

Energieerzeugung durch Kernfusion

Bei der Fusion werden durch Neutroneneinfang und oder durch Verschmelzung von Atomkernen aus leichteren Atomen schwerere gebildet.

Die schwereren Atome sind jedoch brutto etwas leichter als die Ausgangs-Teilchen. Aus diesen sogenannten *Massendefekten* bei der Fusion wird Strahlungs-Energie erzeugt nach der Einstein'schen Formel aus der speziellen Relativitätstheorie zur Äquivalenz von Masse und Energie:

$$E = m c^2$$

Energieerzeugung durch Kernfusion



Massendefekte:

	Atomgewicht	Kern- Zusammensetzung	Natürliches Vorkommen / %
^1H	1,00797	1 Proton	99,985
4-fach	4,03188		
^4He	4,0026	2 Protonen, 2 Neutronen	100
Differenz	0,02928		

Energieerzeugung durch Kernfusion

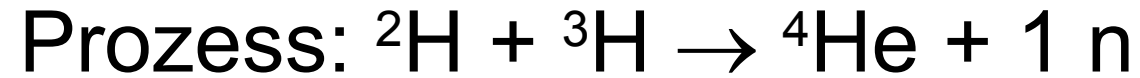


	Atomgewicht	Kern-Zusammensetzung	Natürliches Vorkommen / %
Deuterium	2,014	1 Proton, 1 Neutron	0,015
2-fach	4,028		
^4He	4,0026	2 Protonen, 2 Neutronen	100
Differenz	0,0254		

Energieerzeugung durch Kernfusion

Der Prozess, der in dem im Bau befindlichen Fusionsreaktor ablaufen soll, ist jedoch die Fusion von Deuterium (^2H) und Tritium (^3H), von schwerem mit überschwerem Wasserstoff. Dabei entsteht pro Fusionsvorgang ein Atom Helium und ein Neutron. Das Neutron kann aufgrund seiner Eigenschaften weder elektrisch noch magnetisch abgelenkt werden und tritt in die Reaktor-Umgebung ein.

Energieerzeugung durch Kernfusion



	Atomgewicht	Kern- Zusammensetzung	Natürliches Vorkommen / %
Deuterium	2,014	1 Proton, 1 Neutron	0,015
Tritium	3,01605	1 Proton, 2 Neutronen	unter 0,001
Summe	5,03005		
${}^4\text{He}$	4,0026	2 Protonen, 2 Neutronen	100
Neutron	1,008665		
Differenz	0,018785		

Energieerzeugung durch Kernfusion

Bei den bereits existierenden Kernspaltungs-Reaktoren führt die Neutronenstrahlung dazu, dass in den Reaktorbauteilen durch Neutronen-Einfang fremde Elemente entstehen, welche die Zusammensetzung der Legierungen verschlechtern und zum Versagen von Bauteilen führen. Typische Folgen sind z.B. defekte Kühlungs-Rohre, Ausfall der Kühlung, Austritt von Radioaktivität etc.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Diese Neutronen-bedingte Verschlechterung und Alterung der Reaktor-Bauteile ist der tiefere Grund für die zeitliche Beschränkung der Betriebsdauer von Kernspaltungs-Reaktoren.

Bei Kernfusionsreaktoren vermutet man eine deutlich höhere Neutronenstrahlungs-Intensität als bei den Kernspaltungs-Reaktoren (Faktor 10 bis 100).

Energieerzeugung durch Kernfusion

Nimmt man für die Betriebsdauer von Kernspaltungsreaktoren 50 Jahre an, würde sie bei einer 10-fachen Neutronen-Strahlungsintensität bei Fusionsreaktoren auf 5 Jahre zu begrenzen sein (bei 100-facher Intensität auf 0,5 Jahre)

Energieerzeugung durch Kernfusion

Ein Fusionsreaktor muss ein zur Kernfusion geeignetes heißes Plasma (Temperatur von ca. 150 Mio. K) einschließen. Dabei muss man von einer im Vergleich zu Kernspaltungs-Reaktoren weniger kompakten Bauweise des Reaktors ausgehen.

Geht man vom günstigeren Szenario aus (10-fache Neutronenstrahlung) und nimmt man einen 10-mal so großen Reaktor an, dann fällt 100-mal so viel Reaktorschrott nach Betriebsende an.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Dieser Reaktor-Abfall muss sicher gelagert werden.

Wo soll er hin, nach Morsleben, in die Asse, nach Gorleben oder nach Salzgitter?

Am wahrscheinlichsten ist das Szenario, dass die Reaktoren nach Betriebsende als Sperrgebiet markiert werden und stehen bleiben, bis die Strahlung abgeklungen ist – so, wie die Reaktoren in Tschernobyl und Fukushima.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Ein weiteres Problem liegt in der Betriebsweise des Fusionsreaktors: Er muss befüllt werden und auf die erforderlichen Temperaturen und Drücke aufgeheizt werden, damit der Fusionsprozess starten kann. Nach dem Ende der Fusion muss der Reaktor wieder heruntergefahren werden. Dieser Prozess führt prinzipbedingt zu einer geringeren Verfügbarkeit für die Stromerzeugung, Schätzungen gehen auf 30 %.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Ein weiteres, unlösbar scheinendes Problem liegt in der Auswahl der Fusionsbrennstoffe: Während Deuterium mit einer geringen natürlichen Häufigkeit auf der Erde vorhanden ist, wird Tritium durch Neutronen-Einfang in den obersten Schichten der Atmosphäre (der Ionosphäre) erzeugt. Es kommt nur in geringen Spuren vor und zerfällt wieder mit einer geringen Halbwertszeit. Wo will man den Brennstoff herbekommen?

Energieerzeugung durch Kernfusion

Es wird in einigen Publikationen erwogen, Tritium durch kernchemische Umwandlung aus Lithium zu erbrüten, allerdings würde das zur Vernichtung des Lithiums führen.

Lithium wäre dann nicht mehr für Batterien verfügbar zu Lasten etwa der Elektromobilität. Hier deutet sich eine Nutzungskonkurrenz an.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Tritium wird jedoch durch Neutroneneinfang erzeugt in den Kühlmänteln von Kernspaltungs-Reaktoren, wenn sie mit schwerem Wasser gekühlt werden.

Hebt man darauf ab, erhielte man genug Tritium um den Preis, dass entsprechende Kernspaltungs-Reaktoren weiter betrieben werden müssen.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Der Brennstoff von Kernspaltungs-Reaktoren, Uran mit der Massenzahl 235, ist jedoch von allen nicht-regenerativen Energiequellen der mit der geringsten Reichweite*: man rechnet damit, dass diese etwa 30 Jahre beträgt, vorausgesetzt, dass die derzeitige Reaktorenanzahl im Betrieb auf der Welt gleich bleibt.

*) Reichweite = förderbares Vorkommen / Jahresverbrauch

Energieerzeugung durch Kernfusion

Denkbar wäre aber, dass man aus dem Abfall-Uran mit der Massenzahl 238 (etwa 99 % in natürlichen Uran-Mineralien) durch Neutroneneinfang im Fusionsreaktor Plutonium mit der Massenzahl 239 erzeugt. Dies würde die Reichweite der Kernspaltungs-Reaktoren verlängern, allerdings zum Preis des Einstiegs in die Plutonium-Wirtschaft.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Der Preis des Stroms aus Fusionsreaktoren liegt nach derzeitigen Schätzungen – basierend auf den Kosten des Fusionsreaktor-Prototyps in Südfrankreich – über dem Preis von mit Solarthermie erzeugtem Strom.

Genauere Schätzungen sind erst möglich, wenn der Reaktor im Betrieb ist.

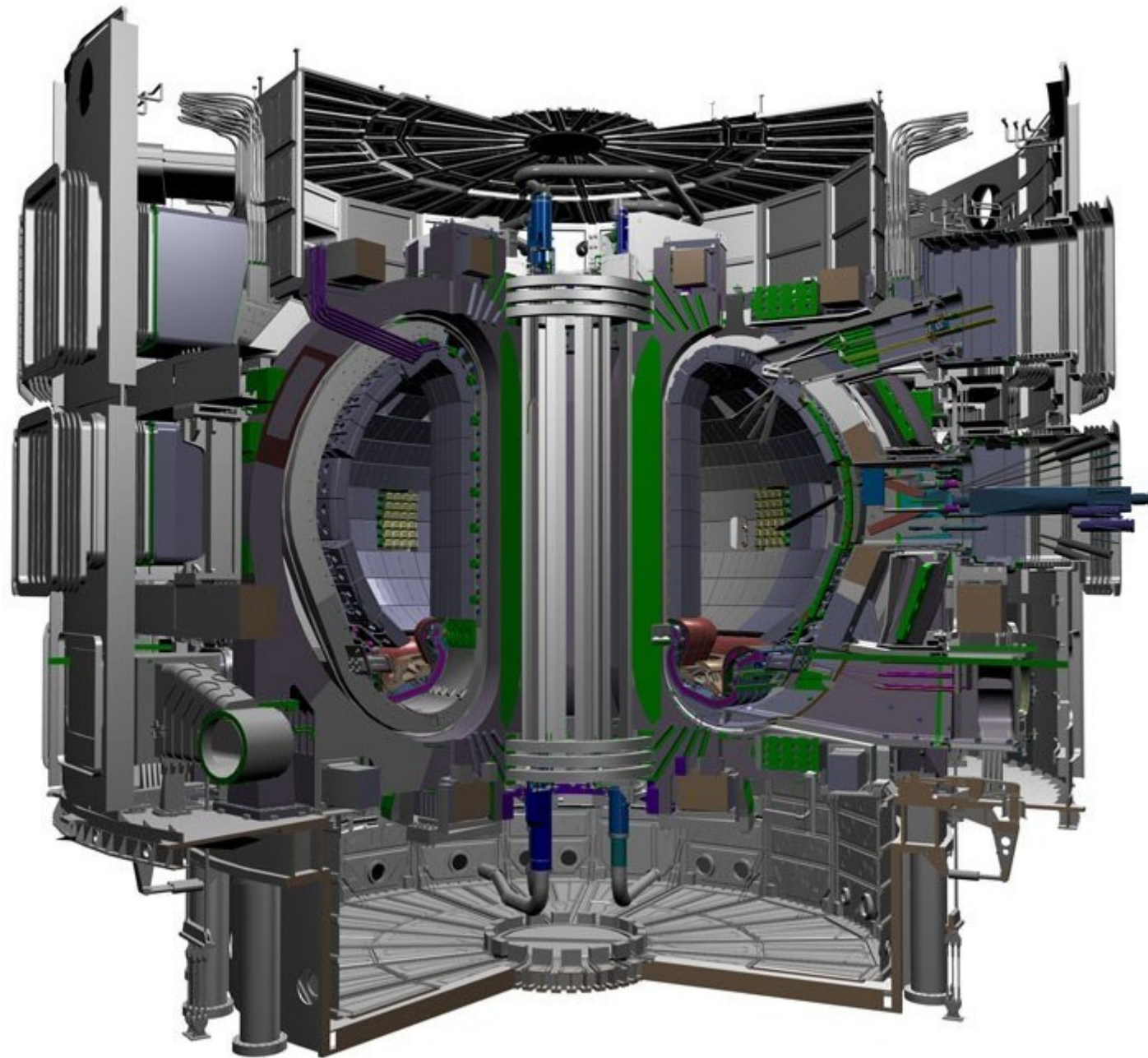
Energieerzeugung durch Kernfusion

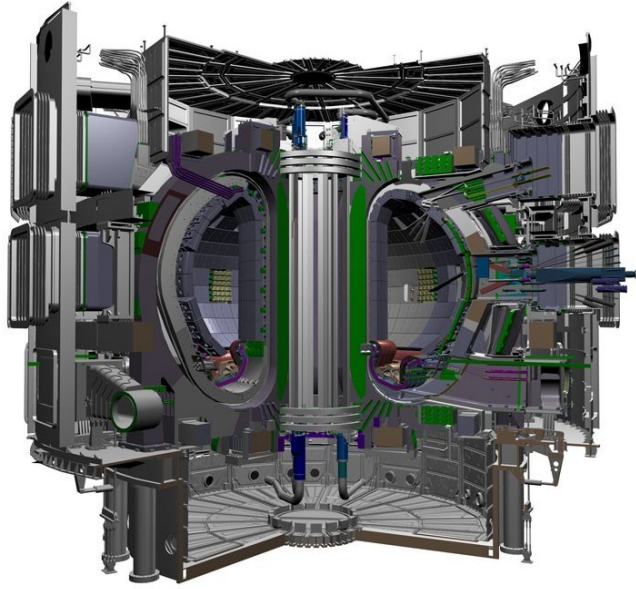
Preiskalkulation des Stroms aus Fusionsreaktoren

Basis: 1000 MW-Reaktor mit Kosten v. 6 Milliarden €, 30 Jahre Betrieb, Brennstoffkosten & Wartung von 100 Mio. € / Jahr und Verfügbarkeit von 30 % führt zu Kosten von 0,15 €/kWh bei 3 % Zinslast, ohne Zinsen sind es 0,11 €/kWh (laut www.politik.pege.org von 2004) - zum Vergleich: Solarthermisches Kraftwerk in Marokko **Noor1** kalkuliert mit 0,12 €/kWh incl. Finanzierung

Energieerzeugung durch Kernfusion

Der Strom aus Fusionsreaktoren ist deswegen so teuer, weil das Vorhaben technisch äußerst aufwendig ist: Ein Plasma von etwa 150.000.000 K soll elektromagnetisch eingeschlossen werden, weil es kein Material gibt, das derartig hohe Temperaturen aushält. Der Reaktor vom Typ „Tokamak“ wird auf der ITER-Projektseite so dargestellt:

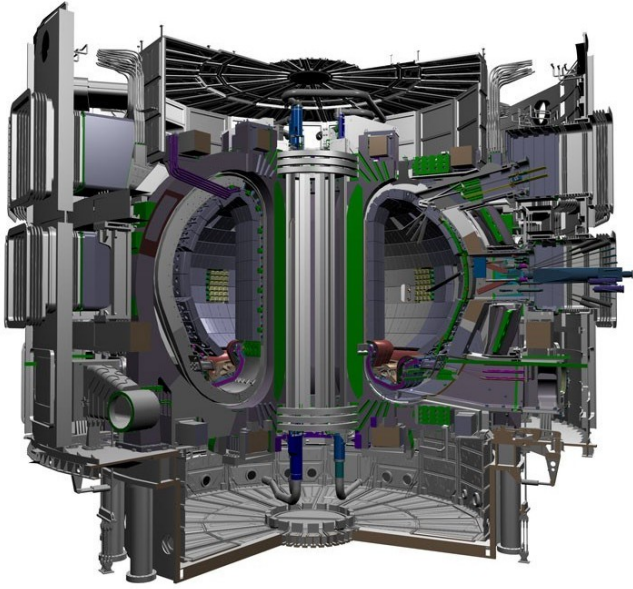




Energieerzeugung durch Kernfusion

ITER beruht auf dem Tokamak-Konzept des magnetischen Einschlusses, wobei das Plasma in einem wie ein Krapfen geformten Vakuumbehälter eingeschlossen wird.

Der Brennstoff (D und T, zwei Wasserstoff-Isotope)



Energieerzeugung durch Kernfusion

wird bei $T > 150$ Millionen K zu einem heißen Plasma aufgeheizt. Um das Plasma von den Wänden entfernt zu halten, werden starke Magnetfelder über supraleitende Knäuel erzeugt, die den Behälter umgeben, und durch elektrischen Strom, der durch das Plasma geleitet wird.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Fazit

Fusionsstrom erscheint derzeit nur als Option, wenn man in Kauf nimmt, dass zum Betrieb der Reaktoren die Kernspaltungs-Reaktoren weiter betrieben werden müssen. Ungelöst erscheint dabei das Problem des anfallenden Reaktorschrotts.

Energieerzeugung durch Kernfusion

Es gibt allerdings einen real existierenden und funktionsfähigen Fusionsreaktor: das ist die Sonne.

Offen bleibt die Frage, weshalb wir zu Preisen, die deutlich höher liegen als der von real erzeugtem Solarstrom, den Strom mit einem Fusionsreaktor auf der Erde erzeugen wollen, für den es hier nicht genug Brennstoff gibt.