

**Zeitschrift:** Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES

**Band:** 97 (2006)

**Heft:** 18

**Artikel:** Gute Aussichten für Fusionskraftwerke

**Autor:** Milch, Isabella

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857716>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Gute Aussichten für Fusionskraftwerke

## Keine Endlagerung des Abfalls / katastrophenfremde Technik

Technische Realisierbarkeit, zu erwartende Sicherheits- und Umwelteigenschaften sowie Kosten eines künftigen Fusionskraftwerks untersucht die kürzlich fertig gestellte europäische Kraftwerksstudie «European Fusion Power Plant Conceptual Study». Aufbauend auf neuesten Ergebnissen aus Plasmaphysik, Technologie- und Materialforschung wurden vier verschiedene Kraftwerksmodelle entwickelt, die ein weites Spektrum physikalischer und technischer Möglichkeiten beleuchten. Deren Analyse hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Eigenschaften hat die günstigen Resultate früherer Untersuchungen bekräftigt: Nach heutigem Wissen sind katastrophale Unfälle in einem Fusionskraftwerk unmöglich, eine Endlagerung des Abfalls ist bei Rezyklierung nicht nötig. Der Strompreis wird dem anderer umweltfreundlicher Energietechniken entsprechen.

■ Isabella Milch

### 100 Millionen Grad

Ziel der Fusionsforschung ist es, die Energieproduktion der Sonne in einem Kraftwerk auf der Erde nachzuvollziehen und aus der Verschmelzung von Atomkernen Energie zu gewinnen. Brennstoff ist ein dünnes ionisiertes Gas – ein «Plasma» – aus den beiden Wasserstoffsorten Deuterium und Tritium. Zum Zünden des Fusionsfeuers wird der Brennstoff in einem Magnetfeldkäfig eingeschlossen und aufgeheizt. Ab einer Temperatur von 100 Millionen Grad beginnt das Plasma zu «brennen»: Die Wasserstoffkerne verschmelzen miteinander zu Helium, es werden Neutronen frei sowie grosse Mengen von Energie. Dass ein solches Energie lieferndes Fusionsfeuer möglich ist, soll mit 500 Megawatt erzeugter Fusionsleistung die

internationale Testanlage ITER (lat. «der Weg») zeigen. Geplant wurde ITER mit den heute verfügbaren Materialien und

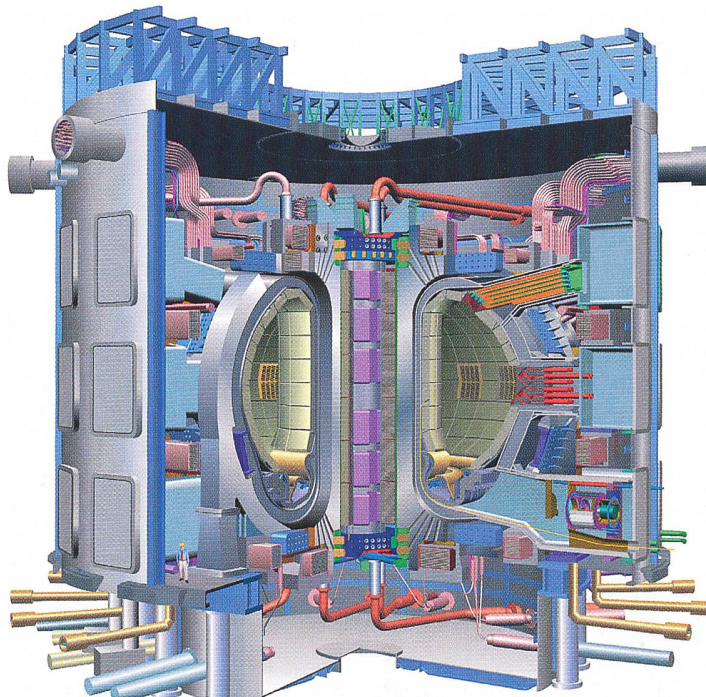
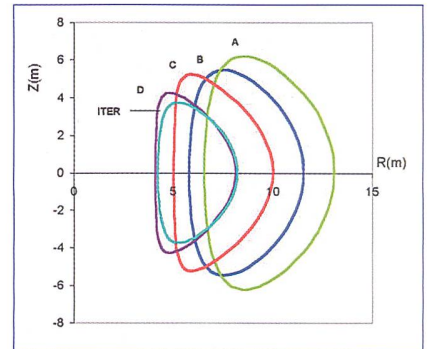


Illustration eines Fusionskraftwerks vom Typ Tokamak (ITER).

Technologien, die noch nicht vollständig für die Fusion optimiert sind. Dies ist Aufgabe eines parallelen Physik- und Technologieprogramms. Alle Arbeiten bereiten ein Demonstrationskraftwerk vor; kommerzielle Anlagen könnten damit ab 2050 ans Netz gehen.



Grössenverhältnisse: Querschnitt durch den Plasmaring der Kraftwerksmodelle A, B, C und D im Vergleich mit ITER. (Grafik: PPCS)

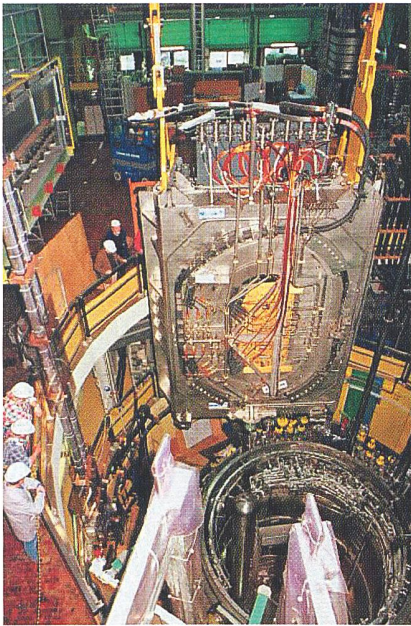
### Vier Modelle für ein künftiges Kraftwerk

Ziel der «European Power Plant Conceptual Study» ist es auszuloten, welche ökonomischen und ökologischen Eigenschaften ein künftiges Kraftwerk erwarten lässt und welche Entwicklungsrichtungen am aussichtsreichsten sind. Auf der Grundlage neuester Forschungsergebnisse wurden daher vier verschiedene Entwürfe für ein Fusionskraftwerk untersucht: Alle vier Modelle haben etwa 1500 Megawatt elektrische Leistung und sind wie ITER vom Bautyp «Tokamak». Um ein breites Spektrum physikalischer und technischer Möglichkeiten zu beleuchten, liegen ihnen jedoch unterschiedlich weit in die Zukunft greifende Extrapolationen der heutigen Plasmaphysik und Technologie zugrunde.

Verglichen mit ITER reichen Modell A und B am wenigsten in die Zukunft: Die Annahmen zum Plasmaverhalten – zum Beispiel zu seiner Stabilität – sind nur etwa 30 Prozent besser als die sehr vorsichtig für ITER angesetzten Daten. Baumaterial ist, anders als bei ITER, ein niedrig-aktiverer Stahl, der zurzeit im Europäischen Fusionsprogramm untersucht wird. Die grössten Unterschiede betreffen technische Komponenten des Kraft-

Adresse der Autorin  
Isabella Milch  
Max-Planck-Institut für Plasmaphysik IPP  
Boltzmannstrasse 2  
D-85748 Garching





Die 60 Tonnen schwere supraleitende Modellspule des Experimentalreaktors ITER kurz vor dem Einbau über der Spulenteinrichtung (Bild Forschungszentrum Karlsruhe).

werks, zum Beispiel das so genannte «Blanket»: In dieser inneren Verkleidung des Plasmagefäßes werden die bei der Fusion entstehenden schnellen Neutronen abgebremst. Sie geben ihre gesamte Bewegungsenergie in Form von Wärme an ein Kühlmittel ab und erzeugen ausserdem aus Lithium den Brennstoffbestandteil Tritium. Für diese Aufgaben ist Modell A mit einem Flüssigmetall-Blanket ausgerüstet: Es nutzt ein flüssiges Lithium-Blei-Gemisch zur Tritiumerzeugung, die Fusionswärme wird mit Wasser aufgenommen und weitergeleitet. Dagegen hat Modell B ein Kugelbett-Blanket mit Kügelchen aus Lithiumkeramik und Beryllium. Das hier gewählte Kühlmittel Helium erlaubt höhere Temperaturen als Wasser – statt 300 bis zu 500 Grad Celsius – und damit höhere Wirkungsgrade für die anschließende Stromerzeugung. Beide Blanket-Varianten werden im Europäischen Fusionsprogramm entwickelt; Testversionen sollen in ITER untersucht werden.

Im Unterschied zu A und B gehen das weiter in die Zukunft greifende Modell C und das eher futuristische Modell D von deutlichen Fortschritten in der Plasma-physik aus. Verbesserte Plasmazustände sind mit leistungsstärkeren Blanket-Konzepten kombiniert, die allerdings in Europa bereits entwickelt werden: Im «Dual Coolant-Blanket» von Modell C wird die erste Wand mit Helium gekühlt, der Hauptteil der erzeugten Wärme jedoch durch Umwälzung von Flüssigmetall zum Wärmetauscher transportiert. Ein-

sätze aus Siliziumkarbid isolieren die Struktur vom strömenden Flüssigmetall. Durch die höhere Kühlmitteltemperatur von rund 700 Grad kann die Fusionswärme effizienter in Strom umgewandelt werden. Noch fortschrittlicher nutzt Modell D ein sich selbst kühlendes Blanket: Flüssigmetall (bis 1100 Grad) dient sowohl zur Kühlung als auch zur Tritiumerzeugung; die Strukturen bestehen aus Siliziumkarbid.

## Sicherheitseigenschaften

Die Sicherheitsüberlegungen gelten dem radioaktiven Tritium und den energiereichen Fusionsneutronen, welche die Wände des Plasmagefäßes aktivieren. Um die Folgen aller schweren Unfälle kennen zu lernen, wurden die beiden zeitnahen Modelle A und B genauer analysiert: Als Unfallauslöser wird der schlagartige und totale Ausfall der Kühlung angenommen; anschliessend bleibt das Kraftwerk ohne jede Gegenmassnahme sich selbst überlassen. Ergebnis: Die Störung der Betriebsbedingungen bringt

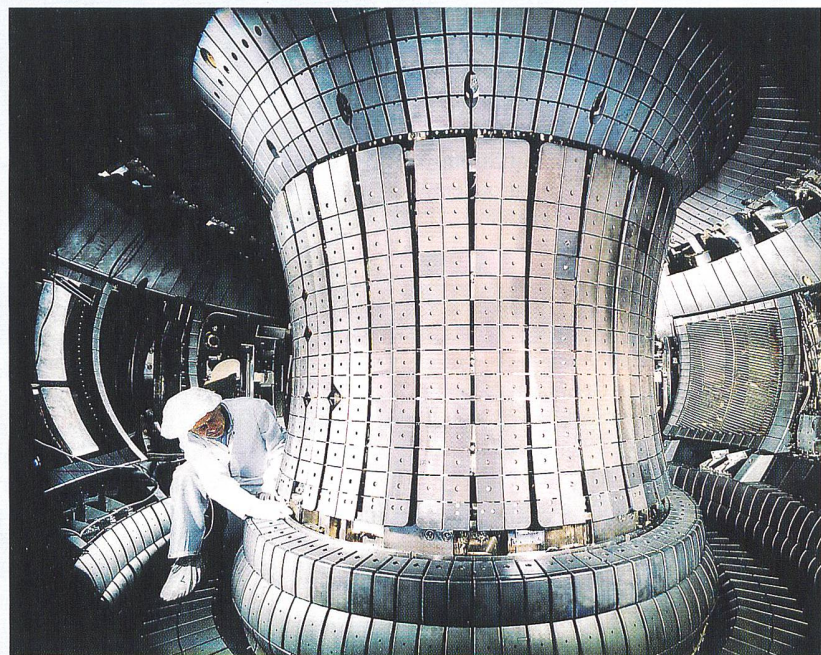
über Plasmainstabilitäten den Brennvorgang sofort zum Erlöschen; die Nachwärme in den Wänden reicht nicht aus, um Bauteile stark zu schwächen oder gar zu schmelzen. Das Kraftwerk enthält auch keine andere Energiequelle, die seine Sicherheitshülle zerstören könnte. Die Hülle bleibt also stets intakt.

Untersucht wurde nun, wie viel Tritium und aktiviertes Material durch den Temperaturanstieg mobilisiert und aus der Anlage entweichen könnte. Schliesslich wurde – für ungünstigste Wetterbedingungen – die daraus resultierende radioaktive Belastung am Kraftwerkszaun bestimmt: Für Modell A und B kommt man auf Werte, die weit – ein bis zwei Grössenordnungen – unter der Dosis liegen, ab der eine Evakuierung der Bevölkerung in der Nähe des Kraftwerks nötig wäre. Ähnliches gilt für Modell C, die Werte für Modell D liegen nochmals deutlich niedriger. Damit haben sich die aus früheren Studien bekannten attraktiven Sicherheitseigenschaften in der neuen Studie bestätigt: Katastrophale Unfälle sind in einem Fusionskraftwerk unmöglich.

## ASDEX Upgrade

Der Tokamak ASDEX Upgrade (AxialSymmetrisches DivertorEXperiment) ging 1990 in Garching bei München in Betrieb und ist die gegenwärtig grösste deutsche Fusionsanlage.

Das Experiment soll Kernfragen der Fusionsforschung unter kraftwerksähnlichen Bedingungen untersuchen. Dazu sind wesentliche Plasmaeigenschaften, vor allem die Plasmadichte, der Plasmadruck und die Belastung der Wände, den Verhältnissen in einem späteren Fusionskraftwerk angepasst.



Das IPP betreibt in Garching den Tokamak ASDEX Upgrade, die grösste deutsche Fusionsanlage.



**Abfall**

Auch die Abfallsituation wurde erneut untersucht: Das von den Fusionsneutronen aktivierte Material verliert seine Radioaktivität in allen vier Modellen relativ schnell. In hundert Jahren sinkt sie auf ein Zehntausendstel des Anfangswerts. Für das zeitnahe Modell B zum Beispiel ist hundert Jahre nach Betriebsende knapp die Hälfte des Materials nicht mehr radioaktiv und kann für beliebige Nutzung freigegeben werden. Die andere Hälfte könnte – entsprechende Techniken vorausgesetzt – rezykliert und in neuen Kraftwerken wieder verwendet werden: Eine Endlagerung wäre dann nicht nötig. Ähnliches gilt für die anderen drei Modelle.

**Kostenfragen**

Von Modell A bis D steigt die Effizienz, mit der die Fusionsenergie aus dem Blanket abgezapft werden kann sowie – mit steigender Kühlmitteltemperatur – der Wirkungsgrad der Stromerzeugung. Zudem werden von A bis hin zu D immer günstigere Plasmazustände erreicht: die Belastung der Wände nimmt ab, weniger elektrische Leistung muss zur Eigenversorgung in das Kraftwerk zurückgespeist werden. Daher reichen von Modell A bis D immer kleinere Fusionsleistungen zur Erzeugung von rund 1500 Megawatt elektrischer Leistung aus. Zudem nimmt das Plasmavolumen von Modell A bis D um mehr als die Hälfte ab, d.h. die Anlagen können insgesamt kleiner gebaut werden. Entsprechend lassen die vier Kraftwerksmodelle unterschiedliche Strompreise erwarten: Modell A führt zu den höchsten Stromkosten, gefolgt von Modell B und C. Das avantgardistische Modell D hat die niedrigsten Kosten. Selbst B und C wären jedoch mit Stromgestehungskosten von 5 bis 10 Euro-Cent pro Kilowattstunde wettbewerbsfähig.

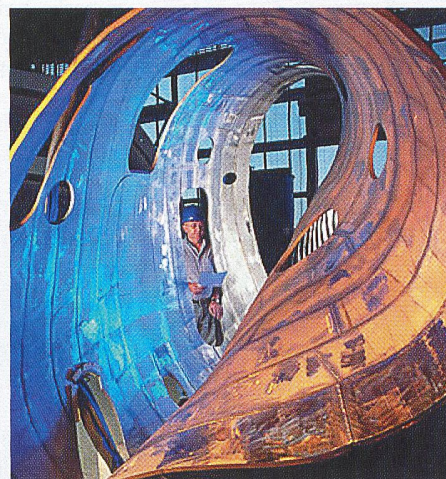
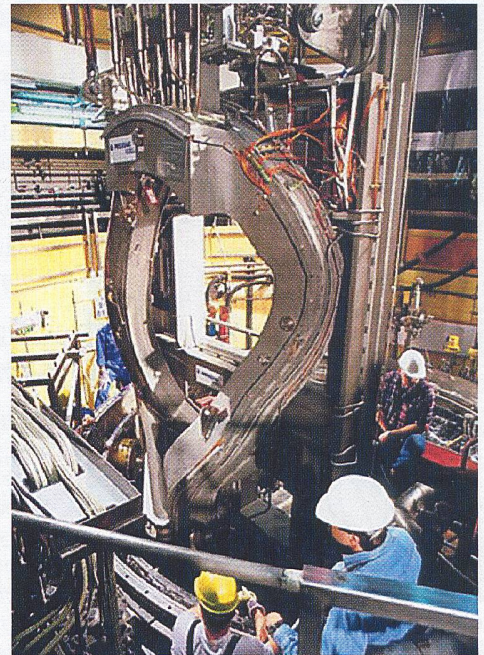
**Fazit**

Insgesamt lässt die Studie erwarten, dass bereits die erste Generation kommerzieller Fusionskraftwerke – repräsentiert in den beiden zeitnahen Modellen A und B, deren Entwicklung keine erheblichen Fortschritte in der Plasmaphysik und Materialforschung voraussetzt – günstige Sicherheits- und Umwelteigenschaften haben und wirtschaftlich akzeptabel arbeiten wird. Die Modelle C und D zeigen das grosse Potenzial für weitere physikalische und technologische Verbesserungen.

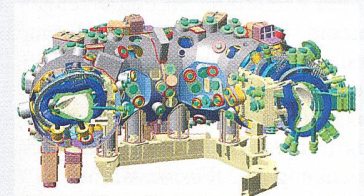
**Plasmagefäss für Wendelstein 7-X**

Der erste grosse Fertigungsauftrag für das Fusionsexperiment Wendelstein 7-X, die Herstellung der Plasmakammer, ist erfolgreich abgeschlossen: Die 20 Sektoren des bizarr geformten, 35 Tonnen schweren Gefässes wurden aus mehreren hundert Einzelteilen zusammengesetzt – ein handwerkliches Meisterstück. Die Montage der komplexen Gesamtanlage, die im Frühjahr 2005 im Teilinstitut Greifswald des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP) begonnen hat, wird rund sechs Jahre dauern.

Testspule für Wendelstein 7-X beim Einbau in die Testanlage TOSKA (Bild Forschungszentrum Karlsruhe).



Teilstück der Plasmakammer von Wendelstein 7-X: Zwanzig dieser Elemente werden zu einem Ring zusammengefügt. In seiner Form schmiegt er sich den verwundenen Konturen des Plasmas an. Die Öffnungen im Gefäss machen das Plasma für Heizung und Messgeräte zugänglich (Foto: IPP, W. Filser).



Plasmakammer Wendelstein 7-X (schematisch).

**Avenir prometteur pour les centrales à fusion**

**Pas de déchets à placer dans des installations de stockage définitif / technologie sans risques de catastrophe**

Dans l'étude «European Fusion Power Plant Conceptional Study» une brochette de spécialistes européens ont analysé la faisabilité technique d'une future centrale à fusion, ses caractéristiques de sécurité, son impact sur l'environnement, ainsi que son coût. Les dernières découvertes en matière de physique des plasmas, de même que les résultats de la recherche en matière de technologie et de matériaux, ont permis d'esquisser 4 modèles de centrales à fusion, ce qui laisse entrevoir un large potentiel sur les plans de la physique et de la technologie. S'agissant des qualités écologiques et économiques, cette étude corrobore les résultats favorables de recherches antérieures: l'état actuel des connaissances permet d'affirmer que les centrales à fusion n'engendrent aucun risque d'accident catastrophique et qu'un stockage définitif de déchets ne sera plus nécessaire, grâce au processus de recyclage. Le prix de revient de l'électricité correspondra à celui d'autres technologies de production respectueuses de l'environnement.

fachbeiträge



*Wer erfolgreich Zukunft gestalten will  
hat meistens mehrere Optionen  
Eine vorzügliche Wahl ist dabei stets  
vorhandene und erneuerbare Ressourcen zu nutzen  
um mit und aus ihnen das Beste zu machen  
Bei der Energiegewinnung ebenso  
wie beim Bau und der Revision  
von Energieerzeugungs- und -verteilanlagen*

**ESATEC**  
Energiesysteme und Anlagentechnik AG

CH-8201 Schaffhausen Tel 052 630 20 00 [www.esatec.ch](http://www.esatec.ch)



**Stromausfall – wir übernehmen**

**ALMAT® Notlicht + Notstrom**

 höchster Sicherheitsstandard für die schweizerische Notlichtbranche  
ALMAT AG, Tagelswangen, Tel. 052 355 33 55, [www.almat.ch](http://www.almat.ch)



für jede Anwendung die optimale **Infrarot-Kamera**

**Highlights**

- klein & handlich
- hochauflösende Bilder
- Bus gesteuert
- Thermografie Praxisseminare [www.emitec.ch/kurse](http://www.emitec.ch/kurse)

**Anwendungsbereich**

- Wartung
- Instandhaltung
- Forschung
- Entwicklung
- Produktion
- Überwachung







emitec ag • birkenstrasse 47 • 6343 rotkreuz • tel. +41 (41) 748 60 10  
[info@emitec.ch](mailto:info@emitec.ch) • [www.emitec.ch](http://www.emitec.ch)

FLIR Systems, weltweit führend in der Infrarot-Technologie