird von der Wissenschaftlichen Leitung festgelegt: Prof. Dr. Sibylle Günter (Vorsitzende); Prof. Dr. Per Hellander; Prof. Dr. Thomas Klinger; Prof. Dr. Eric Sonnendrücker; Prof. Dr. Thomas Sunn Pedersen; Prof. Dr. Ulrich Stroth; Prof. Dr. Robert Wolf und Prof. Dr. Hartmut Zohm.

Das Direktorium vertritt das Institut nach innen und außen: Prof. Dr. Sibylle Günter (Wissenschaftliche Direktorin), Prof. Dr. Thomas Klinger und Prof. Dr. Hartmut Zohm für den wissenschaftlichen Bereich sowie Ass. jur. Christina Wenninger-Mrozek als Geschäftsführerin.

Aus den Konstruktionsbüros
des IPP: Entwurf für Wendelstein 7-X

Besuchen Sie uns!

11

Besucher sind nach vorheriger Terminabsprache im IPP in Garching und Greifswald herzlich willkommen. Es sind sowohl Gruppenführungen möglich als auch Besuche von Einzelpersonen, die sich einer Gruppe anschließen. Bitte melden Sie Ihren Besuchswunsch möglichst frühzeitig an.

Die Führungen durch das IPP in Garching beginnen mit einem Film oder Vortrag über die Grundlagen der Fusionsforschung. Der anschließende Rundgang führt zu der Fusionsanlage ASDEX Upgrade und zu den Generatoren, die das Experiment mit Strom versorgen.

Anmeldung bei:

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
Besucher-Service
Boltzmannstraße 2
D-85748 Garching

Tel.: 089/3299-2233

Fax: 089/3299-2622

E-Mail: besucher.garching@ipp.mpg.de



Das Besucherzentrum in Garching

Während einer Führung durch das IPP-Teilinstitut Greifswald ist nach einem Einführungsvortrag zu Kernfusion und Projekt Wendelstein 7-X die Montagehalle zu besichtigen, in der die große Fusionsanlage Wendelstein 7-X aufgebaut wird, außerdem Technik und Werkstätten.

Anmeldung bei:

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
Teilinstitut Greifswald
Besucher-Service
Wendelsteinstraße 1
D-17491 Greifswald

Tel.: 03834/88-2614

Fax: 03834/88-2009

E-Mail: besucher.greifswald@ipp.mpg.de

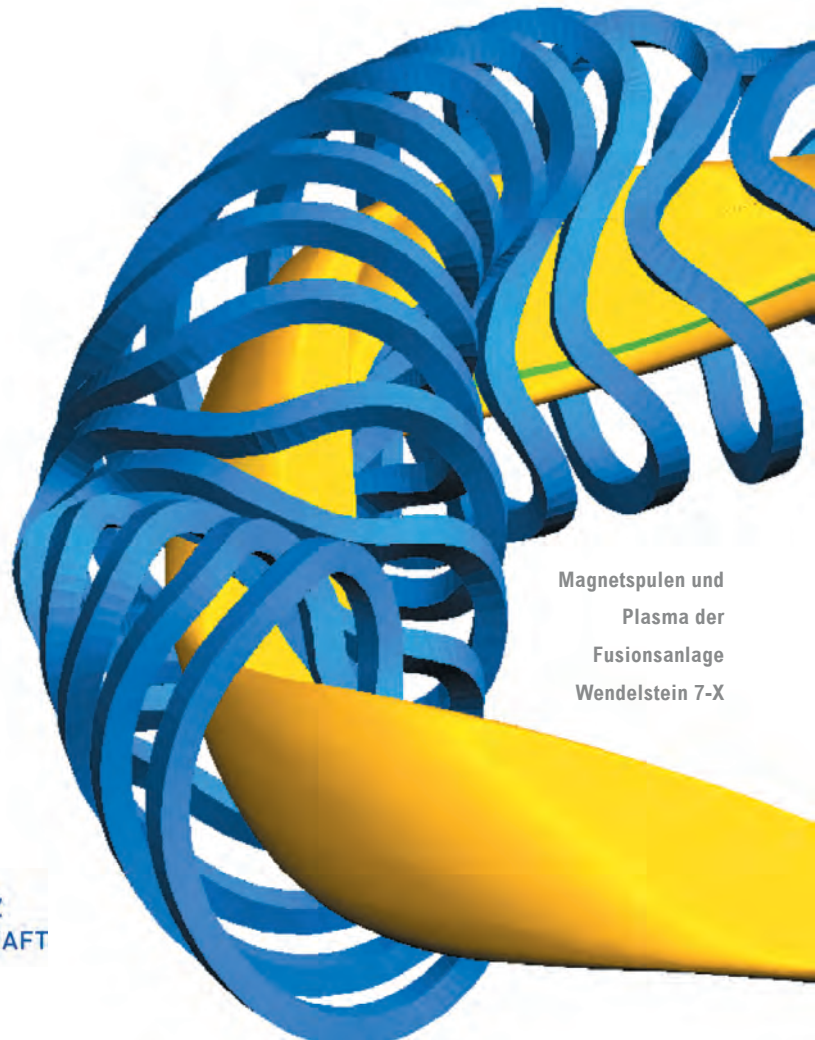
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

Boltzmannstraße 2
D-85748 Garching
Tel. 0 89 / 32 99 - 01

Teilinstitut Greifswald
Wendelsteinstraße 1
D-17491 Greifswald
Tel. 0 38 34 / 88 - 10 00

www.ipp.mpg.de
info@ipp.mpg.de

Das Max-Planck-Institut für Plasma-
physik ist dem Europäischen Fusions-
programm und der Helmholtz-Gemein-
schaft Deutscher Forschungszentren
assoziiert.



Magnetspulen und
Plasma der
Fusionsanlage
Wendelstein 7-X



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

