

Die Etappen zur kommerziellen Kernfusion

1985

Im November vereinbaren Ronald Reagan und Michail Gorbatschow, die Fusionsenergie als unerschöpfliche Energiequelle zum Wohle der Menschheit zu entwickeln.



1987

Im Oktober beschliessen die EU, die Sowjetunion, die USA und Japan die Entwicklung des International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER).

1988

Im April beginnen Wissenschaftler mit dem konzeptuellen Design von ITER.

1998



Das ITER-Design wird vom Iter-Aufsichtsgremium abgesegnet. Die USA ziehen sich aus dem Projekt zurück.

2001

ITER wird auf die heutige Grösse verkleinert, um die Kosten im Zaum zu halten.

2003

China und Korea stossen neu zum Iter-Projekt, und die USA kehren zurück.

2005

Im Juni wird Südf frankreich als Standort ausgewählt. Im Dezember stösst Indien als 7. Mitglied zur Iter-Kollaboration.

2007

Die Arbeiten auf dem Iter-Gelände beginnen.

2010

Im Juli wird der Japaner Osamu Motojima Generaldirektor der Iter-Organisation.



2014

Im Juni treffen die ersten Komponenten für den Reaktor auf dem Iter-Gelände ein.

Circa 2019

Abschluss der Bauarbeiten und Vorbereitung für die Inbetriebsetzung von Iter.

Circa 2022

Erstmals wird in Iter ein Plasma erzeugt.

Circa 2027

Erste Fusion von Deuterium und Tritium zur Energiegewinnung.

Ab 2040



Der Fusionsreaktor Demo speist Strom ins Netz. Demo erreicht die Grösse eines kommerziellen Reaktors.

Ab 2050

Kommerzielle Fusionsreaktoren werden gebaut.

Goldgrube oder Milliardengrab

In Südf rrankreich wird der grösste Fusionsreaktor aller Zeiten gebaut. Iter verspricht saubere Energie für die Ewigkeit, wird aber von Kostensteigerung und Missmanagement geplagt

Joachim Laukenmann

Was nahe dem 1000-Seelen-Dorf Saint-Paul-lès-Durance entsteht, gilt als komplexestes Puzzle auf Erden. Gelbe Baumaschinen und Lastwagen fahren auf der Anhöhe über dem Fluss Durance umher und wirbeln den für die Provence typischen gelben Staub auf. 2,5 Millionen Kubikmeter Erde und Geröll haben die Maschinen in den letzten vier Jahren bewegt und eine 42 Hektaren grosse Plattform geschaffen. 60 Fussballfelder hätten darauf Platz.

In einer 17 Meter tiefen Baugrube verlegen Arbeiter ein gigantisches, vor Erdbeben isoliertes Fundament für das zentrale, 60 Meter hohe Gebäude. Das Fundament soll dereinst rund 360000 Tonnen tragen, etwa die Masse des Empire State Building in New York. «Hier bauen wir Iter, die Energie unserer Zukunft», steht auf einer grossen Tafel am Rande des Geländes.

Iter ist lateinisch und heisst «der Weg». Zugleich sind es die Initialen für International Thermonuclear Experimental Reactor. Was hier entsteht, ist der grösste Fusionsreaktor aller Zeiten: Dereinst sollen im Innern des 23000 Tonnen schweren Tokamak Wasserstoffkerne verschmelzen – ähnlich wie im Zentrum der Sonne – und dabei zehnmal mehr Energie abgeben, als in die Anlage gesteckt wurde.

Doch niemand kann heute mit Sicherheit sagen, ob hier eine Goldgrube ausgehoben oder ein Milliardengrab geschaufelt wird.

Menschheit hat keine andere Option als die Kernfusion

Vor 40 Journalisten aus aller Welt verbreiten die Iter-Vertreter Optimismus. Osamu Motojima, Generaldirektor der Iter-Organisation, sieht in der Kernfusion sogar einen «Beitrag zum Weltfrieden», denn sie löse sowohl das Energie- als auch das Umweltproblem.

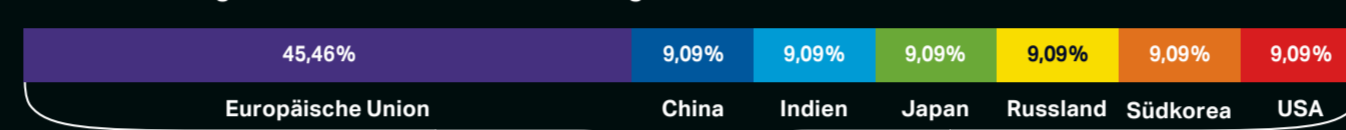
Warum das so ist, erläutert Mark Henderson, verantwortlich für die Entwicklung des Mikrowellenofens zum Aufheizen der Wasserstoffwolke im Reaktor. Fossile Energien würden das Treibhausgas CO₂ freisetzen und seien daher keine Option für die Zukunft, so Henderson. Die Kernspaltung heutiger Atommeiler produziere hochradioaktiven Müll, mit dem die Menschheit nicht klarkomme. Die erneuerbaren Energien seien zwar nötig, könnten die fossilen aber nicht ersetzen. Daher habe die Menschheit keine andere Option, als auf die Kernfusion zu setzen. «Denn diese verspricht saubere, sichere und quasi unlimitierte Energie.»

Ein Unfall wie in Fukushima sei bei einem Fusionsofen unmöglich, sagt Motojimas Stellvertreter Carlos Alejandre. Wenige Gramm des radioaktiven Wasserstoffisotops Tritium befinden sich in einem Reaktor, gegenüber Tonnen spaltbarer Uranisotope in einem heutigen Atomkraftwerk. Nur leicht und mittelstark strahlender Müll falle beim Rückbau der Anlage an, da die Wände des Fusionsreaktors durch den Beschuss mit Neutronen radioaktiv würden. «Mit Iter wollen wir ein für alle Mal beweisen, dass die Fusion als Energiequelle funktioniert», sagt Alejandre.

Der globale Fusionsbasar

Sechs Länder und die EU haben sich zusammengetan, um den Fusionsreaktor Iter zu bauen. Einige Komponenten werden in mehreren Ländern gefertigt. Dennoch müssen sie am Ende exakt zusammenpassen.

So viel tragen die einzelnen Partner zu den geschätzten Baukosten von 18 Milliarden Franken bei



Welche Länder was bauen:



Die 31 Zuleitungen versorgen die supraleitenden Magnete mit Kühlflüssigkeit und Strom.

18 Hauptfeldspulen umschliessen die Plasmakammer.

6 Vertikalfeldspulen laufen rings um die Plasmakammer herum.

Das Plasmagefäss, auch Vakuumtank genannt, ist ein hermetisch abriegelter Stahltank, in dem das 150 Millionen Grad heisse Plasma aus Wasserstoffkernen von Magnetfeldern in der Schwebe gehalten wird.

Die Primärspule (Solenoid) des Transformators wiegt 1000 Tonnen und besteht aus sechs Teilstücken.

Die 29,3 Meter hohe und 28,6 Meter breite Kältekammer umschliesst das Plasmagefäss und die supraleitenden Magnete. Im ganzen Innenraum befindet sich ein Vakuum.

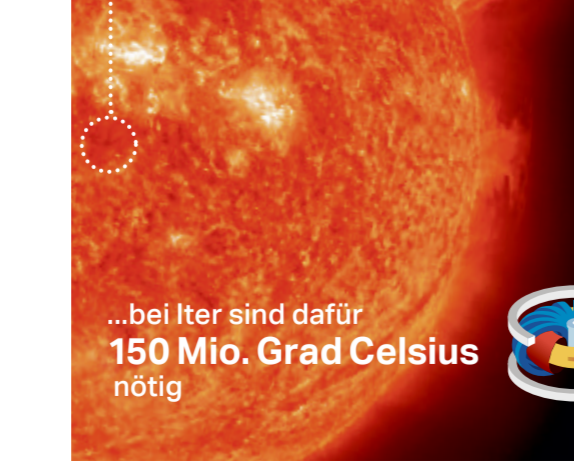
Der Hitzeschild trennt die heisse Fusionskammer von den auf minus 269 Grad gekühlten Magneten.

Die Radiowellen-Heizung ist eine von drei Methoden, um das Plasma auf 150 Millionen Grad zu heizen. Das ist zehnmal so heiss wie das Zentrum der Sonne.

Das mit Wolfram beschichtete Blanket muss den Beschuss mit Neutronen aushalten. Auch hier wird Wärme für die Stromgewinnung abgeführt.

Der Divertor aus Wolfram ist der Auspuff des Reaktors. Hier wird das Fusionsprodukt Helium abgesaugt und Wärme für die Stromerzeugung abgeführt.

Im Zentrum der Sonne findet die Kernfusion dank dem hohen Druck schon bei 15 Mio. Grad Celsius statt...



So funktioniert die Kernfusion bei Iter

- Die Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium werden unter anderem mithilfe von Mikrowellen zu einem Plasma erhitzt. Bei Temperaturen von rund 150 Millionen Grad Celsius prallen die umherschwebenden Atomkerne so fest aufeinander, dass sie zu Helium verschmelzen.
- Da die Masse von Helium geringer ist als die der beiden Wasserstoffisotope, wird die Massendifferenz gemäss Einsteins Formel $E=mc^2$ als Energie frei. Diese Fusionsreaktion ist auch die Ursache der Zerstörungswirkung von Wasserstoffbomben.
- Neben Helium entstehen bei der Reaktion schnelle Neutronen. Diese prallen in die wassergekühlte Reaktorwand und übertragen ihre Energie in Form von Wärme. Diese wird zur Stromerzeugung genutzt.

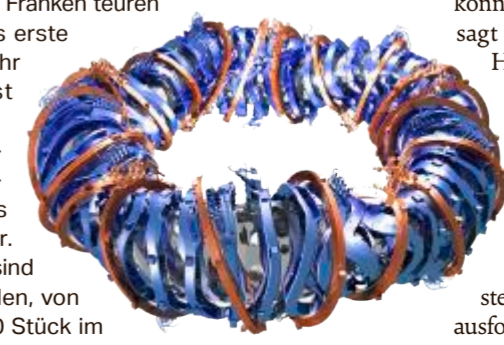
Chemical reaction: $2\text{H} + 3\text{H} \rightarrow 4\text{He} + 3,5\text{MeV}$

Labels: Deuterium (2H), Tritium (3H), Helium (4He) + 3,5 MeV, Neutron + 14,1 MeV, Energie

(MeV=Bewegungsenergie)

Hoffnung liegt auf verwundenen Magnetspulen

Kleiner, aber schon einen Schritt weiter als Iter ist die Fusionsforschungsanlage Wendelstein 7-X am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Greifswald bei Berlin. Letzten Monat wurde der Aufbau des rund 1,2 Milliarden Franken teuren Reaktors abgeschlossen. Das erste Plasma soll in rund einem Jahr zünden. Wendelstein 7-X ist die grösste Anlage vom Typ Stellarator, bei der die Magnetspulen zum Einschluss des Plasmas anders angeordnet sind als bei einem Tokamak wie Iter. Typisch für einen Stellarator sind die verwundenen Magnetspulen, von denen bei Wendelstein 7-X 70 Stück im Einsatz sind. Im Gegensatz zu einem nur pulsweise arbeitenden Tokamak erlaubt ein Stellarator theoretisch den Energiegewinn im Dauerbetrieb. Dass dem tatsächlich so ist, soll Wendelstein 7-X beweisen und somit auch, dass Stellaratoren kraftwerktauglich sind.



Doch der Weg dahin ist steinig. «Iter ist ein Projekt von nie erreichter Komplexität punkto Technik, Management und Organisation», sagt Mario Merola, Leiter der Internal Components Division von Iter. Auf rund 150 Millionen Grad Celsius müssen die zu einem Plasma ionisierten Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium in der Fusionskammer erhitzt werden, damit es zur Kernfusion kommt. Magnetfelder, 200000-mal so stark wie das der Erde, müssen das heisse Plasma in der Schwebe halten.

Rund eine Million Bauteile für den Fusionsreaktor werden von diesem Monat an nach Südf rrankreich geliefert und dort in den nächsten Jahren zusammengesetzt – ein logistischer Albtraum. Die Puzzleteile kommen von den sieben Iter-Mitgliedern, deren Fahnen neben dem Hauptgebäude im strammen Wind stehen: USA, Japan, Russland, China, Indien, Südkorea und die EU, an der die Schweiz über das Euratom-Programm beteiligt ist.

Hitzbelastung ist 40-mal höher als beim Spaceshuttle

Die internationale Kollaboration ist nicht nur Inspirationsquelle. In mancher Hinsicht macht sie den Forschern das Leben schwer. Jeder beteiligte Partner möchte möglichst viel Know-how anhäufen, um später selbst einen Fusionsreaktor bauen zu können. Daher werden einige Iter-Komponenten von mehreren Ländern mit teils unterschiedlichen Produktionsmethoden hergestellt. Dennoch müssen alle Elemente den gleichen Qualitätskriterien genügen. Supraleitende Kabel zum Beispiel werden in sechs Fabriken auf der ganzen Welt gefertigt, und nicht an einem Ort, wie es vernünftig wäre.

Nicht immer war das Resultat befriedigend: Im November 2010 offenbarten Untersuchungen mit der Supraleiter-Testanlage (Sultan) am Paul-Scherrer-Institut in Villigen eine zu schnelle Degradierung von supraleitenden Kabeln aus Japan. Die Kabel für den zentralen Magnet (Solenoid) müssen mindestens 60000 Belastungszyklen standhalten, damit Iter 20 Jahre laufen kann. «Bereits nach 1000 Zyklen nahm deren Qualität signifikant ab», sagt Pierluigi Bruzzone, Leiter der Sektion Supraleitung des Centre de Recherches en Physique des Plasma (CRPP) der ETH Lausanne, das Sultan am PSI betreibt. «Das war eine für Iter äusserst kritische Phase.»

Debatten um Iter sind schon so heiss wie das Fusionsfeuer

Wie viele andere Grossprojekte hat auch Iter den ursprünglichen Zeitrahmen gesprengt. 1993 hiess es, die Maschine könnte 2010 fertig sein. Nun wird frühestens 2022 mit der Zündung des erste Plasmas gerechnet.

Kostenexplosion und Zeitverzögerung werden unter anderem dem Missmanagement der Iter-Organisation zugeschrieben. Ein unabhängiges Gutachten vom letzten Oktober nimmt kein Blatt vor den Mund. Es fehle die Leidenschaft, das Projekt pünktlich und im Rahmen des Budgets abzuschliessen. Die Kommunikation und die Entscheidungsfindung in der Iter-Organisation seien zu träge. 13 Negativpunkte werden im Gutachten aufgeführt, gegenüber fünf positiven Aspekten.

Schliesslich geben die Gutachter elf Empfehlungen. Sie legen unter anderem nahe, Generaldirektor Motojima vorzeitig zu ersetzen. Am 18. und 19. Juni wird der Iter-Rat den Fortschritt bei der Umsetzung der Ratschläge begutachten. Wie Mark Uhlran vom Iter-Büro in den USA mitteilt, sei der Fortschritt bei deren Umsetzung ein wichtiges Argument für die Entscheidung, wie viel Geld die USA Iter für 2015 zugestehen. Kein Wunder sind die Debatten um die Zukunft von Iter fast so heiss wie das Fusionsfeuer selbst. Doch erst ab 2022 wird sich zeigen, ob das Puzzle Namens Iter auch wirklich aufgeht.

SoZ Web: Quellen: Iter-Organisation, Max-Planck-Institut, Scientific American