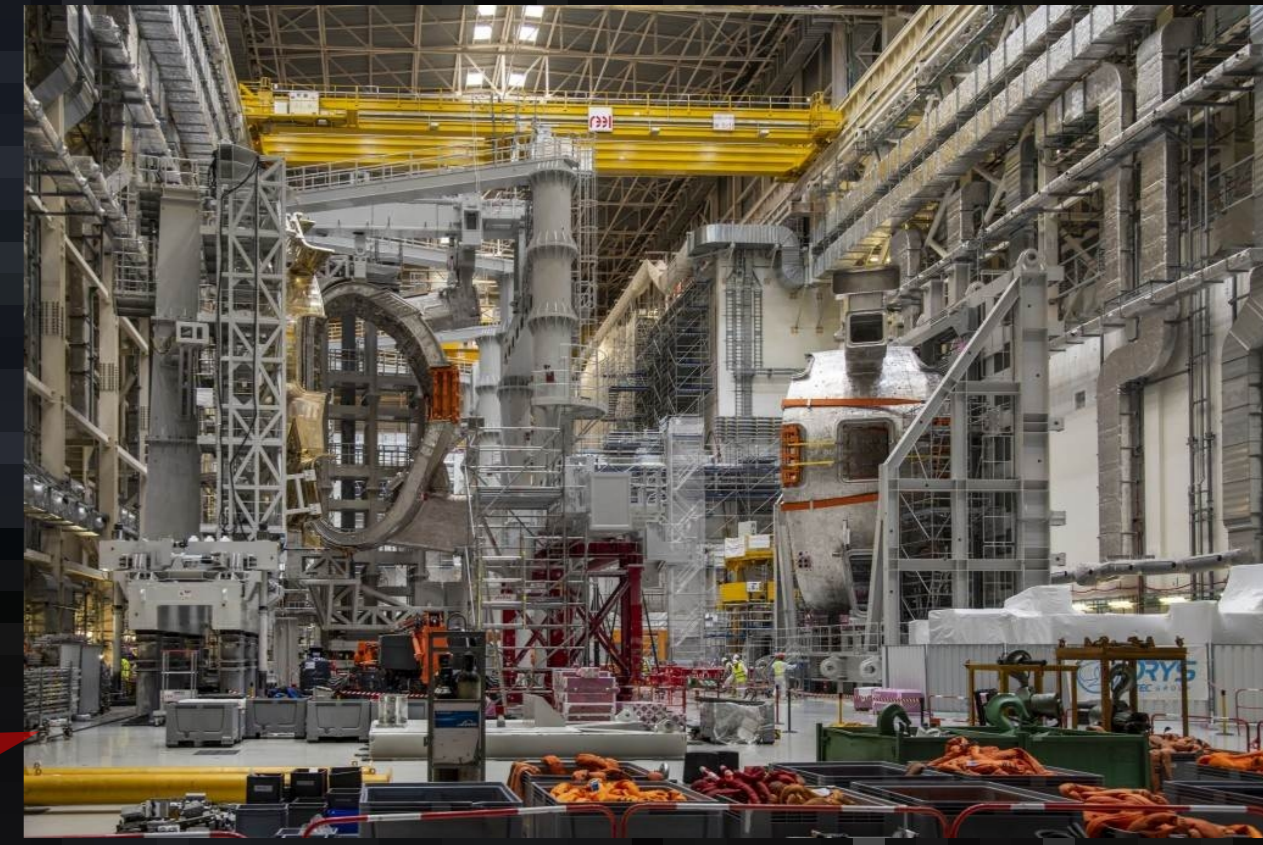


KERNFUSION: ENERGIE DER ZUKUNFT?

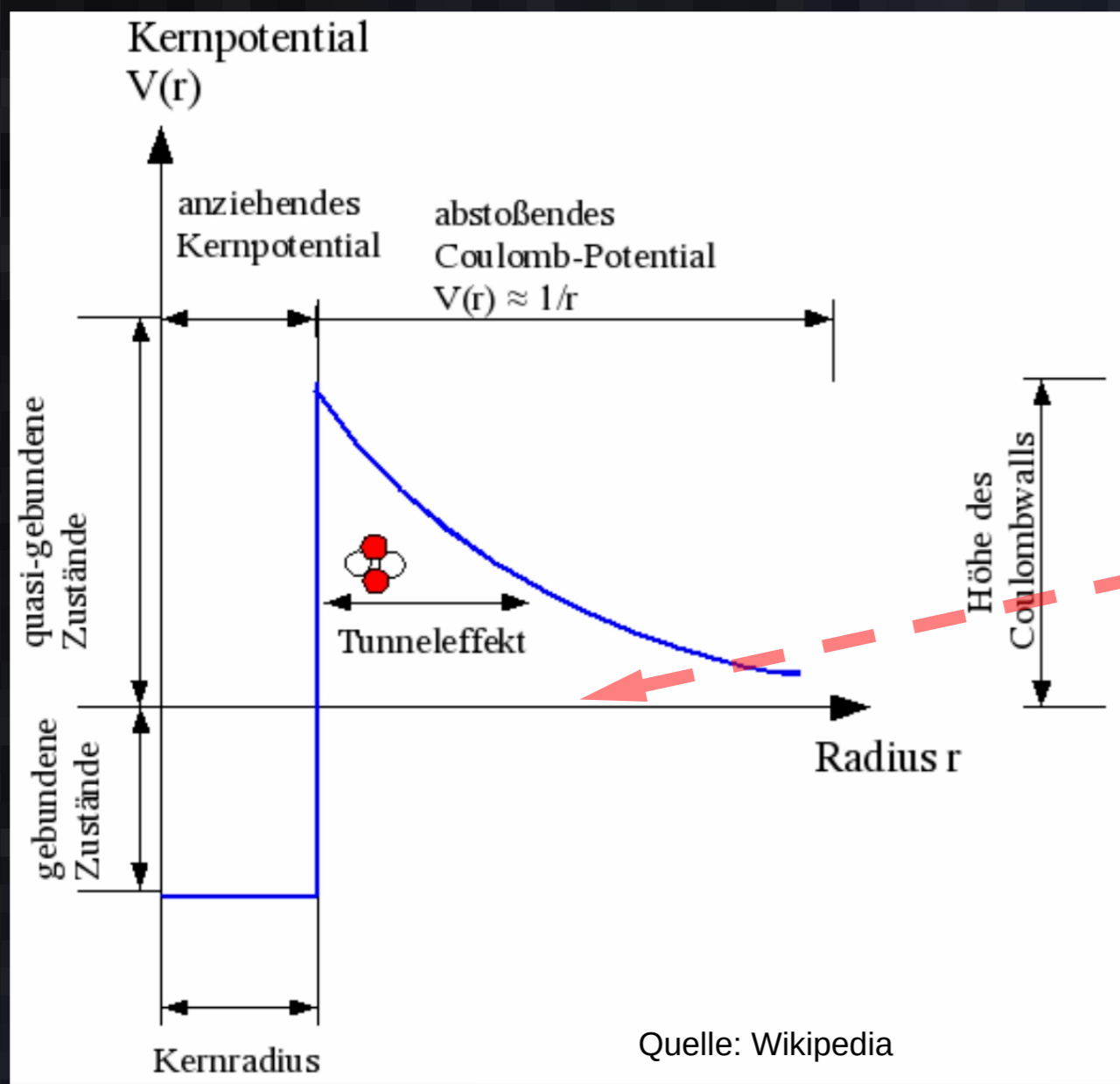
Historisches:

- **1919:** Erste (endotherme) Fusionsreaktion durch Rutherford beim Beschuss von Stickstoff-Gas mit α -Teilchen: $^{14}\text{N} + ^4\text{He} \rightarrow ^{17}\text{O} + ^1\text{H}$ ($\Delta E = -1,2 \text{ MeV}$)
- **1934:** Fusion von Deuterium zu Tritium: $D + D \rightarrow T + p$ ($\Delta E = +4,0 \text{ MeV}$)
- **1954:** Zündung der ersten Fusionsbombe im Bikini-Atoll durch die USA (unkontrollierte Fusion)
- **1950er Jahren:**
 - Theoretische Konzepte zum Einschluss von extrem heißen Plasmen
 - Bau erster Forschungsanlagen in Form von **Tokamaks** und **Stellaratoren**
- **1997:** Die Fusionsanlage **JET (Joint European Torus)** erzeugt ca. 5s lang eine Fusionsenergie von 22 Mega-Joule (MJ); 4,4 Mega-Watt (MW) Leistung
- **Dezember 2021:** **JET** erzeugt ca. 5s lang eine Fusionsenergie von 59 MJ; 11 MW Leistung
- **Dezember 2022:** Laserinduzierte Fusion am **NIL (National Ignition Facility)** erzeugt Energieüberschuss
- **Februar 2023:** Erste Fusionsreaktion von Wasserstoff und Bor im **LHD (Large Helical Device)** in Japan
- **2025:** Geplante Inbetriebnahme des weltgrößten Fusionsreaktors **ITER** Leistung: 500 MW



Quelle: ITER

International Thermonuclear Experimental Reactor



70 Jahre Forschung und kein Ende in Sicht?

Herausforderungen der Kernfusion:

- Kerne sind positiv geladen und stoßen sich elektrostatisch ab → **Coulomb-Abstoßung**
- Für Fusion muss das abstoßende Potential, die **Coulomb-Barriere**, überwunden werden → **Tunneleffekt**
- **Tunneleffekt:** Teilchen durchdringen, d.h. tunneln durch die Coulomb-Barriere und fusionieren.
- Tunnelwahrscheinlichkeit steigt mit zunehmender Energie!

Notwendige Energien erfordern Temperaturen und Teilchendichten wie im Innern der Sonne!

Umsetzung

Plasmaeinschluss mittels Magnetfelder:

Teilchendichte $n > 10^{14} / \text{cm}^3$
Temperatur $T > 150 \text{ Mio. } ^\circ\text{C}$

Heizung des Plasmas:

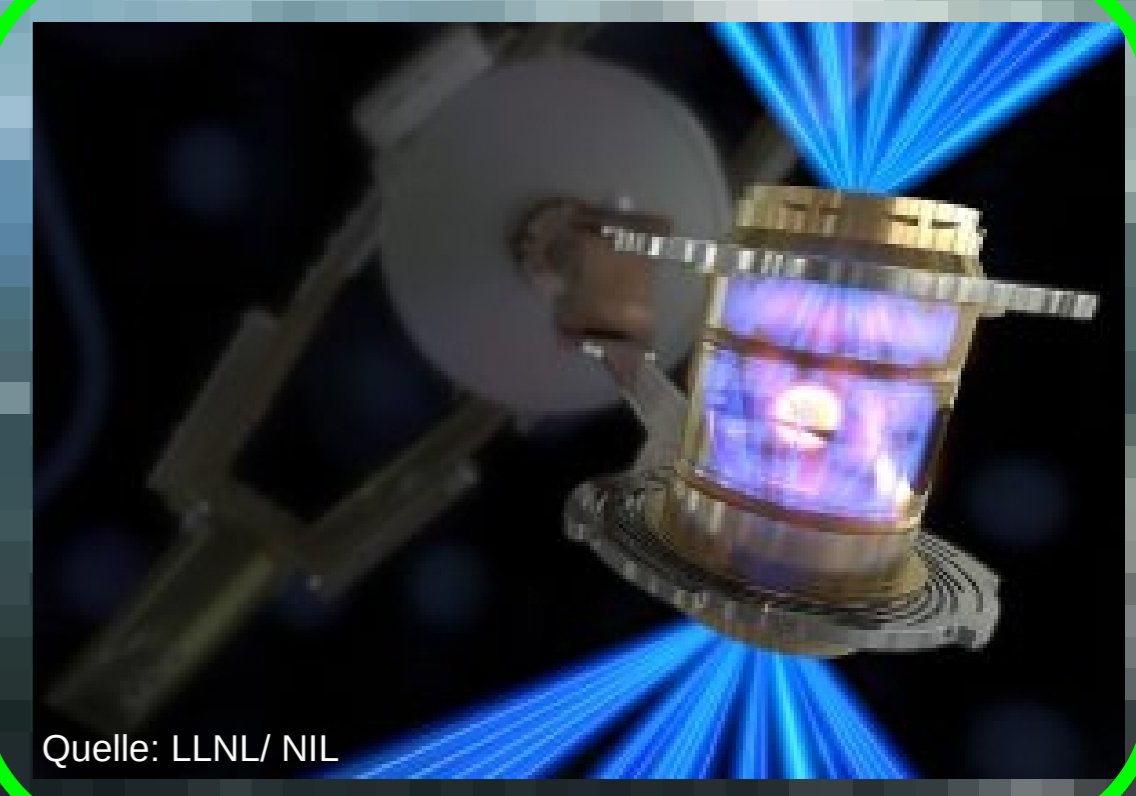
- Ohmsche Heizung
- Einschuss von neutralen H-Atomen mit hoher Energie
- Absorption elektromagnetischer Wellen

Trägheitsfusion (ohne Magnetfeld)

Teilchendichte $n > 10^{24} / \text{cm}^3$
 $T > 100 \text{ Mio. } ^\circ\text{C}$

Kleine Kapsel eines Deuterium/Tritium- Gemisches wird durch Hochenergie-Laser zur Zündung gebracht

NIL (National Ignition Facility)



Quelle: LLNL/ NIL

Mögliche Fusionsreaktion?

Prozesse in der Sonne: $p + p \rightarrow D + e^+ + \nu_e$
 $D + p \rightarrow ^3\text{He} + \gamma$

...sind technisch nicht umsetzbar, da Reaktionswahrscheinlichkeiten aufgrund der beteiligten schwachen bzw. elektromagnetischen Wechselwirkungen zu gering sind.

Nur Reaktionen mit Beteiligung der starken Wechselwirkung sind realisierbar!

Favorisiert wird: $D + T \rightarrow ^4\text{He} + n$ ($\Delta E = +17,6$)

Pro: Energieausbeute sehr hoch
Kleine Coulombbarriere

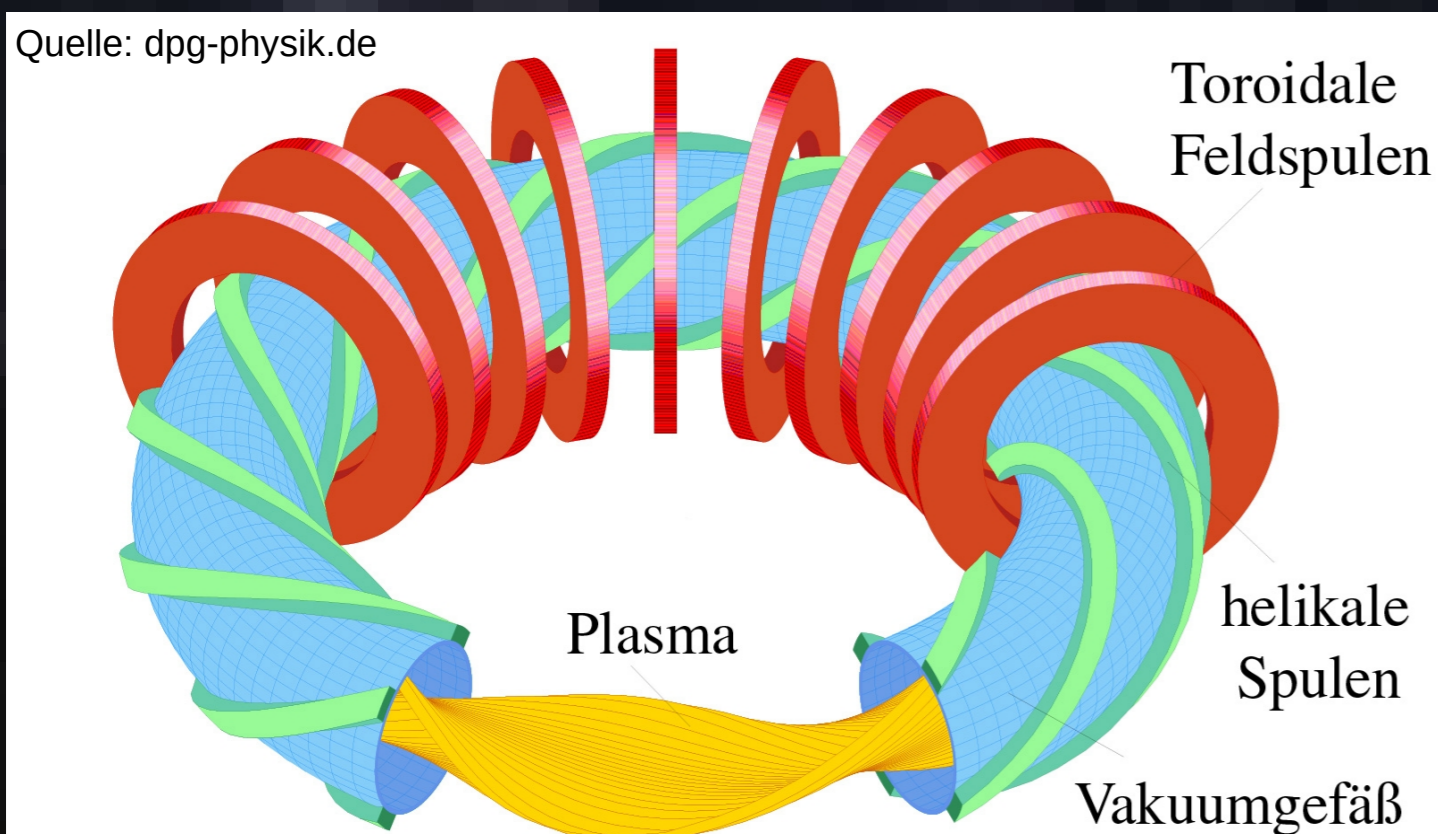
Contra: Tritium muss vorher erzeugt werden

Stellarator

Einschluss des Plasmas in gewundenem Magnetfeld

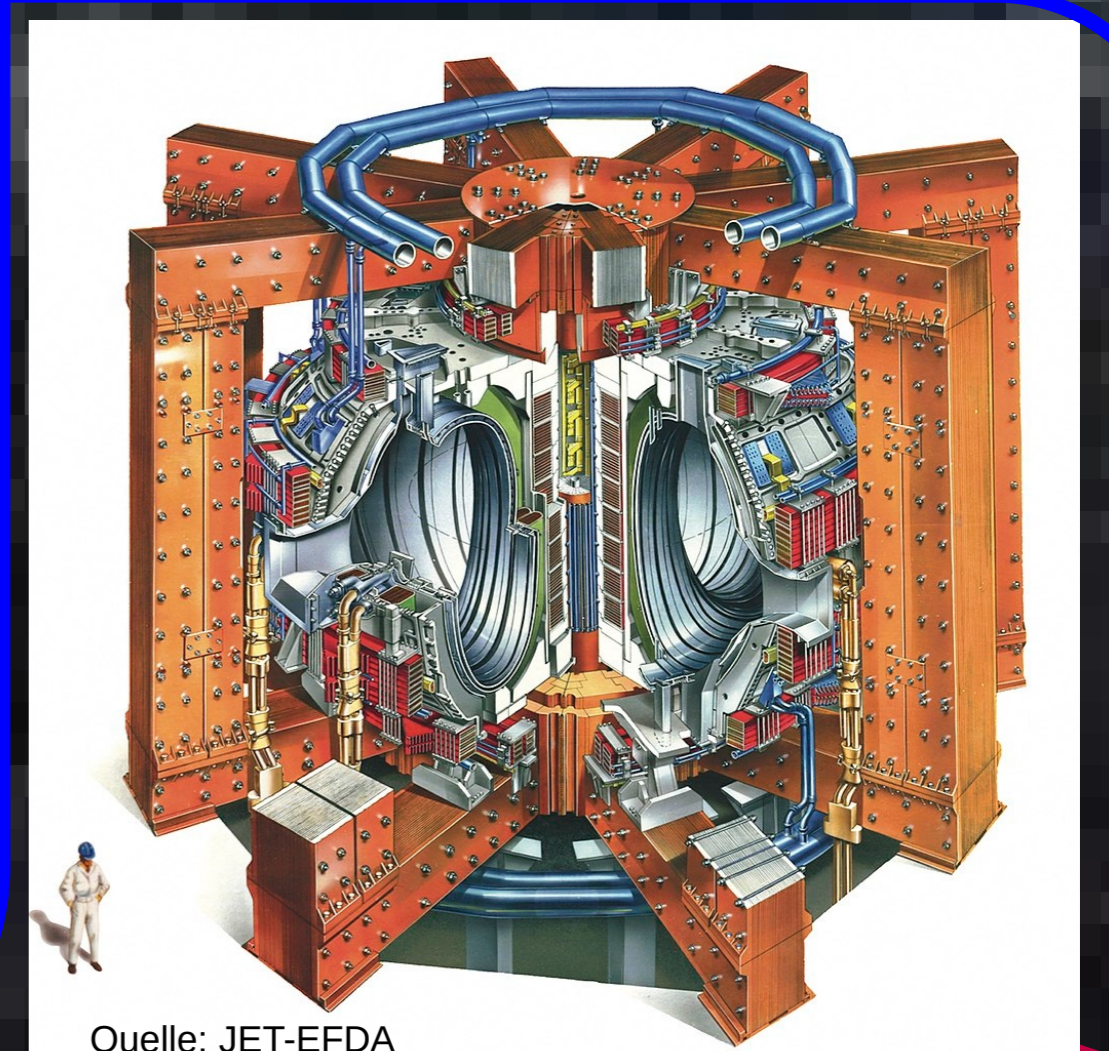
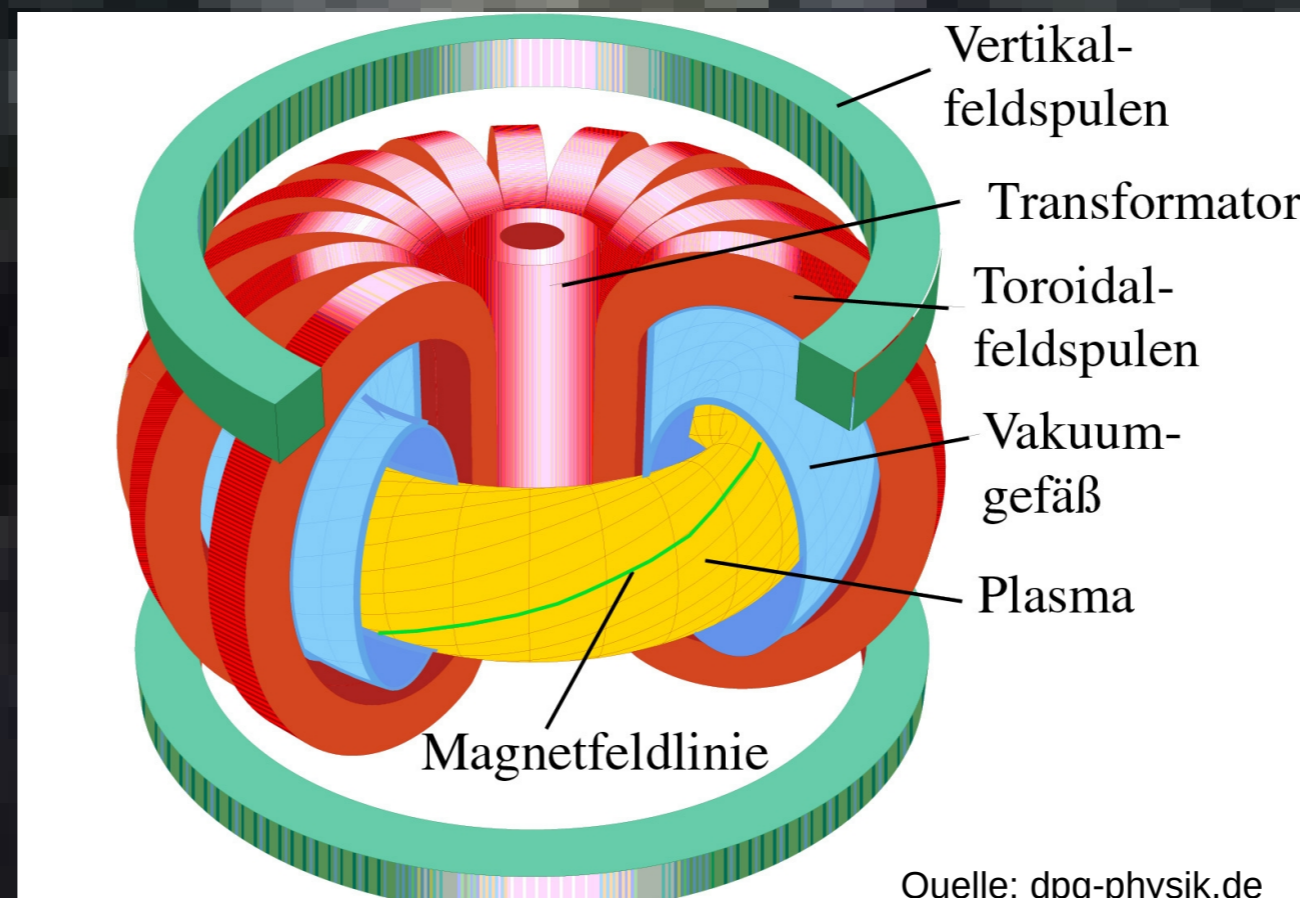
Wendelstein 7-X (Deutschland)
LHD (Japan)

Quelle: dpg-physik.de



Tokamak

- toroidales Magnetfeld
- Im Plasma wird ein Ringstrom induziert
- Plasma dient als Sekundärwindung eines Transformators
- Ergebnis: Verschraubung des Gesamtfeldes!
JET ITER



Quelle: JET-EFDA