



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN



@

ÖAW

ÖSTERREICHISCHE
AKADEMIE DER
WISSENSCHAFTEN

Kernfusion

Ist die Stromzukunft träge oder magnetisch?

Friedrich Aumayr

TU Wien & Fusion@ÖAW

13. Juni 2023 UMA online-Fachdialog

Fusion – die Energiequelle unserer Sonne

Alle Sterne sind gigantische Fusionsreaktoren!

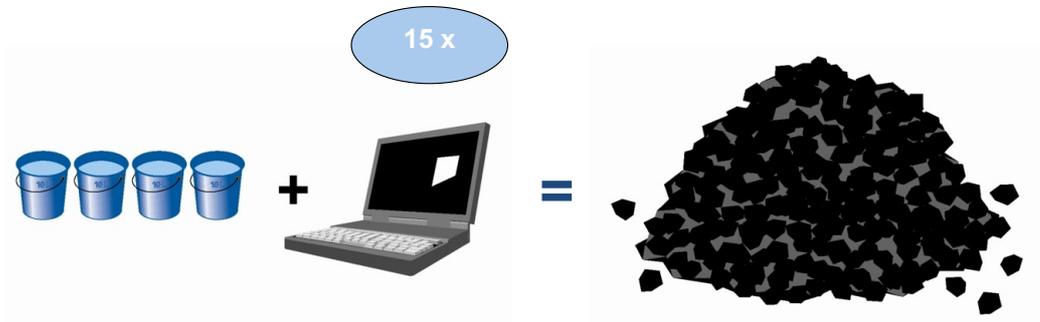
Jede Sekunde verschmilzt unsere Sonne
564 Millionen Tonnen Wasserstoff zu
560 Millionen Tonnen Helium.

$$E = m c^2$$

4 Millionen Tonnen Masse pro Sekunde werden
in Energie umgewandelt und als Strahlung
emittiert (insgesamt 3.6×10^{17} GW)

Energie, die auf der Erde ankommt: 1.4 kW/m²

Die Fusionsreaktion ist sehr energiereich



Deuterium in
40 Liter Wasser

70 Gramm Lithium
(15 Laptop-Akkus)

40 Tonnen Kohle
(320 000 kWh)

zum Erbrüten von
Tritium verwendet



Graphic : IPP

Vergleich verschiedener Energiequellen



Produktion von 1 GW_{elektrisch} (3 GW_{thermisch}) während eines Jahres (d.h. 8760 GWh/Jahr) erfordert:



2 700 000 Tonnen Kohle



1 800 000 Tonnen Öl



25 Tonnen Uran



1 000 Windkraftanlagen mit
einer Leistung von 3 MW
(70 km²)



50 km² Sonnenkollektoren



350 kg Deuterium-Tritium



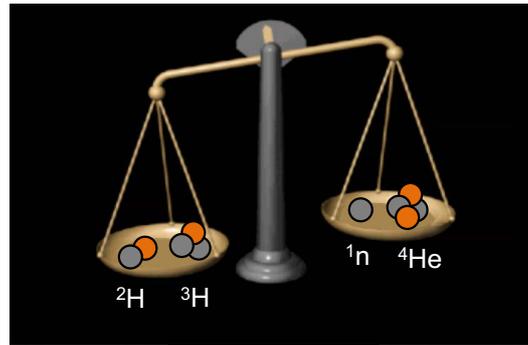
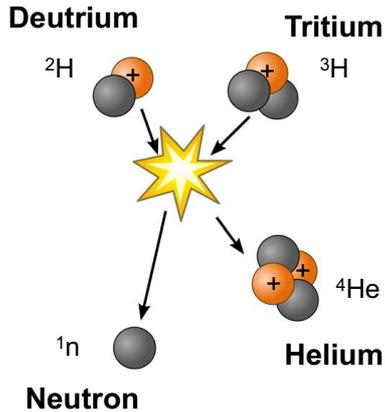
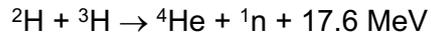
Graphic : F. A.

Kernfusion auf der Erde



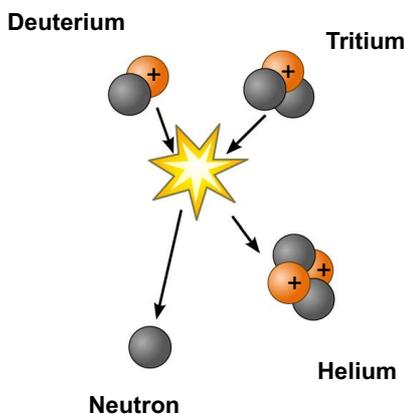
Brennstoff:

Schwerer und superschwerer Wasserstoff:



Graphic: Wykis, Wikipedia; IPP

Aber es ist nicht einfach, das zu erreichen



Die Wasserstoff-Kerne sind elektrisch positiv geladen.

Für die Fusion müssen sie

(a) ihre elektrostatische Abstoßung überwinden & sich nahe genug aneinander annähern, um die starke (anziehende) Kernkraft zu spüren.

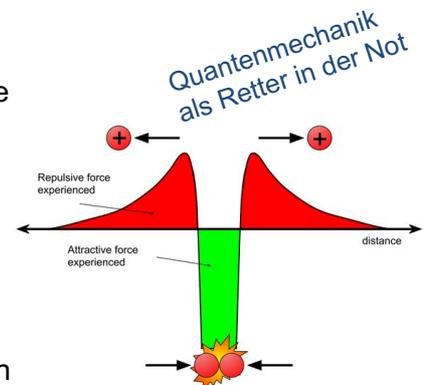
⇒ Temperatur von mehreren

100 Millionen °C

⇒ Plasma!

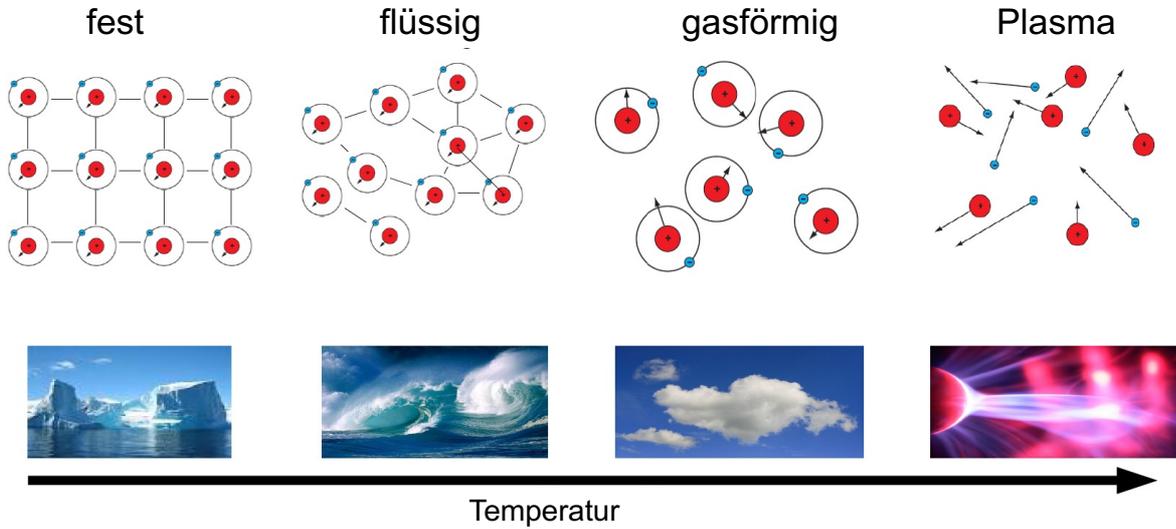
(b) häufig genug miteinander stoßen

⇒ **Einschluss** des Plasmas notwendig



Graphic: IPP

Wie sieht Materie bei 100 Millionen Grad aus?



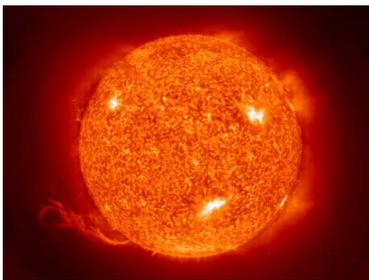
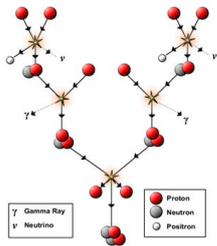
Temperatur



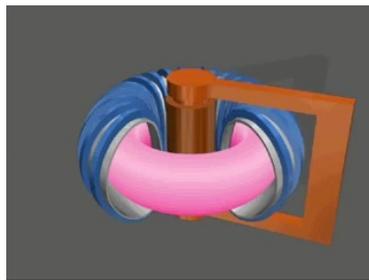
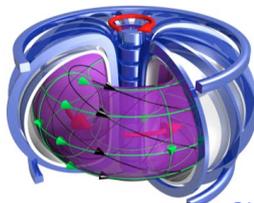
Graphic: IPP, Andreas Stegmeir

Verschiedene Möglichkeiten, ein Plasma einzuschließen

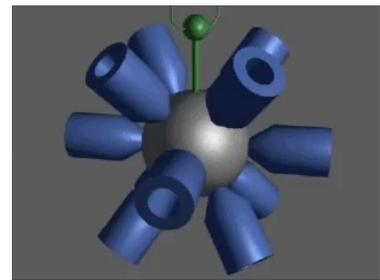
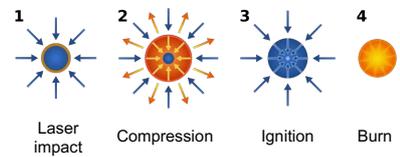
Gravitations-Einschluss



Magnetischer Einschluss



Trägheitseinschluss



Verschiedene Möglichkeiten, ein Plasma einzuschließen

Gravitations-Einschluss

γ Gamma Ray
 ν Neutrino

Proton
Neutron
Positron

Magnetischer Einschluss

Trägheitseinschluss

1 Laser impact 2 Compression 3 Ignition 4 Burn

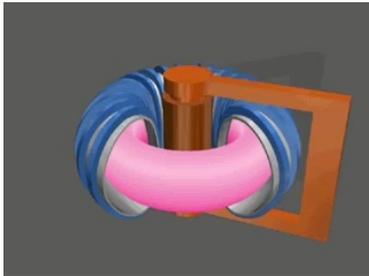
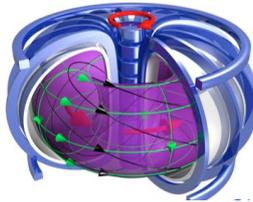
Verschiedene Wege zur kontrollierten Fusion

Magnetischer Einschluss

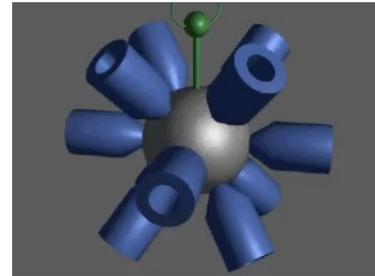
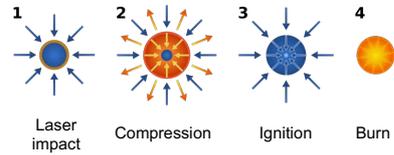
Trägheitseinschluss

Verschiedene Wege zur kontrollierten Fusion

Magnetischer Einschluss



Trägheitseinschluss



Verschiedene Wege zur kontrollierten Fusion

Magnetischer Einschluss

science ORF.at

Suchen

Aktuell Forscher/innen schreiben Radio & TV Kontakt



59 MEGAJOULE

Energerekord bei Kernfusion

Riesige Mengen klimafreundliche Energie gewinnen so wie die Sonne: Das ist die Hoffnung von Kernfusionsforscherinnen und -forschern. An der Fusionsanlage JET in Großbritannien haben sie nun einen Energerekord erzeugt. Während einer fünf Sekunden langen Plasmaentladung wurde eine Energie von 59 Megajoule freigesetzt.

9. Februar 2022, 14.00 Uhr

Teilen

09. Feb. 2022

Trägheitseinschluss

science ORF.at

Suchen

Aktuell Forscher/innen schreiben Radio & TV Kontakt



ENERGIE

Durchbruch bei der Kernfusion?

Fachleuten eines US-Labors ist offenbar ein wichtiger Fortschritt in der Kernfusionsforschung gelungen - und damit in Richtung grüner Energie. Sie hätten mit einem Fusionsreaktor erstmals mehr Energie erzeugt als während des Prozesses verbraucht wurde, wie mehrere Medien berichteten.

12. Dezember 2022, 12.50 Uhr

Teilen

12. Dez. 2022

Trägheitsfusion: Ein Durchbruch ?



science ORF.at

Aktuell Forscher/innen schreiben Radio & TV Kontakt



ENERGIE

Durchbruch bei der Kernfusion?

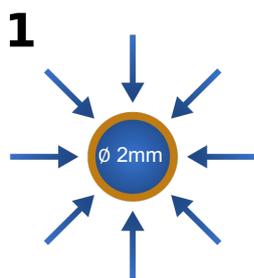
Fachleuten eines US-Labors ist offenbar ein wichtiger Fortschritt in der Kernfusionsforschung gelungen - und damit in Richtung grüner Energie. Sie hätten mit einem Fusionsreaktor erstmals mehr Energie erzeugt als während des Prozesses verbraucht wurde, wie mehrere Medien berichteten.

12. Dezember 2022, 12.50 Uhr [Teilen](#)

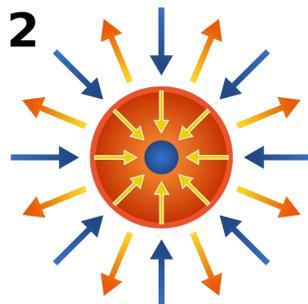
NIF-LLNL



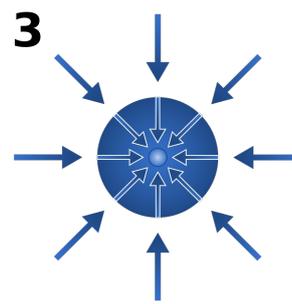
Trägheitsfusion: Durchbruch



Schnelles Aufheizen durch Laserenergie



Durch Materialabtrag wird das Pellet verdichtet



Fusionsbedingungen im Zentrum



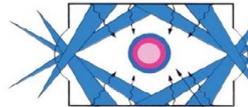
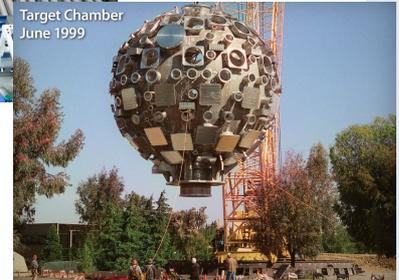
Verbrennung des Pellets durch Selbstheizung

Der gesamte Prozess findet innerhalb weniger Nanosekunden statt

Bei der Trägheitsfusion treten Zündung & Abbrand schneller auf als die Ausdehnung des Plasmas
Prinzip der Wasserstoffbombe mit steuerbarer Explosionsenergie (~ 1 mm Pellets)



National Ignition Facility at LLNL (Lawrence Livermore National Lab)



NIF ... Weltweit größte Laseranlage (National Ignition Facility in Livermore (USA))
 Konzept für die Zündung, abgestimmt auf militärische Anwendung (Stockpile Stewardship).
 Hohlraum-Target für symmetrische Bestrahlung notwendig, aber nicht (kosten-)effizient



300 MJ ... elektrische Energie (Kondensatoren)

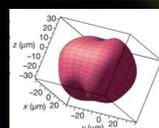
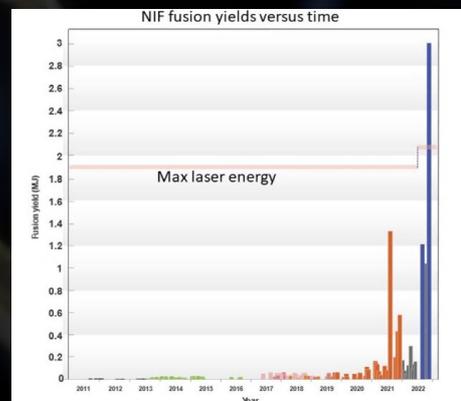
4 MJ ... Infrarot-Laser

2 MJ ... UV-Laser (351 nm, 1 ps)

3 MJ ... Energie aus der Fusion (1/2 kg TNT)

Q = 1.5

Fusion yield in Megajoule (MJ)



Problem: Unzureichende Symmetrie der Pelletkompression

Fusion mit Magneteinschluss: ein neuer Energierekord



science ORF.at

Aktuell [Forscher/innen schreiben](#) [Radio & TV](#) [Kontakt](#)



59 MEGAJOULE

Energierekord bei Kernfusion

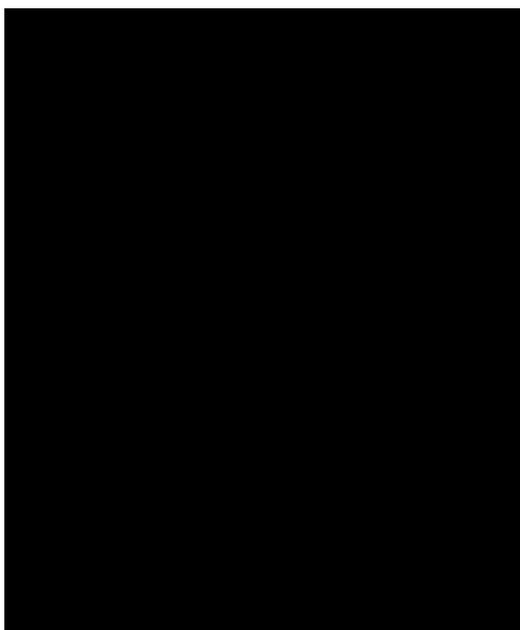
Riesige Mengen klimafreundliche Energie gewinnen so wie die Sonne: Das ist die Hoffnung von Kernfusionsforscherinnen und -forschern. An der Fusionsanlage JET in Großbritannien haben sie nun einen Energierekord erzeugt. Während einer fünf Sekunden langen Plasmaentladung wurde eine Energie von 59 Megajoule freigesetzt.

9. Februar 2022, 14.00 Uhr [Teilen](#)

UKAEA



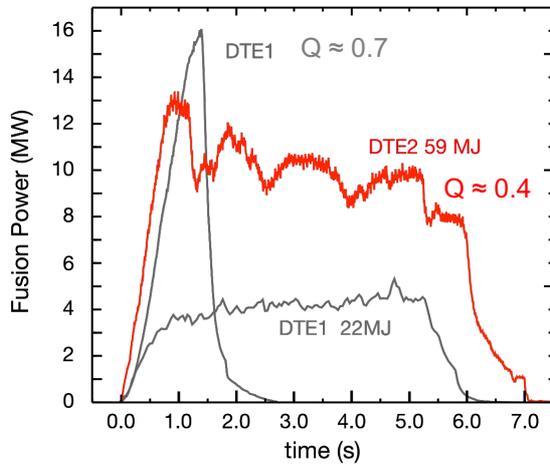
Ein neuer Energierekord



- 21. Dez. 2021 14:30
- Insgesamt erzeugte Fusionsenergie:
59 MJ (Megajoule)
- Temperatur des Plasmas:
150 Millionen °Celsius.
- 0.1 mg Tritium und
0.07 mg Deuterium
- **$Q \approx 0.4$**



Ein neuer Energierekord



9. Feb. '22
neuer JET-
Weltrekord
bekannt
gegeben

JET ... Joint European Torus
Culham, UK



Das ITER-Projekt

Heizleistung: 50 MW
Fusionsleistung: 500 MW
Plasma-Volumen: 840 m³
Plasma-Strom: 15 MA

Typische Plasmadichte: 10²⁰ m⁻³
Typische Plasmatemperatur: 20 keV
Q ≥ 10
Erstes Plasma: 2027/28

china eu india japan korea russia usa

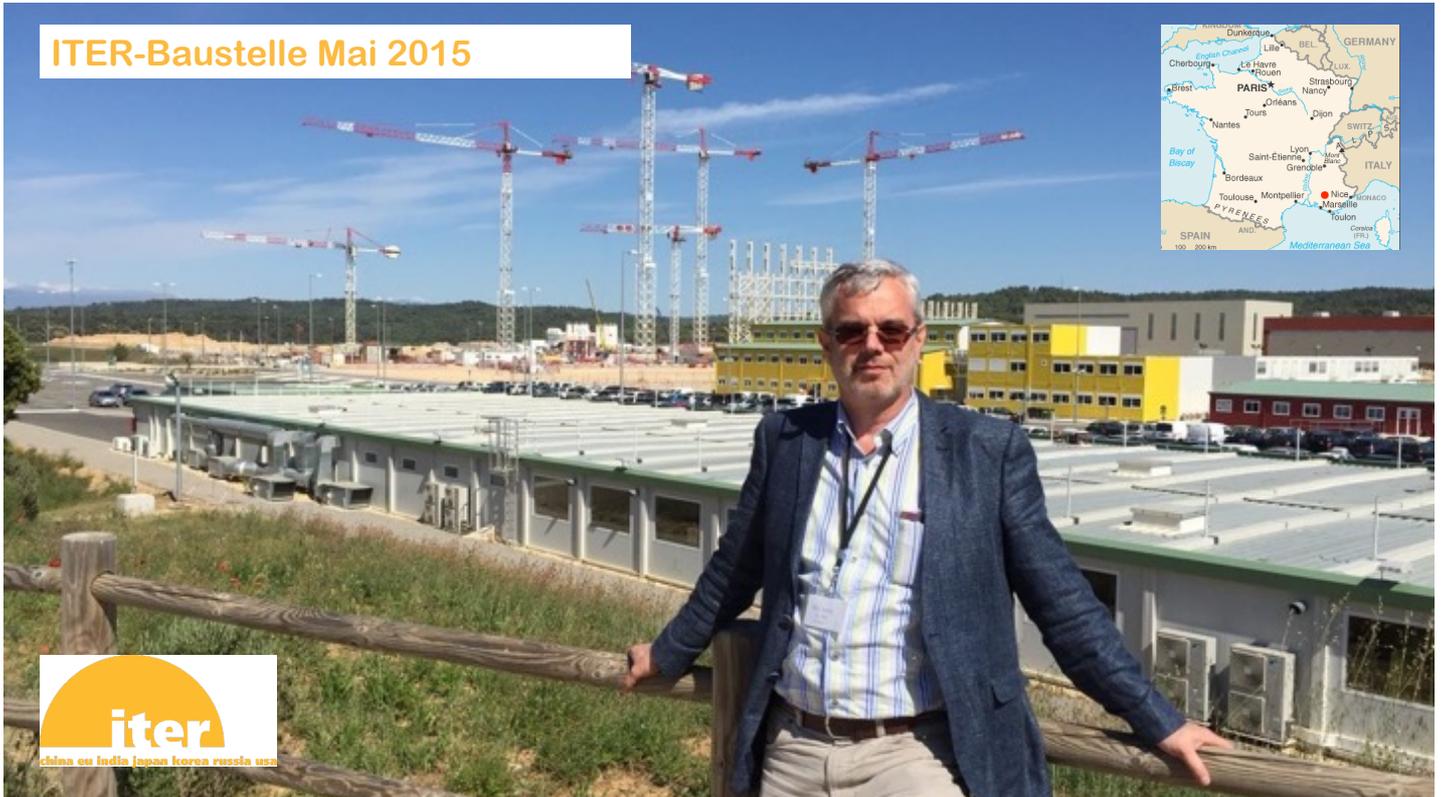
ITER-Baustelle 2010



40 Hektar Baufläche + 30 Hektar während des Baus



ITER-Baustelle Mai 2015



ITER-Baustelle 2017



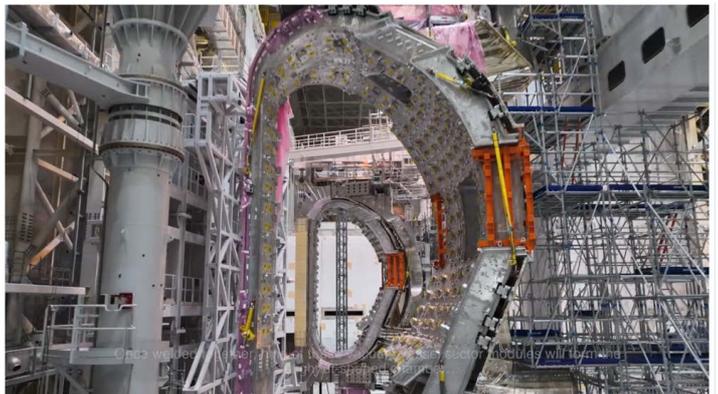
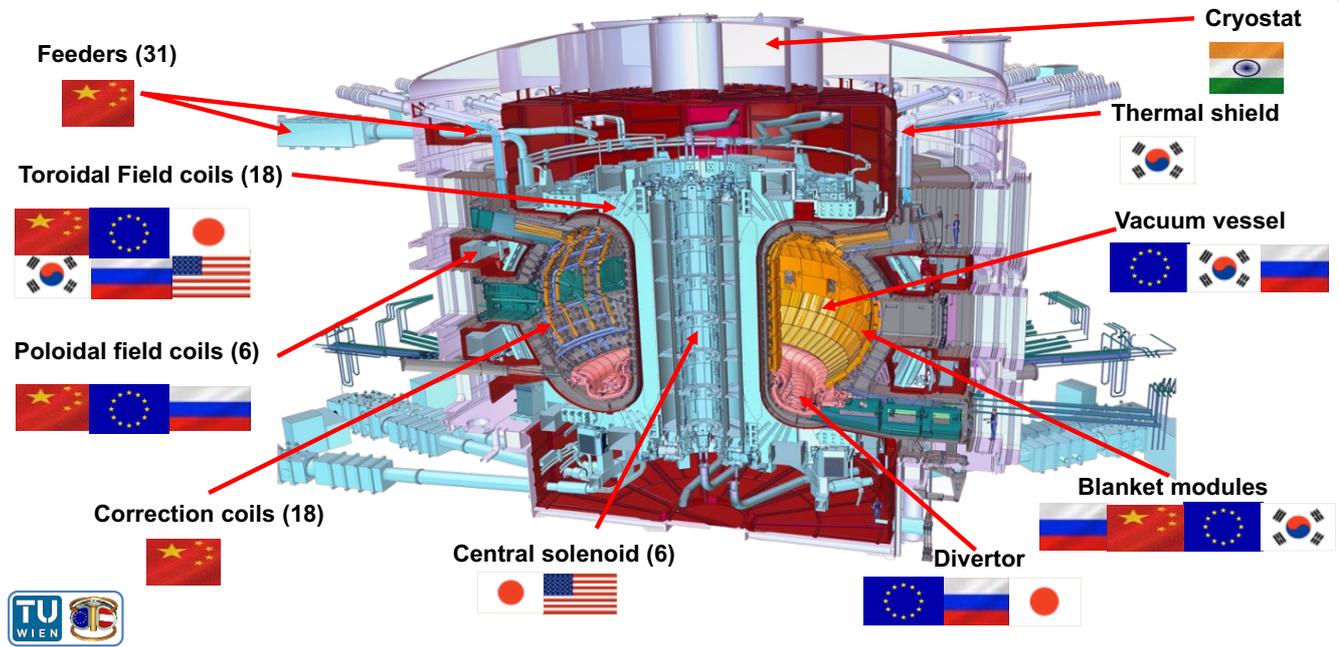
ITER-Baustelle Frühjahr 2022



Wer stellt was her?

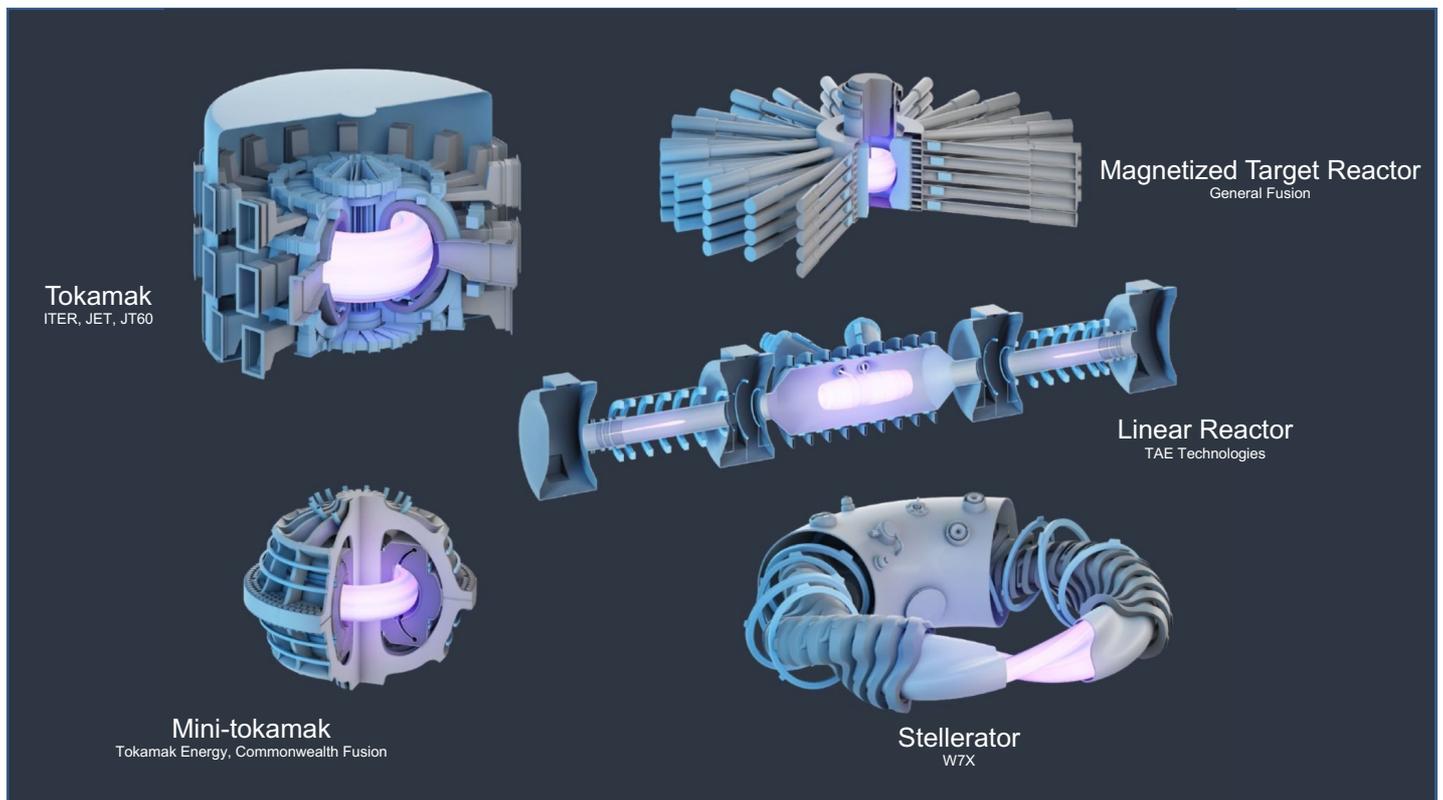
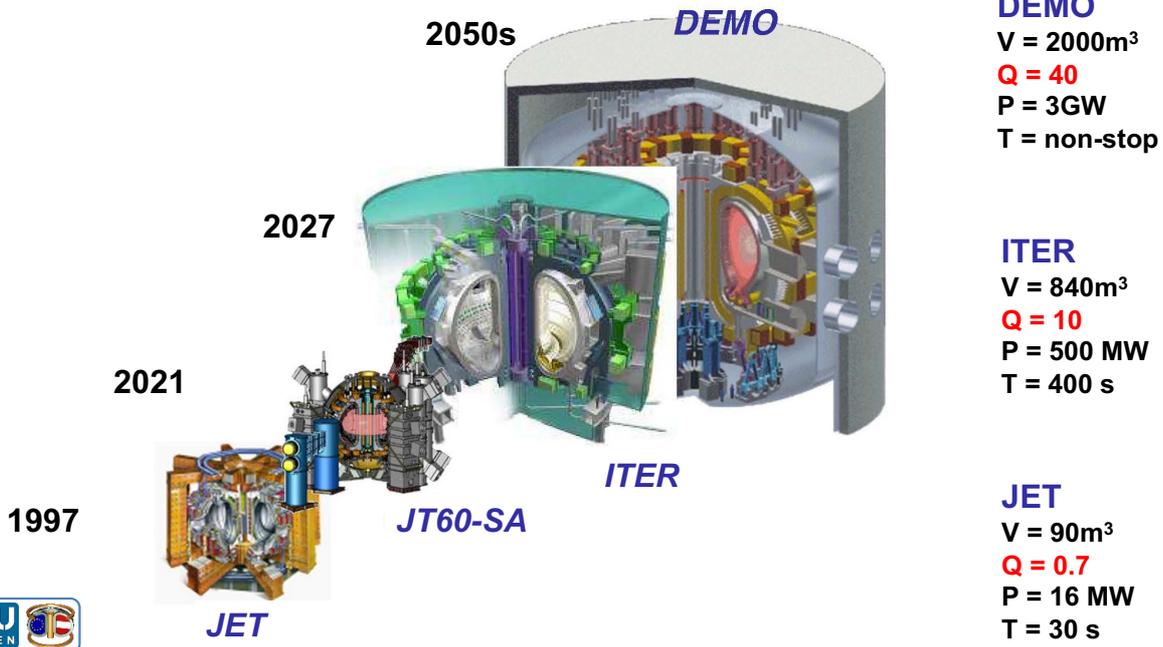


Die ITER-Mitglieder teilen sich das gesamte geistige Eigentum

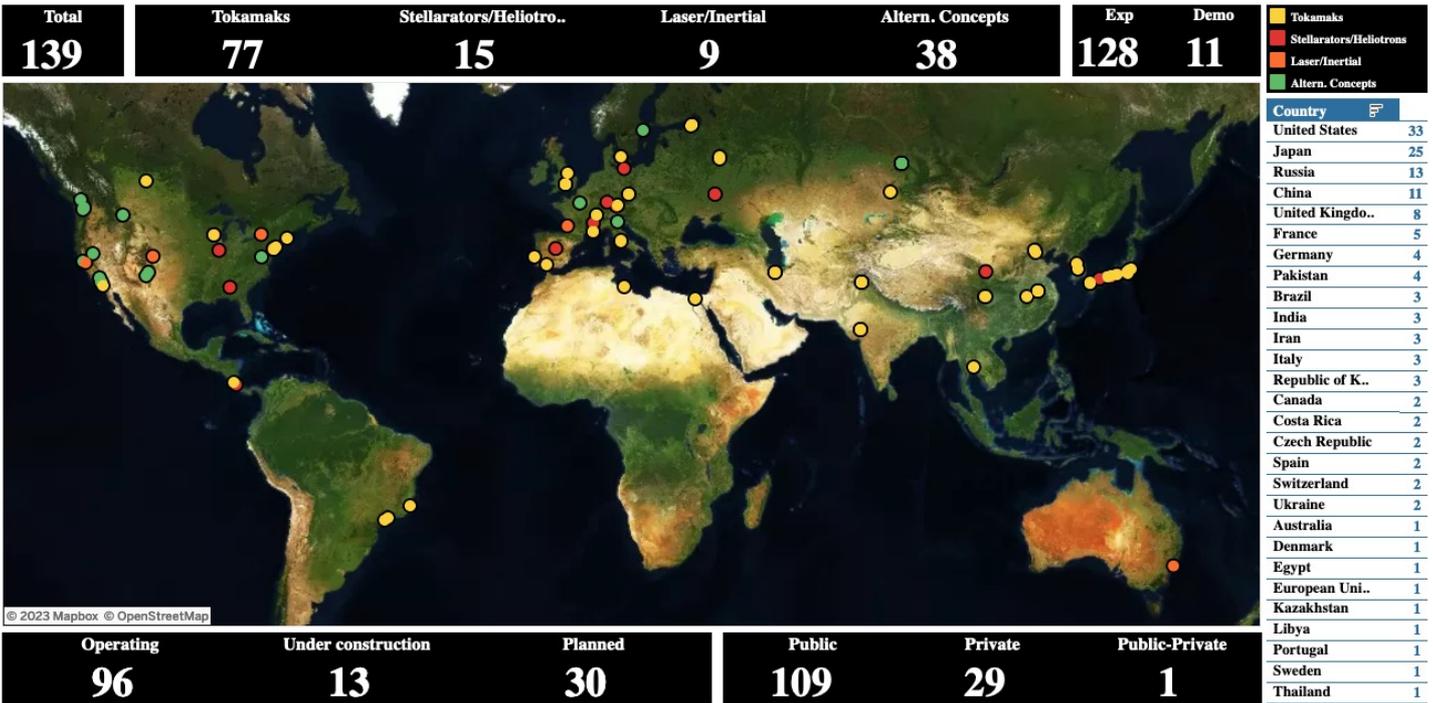


Tokamak Assembly

Der (konservative) Fahrplan zur Fusionsenergie



Fusion devices worldwide



Private Unternehmen - Fusions Start-ups

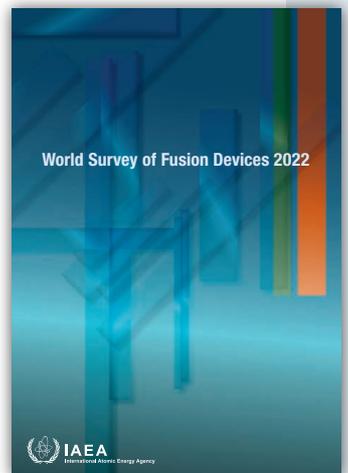
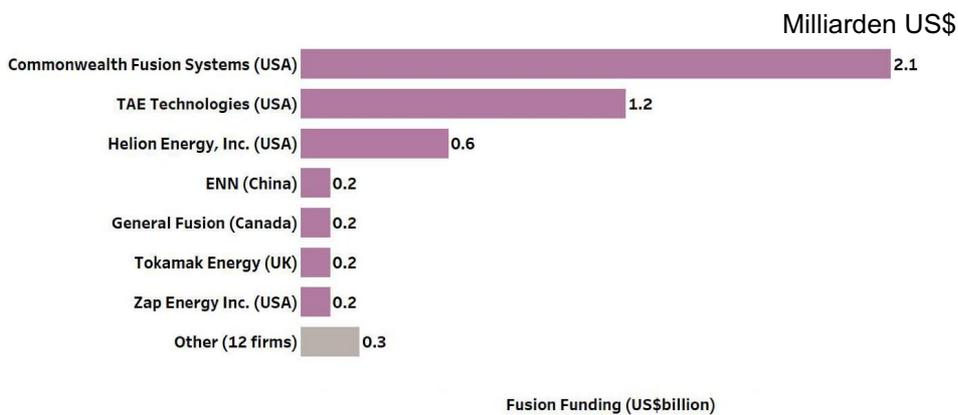


FIG.6. Private sector companies have disclosed around US\$5 billion in fusion funding (more than \$3 billion since June 2021). Readapted and updated from: *The chase for fusion energy*, Nature (2021); *The global fusion industry in 2022*, Fusion Industry Association (2022).



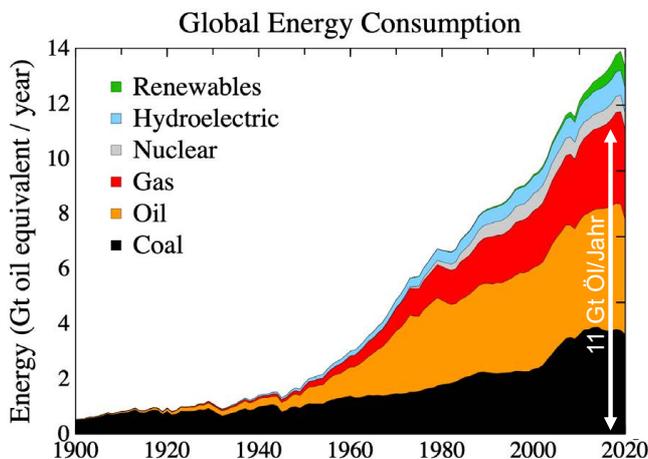


- ❖ War es bereits der große Durchbruch?
- ❖ Wo liegen die Unterschiede zwischen der US-Trägkeitsfusion und der EU-Magnetfusion?
- ❖ Warum ist Kernfusion um vieles besser als Kernspaltung?
- ❖ Welche Rolle spielt Österreich?
- ❖ Wann kommt die große Ära der Fusionskraftwerke?
- ❖ Brauchen wir dann Fusion überhaupt noch?



Was bedeutet Null-CO₂ bis 2050 für den weltweiten Energieverbrauch?

14 Gt oil = 160 000 TWh



Finanziell: 10 Mrd. € pro Tag
das sind 4% des globalen BNP



Eine sehr grobe Schätzung:
11000 Tage bis 2050 und 11000 Mt Öl zu ersetzen

Das bedeutet, 1 Mio. t Öl pro Tag durch
kohlenstofffreie Energiequellen zu ersetzen!

Das entspricht einem großen Kernkraftwerk pro
Tag, ...

... oder der größte Offshore-Windpark der Welt pro
Tag, ...

... Jeden Tag, für die nächsten 30 Jahre!



Druckwasserreaktor 1,3 GW_{el}



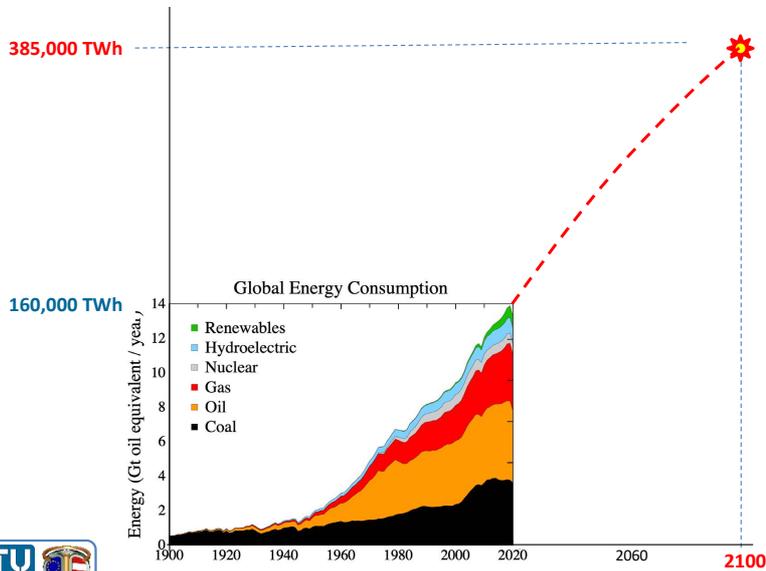
165 Windkraftanlagen á 8 MW = 1,3 GW

Weltweiter Energieverbrauch im Jahr 2100 ?

14 Gt oil = 160 000 TWh

Table 1.4 Power per capita by region (country) in 1990 and 2008

Region/Country	1990 power per capita (kW/person)	2008 power per capita (kW/person)
Europe	4.6	4.6
USA	10.2	9.9
China	1.0	2.1
Latin America	1.3	1.6
Africa	0.8	0.9
India	0.5	0.7
The world	2.2	2.4



4 kW/Person

11 Milliarden Menschen

1 Jahr = 8760 h

385 000 TWh/Jahr

2 bis 3 x so viel Energie wie heute !



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

