

ITER - Kernfusion als Energiequelle der Zukunft?

Michael Eder - Vortrag bei PRO SCIENTIA, Graz am 21.11.2017

ITER ist das Akronym für *International Thermonuclear Experimental Reactor* und ist es das lateinische Wort für „der Weg“. - Der Weg zu einer unlimitierten Energiequelle der Zukunft.

ITER gilt gemeinhin als das Schlüsselexperiment in der Kernfusionsforschung und ist eine internationale wissenschaftliche Kooperation von China, der EU, Indien, Südkorea, Japan, Russland und den USA. Wie aus dem Namen bereits hervorgeht, ist ITER ein Kernfusionsversuchsreaktor, welcher derzeit in Cadarache in Südfrankreich in Bau ist. Die Kosten für das Projekt werden derzeit auf € 20 Mill. budgetiert.

Was ist Kernfusion?

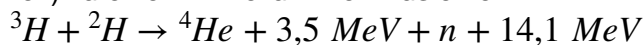
Kernfusion ist der zentrale Energiegewinnungsprozess in den Sternen und damit auch in unserer Sonne. In der Sonne ist dabei der sogenannte Proton-Proton-Zyklus vorrangig für die Freisetzung von Energie verantwortlich. Zusammenfassend werden beim Proton-Proton-Zyklus vier Protonen zu einem Helium-Kern (2 Protonen und 2 Neutronen) fusioniert.

Die Summe der Massen der 4 Protonen ist dabei größer als die Masse des Heliumkerns. Durch diesen Massendefekt wird nach der berühmte Formel von Albert Einstein, $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$, Energie freigesetzt. Der Proton-Proton-Zyklus lässt sich dabei in folgende Schritte unterteilen:

- 1) Zwei Protonen fusionieren zu einem Deuterium-Kern:
 ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{H} + e^+ + \nu_e + 0,42 \text{ MeV}$
- 2) Deuterium-Kern und Proton fusionieren zu einem 3-Helium-Kern:
 ${}^2\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma + 5,49 \text{ MeV}$
- 3) Zwei 3-Helium-Kerne fusionieren zu einem 4-Helium-Kern
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 {}^1\text{H} + 12,86 \text{ MeV}$

Dieser Prozess ist allerdings leider auch unter extremen Bedingungen (wie im Inneren der Sonne) ein sehr unwahrscheinlicher Prozess und lässt sich daher nicht auf der Erde technisch umsetzen, da er viel zu langsam wäre. Allerdings kann auf der Erde ein andere Kernfusionsreaktion technisch umgesetzt werden, die zwar extremere Bedingungen benötigt (150 Mio. K, 10 x Temperatur des Sonneninneren), allerdings schneller abläuft. Jener Prozess wird Deuterium-Tritium-Fusion genannt.

Dabei werden die Kerne von Deuterium (1 Proton und 1 Neutron) und Tritium (1 Proton und 2 Neutronen) zu einem 4-Helium Kern fusioniert:



Die Energie wird dabei in Form von kinetischer Energie zu 1/5 an den Helium-Kern und zu 4/5 an das entstehende Neutron abgegeben.

Die Schwierigkeit zur Realisierung für diesen Prozess liegt nun in den extremen Bedingungen die dafür notwendig sind:

Deuterium- und Tritium-Kern sind beide einfach positive geladen und stoßen sich auf Grund der Coulomb-Wechselwirkung gegenseitig ab.

Die für die Fusion notwendige anziehende Kraft ist die sogenannte Starke Wechselwirkung, die zwischen den Bestandteilen der Neutronen und Protonen, den sogenannten Quarks, wirkt.

Allerdings ist die die Starke Wechselwirkung sehr kurzreichweitig und wirkt erst, wenn sich die beiden Kerne „fast berühren“. Um dies zu erreichen muss den Kernen kinetische Energie übertragen werden, damit sie die abstoßende Coulomb-Kraft überwinden können.

Das heißt es wird eine Temperatur von 150 Mio. K benötigt.

Bei derart hohen Temperaturen tritt Materie in Form eines Plasmas auf. Ein Plasma ist der sogenannte „4. Aggregatzustand der Materie“, bei dem die Atome ionisiert, das heißt in negativ geladene Elektronen und positiv geladene Atomkerne getrennt, vorliegen.

Die technische Umsetzung

Man stellt sich nun die Frage, welches Material derart extreme Bedingungen aushält, um ein Plasma einzusperren, damit die gewünschte Fusionsreaktion abläuft. Die Antwort ist, dass es kein denkbare Material gibt, welches diesen Bedingungen standhält. Allerdings kann man sich eine Eigenschaft von geladenen Teilchen in Magnetfeldern zu Nutze machen. Wenn ein geladenes Teilchen senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes in jenes eingeschossen wird, bewegt es sich auf Grund der Lorentzkraft auf Kreisbahnen.

Man kann nun die Magnetfeldlinien zu einem Torus biegen, so dass sie sich schließen. Die geladenen Teilchen werden dann um die geschlossenen Magnetfeldlinien gyrieren und sind räumlich eingeschlossen. Diese Art von Einschluss wird Magnetfeldeinschluss eines Fusionsplasmas genannt.

Die exakte Teilchenbewegung eines geladenen Teilchens in nicht konstantem elektromagnetischen Feld ist zusätzlich von sogenannten Drifts gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass das Gyrationzentrum des Teilchens sich nicht exakt entlang der Magnetfeldlinien bewegt. Auf Grund der Drifts müssen die Magnetfeldlinien helikal um die Magnetfeldachse gebogen werden, da ansonsten das Plasma sofort an die Reaktorwand aufprallen würde. Es gibt nun zwei toroidale Konzepte die miteinander im Wettstreit stehen.

Einerseits gibt es die Tokamak-Bauart, bei der die helikale Verwindung der Magnetfeldlinien durch einen im Inneren des Plasmas getriebenen Strom realisiert wird. Beim Stellarator-Prinzip werden die Magnetfeldspulen äußerst kompliziert geformt, so dass das Magnetfeld helikal verwunden ist, ohne dass ein Strom getrieben werden muss.

ITER wird nach dem Tokamak-Prinzip gebaut. Im Jahr 2016 ist in Greifswald der zur Zeit modernste Stellarator mit dem Namen Wendelstein-7X in Betrieb gegangen.

Was ist das Besondere an ITER?

Seit den 1950er Jahren werden weltweit Fusionsversuchsreaktoren gebaut. Dabei wurde stets mehr Energie zum Erhitzen des Plasmas aufgewendet, als durch eine Fusionsreaktion frei wurde. ITER soll nun so viel Energie freisetzen, dass die Temperatur des Plasmas aufrecht erhalten wird und zusätzlich noch Netto-Energie übrig bleibt.

Dies gelingt bei ITER durch folgenden Dimensionierung des Reaktors:

Großer Radius	6,2 m
Kleiner Radius	2,0 m
Plasmastrom	15 MA
Magnetfeld	5,3 T
Leistungsverstärkung	> 10
Fusionsleistung	500 MW
Brenndauer	1000 s
Externe Heizleistung	50 MW

Es soll nun auch noch Kritik an der Kernfusion den Vorteilen gegenübergestellt werden.

Kritik an Kernfusion (im Speziellen an ITER)

- Zerstörung der Reaktorkammer durch hochenergetische Neutronen
- Aktivierung des Reaktormaterials (Radioaktivität)
- Erwartete Kosten haben sich von € 5 Mill. auf € 20 Mill. erhöht.
- Verschiebung des Zeitplans für Betrieb von 2016 auf 2027
- Kernfusion hilft nicht bei der aktuellen bzw. zukunftsnahe Bekämpfung der Klimaerwärmung.

Vorteile der Kernfusion

- Brennstoffvorrat fast unbeschränkt und für alle Nationen verfügbar
 - Deuterium (aus Wasser) und Lithium (aus Steinen und Meerwasser)
- Vorteile für die Umwelt
 - Keine CO₂ Emissionen
 - Mittlere bis niedrige radioaktive Belastung, kein Endlagerproblem
- Unfall- und Verunreinigungsrisiko minimal
 - Keine Explosionsgefahr, keine Kernschmelze
 - Keine radioaktiven Endprodukte
- Hohe Energie-Konzentration
- Minimale Landnutzung im Vergleich zu Solar-, Wind- und Wasserkraft
- Unabhängig von Tages-, Jahres- oder Regionalen Variationen
 - Keine Notwendigkeit zur Energiespeicherung oder globalem Transport