

- Grundlagen der Kernfusion
- Geschichte der Kernfusion
- Stellare Kernfusion
- Kernfusion zur Energiegewinnung
- Quellen

- Verschmelzen von Atomkernen
- Kerne müssen Coulombbarriere überwinden / durchtunneln
- Sowohl exotherme als auch endotherme Fusionsreaktionen
- Exothermität / Endothermität durch Massendefekt zu erklären

Geschichte der Kernfusion 3

Stellare Kernfusion 4

- 1917, Lange vor Kernspaltung entdeckt
- 1920 als Energiequelle von Sternen erkannt
- 1952/53 erste auf Fusion basierende Wasserstoffbombe
- Seit Entwicklung der Fissions-Bombe Forschung an wirtschaftlicher Nutzung

- Kleinere Sterne - Proton-Proton-Reaktion
- Größere Sterne - Bethe-Weizsäcker-Zyklus
- Entstehung von Kernen bis $A = 60 - 70$
Cu,Zn,Ga

Proton-Proton-Reaktion

Bethe-Weizsäcker-Zyklus

- Startreaktion:
 ${}^2\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma + 5,493 \text{ MeV}$
- Folgereaktion:
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 {}^1\text{H} + 12,86 \text{ MeV}$

- Hauptreaktion der Sonne
- ca. 1.4×10^{10} Jahre bis Startreaktion pro Proton
- + 26.196 MeV

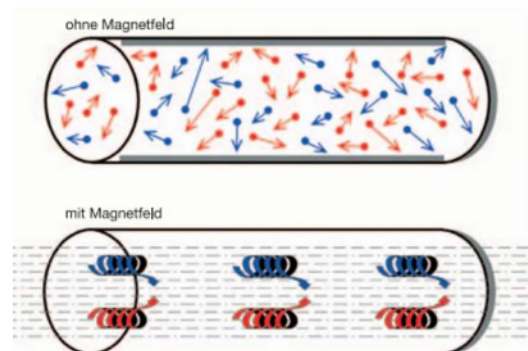
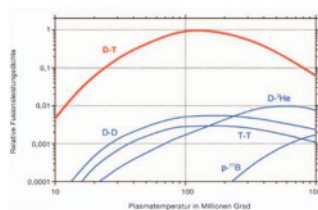
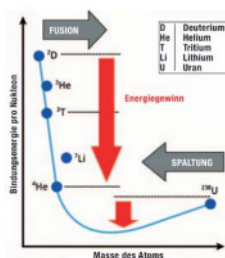
- ${}^{12}_6\text{C} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{13}_7\text{N} + \gamma + 1,96 \text{ MeV}$
- ${}^{13}_7\text{N} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + \text{e}^+ + \nu_e + 1,37 \text{ MeV}$
- ${}^{13}_7\text{N} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + \text{e}^+ + \nu_e + 1,37 \text{ MeV}$
- ${}^{12}_6\text{C} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + \gamma + 7,54 \text{ MeV}$
- ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{15}_8\text{N} + \gamma + 7,35 \text{ MeV}$
- ${}^{15}_8\text{O} \rightarrow {}^{15}_7\text{N} + \text{e}^+ + \nu_e + 1,73 \text{ MeV}$
- ${}^{15}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^4_2\text{He} + 4,96 \text{ MeV}$

- $M > M_{\text{Sonne}}$ für sig. Effekt auf Energiebilanz
- Ab 14×10^6 Kelvin
- +25.03 MeV
- 1.193 MeV weniger als P-P-Reaktion

2 weitere Reaktionsreihen, geringer anteil an Energiebilanz

Kernfusion zur Energiegewinning

Kernfusion zur Energiegewinning



Deuterium-Tritium-Reaktion

Weitere Denkbare Reaktionen

- ${}^2\text{D} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{n} + 17.58 \text{ MeV}$

- Lawson-Kriterium muss erfüllt sein ($T \cdot \rho \cdot \tau_E$)
- $T = 150 \cdot 10^6$ Kelvin
- $\rho \ll \rho_{\text{Sonne}}$

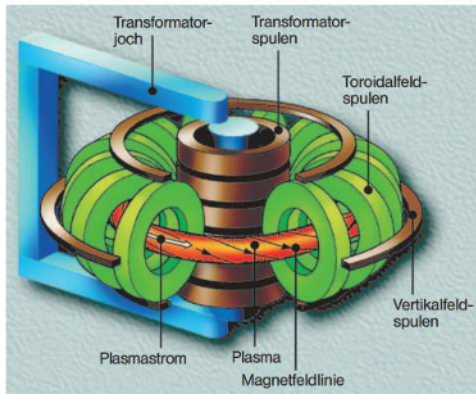
- D/D:
 $\text{D} + \text{D} \rightarrow \text{p} + \text{T} + 4,0 \text{ MeV}$
- H3/H3:
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 \text{p} + 12,9 \text{ MeV}$
- B11/p
 ${}^{11}\text{B} + \text{p} \rightarrow 3 {}^4\text{He} + 8,7 \text{ MeV}$

Tau_e = > 6e28 sK/m^3
Einschlusszeit

Alle ineffizienter oder schwerer zubeschaffede Stoffe

Plasma elektronen werden von Kern getrennt Ionen können durch magnetfeld abgelenkt werden

Tokamak-Architektur



Toroidal-feld-spulen schließen Plasma ein, Transformator induziert Strom von vielen Hunderttausend-Mio Amp was Plasma in Bewegung setzt, Plasmaring agiert als Windung der Transformatorspule. Plasma heizt sich durch elektrischen Widerstand weiter auf. Plasma erzeugt eigenes B-Feld (Poloidal-feld). Vertikal-feld-spulen zur Stabilisierung.

Aufheizen durch Transformator nur im Pulsbetrieb, da Transformator auf wechselnden Strom angewiesen ist.

Mikrowellenheizung ermöglicht weiteren Betrieb.

Tokamak-Architektur

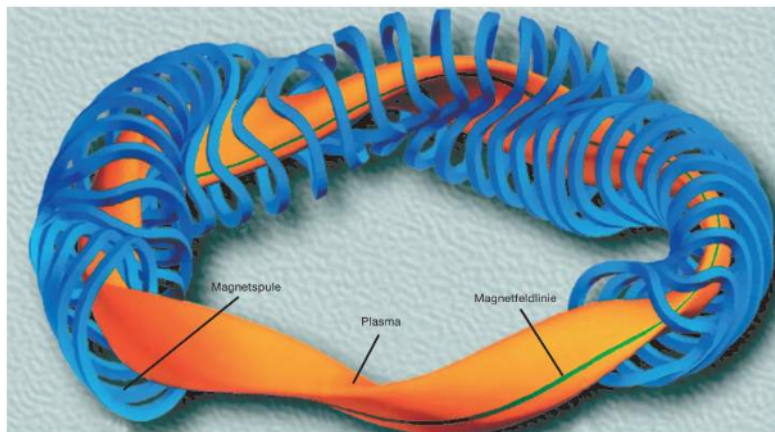
Pro:

- Simple Geometrie

Contra:

- Kann nur im Pulsbetrieb laufen

Stellarator-Architektur



Plasma wird ausschließlich durch äußere Spulen eingefangen, kein Transformator oder Vertikal-feld nötig auf Grund der komplexen Geometrie.

Hochfrequenzheizung oder Neutralteilchenheizung zum Betrieb nötig.

Stellarator-Architektur

Pro:

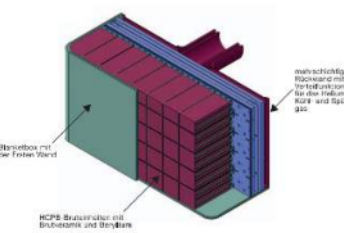
- Kann im Dauerbetrieb laufen
- Transformator und Vertikal-feld nicht notwendig

Contra:

- Komplexe Geometrie → kompliziert in Bau und Betrieb

Energieumwandlung im Blanket

- Umwandlung von Neutronenenergie in Wärme
- Erbrüten von Tritium
 ${}^6\text{Li} + \text{n} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H} + 4,8 \text{ MeV}$
- Strahlenschutz



Blanket mit Kanälen durchzogen durch die Helium unter ungefähr 8 megapascal druck fließt (80bar)
Danach selbes Verfahren zur Wärme umwandlung wie bei Fissionsreaktor

Quellen

- <https://www.fusion.kit.edu/downloads/Kernfusion.pdf>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Kernfusion>
- <https://www.fraunhofer.de>