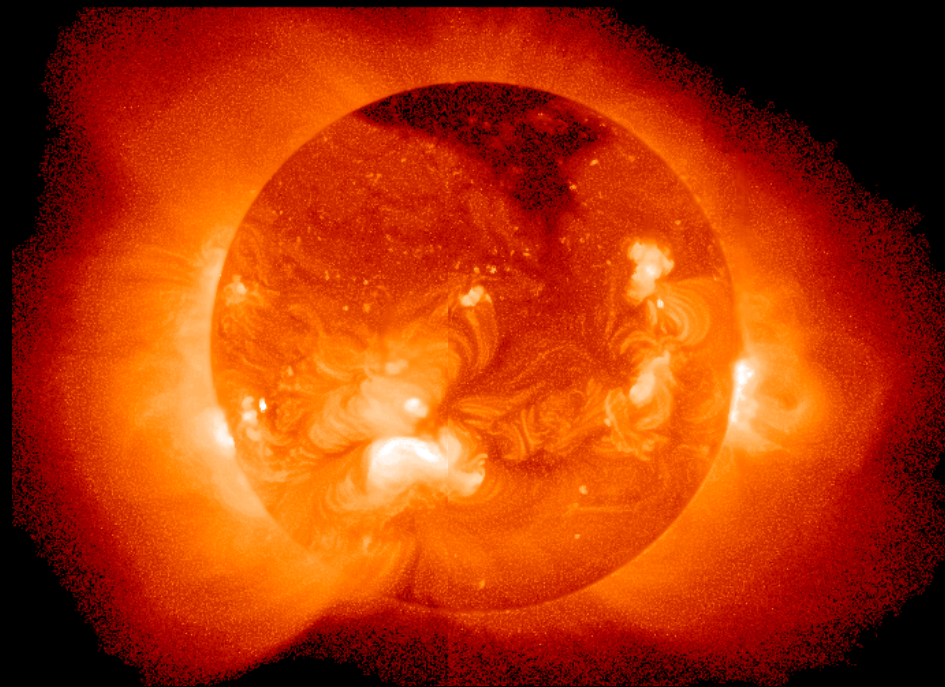
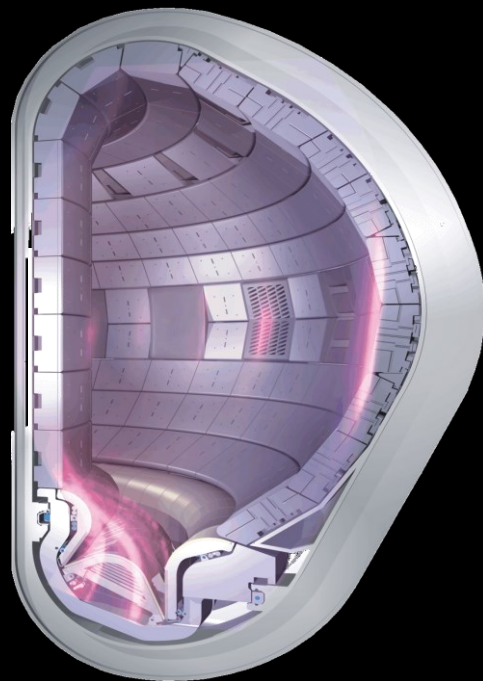




Fusion – Prinzip und Perspektiven

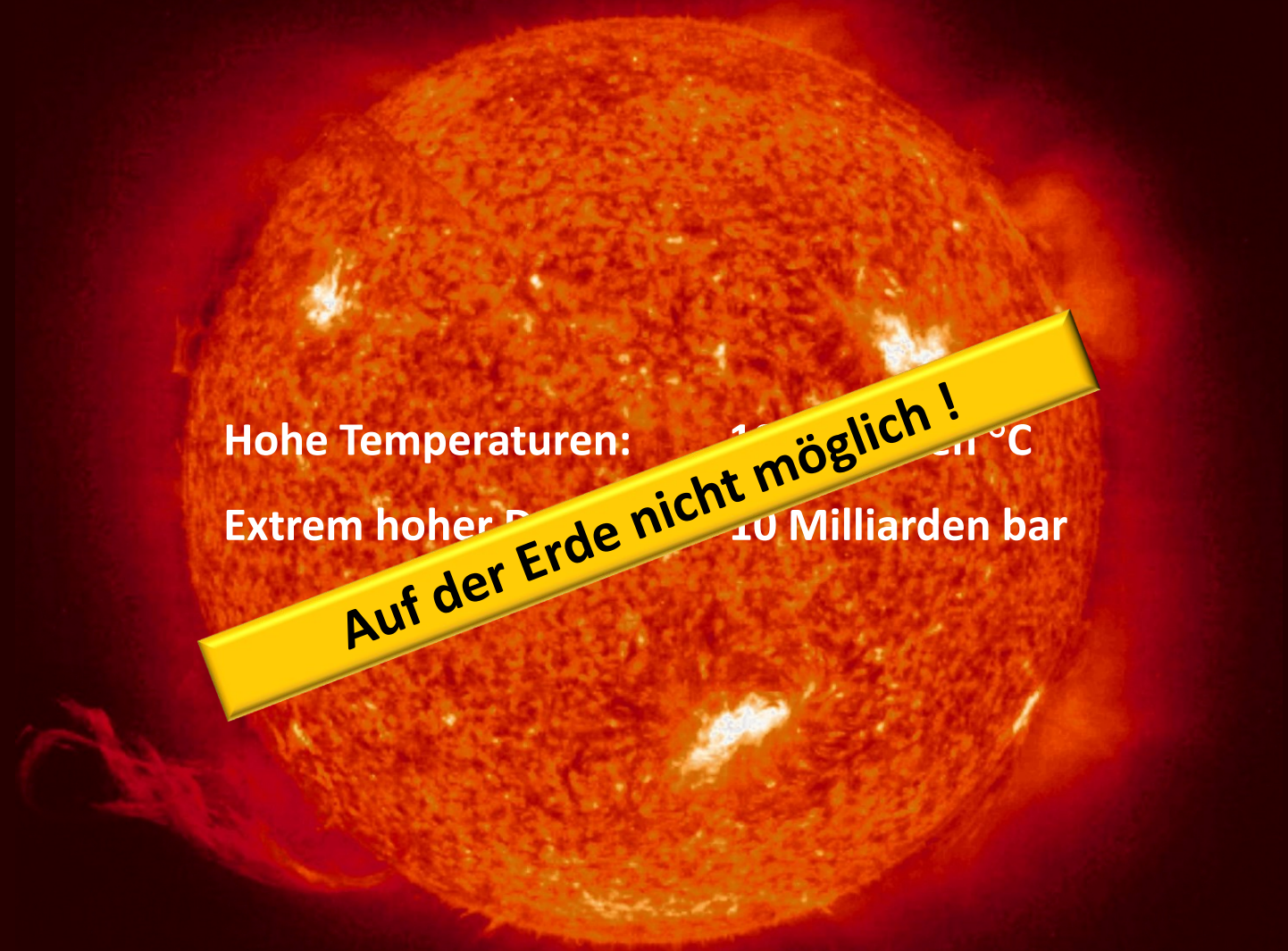
Rhein-Kreis Neuss – Ausschuss für Strukturwandel und Arbeit

2023-04-28 | Christian Linsmeier

Fusion – Energiequelle der Sonne

Verschmelzung von 4
Protonen (Wasserstoff) zu
Helium

ABER: Wasserstofffusion
ist extrem (!) ineffizient



Hohe Temperaturen:

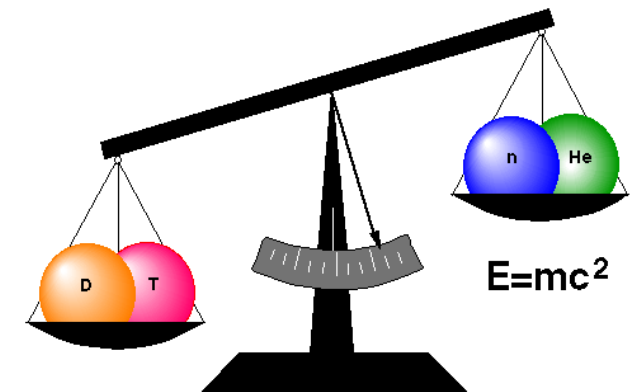
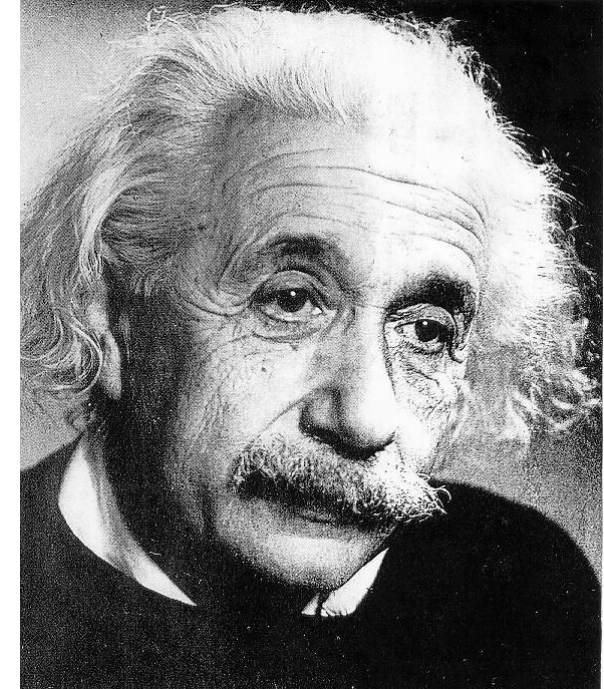
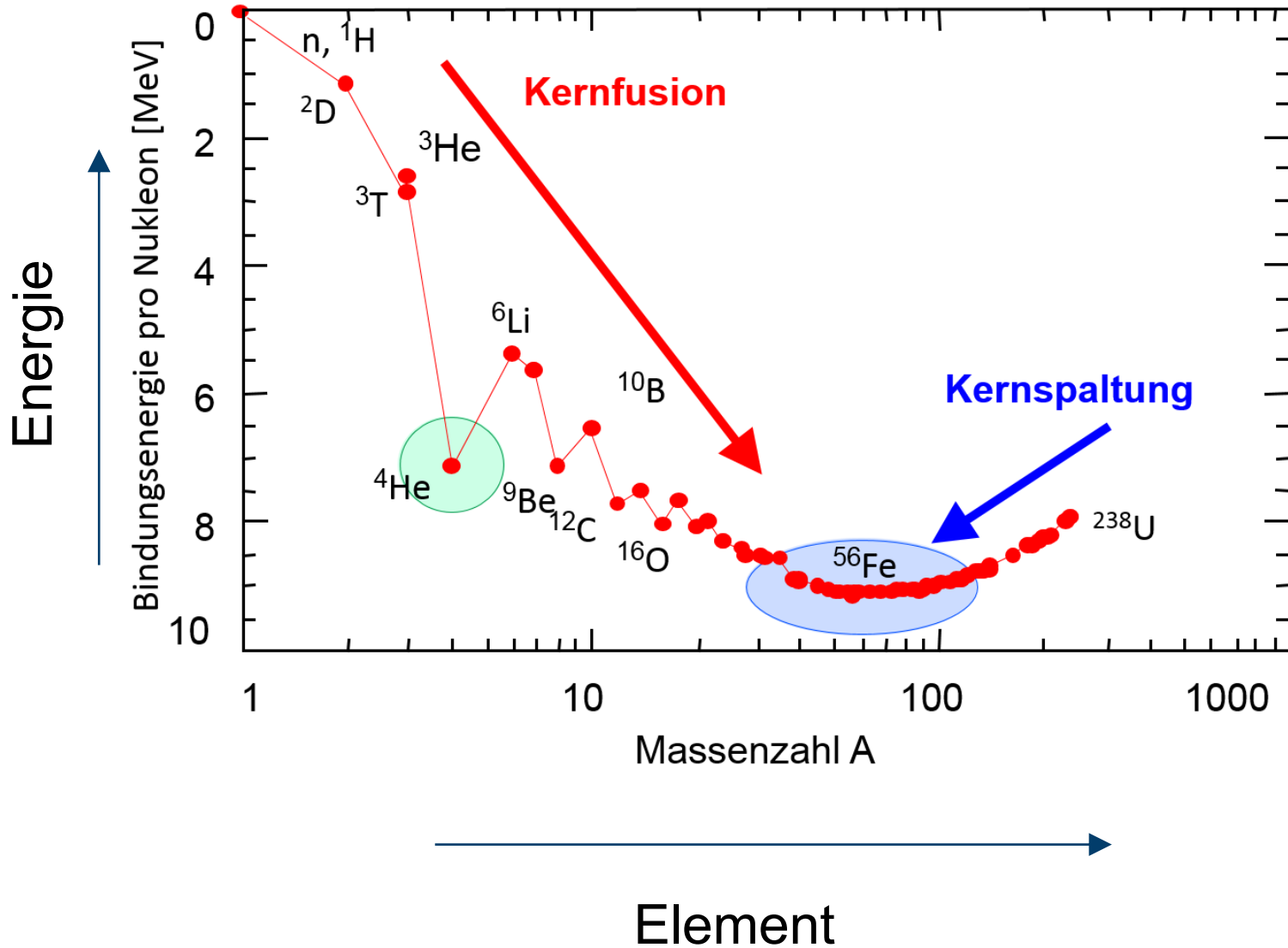
150 Millionen °C

Extrem hoher Druck:

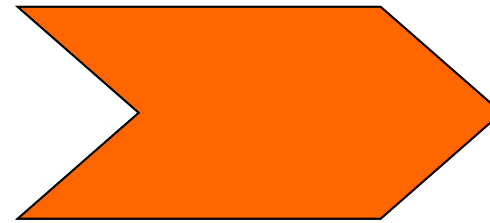
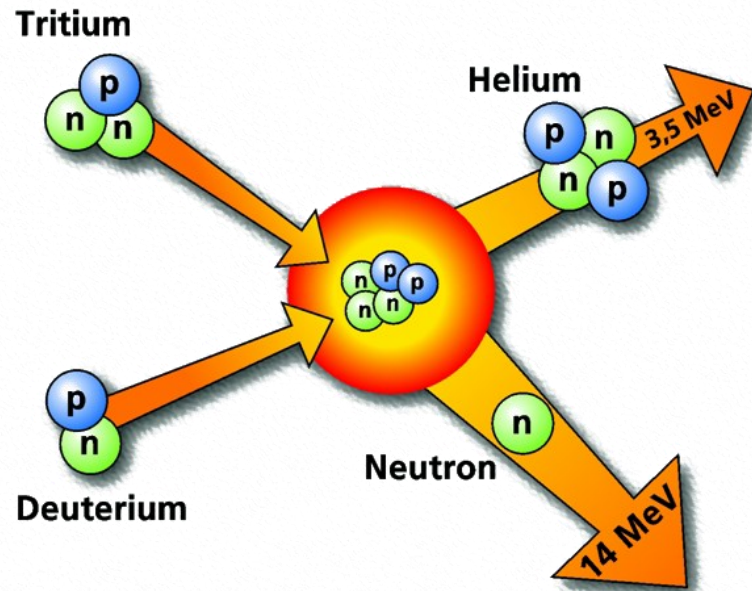
10 Milliarden bar

Auf der Erde nicht möglich !

Energie aus Fusion

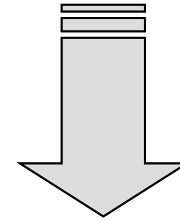


Ergiebigste Fusionsreaktion: Deuterium + Tritium



1 Million mal mehr
Energie pro Masse
als bei chemischen
Reaktionen

Wärme



Wasserdampf

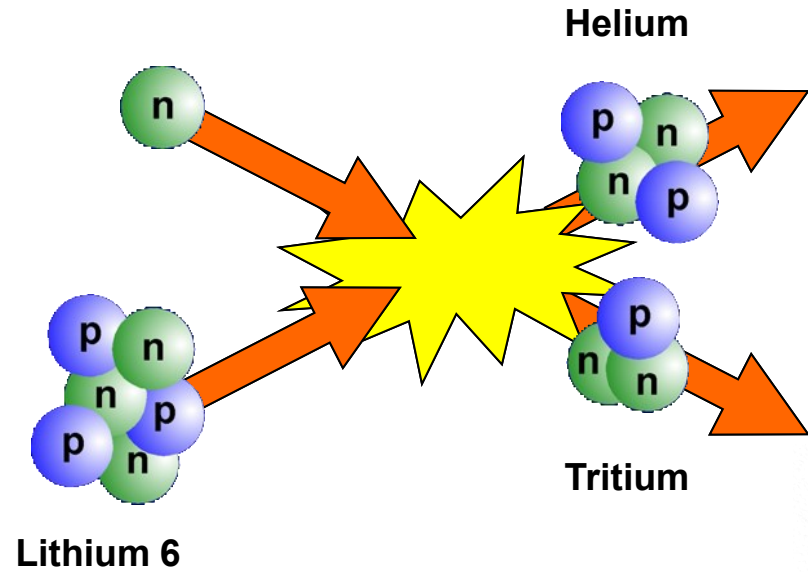


Dampfturbine

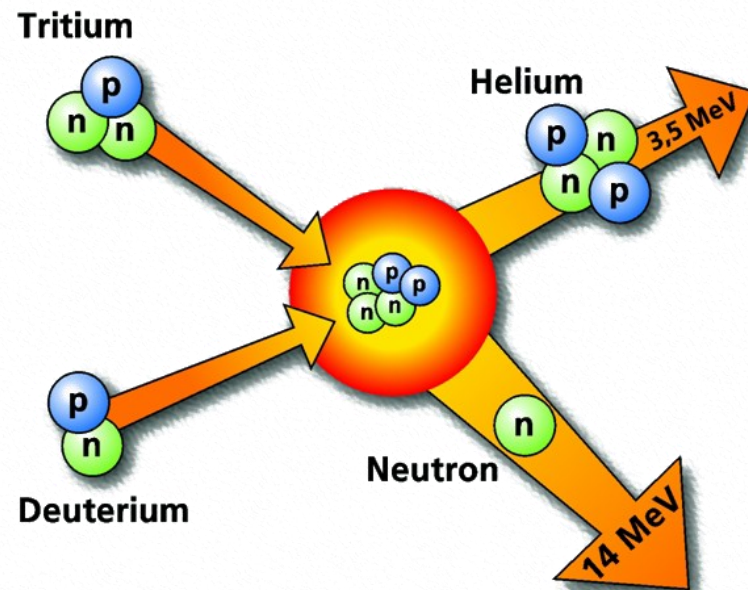


Stromgenerator

Ergiebigste Fusionsreaktion: Deuterium + Tritium

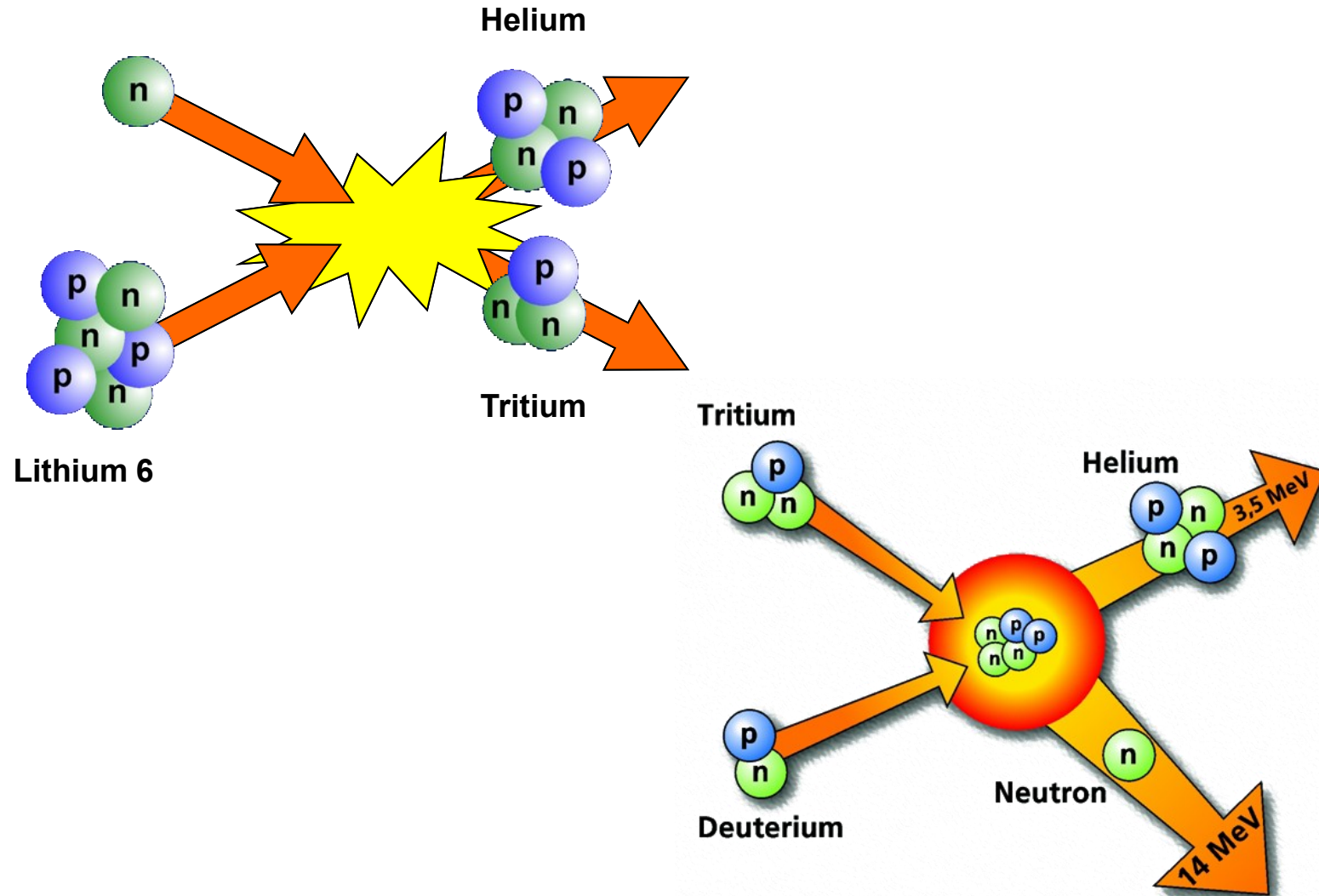


Tritium muss erbrütet werden



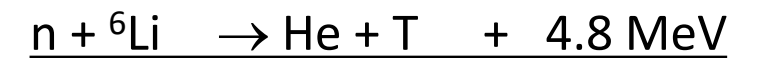
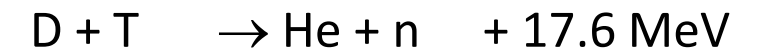
Geschlossener
Tritiumkreislauf

Rohstoffe sind Deuterium und Lithium



Geschlossener Tritiumkreislauf

Fusion



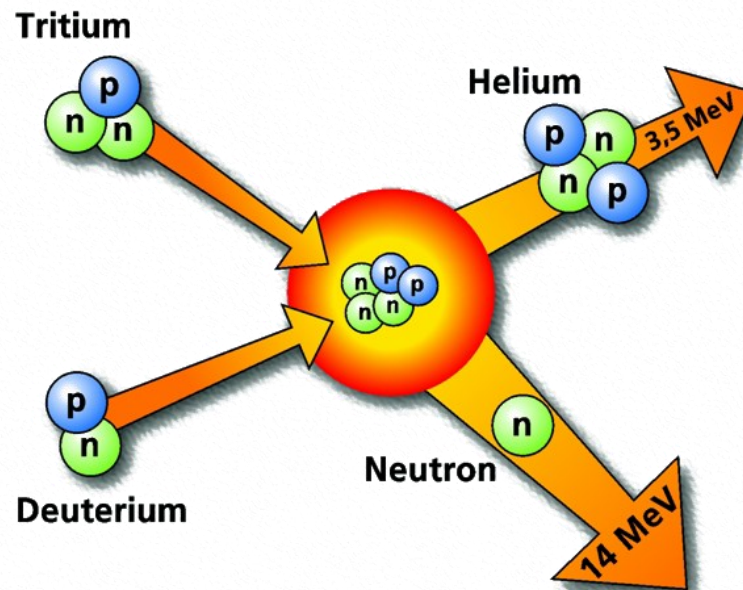
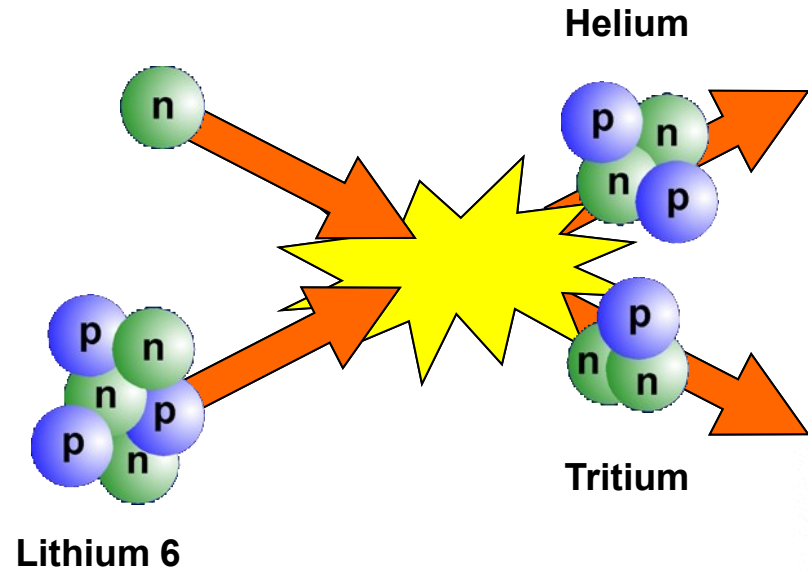
$$1 \text{ GW}_{\text{th}} \leftrightarrow 0.3 \text{ kg/Tag}$$

Kohle



$$1 \text{ GW}_{\text{th}} \leftrightarrow 10^6 \text{ kg/Tag}$$

Rohstoffe sind Deuterium und Lithium



2 Liter Wasser +
250 g Mineralgestein

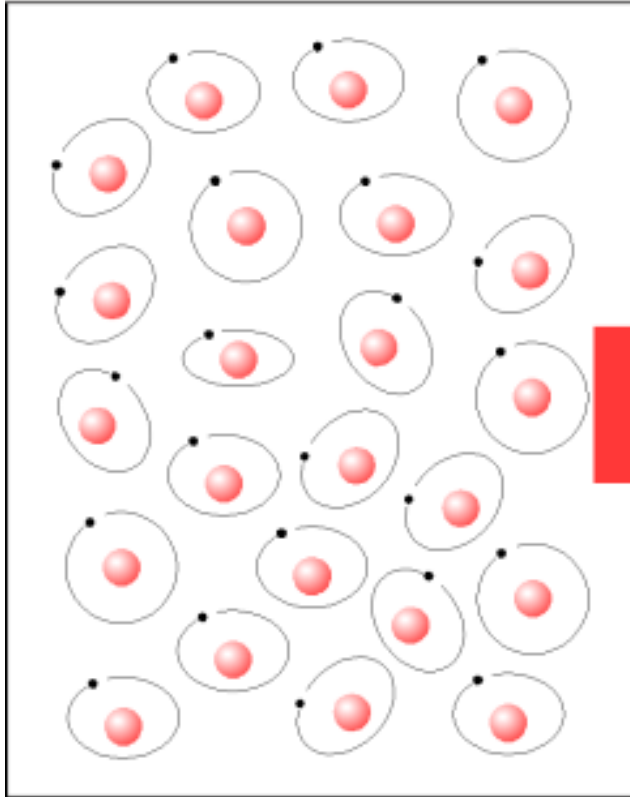


versorgt eine Familie
pro Jahr

Was ist ein Plasma?

fest – flüssig – gasförmig – Plasma: heißes ionisiertes Gas

Gas



Temperatur 20° C

Alle Elektronen sind an Atomkerne fest gebunden

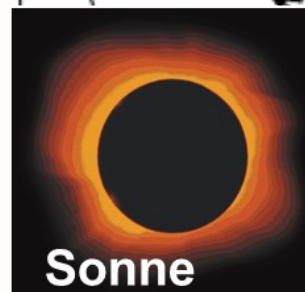
Plasma



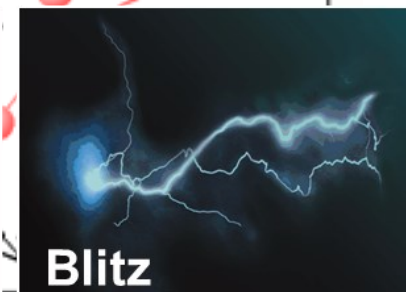
Polarlicht



Flamme



Sonne



Blitz



Neonlicht

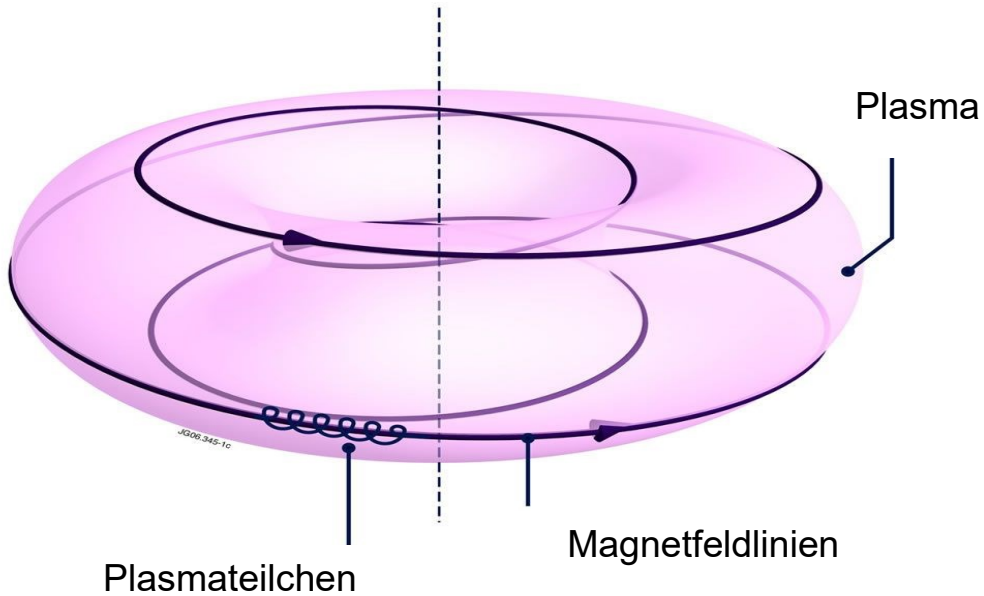
Energiezufuhr



Temperatur größer 100 000° C

Elektronen haben sich von ihren Atomkernen getrennt

Zwei Wege zur Energie aus Fusion



Magnetfusion

- Einschluß (Isolierung) durch Magnetfelder
- Weg zum Kraftwerk: Hoher technologischer Entwicklungsstand: ITER!
- Energiegewinn: x10 erwartet

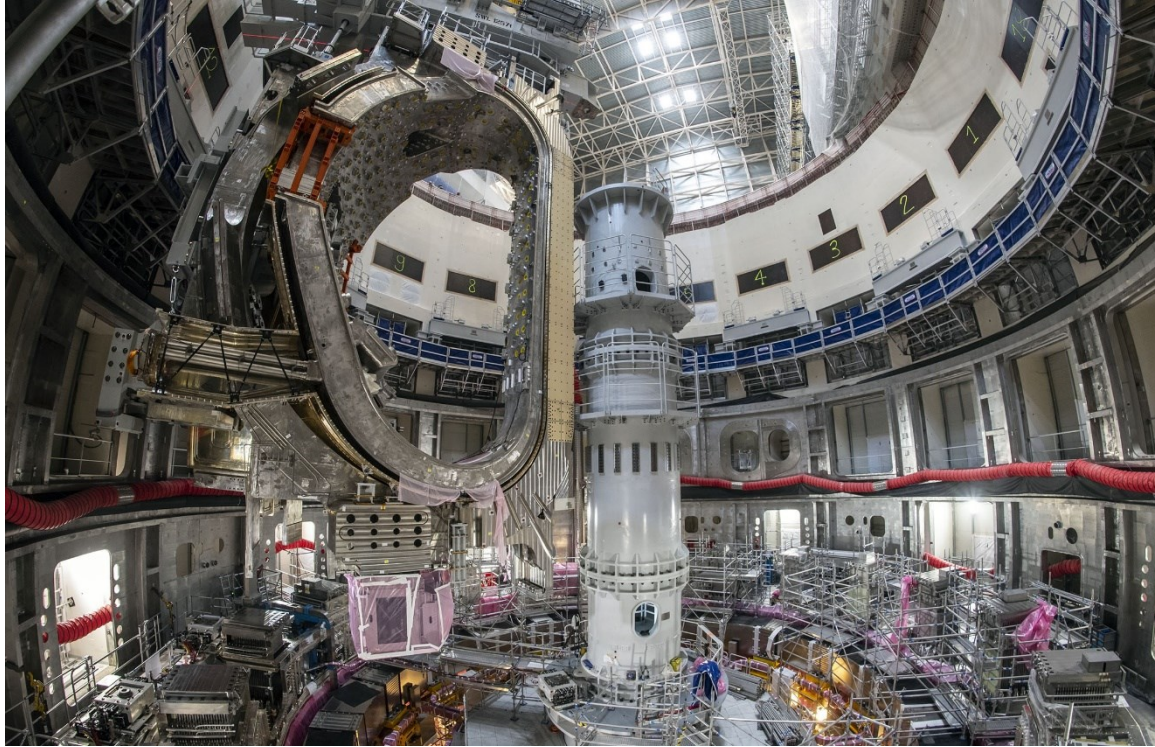
Zwei Wege zur Energie aus Fusion



Magnetfusion

- Einschluß (Isolierung) durch Magnetfelder
- Weg zum Kraftwerk: Hoher technologischer Entwicklungsstand: ITER!
- Energiegewinn: x10 erwartet (50 MW “Aufwand” für 500 MW “Gewinn”)

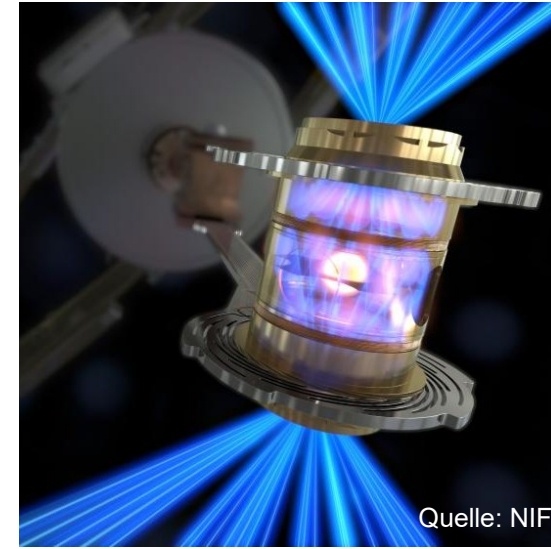
Zwei Wege zur Energie aus Fusion



Magnetfusion

- Einschluß (Isolierung) durch Magnetfelder
- Weg zum Kraftwerk: Hoher technologischer Entwicklungsstand: ITER!
- Energiegewinn: x10 erwartet (50 MW "Aufwand" für 500 MW "Gewinn")

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft



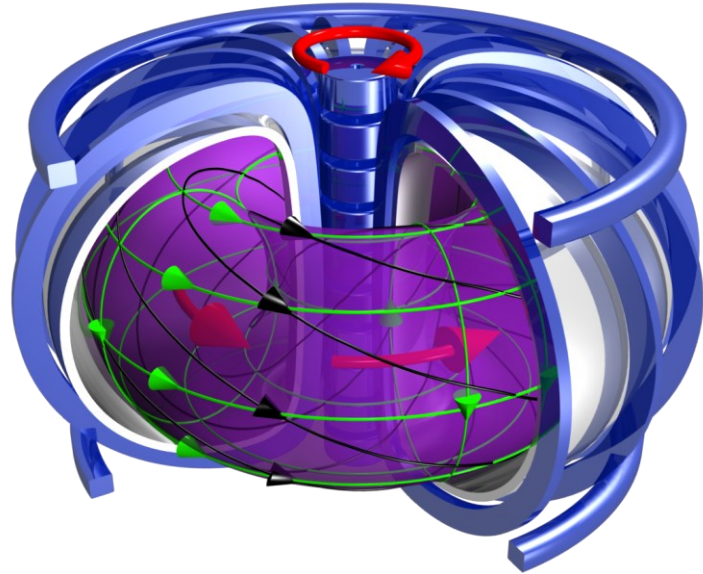
Quelle: NIF

Laser- (Trägheits-) fusion

- sehr schnelles Aufheizen und Kompression kleiner Pellets
- kürzlich: "gezündete" Fusionsreaktion:
 - im Pellet x1,5 Energiegewinn (1,1 MJ)
 - dabei nur <1% der aufgewandten Energie in Fusionsenergie umgewandelt
- Kraftwerkskonzepte sehr vage
- Forschung bisher v.a. durch Waffenentwicklung (USA, F)

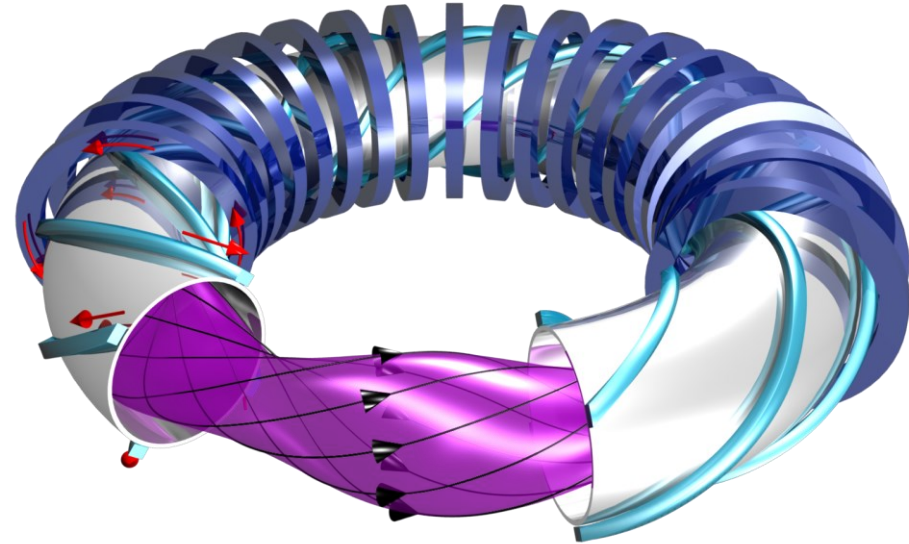
Magnetfusion: zwei Typen von Reaktoren

Tokamak (2D)



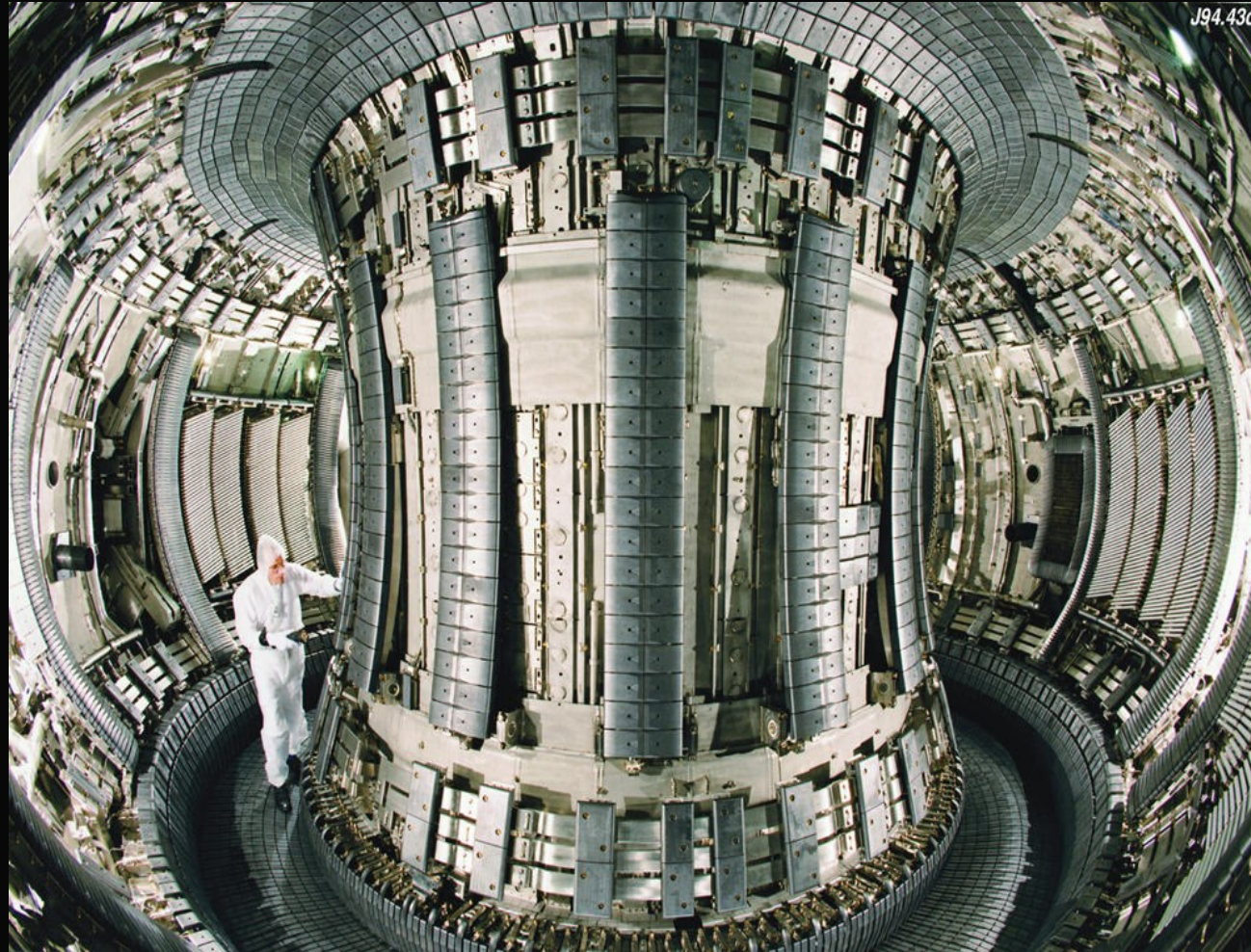
- Magnetfeld durch Plasmastrom und Spulen
- gepulster Betrieb

Stellarator (3D)

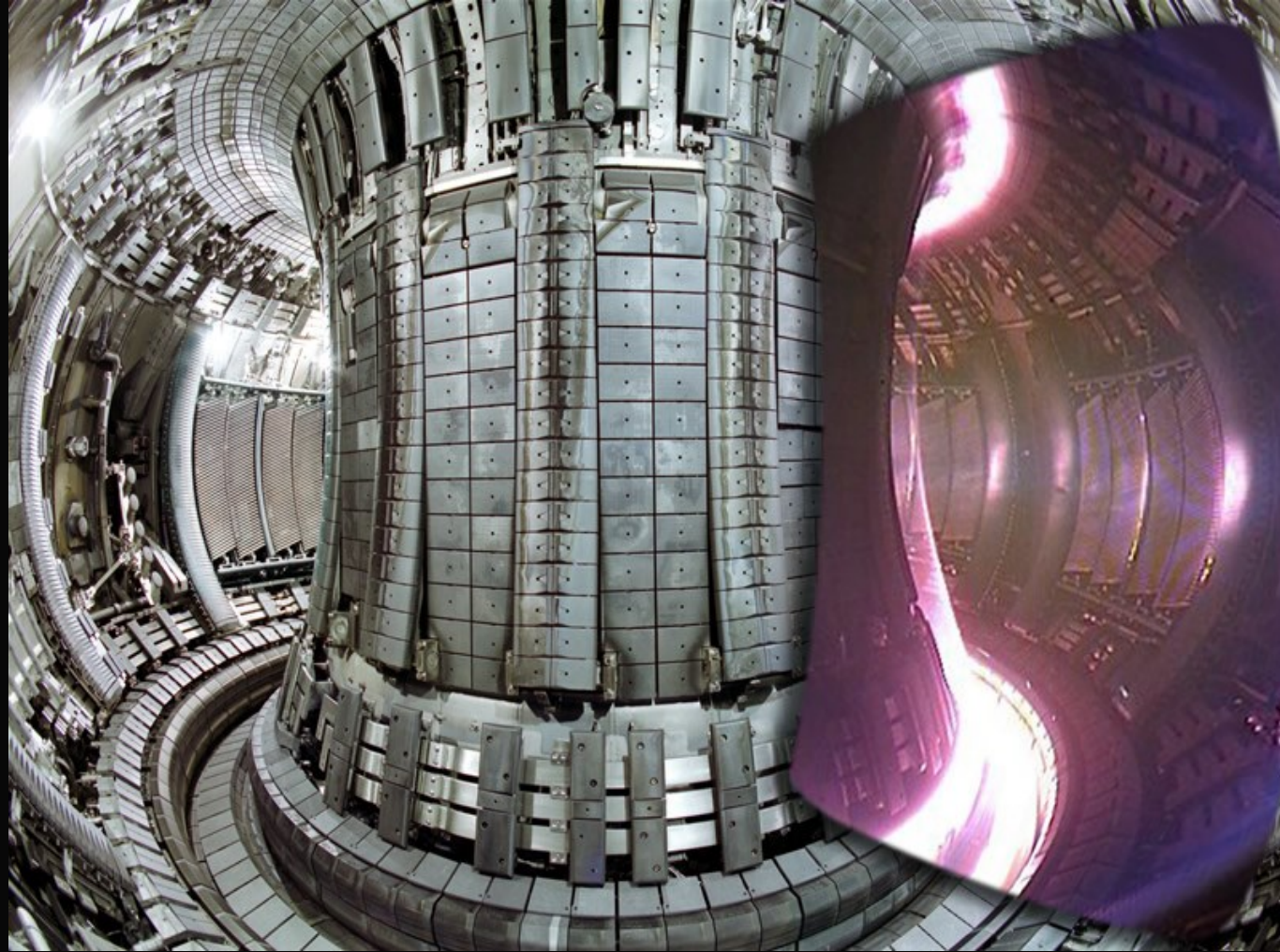


- Magnetfeld durch äußere Spulen
- kein Strom im Plasma: Stabilität!
- durchgehender Betrieb

Tokamak von innen (JET, europäisches Projekt)

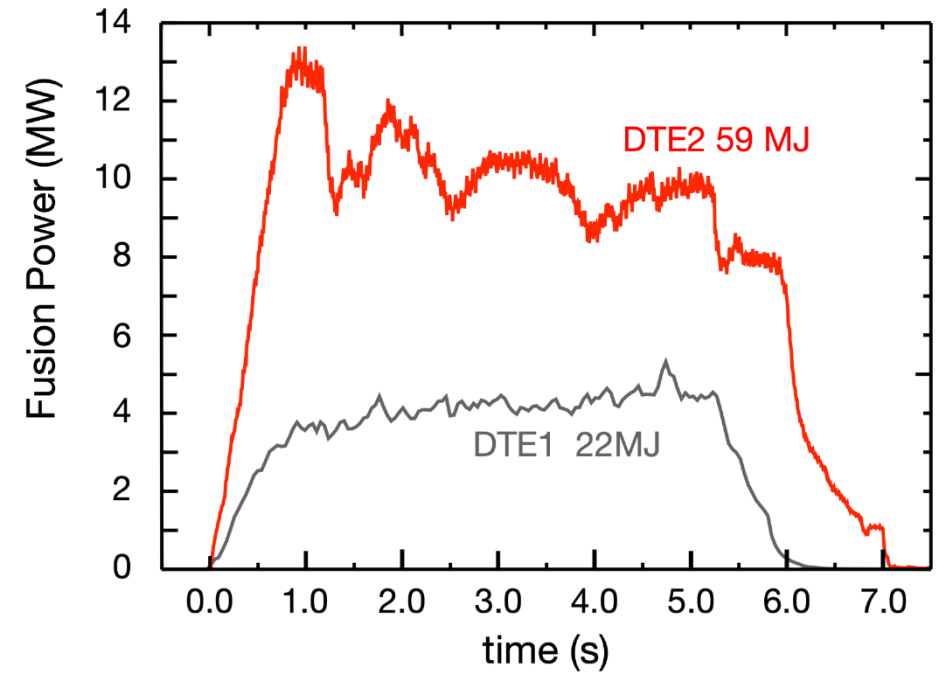


... mit Plasma



... mit Plasma

„Weltrekord“ in Fusionsleistung (2021)

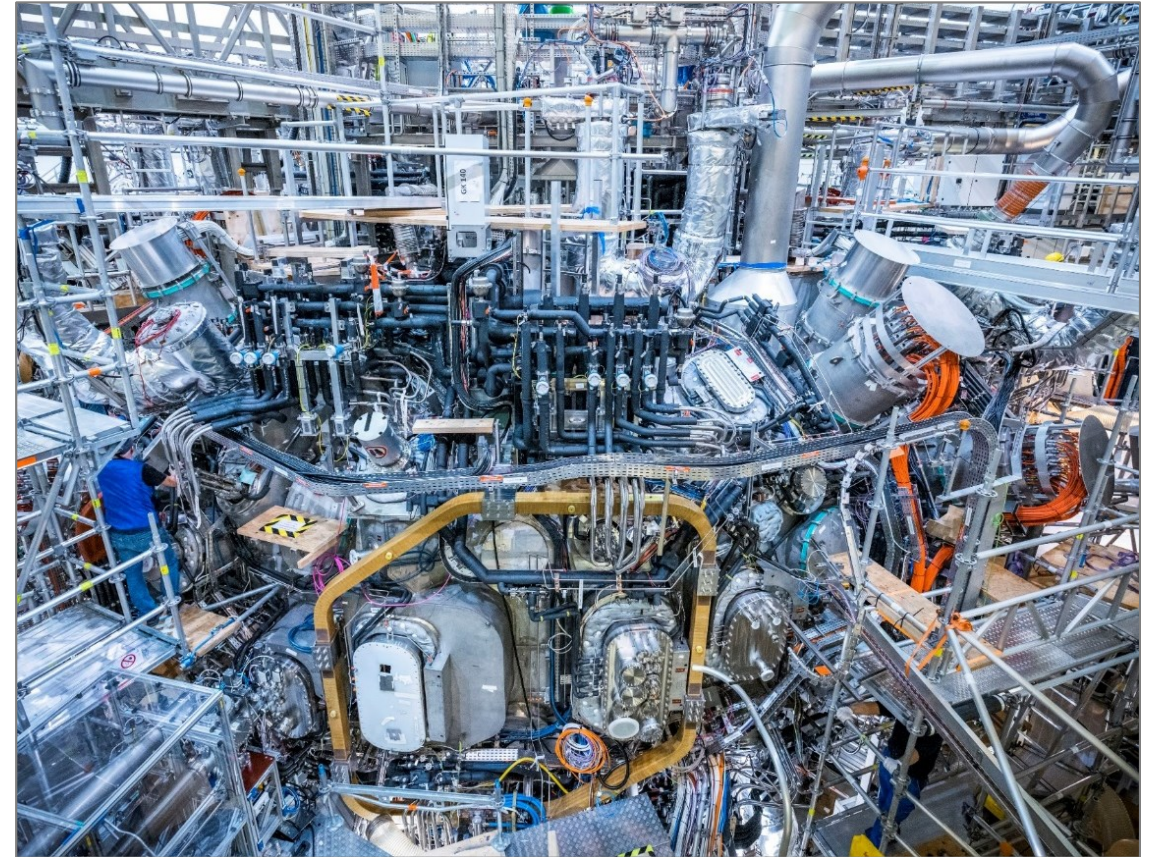


Stellarator Wendelstein 7-X

Deutschland weltweit führend: Bau und Betrieb in Greifswald

Das bessere Reaktorkonzept

- Hoher Stand der Technologie: in Deutschland gemeinsam mit Industrie entwickelt und gebaut
- Keine Instabilitäten (Vermeidung möglicher Beschädigungen)
- Dauerbetrieb möglich
- Optimierungsschritt zum Reaktor erforderlich und möglich

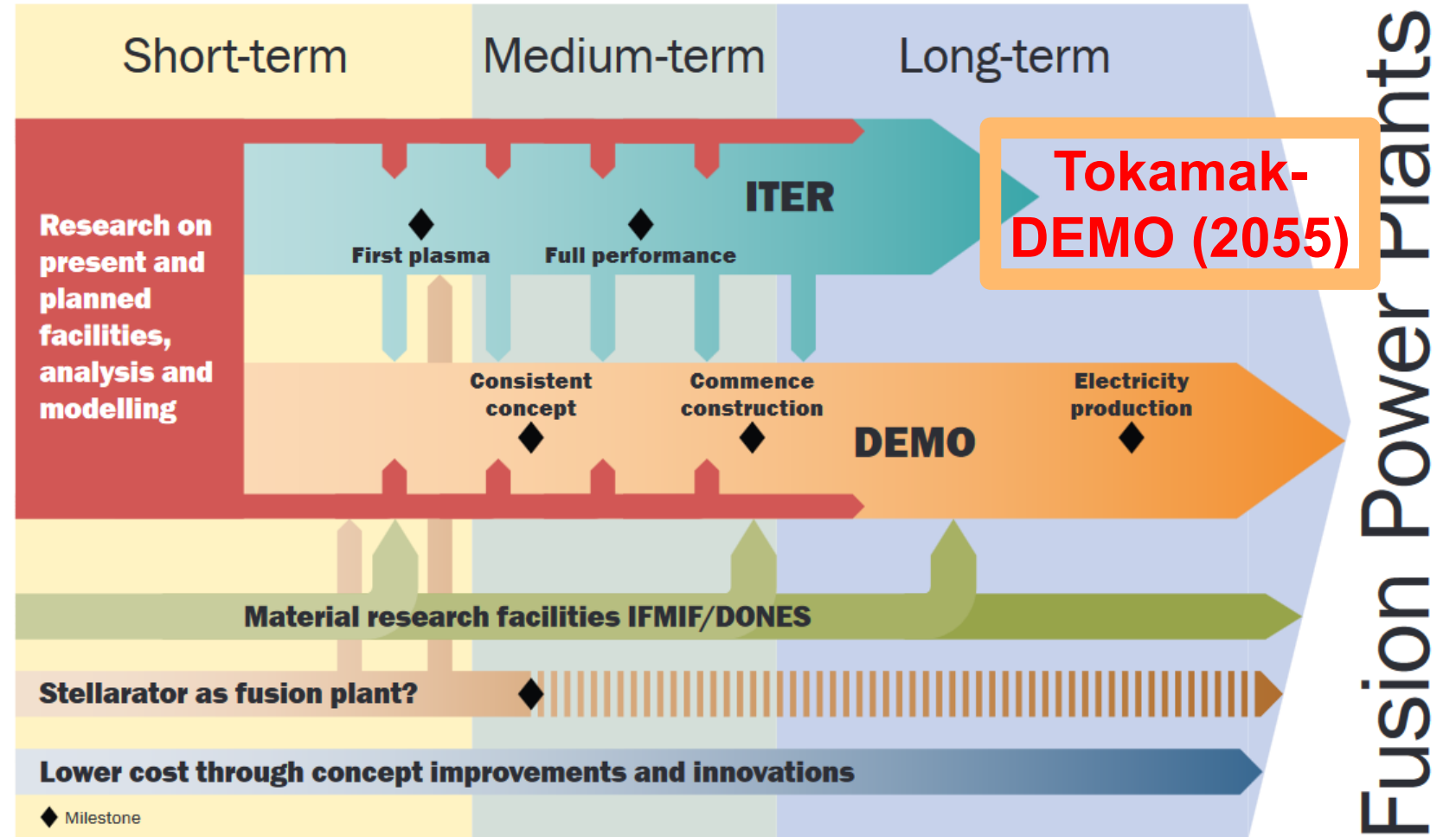


Die Europäische Roadmap zur Fusionsenergie

Roadmap seit 2012 mit Ziel Tokamak-Reaktor, derzeit in Überarbeitung

Herausforderungen

- ITER-Verzögerungen (u.a. wegen intl. Organisation)
- Kraftwerkskonzept unabhängig von ITER
- engere Einbindung der Industrie
- Finanzierung



Schneller? Deutscher Weg zum Fusionskraftwerk

Stellarator-Konzept optimal für ein Kraftwerk

Wesentliche Elemente

- Industrie führt von Anfang an
- derzeit konzeptionelle Schritte durch Fusionszentren, durch Roadmap-Prozeß zu konkretisieren
- erfordert parallel Weiterentwicklung von Physik und Technologie (Tritiumkreislauf, Materialien, Lizenzierung)
- Zeit- und Kostenschätzung: 20-25 Jahre, ~20 Mrd. €
- wesentliche Schritte: W7-X - optimierter Prototyp-Stellarator - Kraftwerk
- Ausbildung von Fachleuten, insbesondere Ingenieure und Technik-Personal

Start-ups in Deutschland

- Laserfusion: Focused Energy, Marvel Fusion
- Magnetfusion: GAUSS Fusion, Proxima Fusion

Energie aus Fusion

Entwicklung einer neuen Primärenergiequelle auf der Basis magnetisch eingeschlossener Fusionsplasmen

- Sehr wenig Brennstoffverbrauch
 - 3 GW_{th} entsprechen ~ 1 kg (D und Li) pro Tag
- Ergiebige Brennstoff-Ressourcen (D und Li)
- Vorteilhafte Umwelt- und Sicherheitseigenschaften
 - Keine CO₂-Produktion
 - Keine langlebigen radioaktiven Abfälle
- Anlagengröße ~ 3 GW_{th} oder ~ 1 GW_e
 - Größe eines Grundlastkraftwerks
 - Geeignet für große Städte bzw. Regionen, energieintensive Industrien
 - Wärmequelle in Ergänzung zu Erneuerbaren

