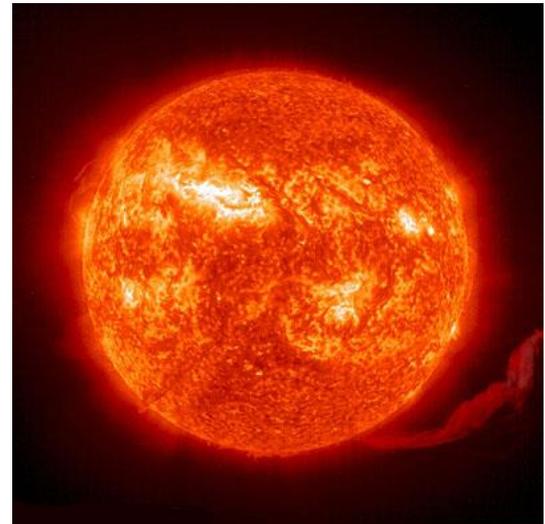
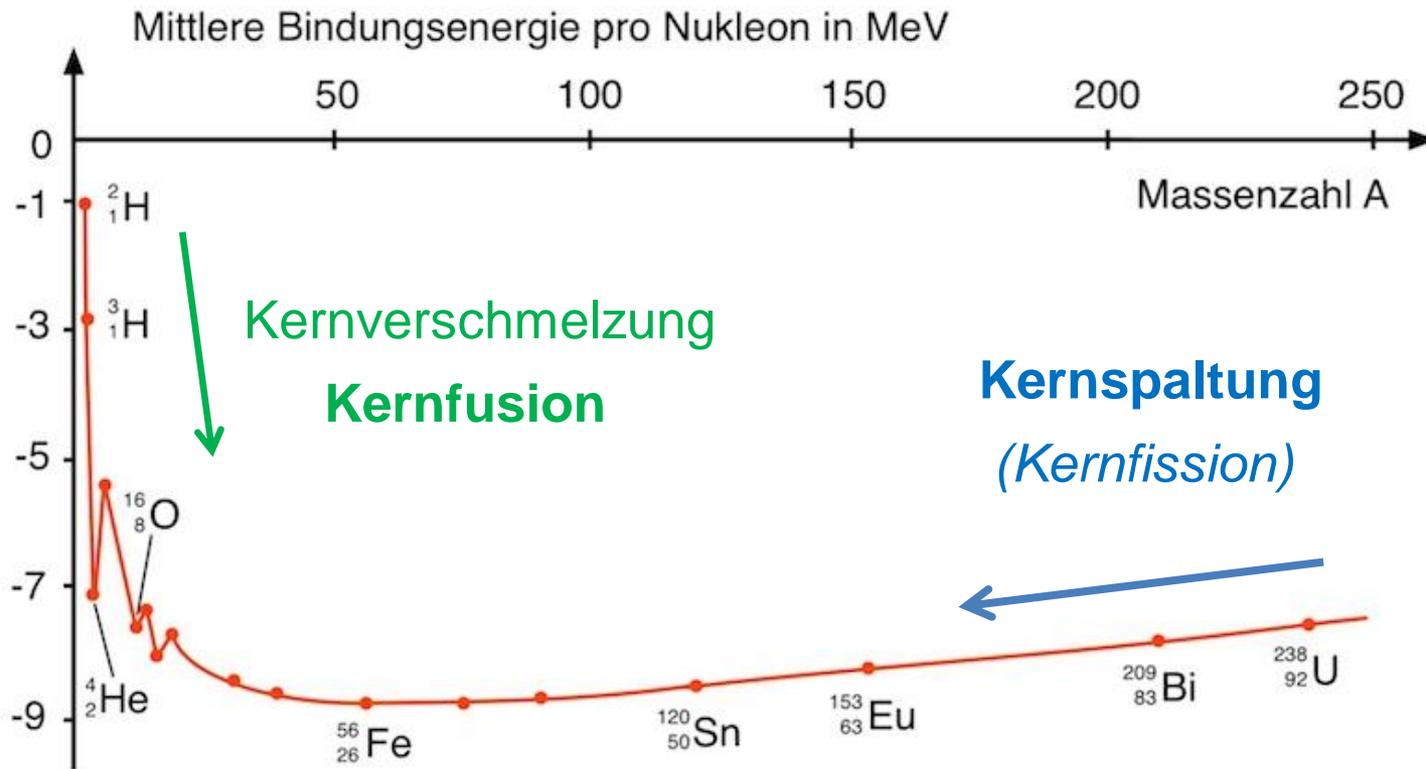


# Nutzung der Kernenergie





Die Kernbindungsenergie pro Nukleon ist für leichte und schwere Kerne größer als für mittelschwere Kerne.

Zur Nutzung der Kernenergie muss bei Kernumwandlungen Energie frei werden.

→ exotherme Reaktion

Die frei werdende Energie ergibt sich aus dem Massendefekt.

# (1) Die Kernspaltung (Kernfission):

## Entdeckung:

- 1938 versuchte man durch Kernreaktionen neue chemische Elemente zu finden.
- Durch Beschuss von Urankernen mit Neutronen entstehen  $\beta$ -Strahler, deren Folgekernen eine höhere Ordnungszahl besitzen.

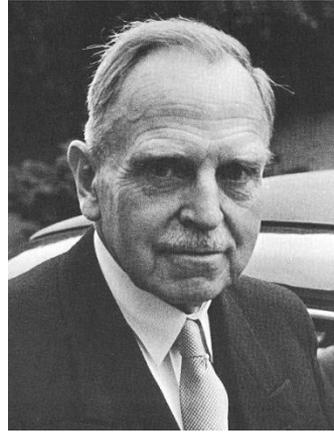
→ **Transurane**

- Chemische Analyse der Umwandlung ergab Elemente, die nicht in der Nähe des Urans zu finden sind.

→ **z.B. Barium**

## Schlußfolgerung:

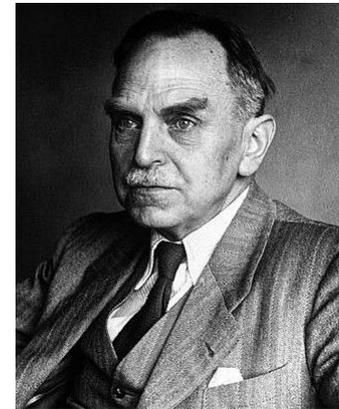
Es fand eine andere Reaktion statt.  
Der Atomkern musste sich gespalten haben.



Otto Hahn

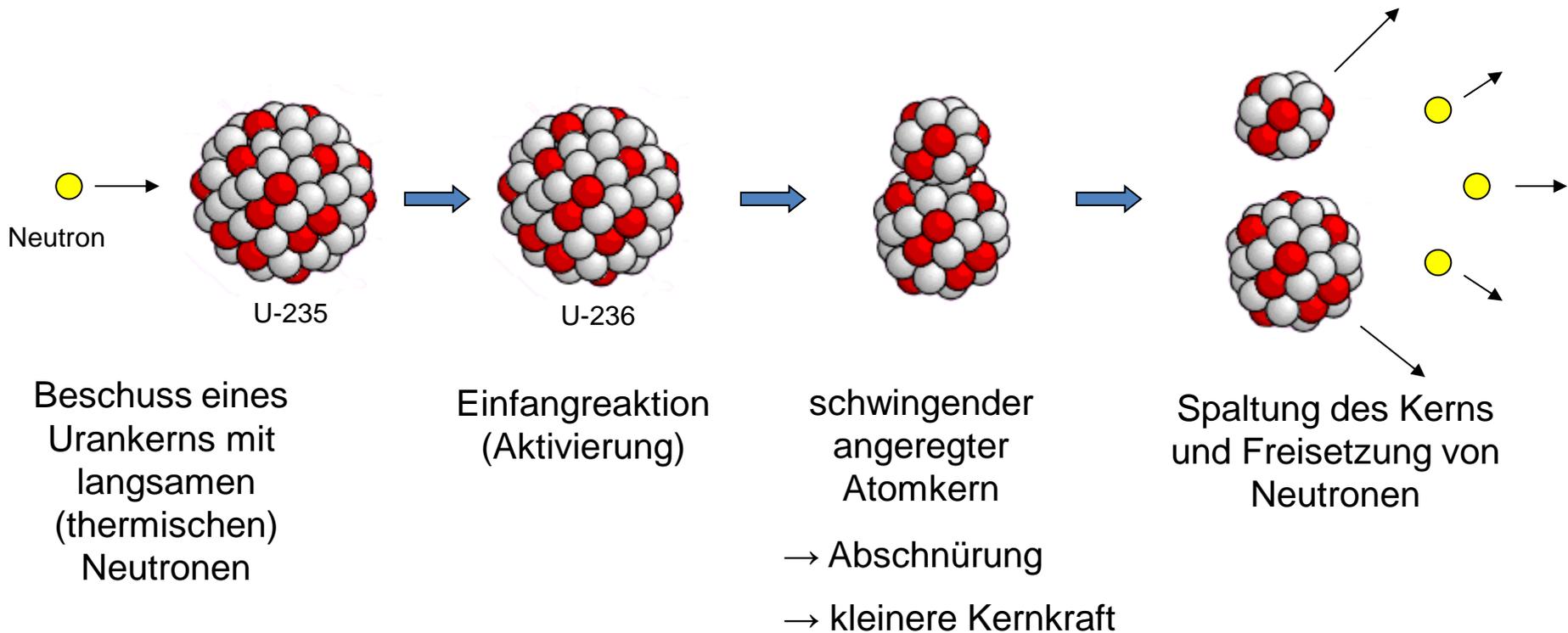


Lise Meitner



Fritz Straßmann

# Modellbeschreibung der Kernspaltung: (Tröpfchenmodell)



Bei der Kernspaltung zwei annähernd gleich große Kerne (*Massenverhältnis 2:3*) hoher kinetischer Energie und weitere (2 – 3) schnelle Neutronen, sowie  $\gamma$ -Strahlung.

Die Spaltprodukte sind selbst radioaktiv.

## Bedingungen:

Nur langsame (*thermische*) Neutronen können Kernspaltungen auslösen.

Nur bestimmte Isotope sind für die Kernspaltung geeignet.

*Die eingefangenen Neutronen müssen eine Fissionsenergie erbringen. (z.B. U-235, U-233, Pu-239, Pu-241)*

Es müssen sehr viele Spaltprozesse ablaufen.

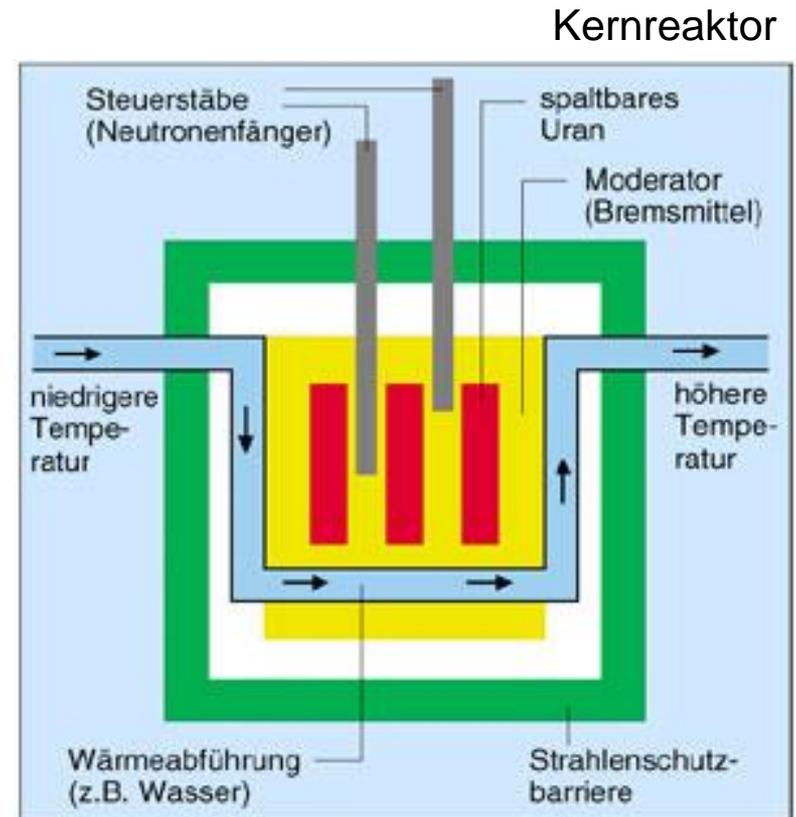
### ► Kettenreaktion

Die freiwerdenden Neutronen einer Kernspaltung müssen abgebremst werden.

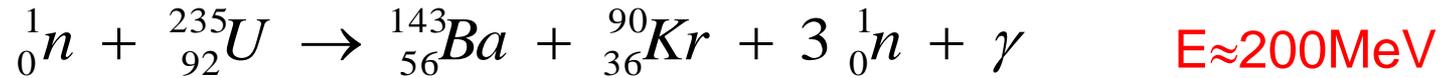
### ► Moderator (Wasser)

Die Anzahl der stattfindenden Kernspaltung muss kontrolliert werden.

### ► Regelstäbe (z.B.: Bor)



## Beispiel:



## **Nebenwirkungen:**

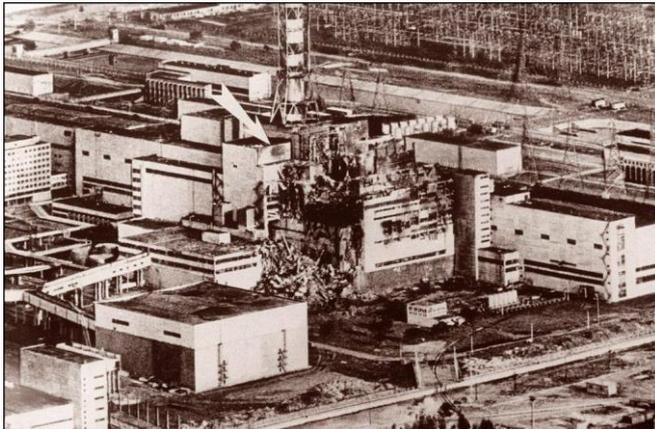
Die bei einem Spaltvorgang entstehenden Spaltprodukte sind hoch radioaktiv.

Die Spaltprodukte besitzen eine sehr große Halbwertszeit.

► **radioaktiver Müll**

**Endlagerung ?**

**Sicherheit von Kernkraftwerken ?**



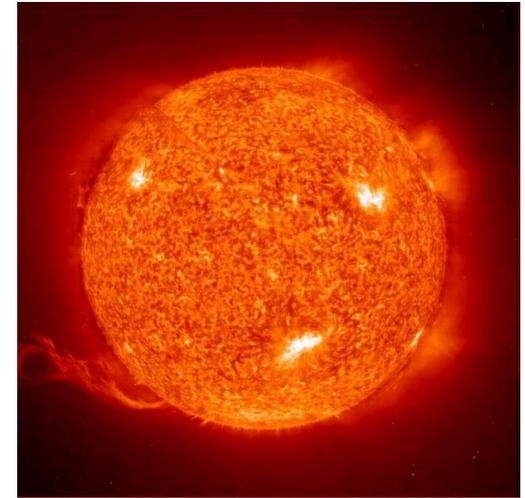
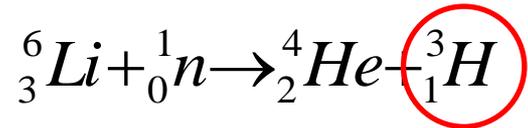
Tschernobyl - 1986

Fukushima - 2011

## (2) Die Kernfusion:

### Voraussetzungen:

- (1) geeignete Ausgangsstoffe (D, T, Li)
  - Deuterium nur zu 0,015% und Tritium fast gar nicht in der Natur vorkommend
  - künstliche Herstellung - Erbrüten



- (2) Aufeinanderschießen der zu verschmelzenden Kerne
  - Überwindung der Abstoßungskräfte
  - hohe kinetische Energie (0,3MeV)
- (3) Zusammenhalt der zu verschmelzenden Kerne
  - hohe Teilchendichte

### Realisierung:

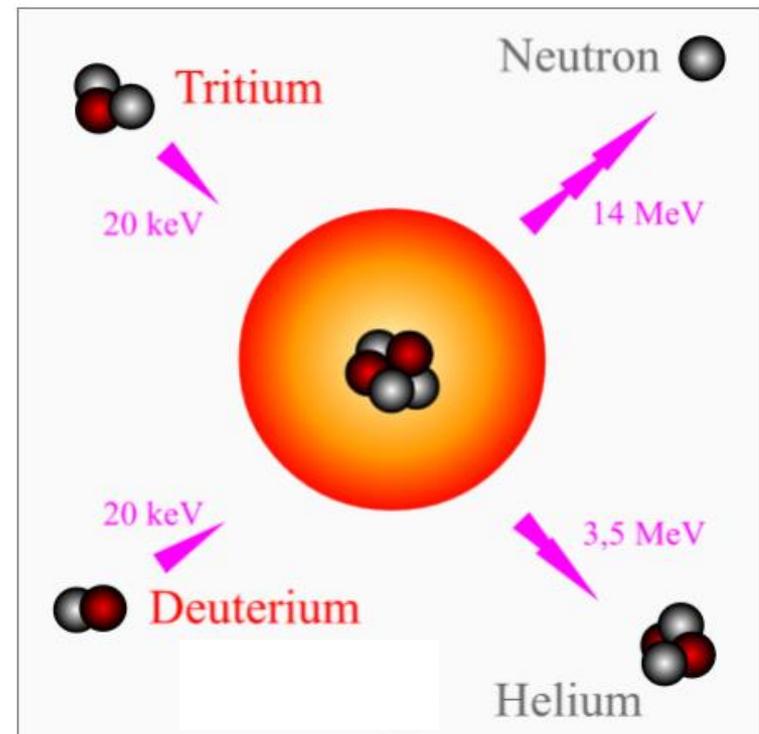
- hohe Temperatur ( $10^8\text{K}$ )  
- hoher Druck

} **Plasma** → **Thermonukleare Reaktion**

## Beispiele für Fusionsreaktionen:

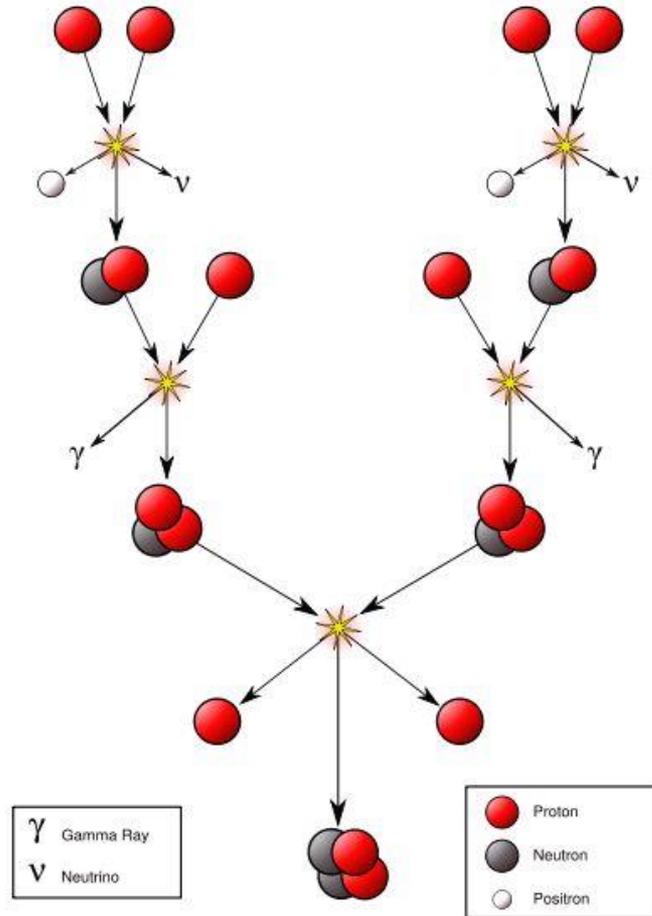
Reaktion	Energie
${}^2_1\text{D} + {}^3_1\text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$	17,5MeV
${}^2_1\text{D} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$	3,3MeV
${}^2_1\text{D} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^3_1\text{T} + {}^1_1\text{p}$	4,0MeV
${}^2_1\text{D} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{p}$	18,3MeV
${}^1_0\text{n} + {}^6_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{T}$	4,8MeV

## Deuterium–Tritium–Reaktion: (Energiebilanz)

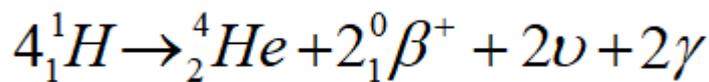


# Kernfusionen auf Sternen:

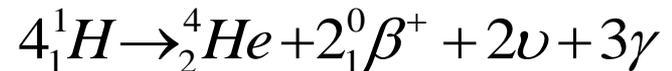
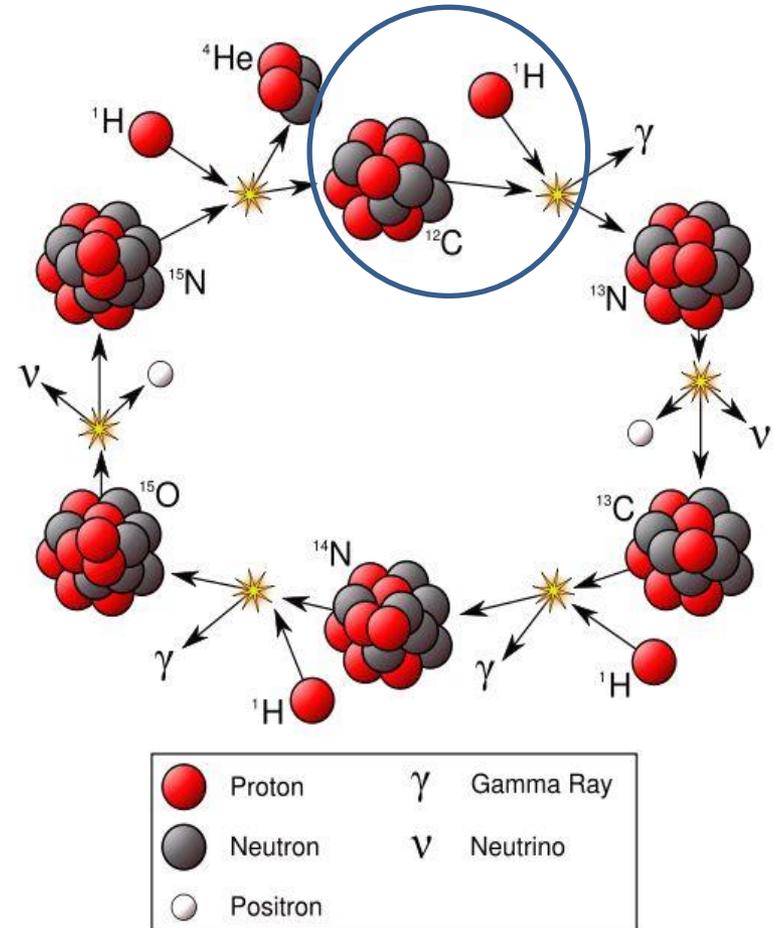
(A) Protonen-Protonen-Reaktion



„Wasserstoffbrennen“



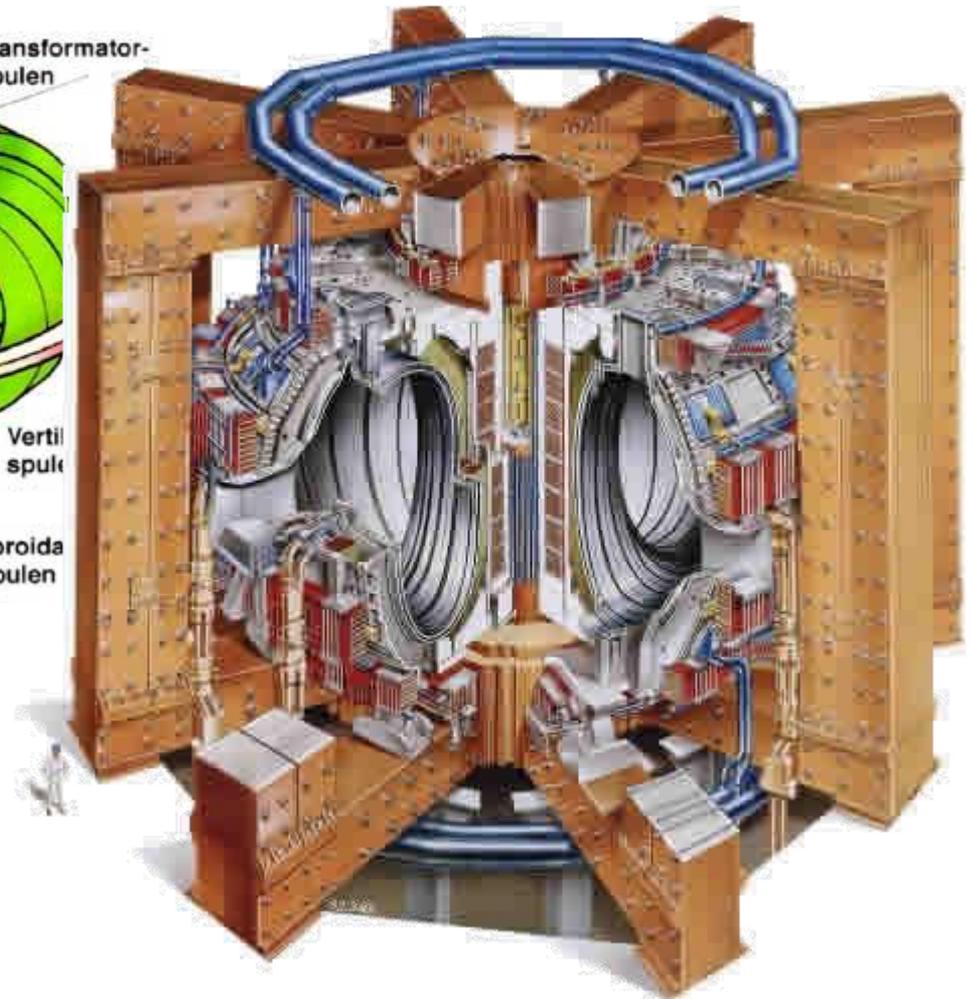
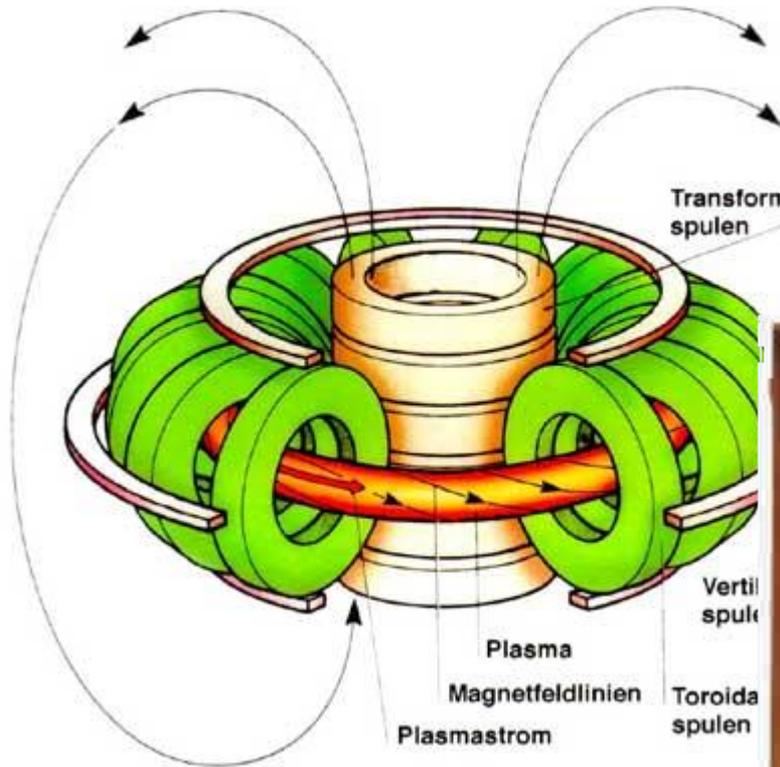
(B) Bethe-Weizäcker-Zyklus



(Kohlenstoff als Katalysator)

# Technische Umsetzung

→ Der Tokamak



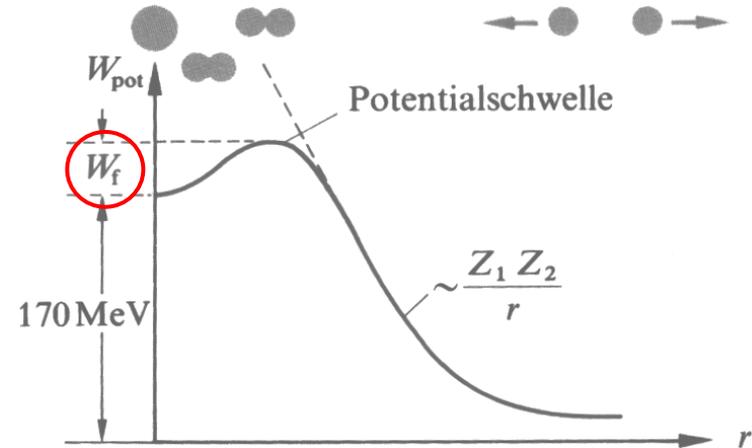
# Zukunft ?

## Spaltbares Material:

Nicht alle schweren Atomkerne sind für die Kernspaltung geeignet.  
Eine spontane Kernspaltung ist extrem unwahrscheinlich.

Um die Spaltung eines Atomkerns auszulösen ist eine Fissionsenergie (Spaltungsenergie)  $W_f$  notwendig.

Diese Energie muss durch die Bindungsenergie  $W_b$  der Neutronen aufgebracht werden.



### spaltbare Atomkerne:

Nuklid	<b>Th-232</b>	<b>U-233</b>	<b>U-235</b>	<b>U-238</b>	<b>Pu-239</b>	<b>Pu-240</b>	<b>Pu241</b>
$T_{1/2}$	$1,4 \cdot 10^{10} \text{a}$	$1,6 \cdot 10^8 \text{a}$	$7 \cdot 10^8 \text{a}$	$4,5 \cdot 10^9 \text{a}$	$2,4 \cdot 10^4 \text{a}$	6550a	14,4a
$W_f/\text{MeV}$	6,4	5,2	5,8	6,3	4,8	5,0	5,0
$W_b/\text{MeV}$	5,1	6,7	6,4	4,8	6,4	4,5	5,2
$W_n/\text{MeV}$	1,3	0	0	1,5	0	0,5	0

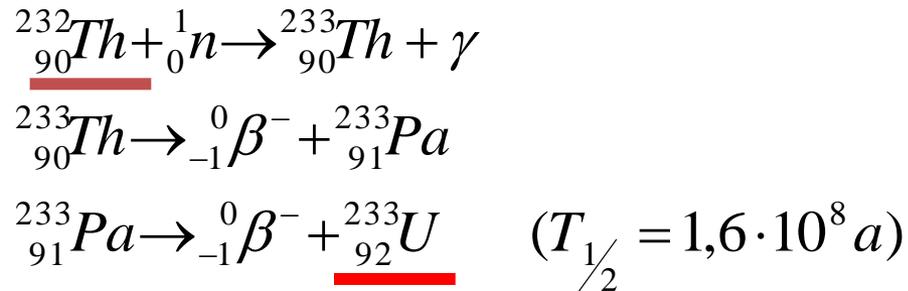
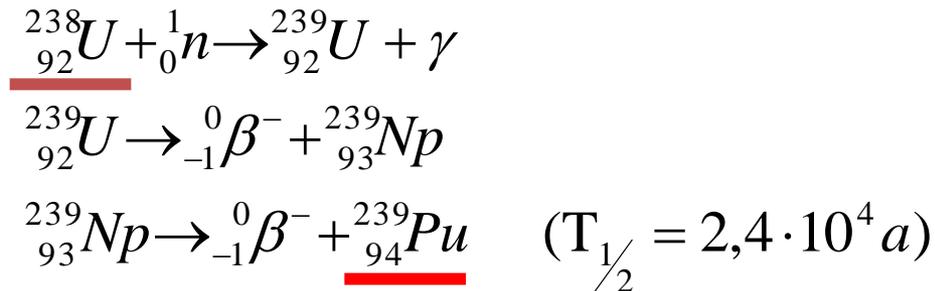
**0,006%      0,7%      99,3%**

Uran-235 ist das einzige in der Natur vorkommende spaltbare Material.

Anderes spaltbares Material muss künstlich hergestellt werden.

[zurück](#)

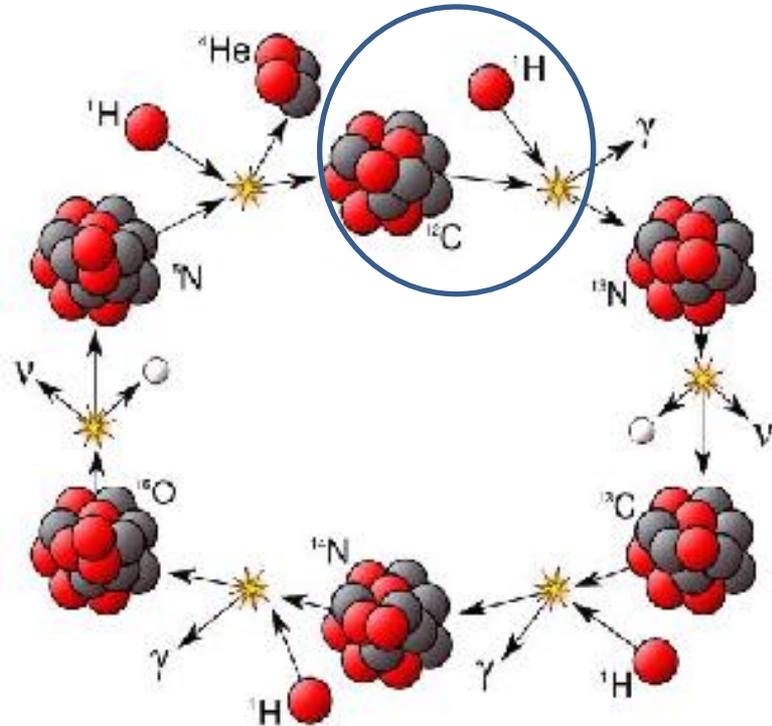
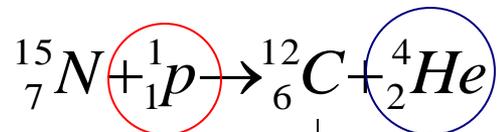
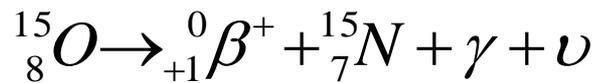
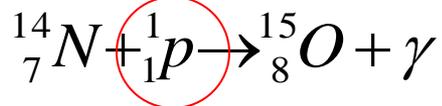
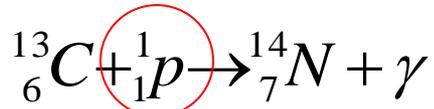
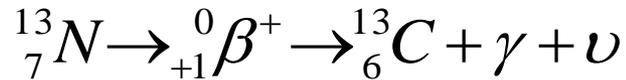
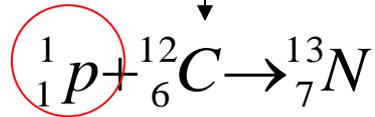
## Herstellung von spaltbarem Material:



Das Spaltmaterial **Pu-239** und **U-233** kann aus dem Brutmaterial **U-238** bzw. **Th-232** künstlich hergestellt (erbrütet) werden.

# Teilprozesse des Bethe-Weizsäcker-Zyklus:

Start: Einfangreaktion



(Kohlenstoff als Katalysator)