

Nuklearforum Schweiz
Postfach 1021
3000 Bern 14

Telefon 031 560 36 50
Telefax 031 560 36 59
info@nuklearforum.ch
www.nuklearforum.ch

Kernfusion – eine Energieoption für die Zukunft

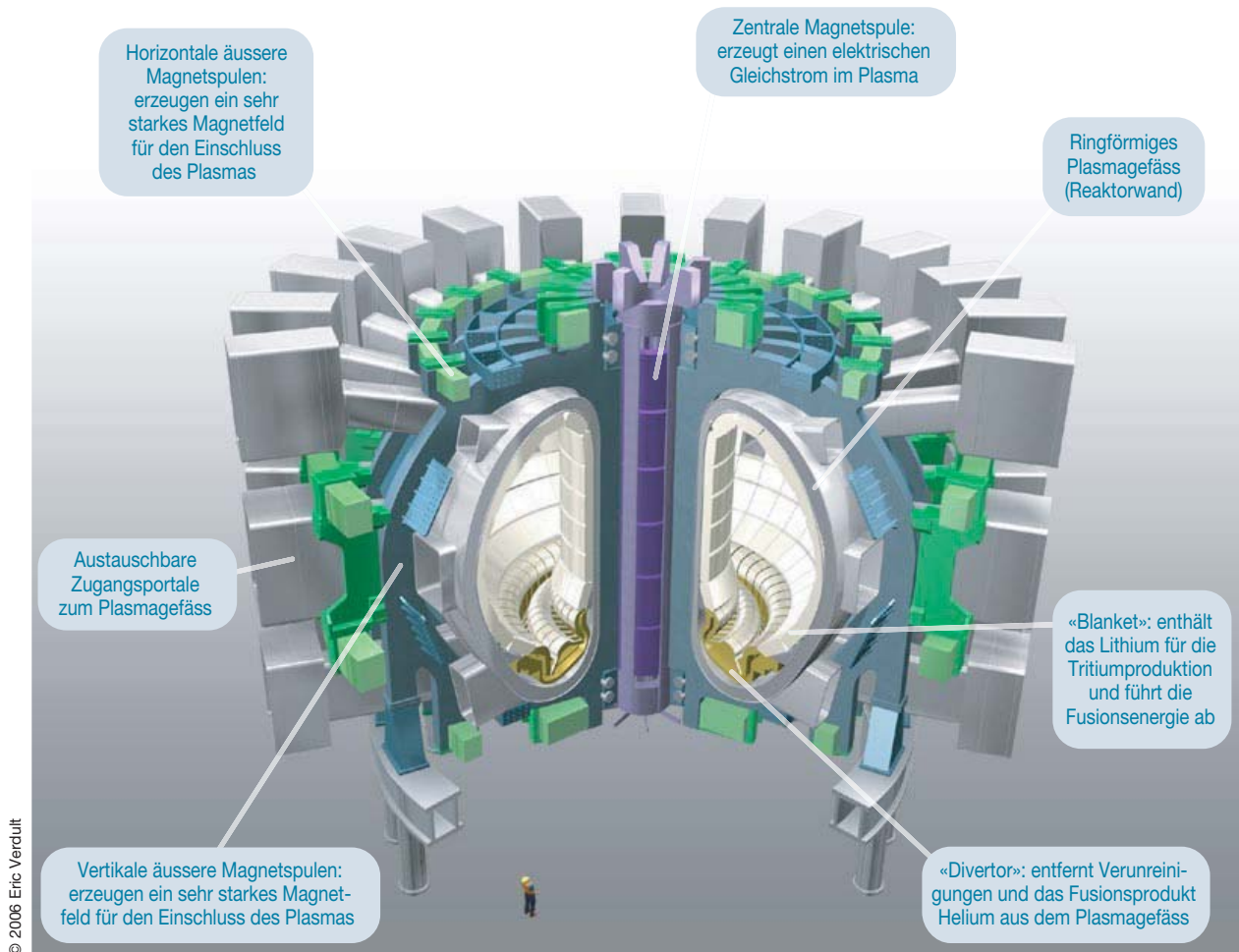
Die Kernfusion ist die Energiequelle der Sonne und der Sterne. Gelingt es, die Fusionsenergie auch auf der Erde in kommerziellen Kraftwerken zu nutzen, steht der Menschheit eine praktisch unerschöpfliche und umweltfreundliche Energiequelle zur Verfügung. Um die damit verbundenen grossen technischen Herausforderungen zu bewältigen, haben Europa, China, Indien, Japan, Russland, Südkorea und die USA beschlossen, gemeinsam in Südfrankreich den Internationalen Thermonuklearen Experimentalreaktor (ITER) zu bauen. Mit dieser Grossanlage soll die wissenschaftliche und technische Machbarkeit eines Fusionskraftwerks gezeigt werden. Parallel dazu wird in Greifswald an der deutschen Ostseeküste ein alternatives technisches Konzept geprüft.

Unerschöpfliche Energiequelle

Die Kernfusionstechnik, das Verschmelzen von Atomkernen, hat in den vergangenen Jahrzehnten grosse Fortschritte gemacht. Triebfeder für die weltweite Forschung sind die enormen Energiemengen, die bei der Kernfusion freigesetzt werden. Fusionskraftwerke belasten wie die herkömmlichen, auf der Kernspaltung basierenden Kernkraftwerke die Umwelt nur sehr gering und produzieren keine Treibhausgase. Ein schwerer Unfall mit relevanter Freisetzung von Radioaktivität kann nach heutigem Wissen ausgeschlossen werden. Zudem erzeugt der Fusionsprozess selbst keine radioaktiven Brennstoffabfälle. Beim Betrieb werden einzig die Systemkomponenten im Reaktorinnenraum radioaktiv. Hundert Jahre nach Betriebsende sind diese Komponenten entweder nicht mehr radioaktiv, oder sie sind rezyklierbar.

Ein wesentlicher Vorteil der Kernfusion liegt darin, dass die dafür nötigen Brennstoffe auf der Erde in praktisch unerschöpflicher Menge vorhanden sind. Die Kernfusion kann damit zum entscheidenden Schlüssel für den Aufbau einer Energieversorgung werden, die der Menschheit in Zukunft als Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung dienen kann.





Grosse technische Herausforderung: Schnittzeichnung des Experimentalreaktors Iter mit den wichtigsten Komponenten.

Unter allen möglichen Fusionsreaktionen bietet auf der Erde das Verschmelzen von sogenanntem «schwerem» Wasserstoff (Deuterium und Tritium) zum Edelgas Helium die günstigsten Voraussetzungen. Die grosse technische Herausforderung besteht darin, dass auf der Erde das Fusionsfeuer wegen der sich abstossenden Kräfte der positiv geladenen Atomkerne erst bei Temperaturen von über 100 Millionen Grad zündet.

Bei diesen enormen Temperaturen trennen sich die Elektronen von den Atomkernen – das Gas liegt als Plasma vor. Weil das Plasma elektrisch leitend ist, lässt es sich durch magnetische Felder beeinflussen. Diese Eigenschaft macht man sich im Fusionsreaktor zu Nutze, indem das heisse Plasma in einem Käfig aus Magnetfeldern eingeschlossen und so von den Reaktorwänden ferngehalten wird.

Dass dies im Prinzip funktioniert, wurde am eindrücklichsten in der europäischen Gemeinschaftsanlage JET (Joint European Torus) in Culham in Grossbritannien nachgewiesen. 1997 gelang es dort, kurzzeitig eine Fusionsleistung

von 16 Megawatt zu erreichen. Das entspricht mehr als der Hälfte der Leistung, die während längerer Zeit benötigt wird, um das Plasma in diesen Zustand zu bringen.

Iter – die nächste Etappe zum Fernziel

Für einen Netto-Energiegewinn ist JET jedoch zu klein. Als nächster Schritt wird deshalb gegenwärtig der deutlich grössere Experimentalreaktor Iter (lateinisch «der Weg») gebaut. Er soll zunächst während mehr als fünf Minuten eine Fusionsleistung von 500 Megawatt erzeugen – zehnmal mehr, als zur Aufheizung des Plasmas benötigt wird.

Die Wissenschaftler hoffen jedoch, im Laufe des Betriebs von Iter die Fusionsleistung soweit zu steigern, dass die Bedingungen eines Leistungsreaktors erreicht werden. Dieser Zustand tritt ein, wenn die freigesetzte Fusionsenergie dreissig bis vierzig Mal grösser ist als die zugeführte Heizenergie. Mit dem Betrieb von Iter

soll nachgewiesen werden, dass Fusionskraftwerke aus wissenschaftlicher und technischer Sicht machbar sind.

Politischer Durchbruch im Sommer 2005

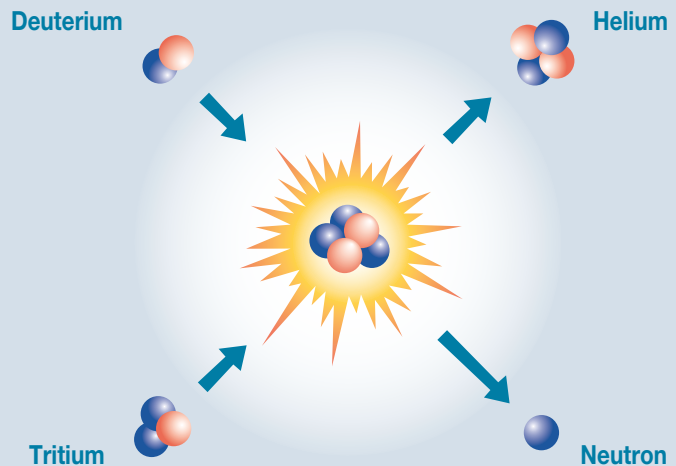
Das Iter-Projekt ist ab 1988 in Zusammenarbeit von europäischen, amerikanischen, japanischen und russischen Forschern entwickelt worden. Im Juli 2001 waren die Baupläne fertiggestellt. Nach langwierigem politischem Tauziehen um den Standort von Iter einigten sich am 28. Juni 2005 die damaligen sechs Partner – die europäische Atomgemeinschaft Euratom, China, Japan, Russland, Südkorea und die USA – auf Cadarache in Südfrankreich. Ende 2005 trat Indien als siebenter Partner dem Iter-Projekt bei. Am 21. November 2006 sind die Iter-Verträge im Beisein des französischen Präsidenten Jacques Chirac unterzeichnet worden.

Die Kosten für den Bau von Iter werden auf rund 5 Milliarden Euro geschätzt. Davon übernehmen die EU und das Standortland Frankreich die Hälfte, während die andere Hälfte auf die übrigen Partner verteilt ist. Für den anschließenden Betrieb rechnet man mit weiteren 5 Milliarden Euro, so dass das gesamte Projekt rund 10 Milliarden Euro kosten dürfte, verteilt auf 30 Jahre (10 Jahre Bauzeit und 20 Jahre Betriebszeit).

Gemäss Zeitplan soll 2007 mit dem Bau von Iter begonnen werden, so dass die Anlage etwa 2017 den Betrieb aufnehmen kann. Erfüllt Iter die in ihn gesetzten Erwartungen, sollen zwischen 2035 und 2040 ein oder mehrere Demonstrationsreaktoren gebaut werden, die erstmals Strom in nennenswerter Menge produzieren. Ab der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wäre dann die Zeit reif für den Bau der ersten kommerziellen Fusionskraftwerke.

Schweizer Beteiligung

Mit der Gründung von Euratom im Jahre 1957 wurde der Grundstein zur Koordination der europaweiten Fusionsforschung gelegt. Auf Grund eines unbefristeten Kooperationsabkommens beteiligt sich die Schweiz seit 1979 an den Europäischen Forschungsanstrengungen im Bereich der Kernfusion. Über diverse Ausführungsabkommen ist die Schweiz als



Aus schwerem Wasserstoff wird Helium

Bei der Kernfusion werden zwei leichte Atomkerne zu einem schwereren verschmolzen. Dies gelingt am einfachsten mit der Fusion der beiden Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium. Während der Kern des normalen Wasserstoffs nur aus einem Proton besteht, enthält der Deuteriumkern zusätzlich ein Neutron, der Tritiumkern zusätzlich zwei Neutronen. Wenn sie miteinander verschmelzen, entsteht das für Mensch und Umwelt gefahrlose Edelgas Helium sowie ein Neutron mit hoher Energie.

Aus dem Fusionsprozess entsteht im Reaktor Wärme, mit der sich wie bei den herkömmlichen Kernkraftwerken Wasserdampf erzeugen lässt, der die Turbinen und Generatoren für die Stromproduktion antreibt. Unter den am Fusionsprozess beteiligten Atomkernen ist einzig das Tritium radioaktiv. Es entsteht erst im Reaktor und wird laufend in nicht-radioaktives Helium umgewandelt. Die freigesetzten energiereichen Neutronen aktivieren jedoch mit der Zeit die Strukturmaterialien im Reaktor. Hundert Jahre nach Betriebsende sind diese Materialien nicht mehr radioaktiv, oder sie können rezykliert werden. Ein geologisches Tiefenlager ist nicht nötig.

Ein kleiner Lastwagen mit Brennstoff pro Jahr

In jedem Kubikmeter Wasser befinden sich rund 35 Gramm Deuterium. Tritium kommt hingegen in der Natur kaum vor. Es kann jedoch im Fusionskraftwerk mit Hilfe der freigesetzten Neutronen aus dem Element Lithium «erbrütet» werden. Lithium ist eines der häufigsten Leichtmetalle in der Erdkruste und nicht auf lokale Vorkommen begrenzt. Damit ist der Fusionsbrennstoff in praktisch unerschöpflicher Menge vorhanden: Um ein Fusionskraftwerk von der Grösse eines herkömmlichen 1000-Megawatt-Kernkraftwerks ein Jahr lang zu betreiben, sind nur rund 100 Kilogramm Deuterium und einige Tonnen Lithium nötig. Mit dieser winzigen Materialmenge, die in einem kleinen Lastwagen Platz findet, liesse sich der jährliche Stromverbrauch von rund einer Million Menschen decken. Ein herkömmliches Kohlekraftwerk benötigt für die Erzeugung der gleichen Strommenge dagegen rund 1'500'000 Tonnen Kohle pro Jahr.

Websites zum Thema

Offizielle Website des Iter-Projekts (auf Englisch):
www.iter.org

Europ. Abkommen zur Entwicklung der Fusionsforschung (auf Englisch, teilweise auf Deutsch):
www.efda.org

Staatssekretariat für Bildung und Forschung:
www.sbf.admin.ch,
Links «Internationale Zusammenarbeit»
→ «Kernfusion»

Forschungszentrum für Plasmaphysik der ETH Lausanne (auf Englisch, teilweise auf Deutsch):
crppwww.epfl.ch

Auftragsvergaben an die Schweizer Industrie (auf Englisch):
www.iter-industry.ch

Informationen des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik zu «Iter» und «Wendelstein 7-X» (Deutsch und Englisch):
www.ipp.mpg.de

Partner eingebunden, wobei ihre Rechte und Pflichten denen der Euratom-Mitglieder entsprechen. Das Staatssekretariat für Bildung und Forschung vertritt die Schweiz in den leitenden Ausschüssen des europäischen Fusionsprogramms.

Hauptakteur auf nationaler Ebene ist das «Centre de Recherches en Physique des Plasmas» (CRPP) der ETH Lausanne, das mit zwei Forschungsgruppen auch am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen (Kanton Aargau) tätig ist. Zudem beteiligt sich die Universität Basel an der Fusionsforschung. Schliesslich profitiert auch die Schweizer Industrie durch Auftragsvergaben und den allgemeinen Technologietransfer. In den vergangenen Jahren investierte der Bund jährlich rund 22 Millionen Franken in die Fusionsforschung.

Seit 1992 betreibt das CRPP auf dem Gelände der ETH Lausanne eine Fusionsanlage vom Typ Tokamak (siehe Kasten), mit dem das Verhalten und die Steuerung des Plasmas untersucht wird. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist der Einsatz von elektromagnetischen Wellen von sehr hoher Frequenz zur kontinuierlichen Aufheizung des Plasmas – ebenfalls ein wichtiger Beitrag an das Iter-Projekt.

Am PSI befassen sich die zwei Gruppen des CRPP mit der Entwicklung nur schwach aktivierbarer Materialien für den Bau der Reaktorwände und mit supraleitenden Kabeln für Iter. Das CRPP verfügt dort über die weltweit grösste Supraleiter-Testanlage, in der Leiterproben aus aller Welt geprüft werden. An der Universität Basel schliesslich untersucht eine Forschungsgruppe Oberflächenphänomene bei Materialien, die im Tokamak des CRPP und im JET dem Plasma ausgesetzt waren.

Innovative Nebenprodukte

Ein Merkmal des europäischen Fusionsprogramms ist der ständige Wissensaustausch zwischen Hochschulforschung und Industrie. Die Industrie der beteiligten Länder profitiert dabei nicht nur von Aufträgen beim Bau von Iter. Das Fusionsprogramm stimuliert zudem die Entwicklung von Spitzentechnologien und neuartigen Materialien, die auch in kommerziellen Bereichen zum Einsatz kommen können – von der Medizin über die allgemeine Energietechnik und die Raumfahrt bis hin zur Abfallwirtschaft.

Tokamak und Stellarator

JET und Iter sind Fusionsanlagen vom Typ «Tokamak», eine Bauart, die von russischen Physikern ausgedacht wurde und international am weitesten verbreitet ist. In einem Tokamak wird der Magnetfeldkäfig zum einen Teil durch äussere Magnetspulen aufgebaut,

die ein ringförmiges Plasmagefäss umschliessen. Der andere Teil des Magnetfelds wird von einem Gleichstrom erzeugt, der im Plasma fliesst und pulsweise von einem Transformator geliefert wird. Deswegen arbeitet ein Tokamak nicht kontinuierlich. Da ein Kraftwerk aus technischen Gründen nicht stossweise betrieben werden sollte, hofft man, in einer späteren Entwicklungsphase den Gleichstrom kontinuierlich aufrecht erhalten zu können – unter anderem mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen, einer der Spezialitäten des CRPP in Lausanne.

Im Unterschied zu Tokamak können die sogenannten «Stellaratoren» ohne Zusatzmassnahmen im Dauerbetrieb arbeiten. Bei dieser Bauart wird das Magnetfeld im

ebenfalls ringförmigen Plasmagefäss ausschliesslich durch äussere Magnetspulen erzeugt. Diese Spulen haben allerdings eine viel komplexere Form als jene eines Tokamak.

Um parallel zu Iter die Kraftwerkseignung des Stellarator-Konzepts zu demonstrieren, hat das deutsche Max-Planck-Institut für Plasmaphysik im Frühjahr 2005 in Greifswald an der Ostsee mit der Montage von «Wendelstein 7-X» begonnen, der im Jahr 2010 in Betrieb genommen werden soll. Dieser nach seiner Fertigstellung weltweit grösste Stellarator soll mit 30 Minuten langen Entladungen seine wesentlichste Eigenschaft – den Dauerbetrieb – vorführen.

**Komplexe Form:
Magnetspule für
den Stellarator**



Bild: Max-Planck-Institut für Plasmaphysik