



Strom aus Kernfusion: Option für die Zukunft

Die Kernfusion ist die Energiequelle der Sonne und der Sterne. Wenn sie eines Tages in kommerziellen Kraftwerken nutzbar sein wird, steht der Menschheit eine praktisch unerschöpfliche, sichere und umweltfreundliche Energiequelle zur Verfügung. Um die 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 Machbarkeit eines Fusionskraftwerks gezeigt werden. Parallel dazu wird in Greifswald an der deutschen Ostseeküste ein alternatives Konzept geprüft.

Die Kernfusionstechnik, das Verschmelzen von Atomkernen, hat in den letzten 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 gering und produzieren keine Treibhausgase. Ein schwerer Unfall mit relevanter Freisetzung von radioaktiven Stoffen kann nach heutigem Wissen ausgeschlossen werden. Zudem erzeugt der Fusionsprozess selbst keine radioaktiven Brennstoffabfälle. Während des Betriebs werden einzig die Systemkomponenten im Reaktorinnenraum radioaktiv.

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.

Fusion von schwerem Wasserstoff

Unter allen möglichen Fusionsreaktionen bietet das Verschmelzen von «schwerem» Wasserstoff (Deuterium und Tritium) zum Edelgas Helium die günstigsten Voraussetzungen. Die grosse technische Herausforderung besteht darin, dass die Kernfusion erst in der Nähe von 100 Millionen Grad möglich ist, da zuvor die starken Abstossungskräfte zwischen den positiv geladenen Atomkernen überwunden werden müssen.

Die Energiequelle der Sonne auf der Erde nutzen: Der Fusionsreaktor Iter steht derzeit im Bau – Montage der Einlässe für das Heliumgas.

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 gefährlose Edelgas Helium sowie ein Neutron mit hoher Energie. Dieser Fusionsprozess setzt im Reaktor Wärme frei, mit der sich wie bei 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, mit einer Halbwertszeit von zwölf Jahren. Tritium kommt in der Natur fast nicht vor. Es entsteht im Reaktor aus Lithium und wird laufend in nicht radioaktives Helium umgewandelt. Die bei der Fusion 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 Kernbrennstoff 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 riesigen Mengen 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 fände, liesse sich der jährliche Stromverbrauch von rund einer Million Menschen decken. Ein Kohlekraftwerk benötigt für die Erzeugung der gleichen Strommenge rund 1'500'000 Tonnen Kohle pro Jahr.

Bei diesen enormen Temperaturen trennen sich die Elektronen von den Atomkernen, die dadurch ionisiert werden – das Gas liegt als sogenanntes 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.

Iter – die nächste Etappe

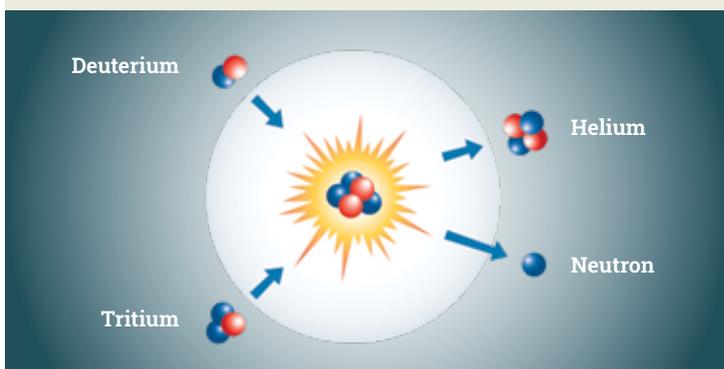
Dass dies im Prinzip funktioniert, ist am eindrucklichsten in der europäischen Gemeinschaftsanlage JET (Joint European Torus) in Culham in Grossbritannien nachgewiesen worden. 1997 gelang es dort, kurzzeitig eine Fusionsleistung von 16 Megawatt zu erreichen. Das entspricht mehr als der Hälfte der Leistung, die während längerer Zeit benötigt wird, um das Plasma in diesen Zustand zu bringen.

Für einen Netto-Energiegewinn ist der JET jedoch zu klein. Als nächster Schritt wird deshalb gegenwärtig der deutlich grössere Experimentalreaktor Iter (lateinisch «der Weg») gebaut. Mit dem Iter soll nachgewiesen werden, dass Fusionskraftwerke sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus technischer Sicht machbar sind. Dabei soll die vom Plasma freigesetzte Fusionsenergie zehnmal höher sein, als zum Erhalt der nötigen Temperatur zugeführt werden muss. Die Wissenschaftler hoffen jedoch, diesen Faktor in der auf Iter nachfolgenden Entwicklungsetappe auf das Dreissig- bis Vierzigfache zu steigern, sodass die elektrische Gesamtbilanz dann deutlich positiv wäre.

Politischer Durchbruch im Jahr 2005

Das Iter-Projekt ist ab 1988 in Zusammenarbeit von europäischen, amerikanischen, japanischen und russischen Forschern entwickelt worden. Nach langwierigem politischem Tauziehen um den Standort von Iter einigten sich die damaligen sechs Partner – die europäische Atomgemeinschaft Euratom, China, Japan, Russland, Südkorea und die USA – schliesslich auf Cadarache in Südfrankreich. Ende 2005 trat Indien als siebenter Partner dem Iter-Projekt bei. Damit wird Iter von mehr als der Hälfte der Weltbevölkerung finanziert. Die Kosten für den Bau von Iter sind in den letzten Jahren angestiegen und werden derzeit auf rund 15 Milliarden Euro geschätzt. Davon übernimmt Europa fast die Hälfte, während sich die übrigen sechs Partner die Restsumme gleichmässig teilen.

Zum Vergleich: Ein Mehrfaches dieser Summe wird heute jedes Jahr allein für die Suche



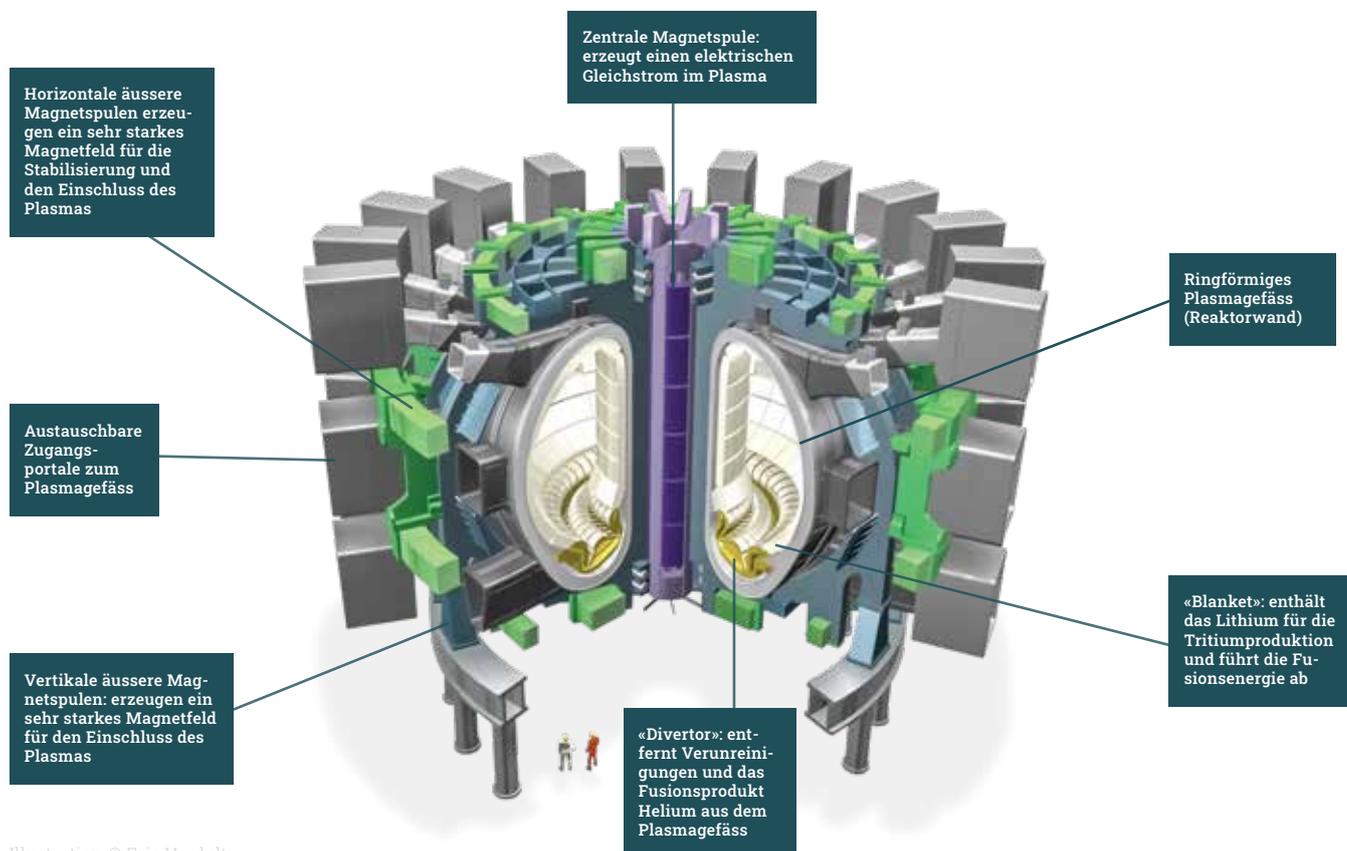


Illustration © Eric Verdult

und Gewinnung von Energierohstoffen wie Erdöl oder Erdgas ausgegeben.

Ab 2035 wird es ernst

Nach umfangreichen Vorbereitungsarbeiten hat der Bau des ITER-Reaktorgebäudes im Sommer 2013 begonnen. Der Zusammenbau des Reaktors dürfte 2025 vollendet sein, wenn auch das erste Plasma erzeugt werden soll. Die Komponenten werden aus den Partnerländern angeliefert – angesichts der nötigen Absprachen und der verlangten Präzision ein enorm anspruchsvolles Unterfangen.

Gemäss Zeitplan sollen in einer ersten Phase umfangreiche Tests durchgeführt werden – zunächst nur mit Wasserstoff oder Helium, um keine Neutronen zu produzieren. Versuche mit Deuterium und Tritium sind ab 2035 vorgesehen. Anschliessend soll eine Demonstrationsanlage gebaut werden. Gemäss diesem Zeitplan wäre ab Mitte des Jahrhunderts die Zeit reif für kommerzielle Fusionskraftwerke – es sei denn, das Tempo wird durch politische Entscheide beschleunigt.

Schweizer Beteiligung

Mit der Gründung von Euratom im Jahr 1957 wurde der Grundstein zur Koordination der europaweiten Fusionsforschung gelegt. Über ein unbefristetes Kooperationsabkommen beteiligt sich die Schweiz seit 1978 an der europäischen Fusionsforschung, wobei ihre Rechte und

Pflichten denen der Euratom-Mitglieder entsprechen. Das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation vertritt – zusammen mit dem «Swiss Plasma Center» (SPC) der ETH Lausanne – die Schweiz in den leitenden Ausschüssen des Euratom-Programms.

Hauptakteur auf nationaler Ebene ist das SPC, das mit einer Forschungsgruppe 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 20 bis 25 Millionen Franken in die Fusionsforschung in der Schweiz. Das ist etwas mehr als für die Forschung in der Schweiz. Das ist etwas mehr als für die Forschung im Bereich der Kernspaltung, aber deutlich weniger als für die erneuerbaren Energien und die Energieeffizienz. Die Schweizer Beteiligung an der Fusionsforschung bleibt auch bei einem Atomausstieg der Schweiz erhalten.

Tokamak in Lausanne

Für die europäische Fusionsforschung ist heute, wie zuvor Euratom, das 2014 im Rahmen von «Horizon 2020» gegründete Konsortium «EUROfusion» zuständig. Parallel zum Bau von ITER hat EUROfusion zur Beantwortung spezifischer Forschungsfragen drei Tokamaks

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

Weiterführende Informationen

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

Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI): www.sbfli.admin.ch
 → Forschung und Innovation
 → Int. Forschungsinfrastrukturen
 → ITER / Fusion for Energy

Swiss Plasma Center, EPF Lausanne (franz./engl.): <http://spc.epfl.ch>

Auftragsvergaben an die Schweizer Industrie (engl.): www.swissilo.ch
 → Research organisations
 → Iter

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (deutsch/engl.): www.ipp.mpg.de

mittlerer Grösse (siehe Kasten) ausgewählt: den Tokamak auf dem Gelände der ETH Lausanne, jenem des Culham Centre for Fusion Energy in Grossbritannien sowie jenem des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik in Garching bei München.

Mit dem in Lausanne seit 1992 in Betrieb stehenden Tokamak untersucht das SPC den Einfluss der Form auf das Verhalten des Plasmas. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Steuerung des Plasmas sowie der Einsatz von hochfrequenten elektromagnetischen Wellen zum kontinuierlichen Aufheizen des Plasmas – ebenfalls wichtige Beiträge an Iter.

Am PSI verfügt die Gruppe des SPC über die weltweit grösste Supraleiter-Testanlage. Sie prüft Proben von supraleitenden Kabeln aus aller Welt, die für Iter bestimmt sind. An der Universität Basel untersucht eine Forschungsgruppe Phänomene in und auf Materialien, die im Tokamak des SPC und im JET dem Plasma ausgesetzt waren.

Ein Merkmal des europäischen Fusionsprogramms ist der Wissensaustausch zwischen Hochschulforschung und der Industrie der beteiligten Länder. Die Industrie profitiert dabei nicht nur von Aufträgen beim Bau von Iter. Das Fusionsprogramm stimuliert auch die Entwicklung von Spitzentechnologien und neuartigen Materialien für kommerzielle Anwendungen.



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 zu einem Teil durch äussere Magnetspulen aufgebaut, die ein ringförmiges Plasmagefäss umschliessen. Der andere Teil des Magnetfeldes wird von einem Gleichstrom erzeugt, der im Plasma fliesst und 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 aufrechterhalten zu können – unter anderem mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen, einer der Spezialitäten des SPC in Lausanne.

Im Unterschied zu Tokamaks

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 zum Iter-Projekt die Kraftwerkseignung des Stellarator-Konzepts zu demonstrieren, hat das deutsche Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Greifswald an der Ostsee die Fusionsanlage «Wendelstein 7-X» gebaut. Anfang Februar 2016 wurde dort erstmals ein Wasserstoff-Plasma erzeugt. Der Plasmazustand dauerte eine Viertelsekunde. Nach einer längeren Experimentierphase will man sich ab 2022 schrittweise an 30 Minuten lange Entladungen heranarbeiten und die wichtigste Eigenschaft des Stellarators – den Dauerbetrieb – vorführen.

Aufgrund des fehlenden EU-Rahmenabkommens ist die Mitarbeit der Schweiz an Iter und anderen Horizon-Projekten bis auf weiteres ausgesetzt. (Stand September 2021)