



Strom durch Kernfusion?!

Prof. Dr. Dominik Kraus
Institut für Physik
Universität Rostock

Ringvorlesung Wissenschaft und alternative Fakten, CAU Kiel
15.01.2026

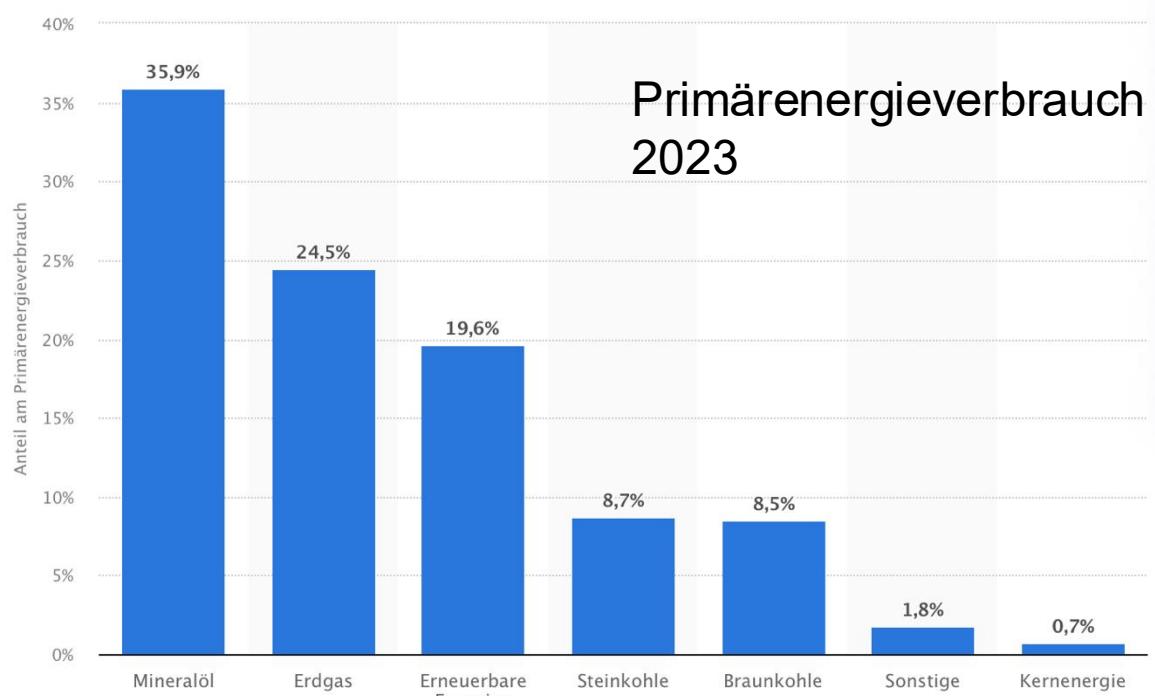


Energie – die Aufgabe unserer Generation(en)?!



Energie – die Aufgabe unserer Generation(en)?!

Deutschland

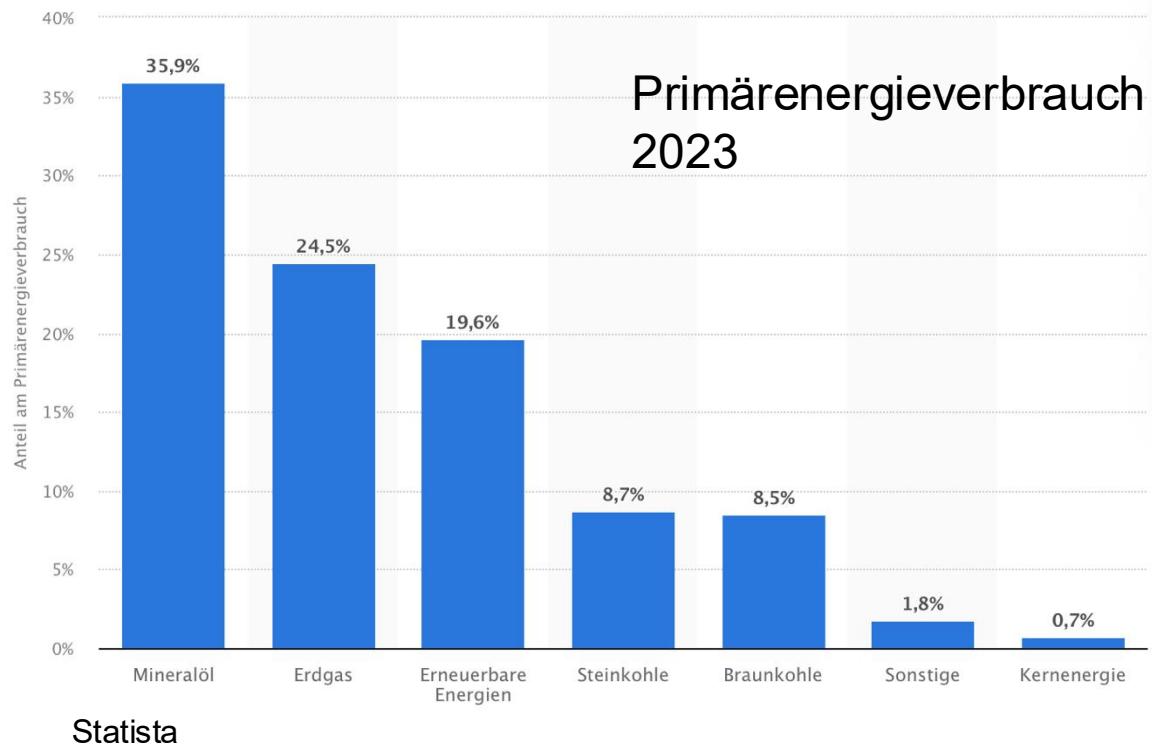


Statista

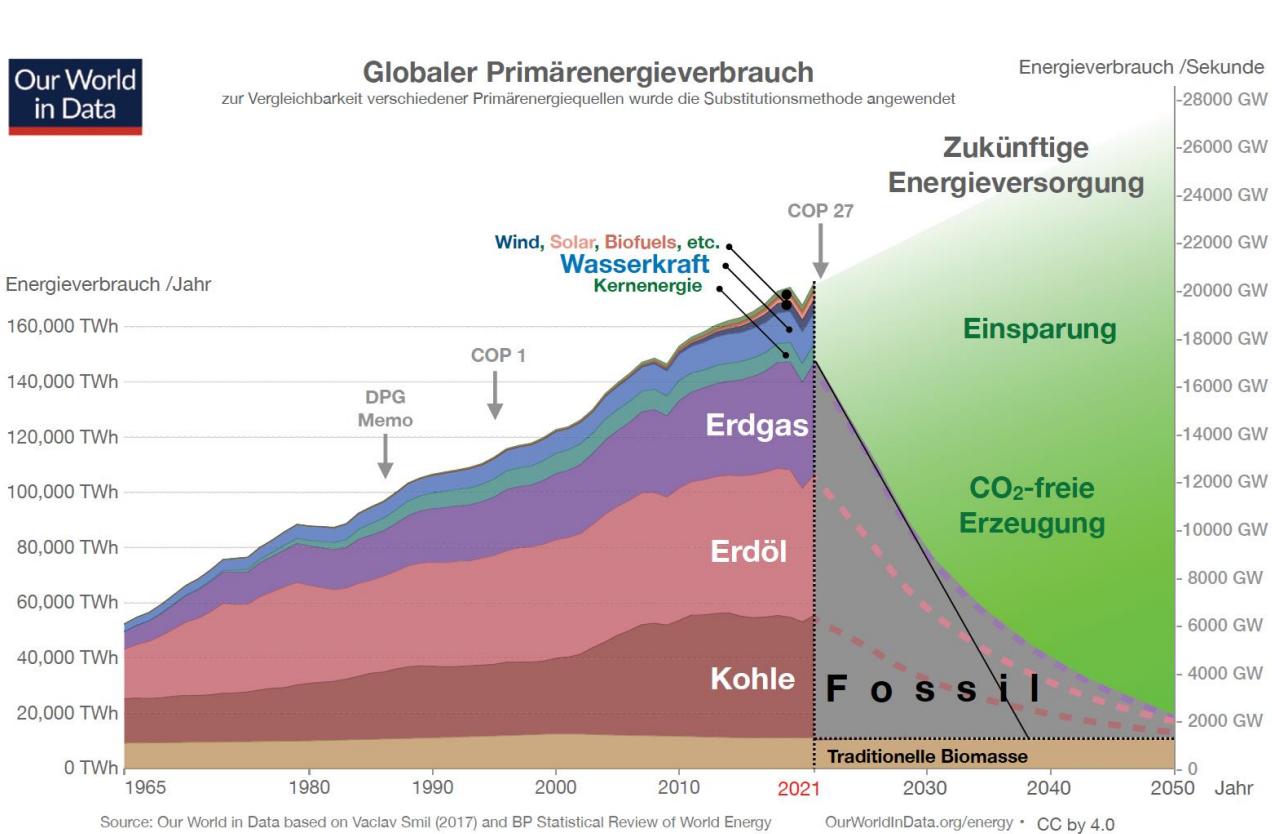


Energie – die Aufgabe unserer Generation(en)!!

Deutschland

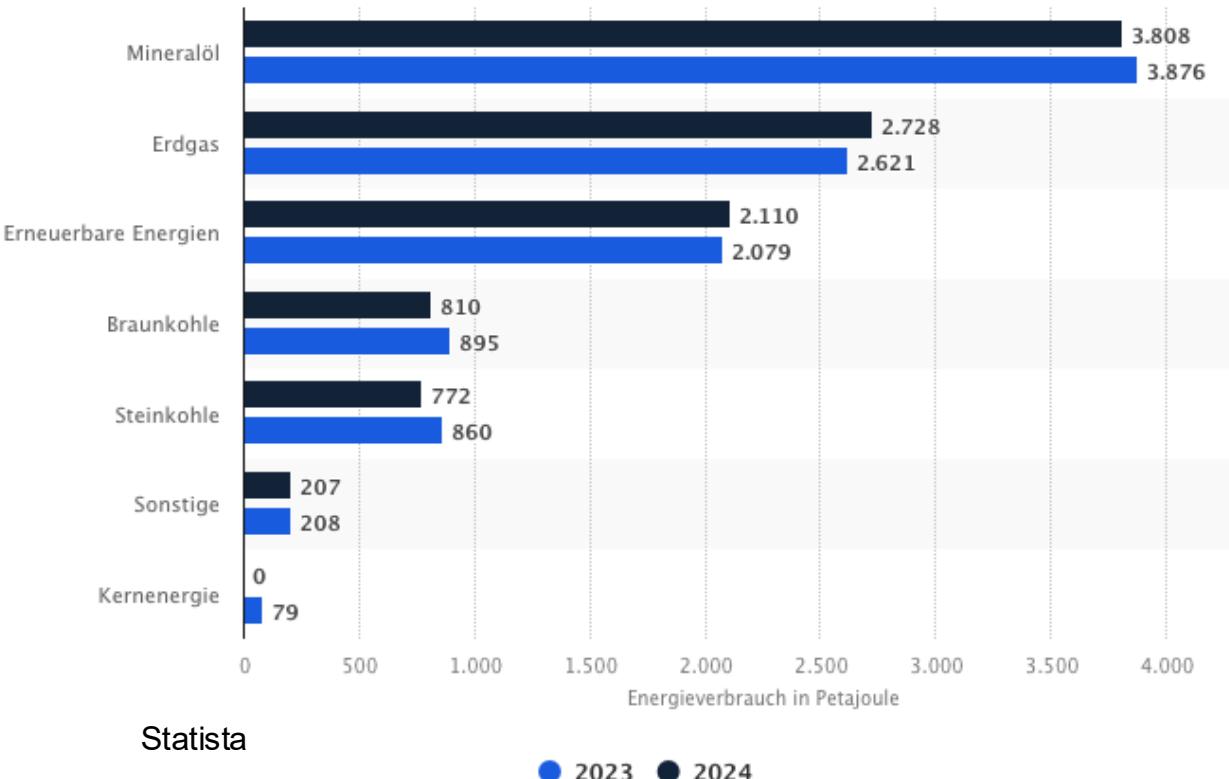


Die Welt

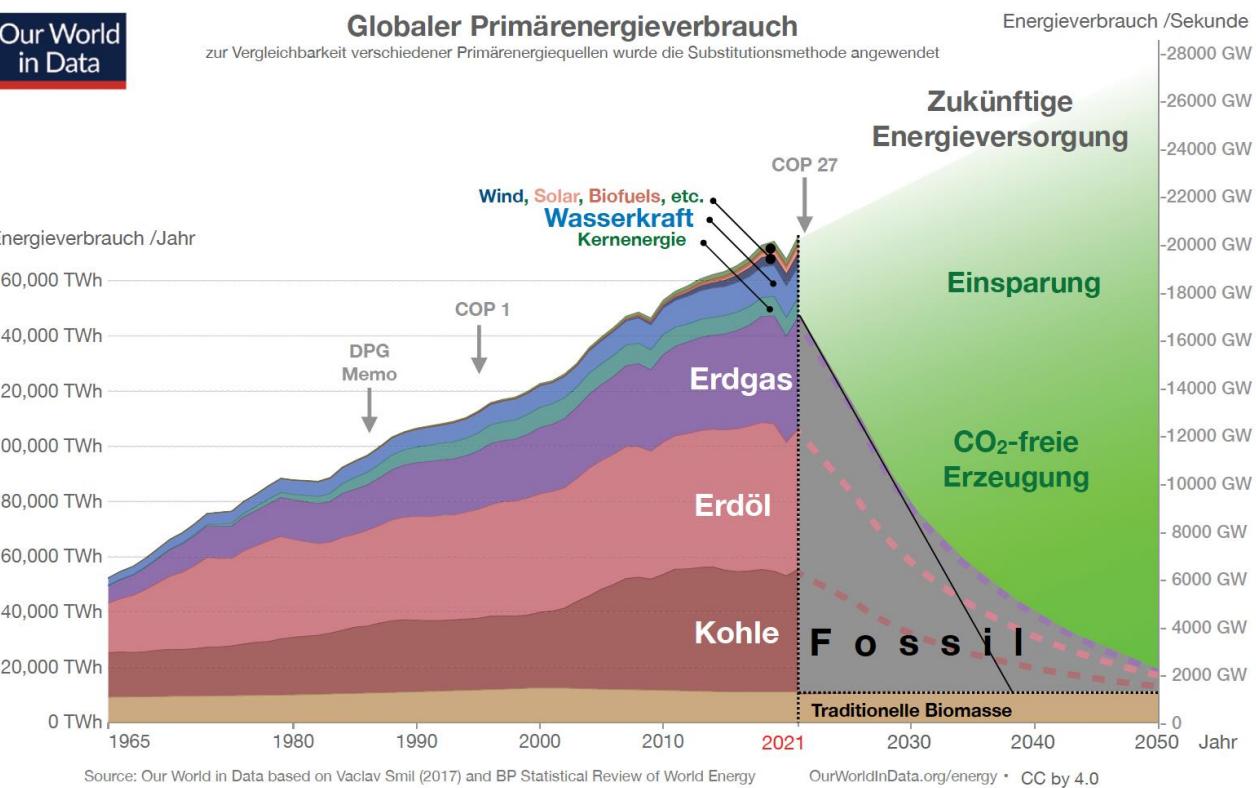


Energie – die Aufgabe unserer Generation(en)!!

Deutschland

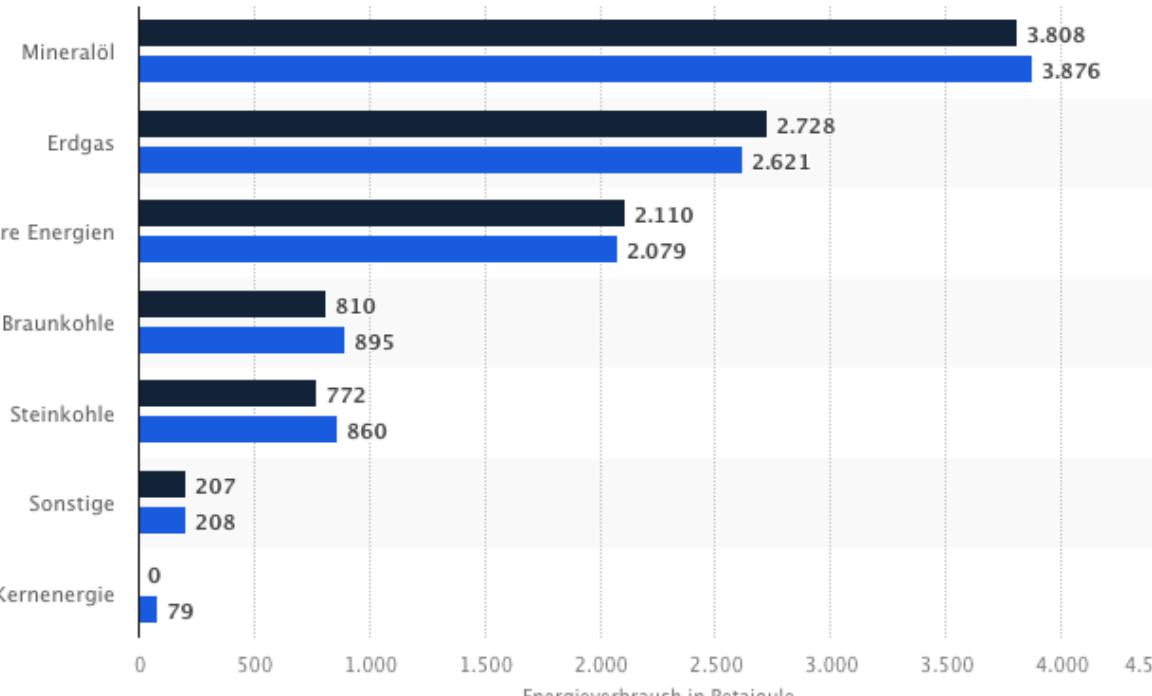


Die Welt



Energie – die Aufgabe unserer Generation(en)?!

Deutschland



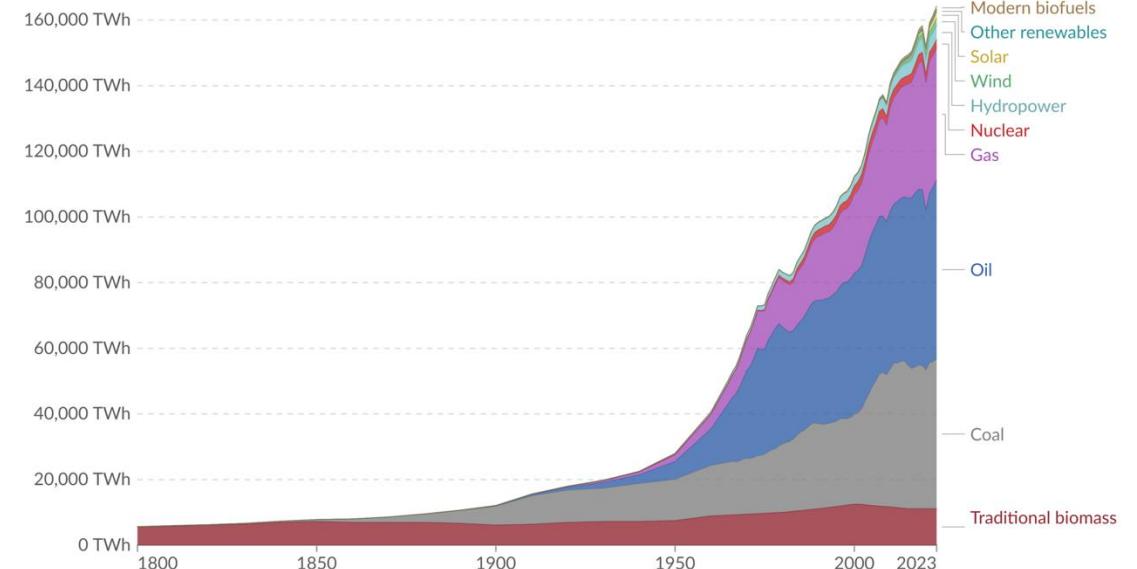
Statista

● 2023 ● 2024

Die Welt

Global direct primary energy consumption

Energy consumption is measured in terawatt-hours, in terms of direct primary energy. This means that fossil fuels include the energy lost due to inefficiencies in energy production.

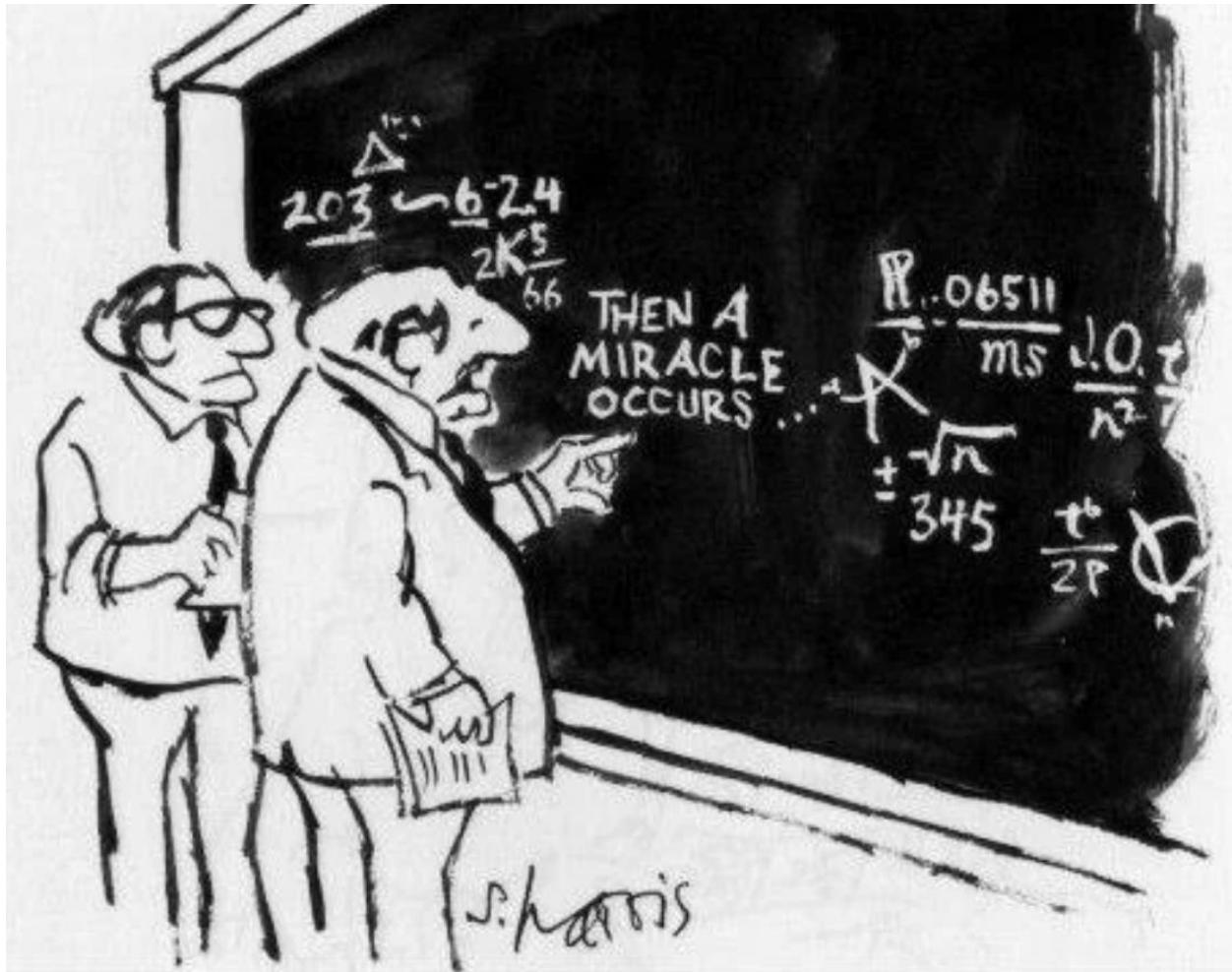


Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

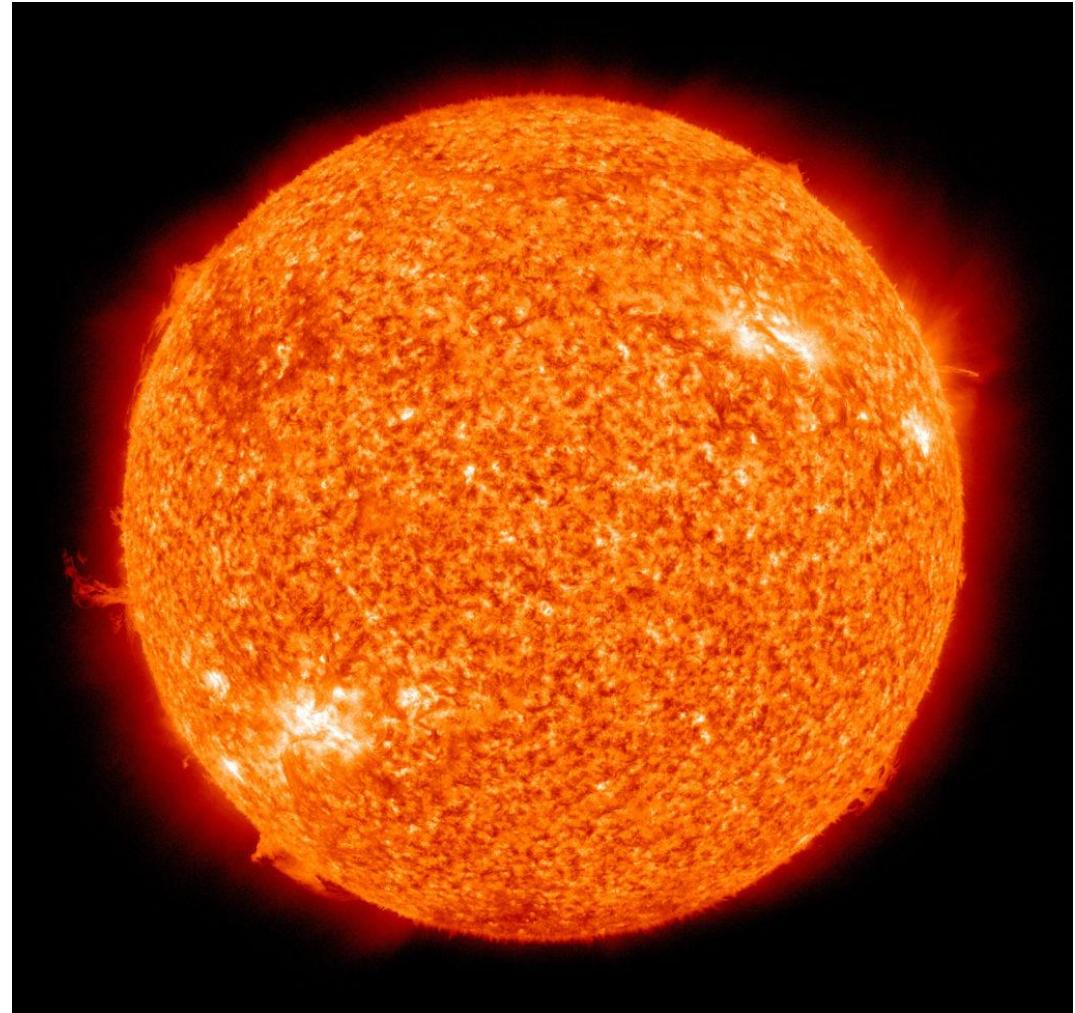
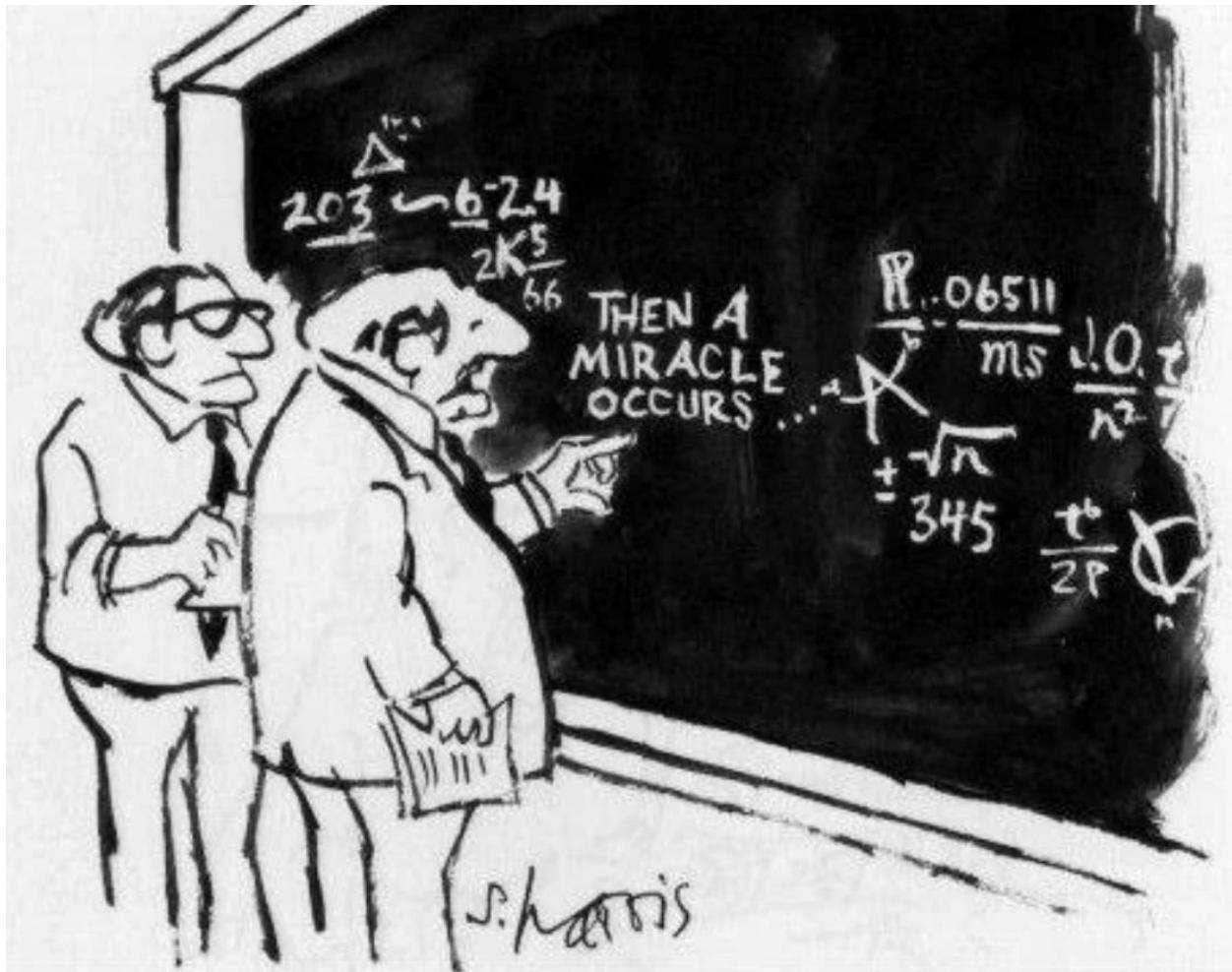
Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

OurWorldinData.org/energy | CC BY

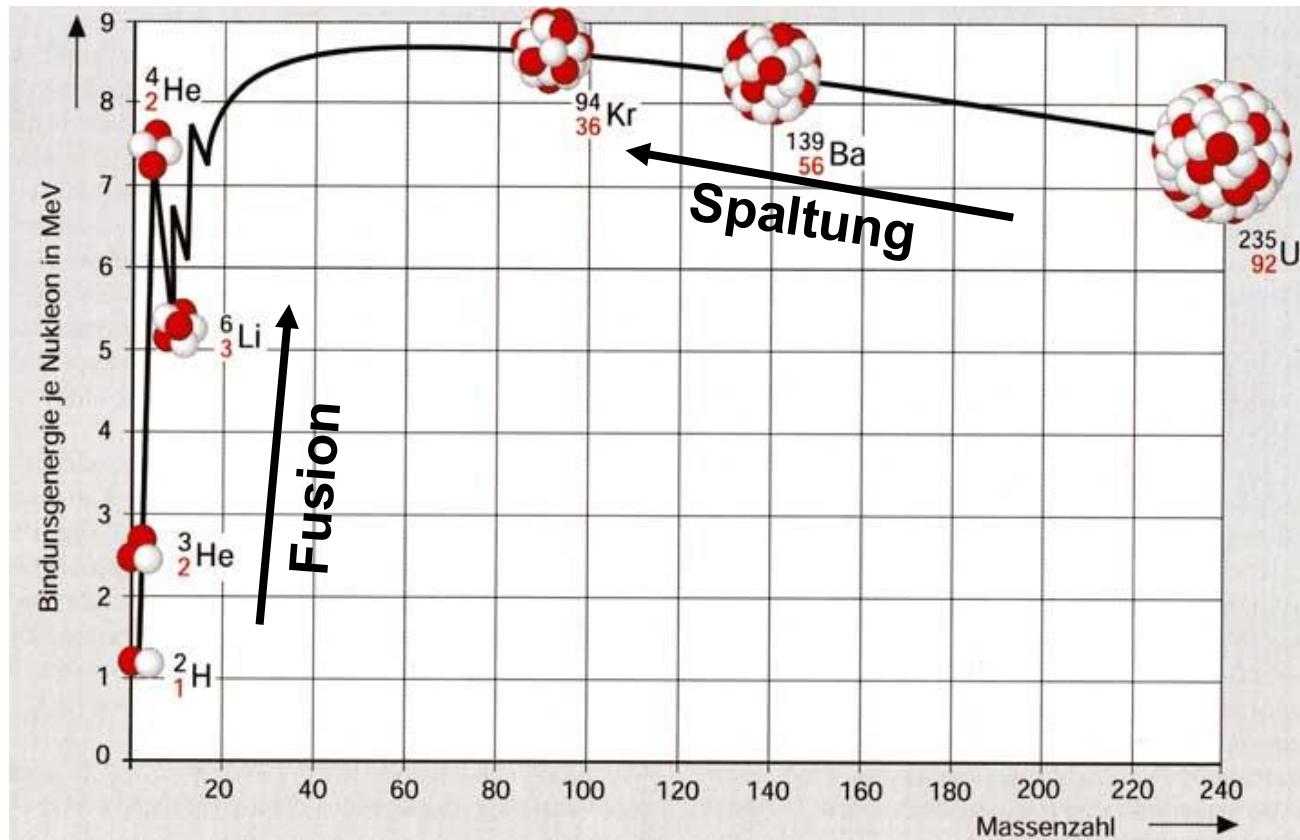
Ein Wunder muss her!



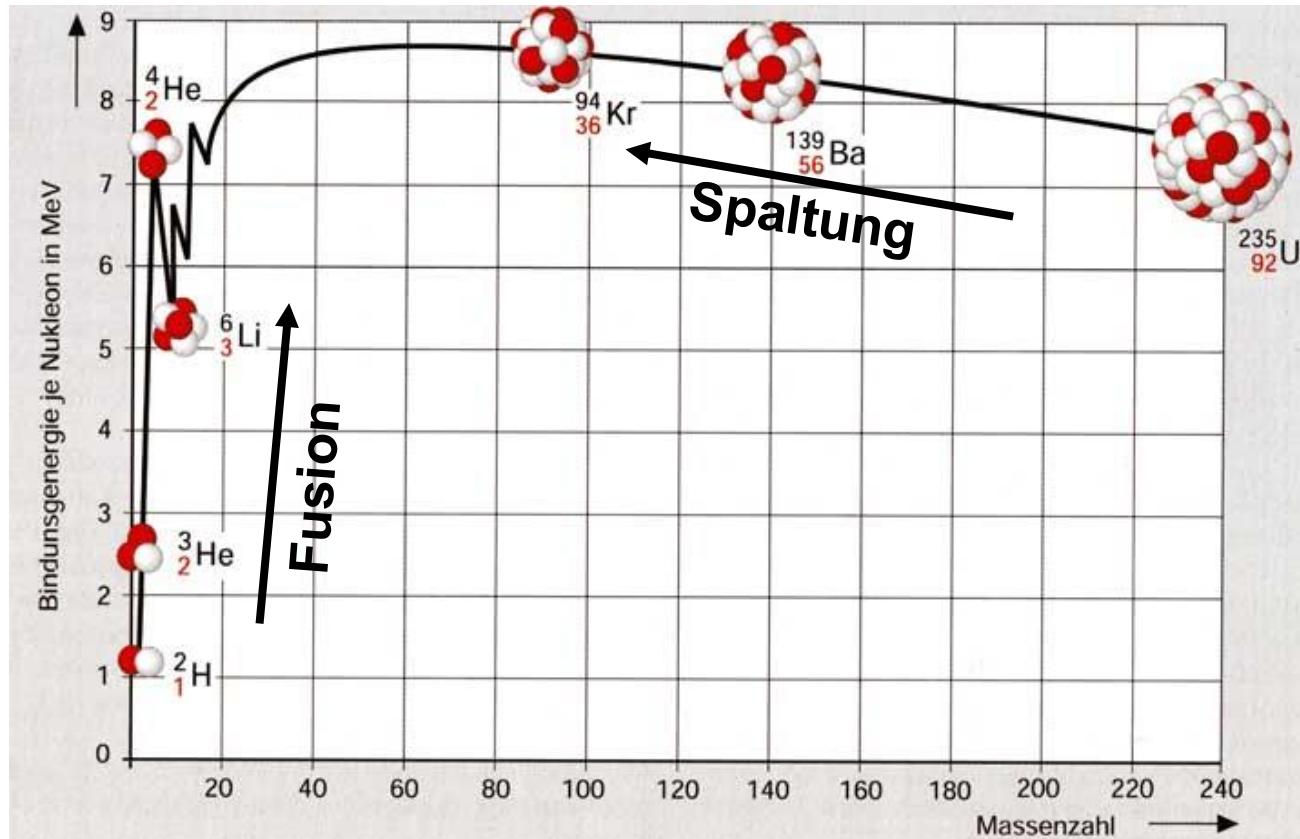
Ein Wunder muss her!



Konzept Fusion: Bindungsenergien



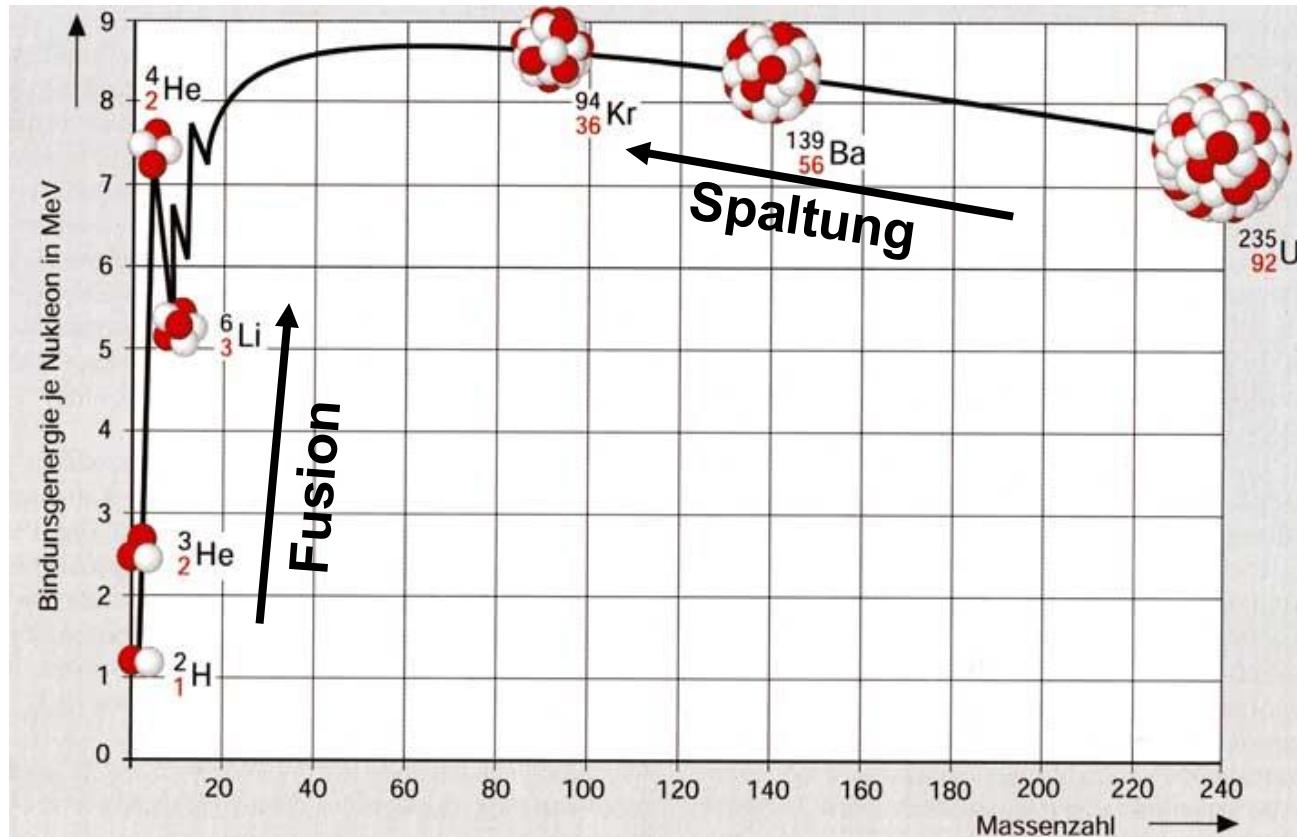
Konzept Fusion: Bindungsenergien



Kernkraft („starke Wechselwirkung“):

- Protonen und Neutronen ziehen sich an (wenn sie eng genug beieinander sind)
- Wirkt nur auf die nächsten Nachbarn
- Mehr nächste Nachbarn in größeren Kernen

Konzept Fusion: Bindungsenergien



Kernkraft („starke Wechselwirkung“):

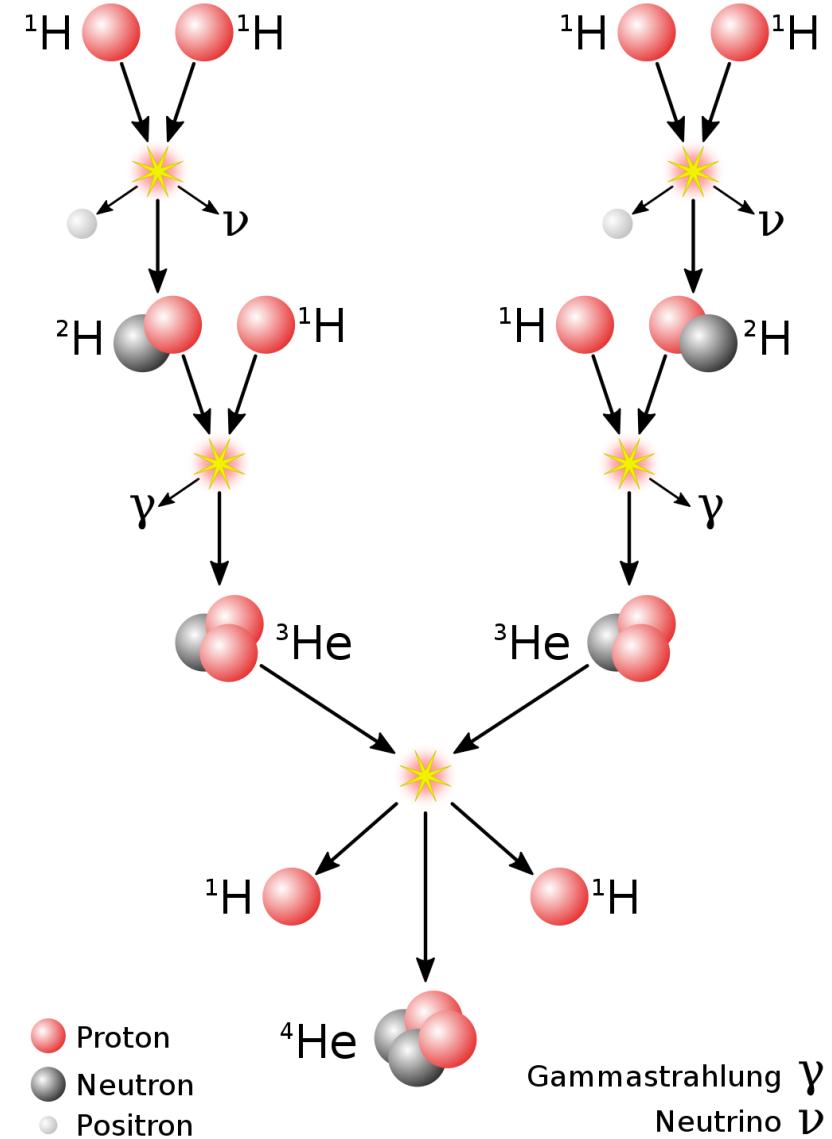
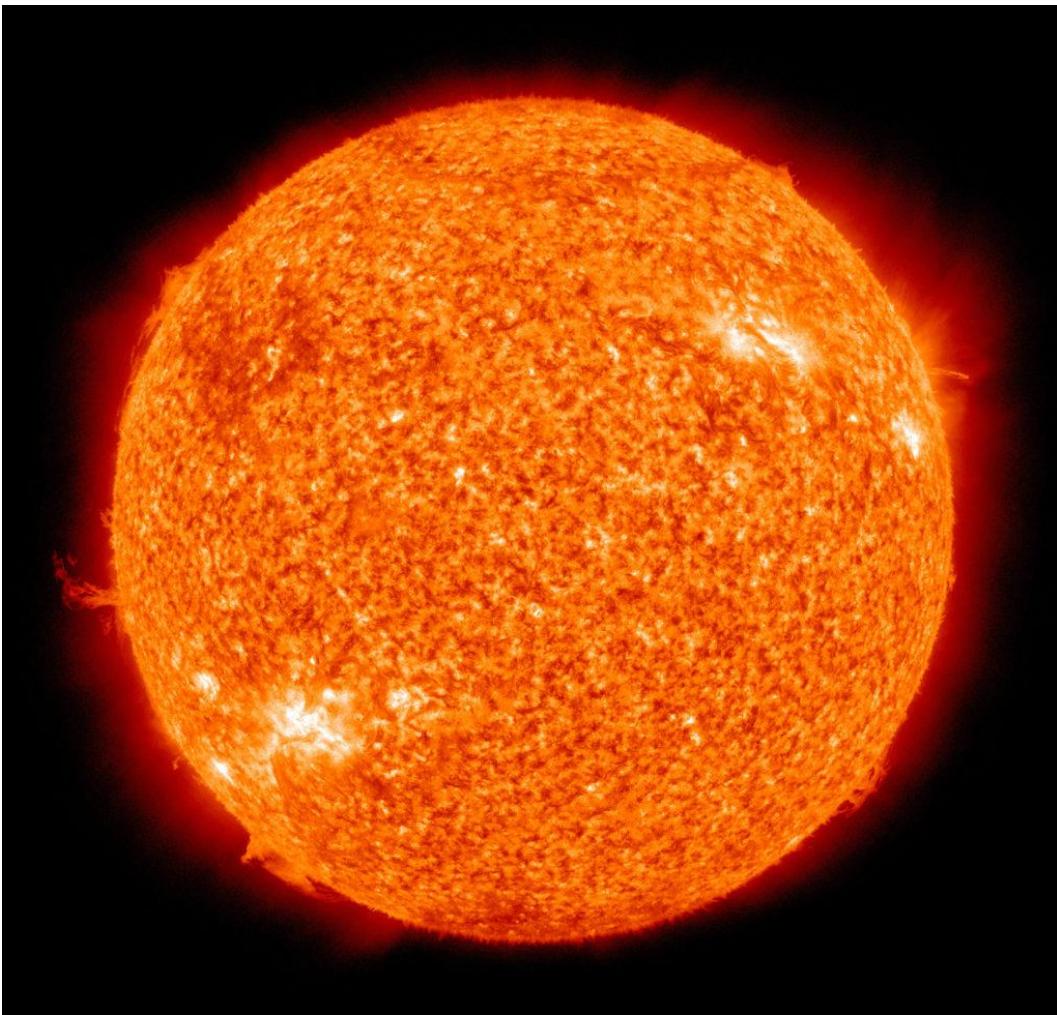
- Protonen und Neutronen ziehen sich an (wenn sie eng genug beieinander sind)
- Wirkt nur auf die nächsten Nachbarn
- Mehr nächste Nachbarn in größeren Kernen

Elektromagnetische Kraft:

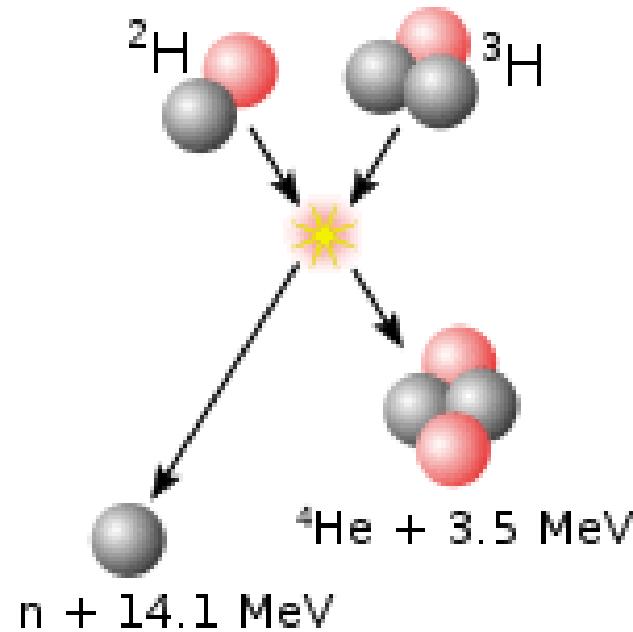
- Positiv geladene Protonen stoßen sich ab
- Lange Reichweite im Vergleich zur Kernkraft: alle Protonen „sehen“ sich im Kern
- Abstoßung limitiert maximale Größe von Kernen



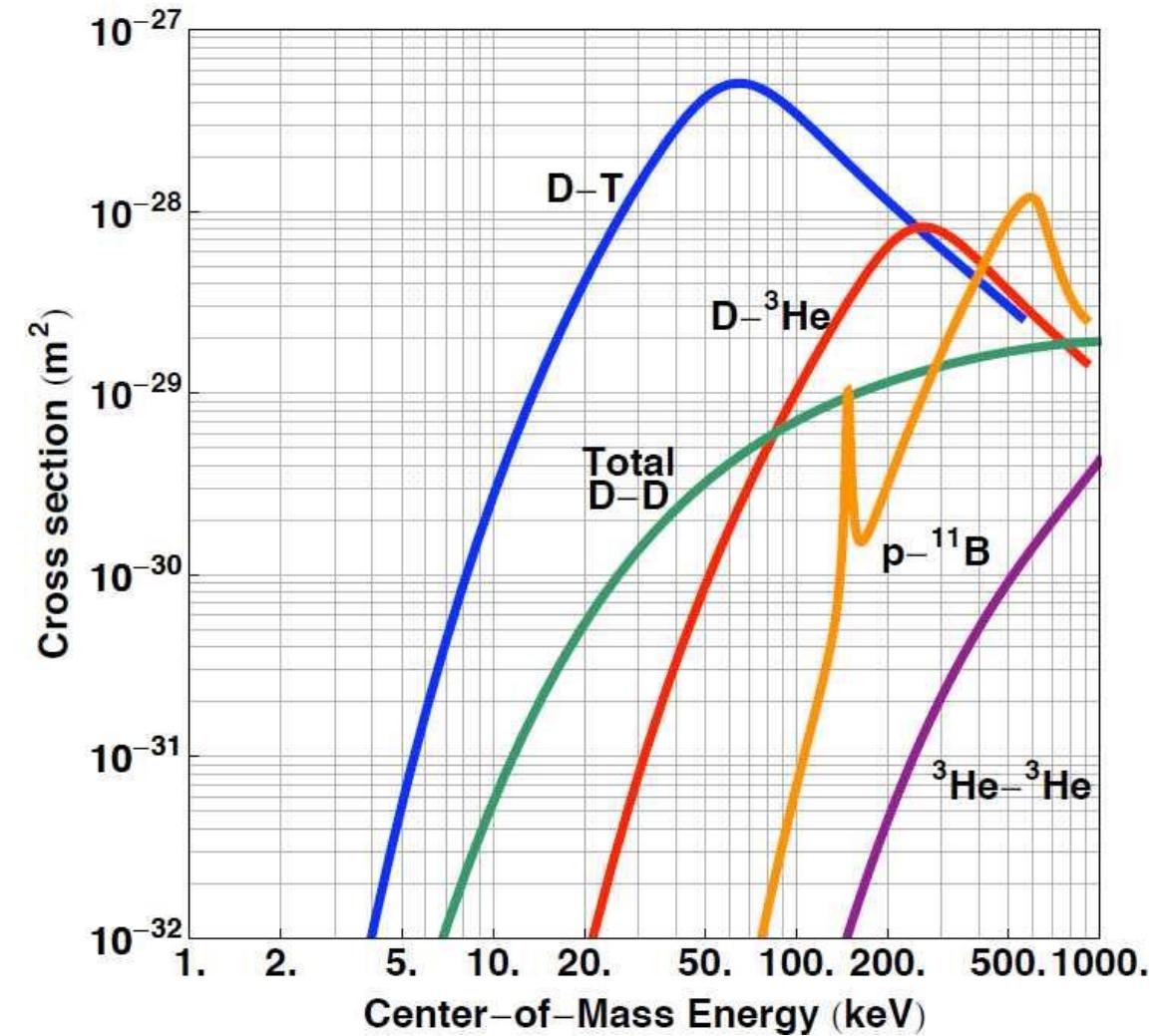
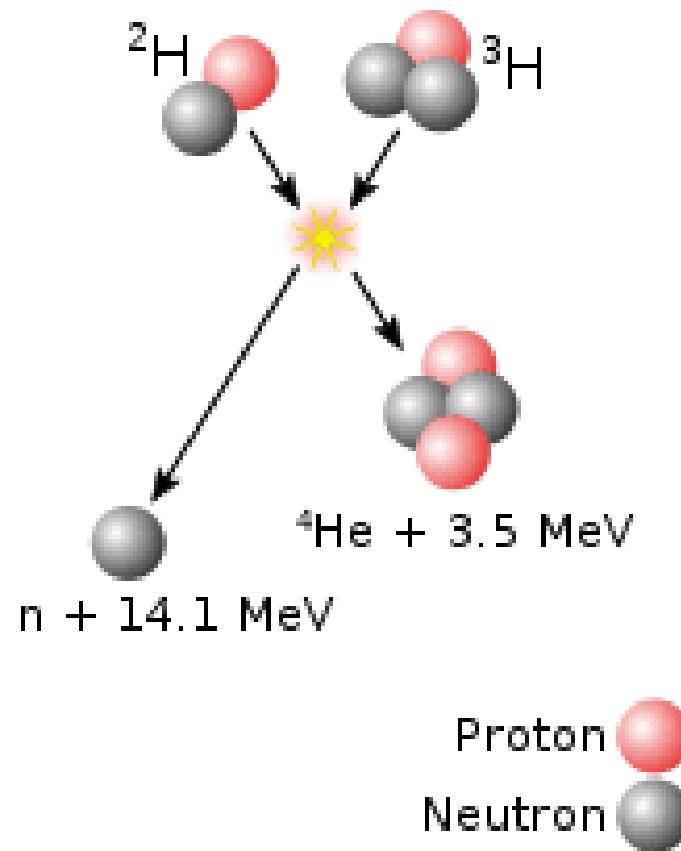
Fusion in der Sonne



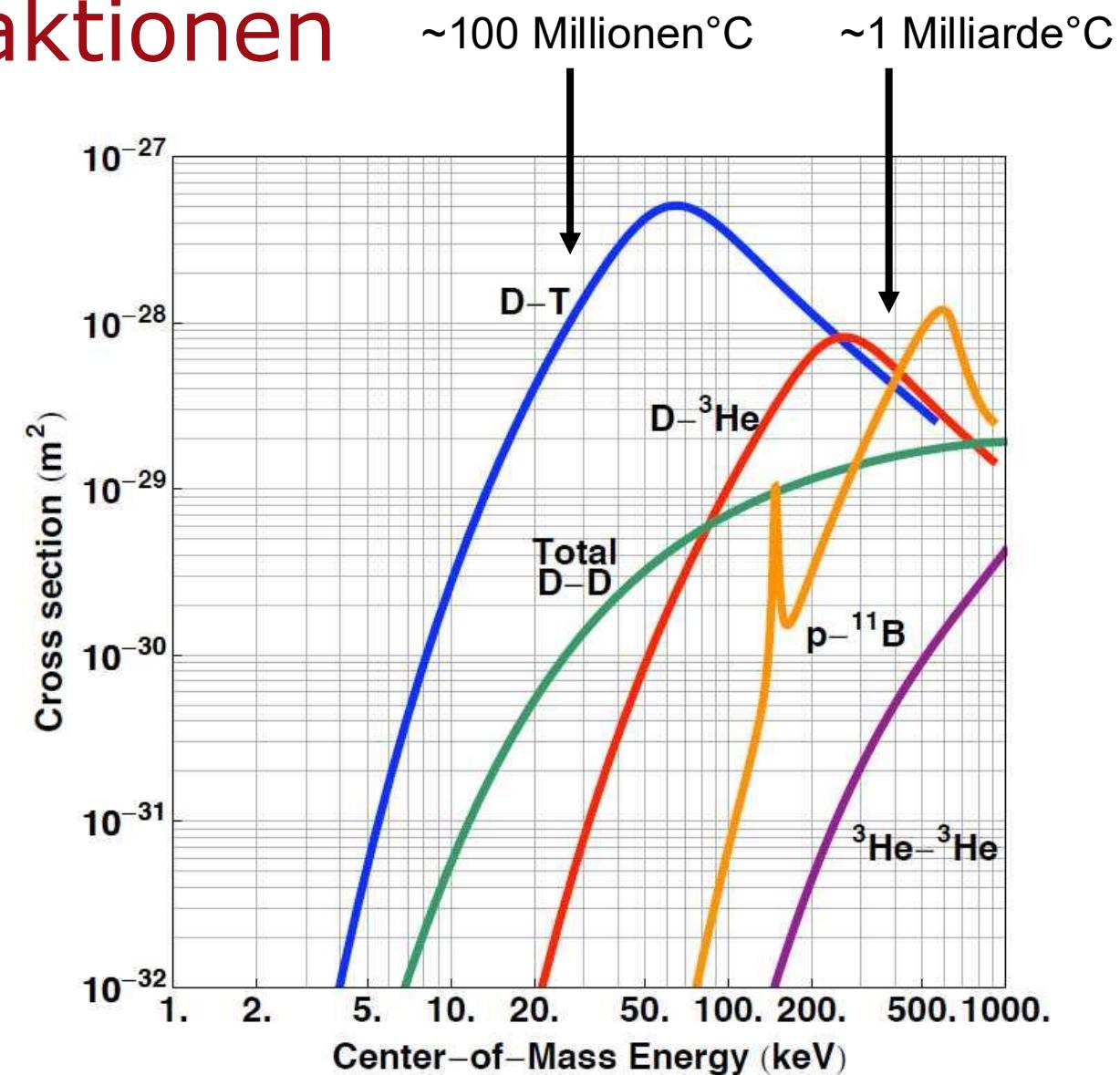
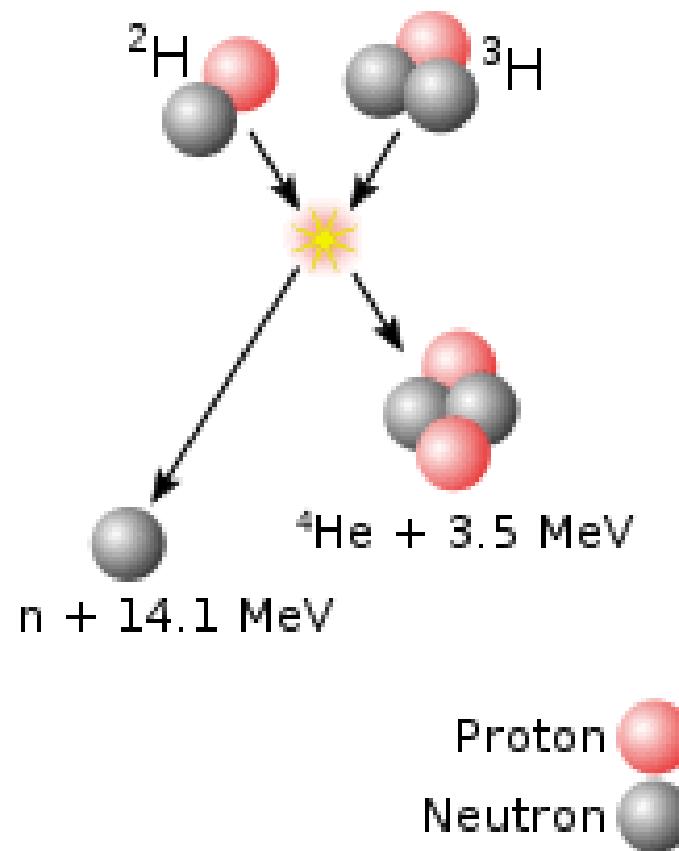
Technische Fusionsreaktionen



Technische Fusionsreaktionen



Technische Fusionsreaktionen



Energiedichte



Kraftwerk Rostock
Feuerungswärme 1370 MW
Elektrische Leistung 514 MW

Beispiel: Kraftwerk mit 1 GW Leistung
ca. 2000t Kohle am Tag

Fusion: wenige 100g DT am Tag

- D aus Wasser:
1-2 große Badewannen Wasser / Tag
- T aus Lithium
1000 Handy-Akkus am Tag
Tesla-Akku reicht mehrere Monate

Fusion findet im Plasmazustand statt



fest



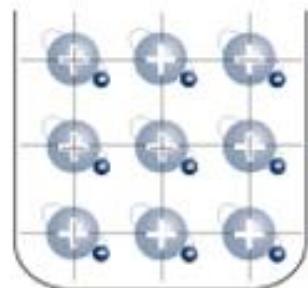
flüssig



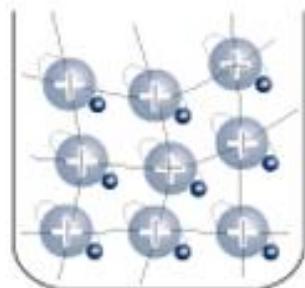
gasförmig



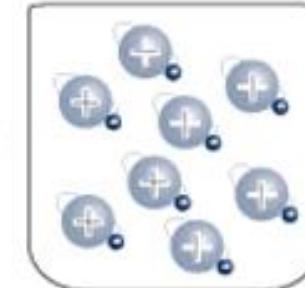
Plasma



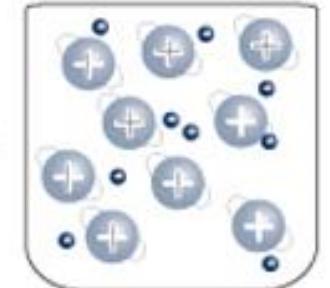
Energie



Energie

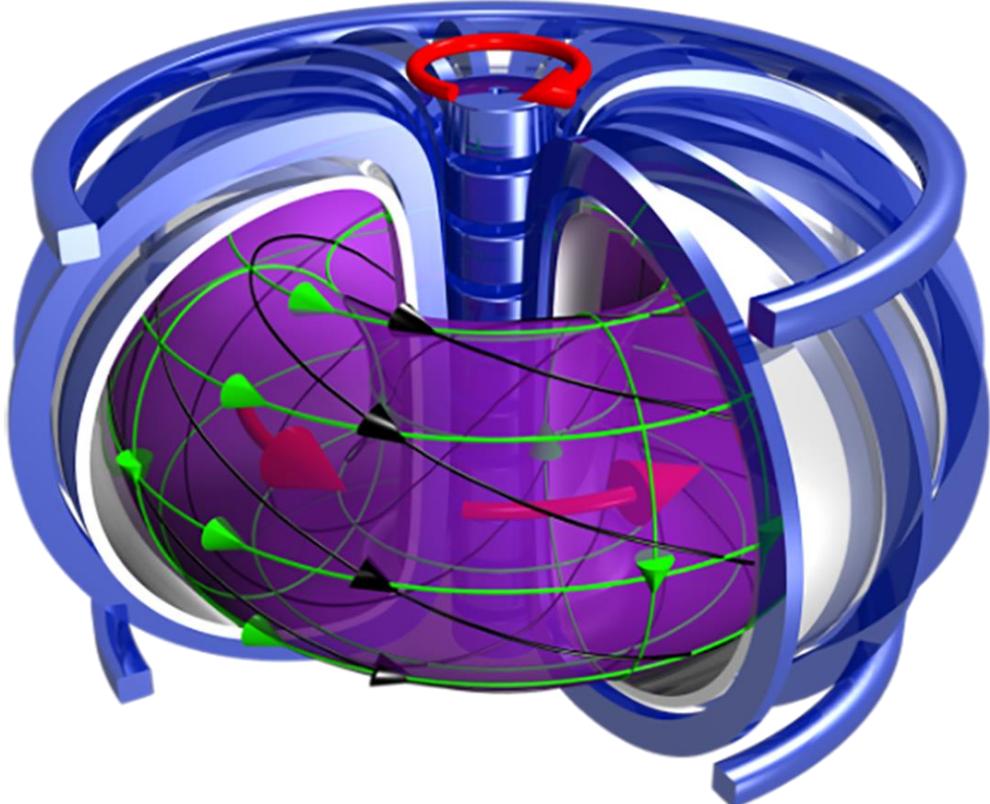


Energie



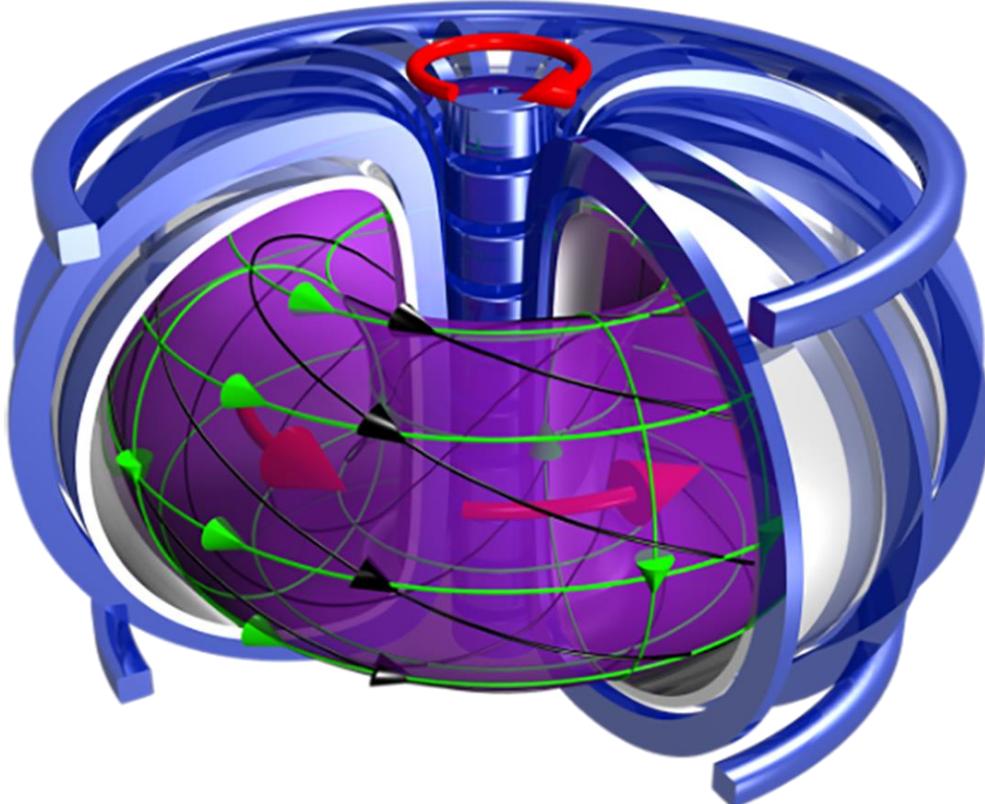
Ansätze zum Plasmaeinschluss für die Fusion

Magnetfusion

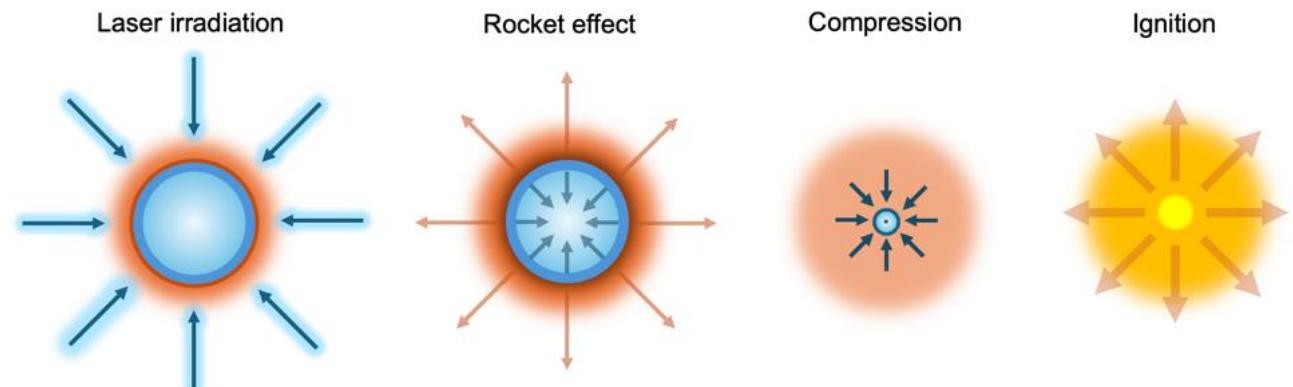


Ansätze zum Plasmaeinschluss für die Fusion

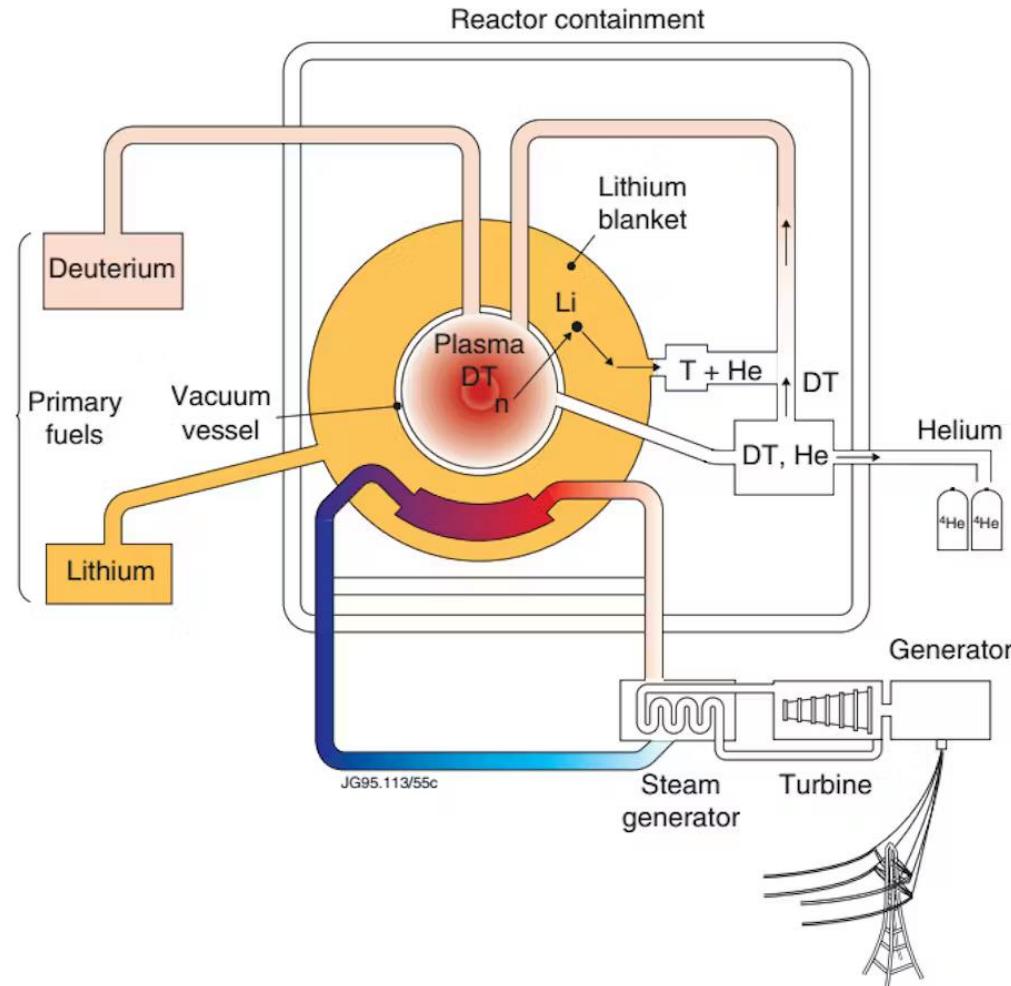
Magnetfusion



Trägheitsfusion („Laserfusion“)



Konzept eines Fusionsreaktors



Ansätze zur Energiegewinnung durch Kernfusion

Magnetfusion



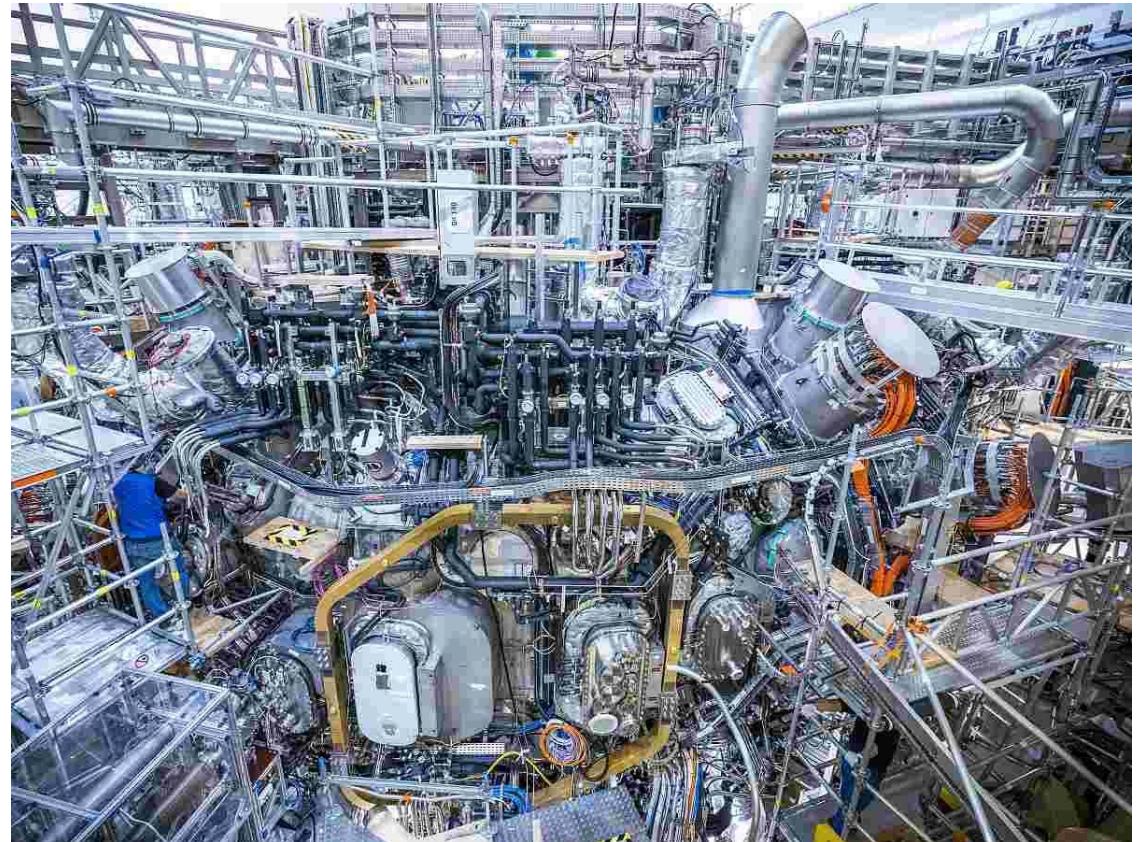
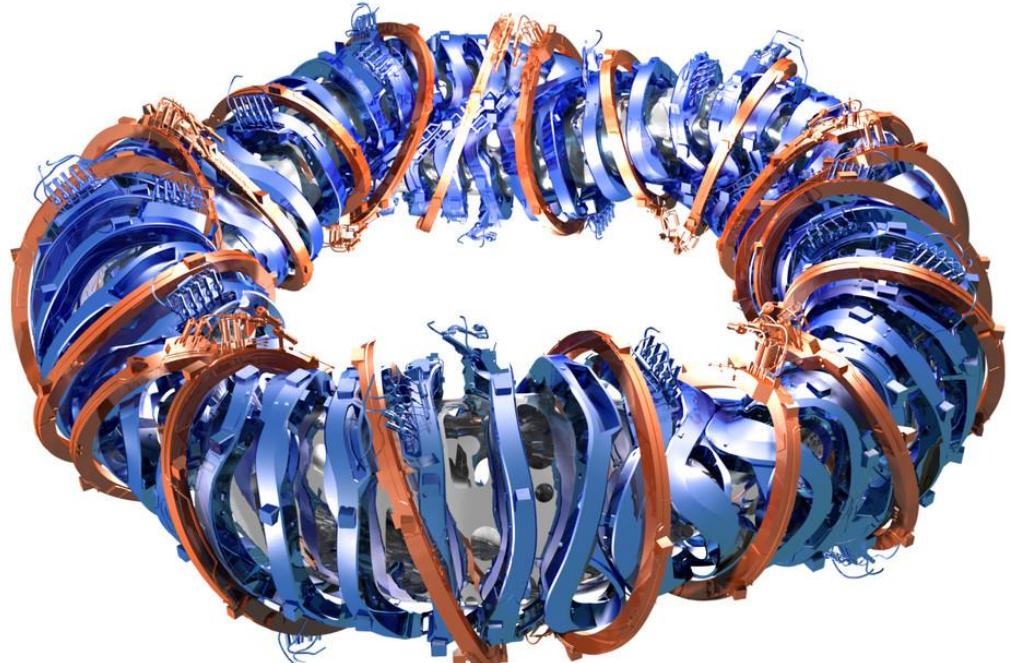
ITER
~50 Mrd. \$ Baukosten

Trägheitsfusion („Laserfusion“)



National Ignition Facility (NIF)
~3.4 Mrd. \$ Baukosten

Wendelstein 7-X in Greifswald



Trielpprodukt

“Lawson Kriterium” für brennende D-T-Plasmen
Dichte x Einschlusszeit x Temperatur

Bei 150 Millionen Grad:

$$n\tau_c T > 3.3 \times 10^{21} \frac{\text{s keV}}{\text{m}^3}$$

Unterschiedliche Ansätze:

Niedrige Dichte, lange Einschlusszeiten
→ Magnetfusion

Hohe Dichte, kurze Einschlusszeiten
→ Trägheitsfusion (“Laserfusion”)

Tripleprodukt

“Lawson Kriterium” für brennende D-T-Plasmen
Dichte x Einschlusszeit x Temperatur

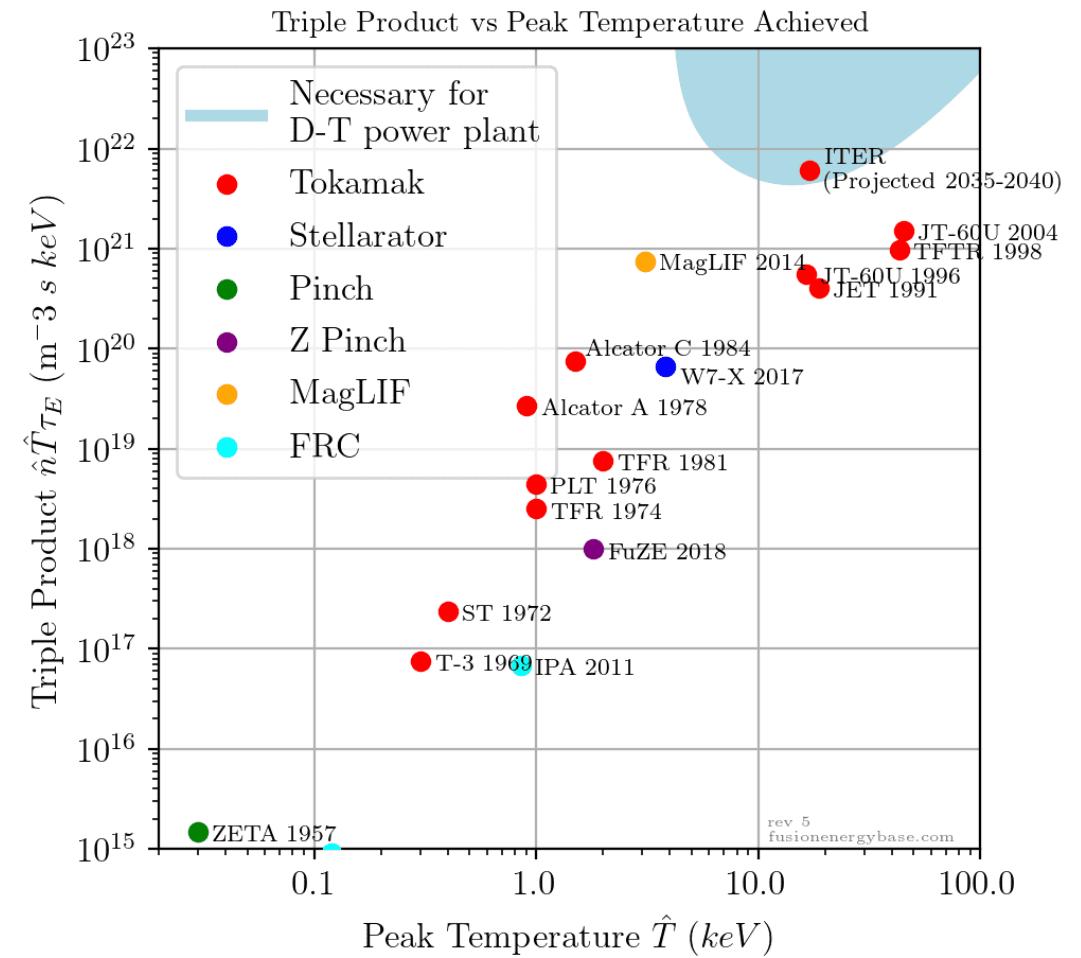
Bei 150 Millionen Grad:

$$n\tau_c T > 3.3 \times 10^{21} \frac{\text{s keV}}{\text{m}^3}$$

Unterschiedliche Ansätze:

Niedrige Dichte, lange Einschlusszeiten
→ Magnetfusion

Hohe Dichte, kurze Einschlusszeiten
→ Trägheitsfusion (“Laserfusion”)



Tripleprodukt

“Lawson Kriterium” für brennende D-T-Plasmen
Dichte x Einschlusszeit x Temperatur

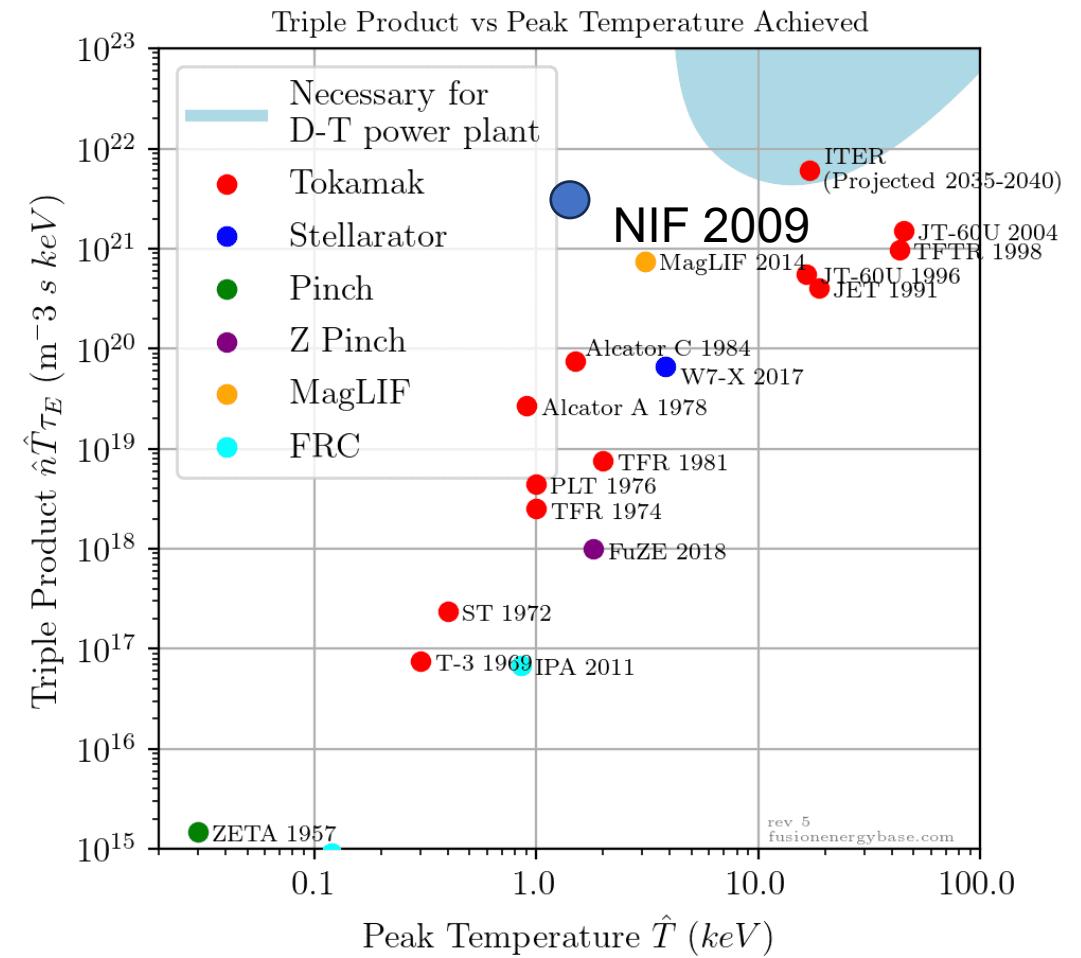
Bei 150 Millionen Grad:

$$n\tau_c T > 3.3 \times 10^{21} \frac{\text{s keV}}{\text{m}^3}$$

Unterschiedliche Ansätze:

Niedrige Dichte, lange Einschlusszeiten
→ Magnetfusion

Hohe Dichte, kurze Einschlusszeiten
→ Trägheitsfusion (“Laserfusion”)



Tripleprodukt

“Lawson Kriterium” für brennende D-T-Plasmen
Dichte x Einschlusszeit x Temperatur

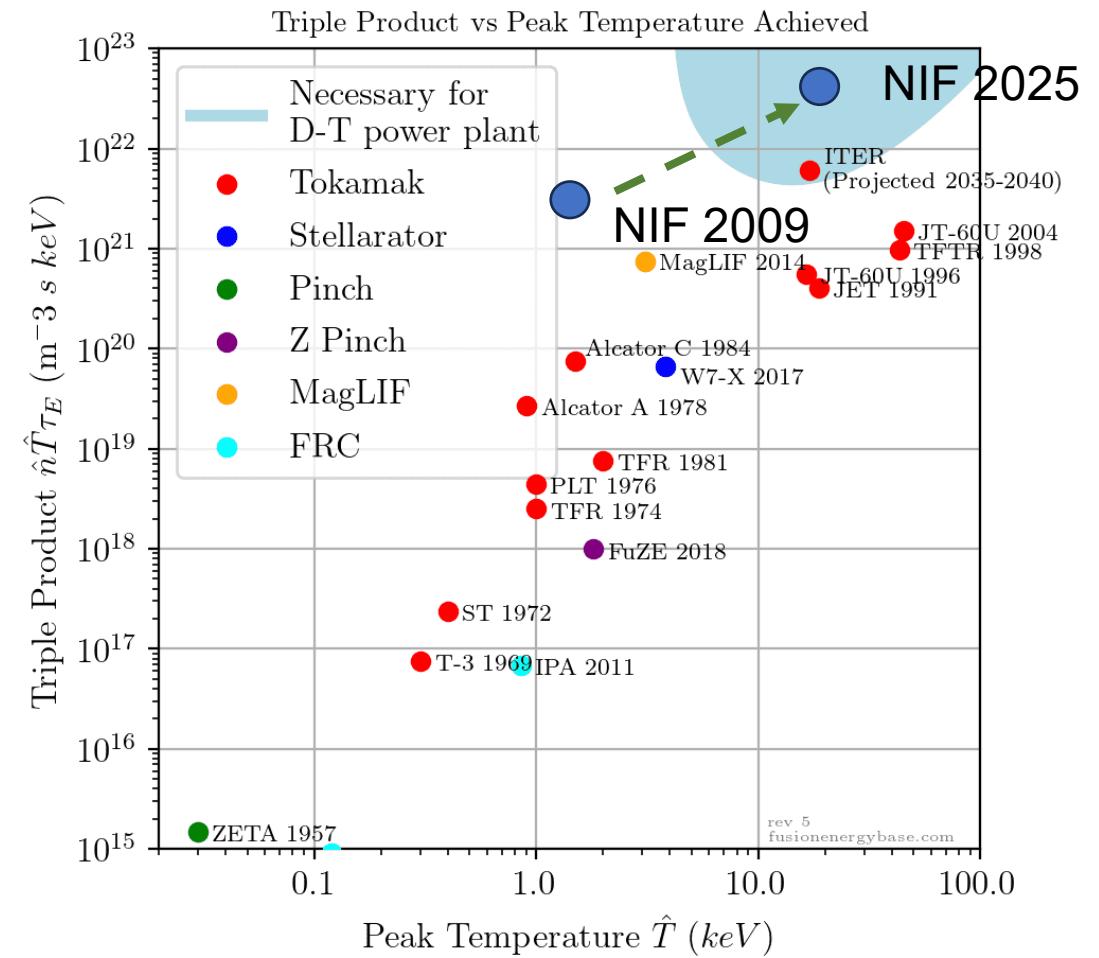
Bei 150 Millionen Grad:

$$n\tau_c T > 3.3 \times 10^{21} \frac{\text{s keV}}{\text{m}^3}$$

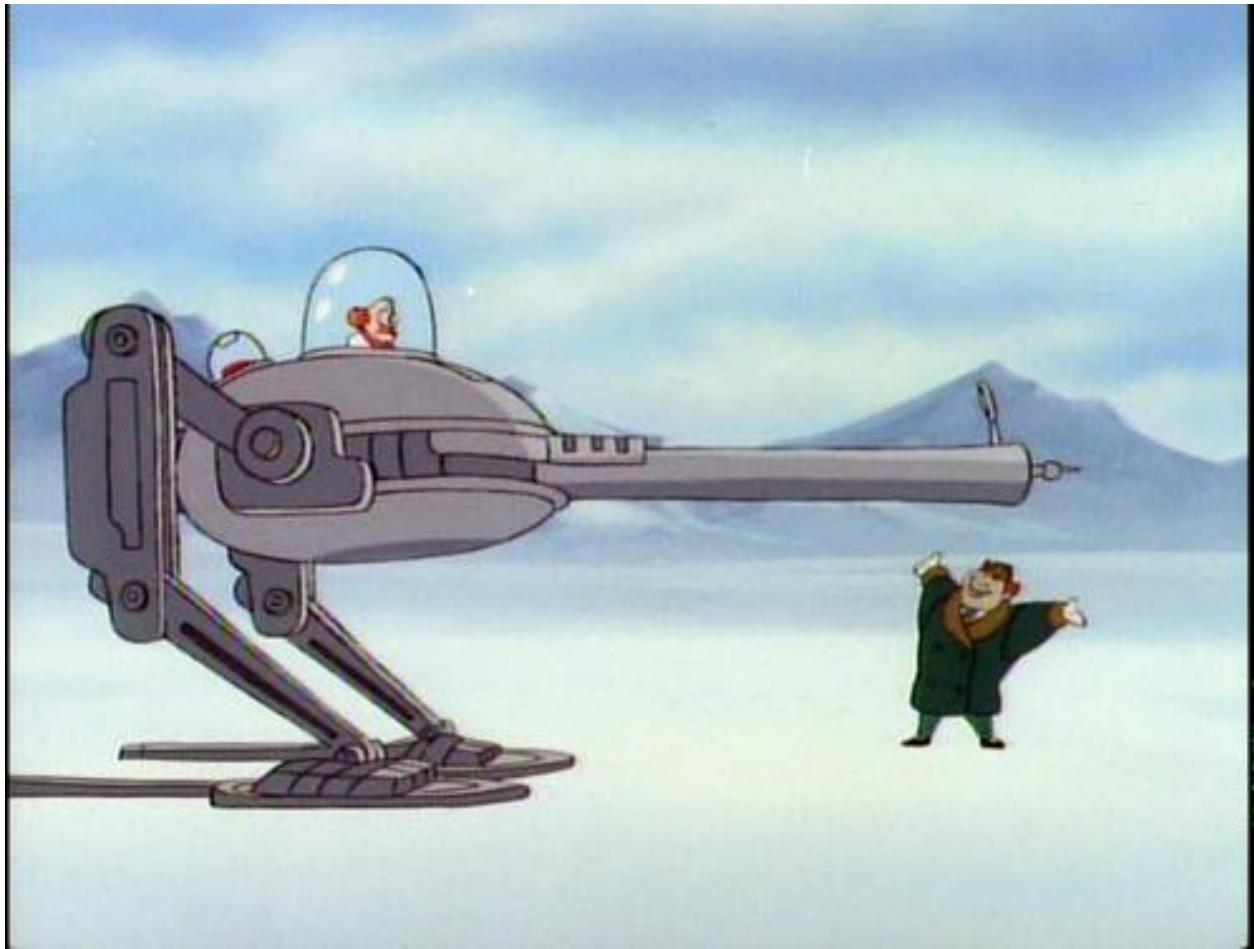
Unterschiedliche Ansätze:

Niedrige Dichte, lange Einschlusszeiten
→ Magnetfusion

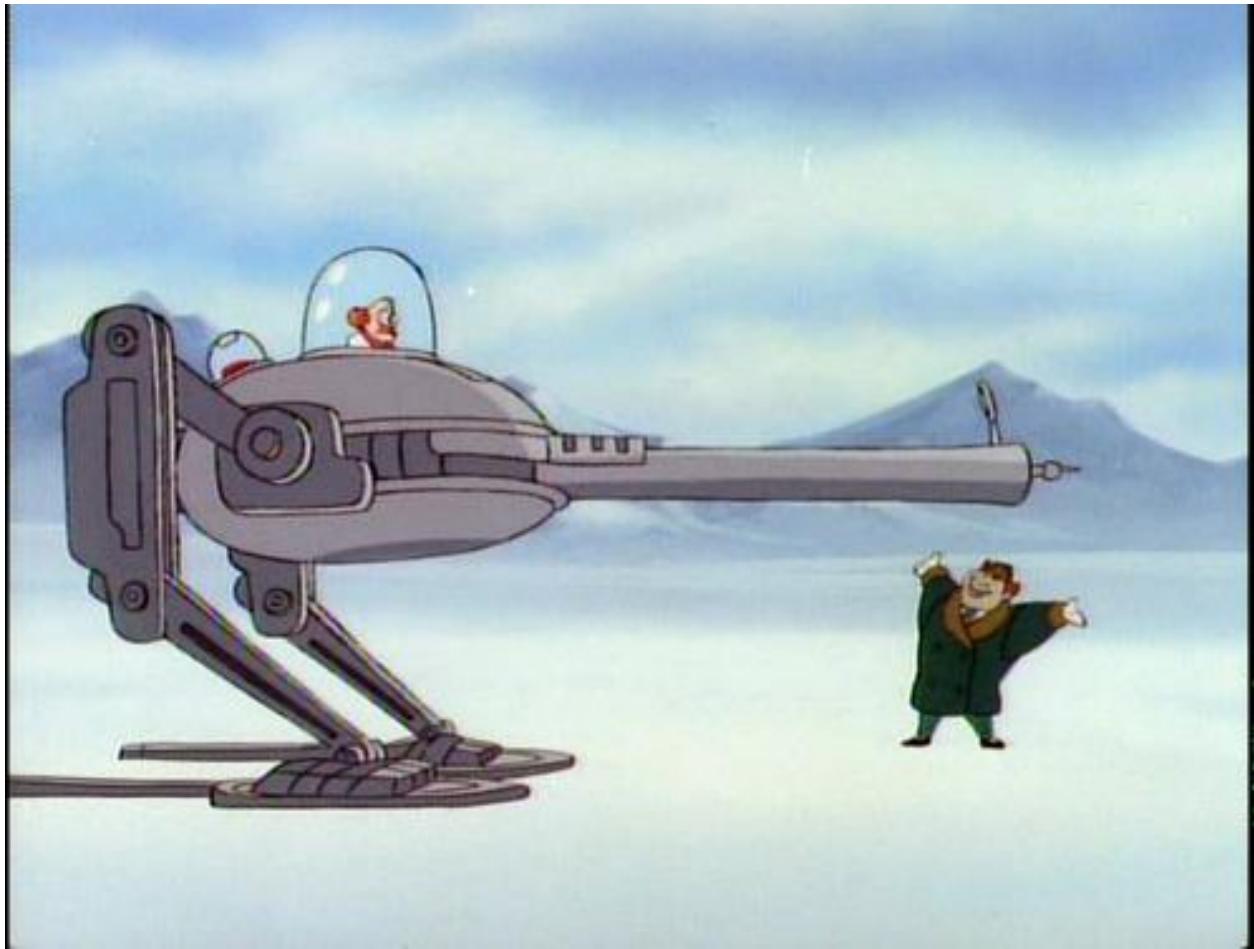
Hohe Dichte, kurze Einschlusszeiten
→ Trägheitsfusion (“Laserfusion”)



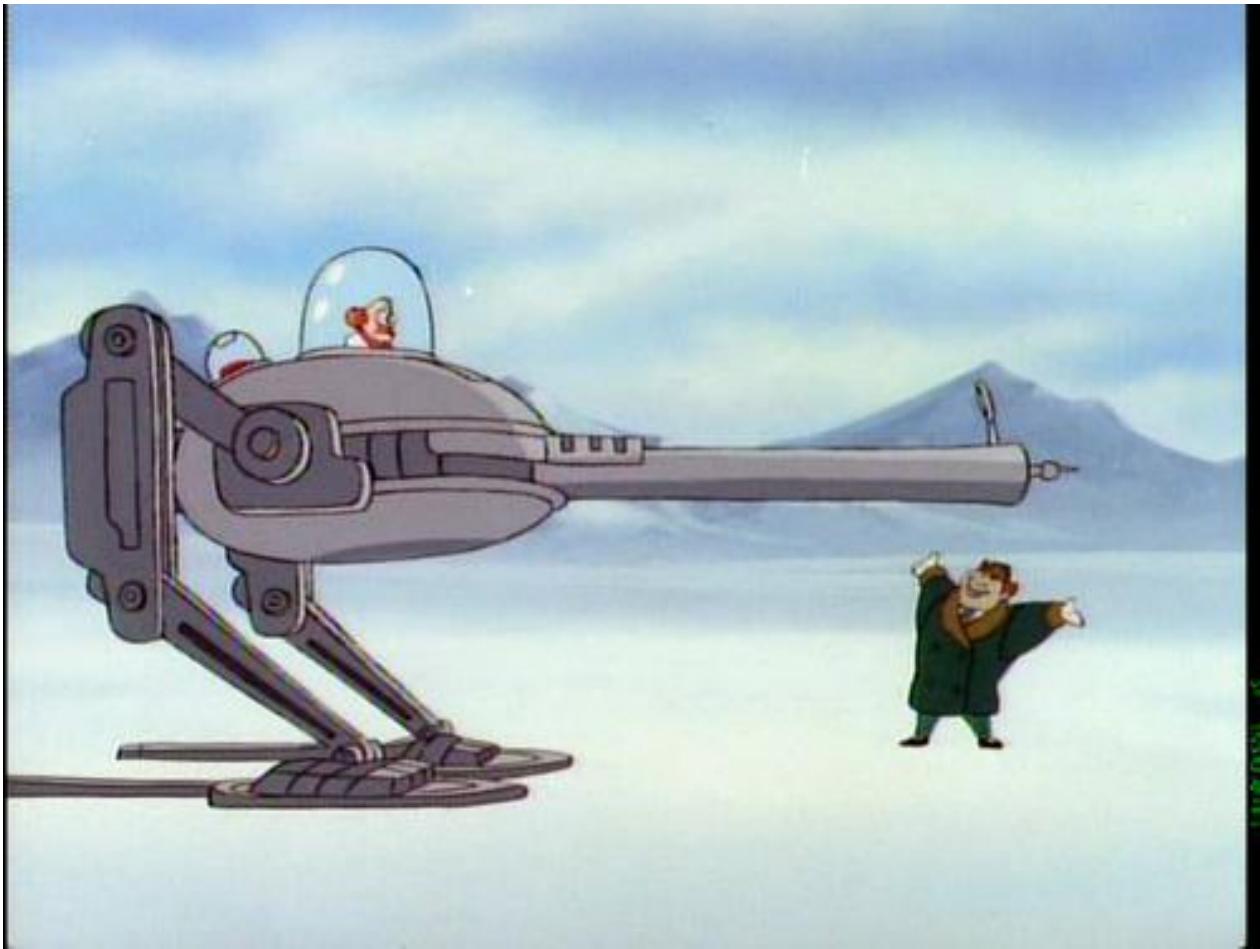
Starke Laser



Starke Laser



Starke Laser



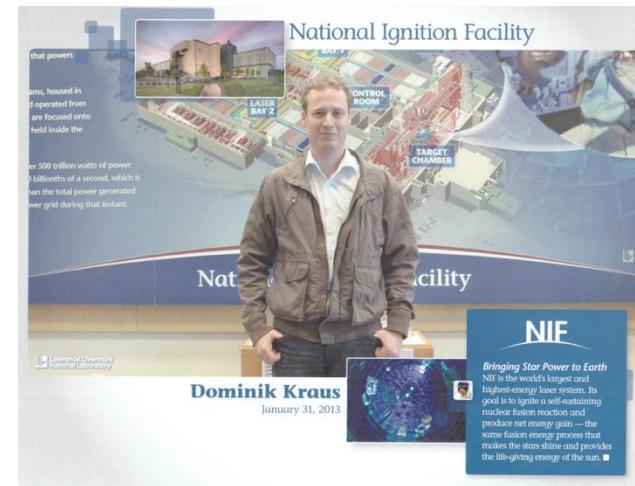
National Ignition Facility



National Ignition Facility

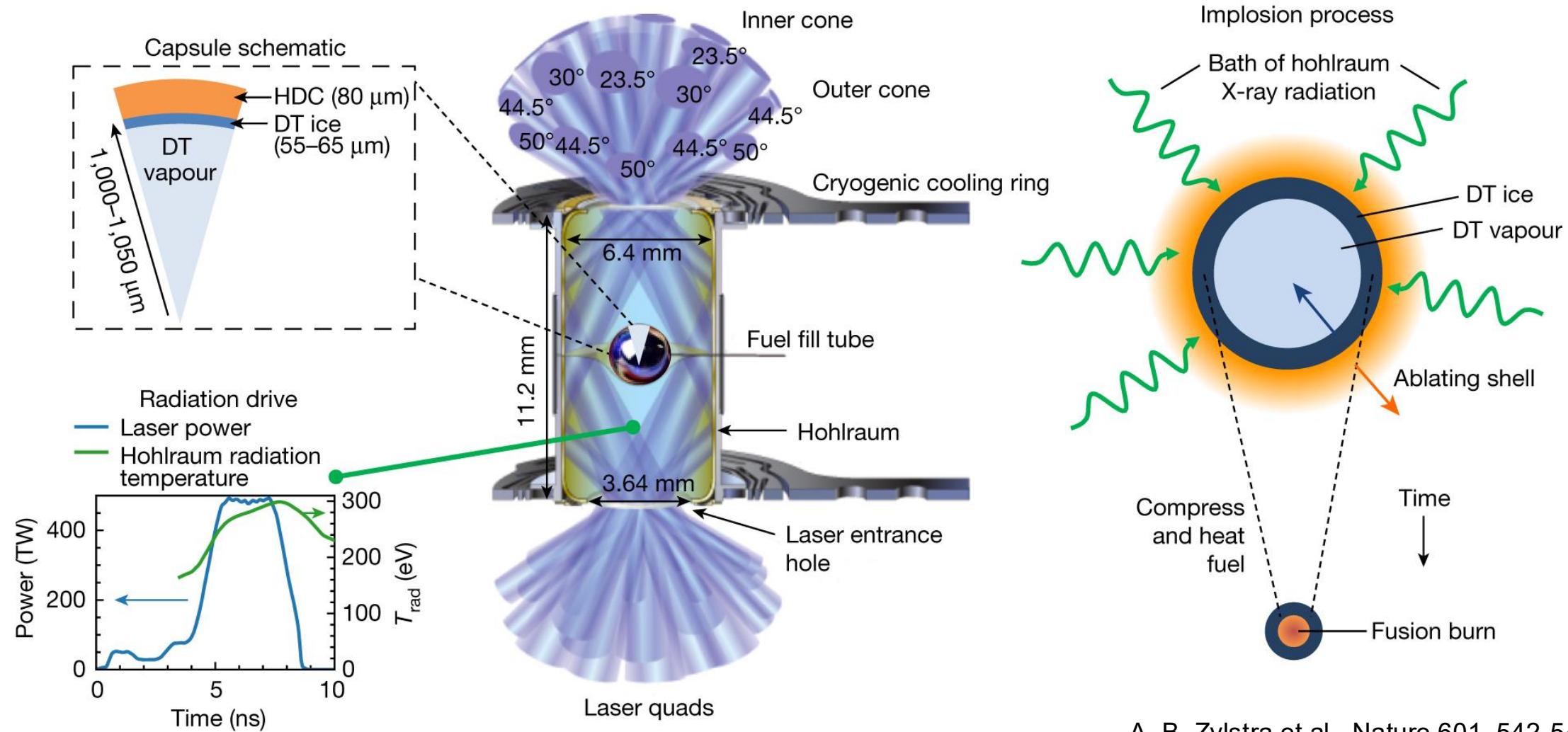


National Ignition Facility



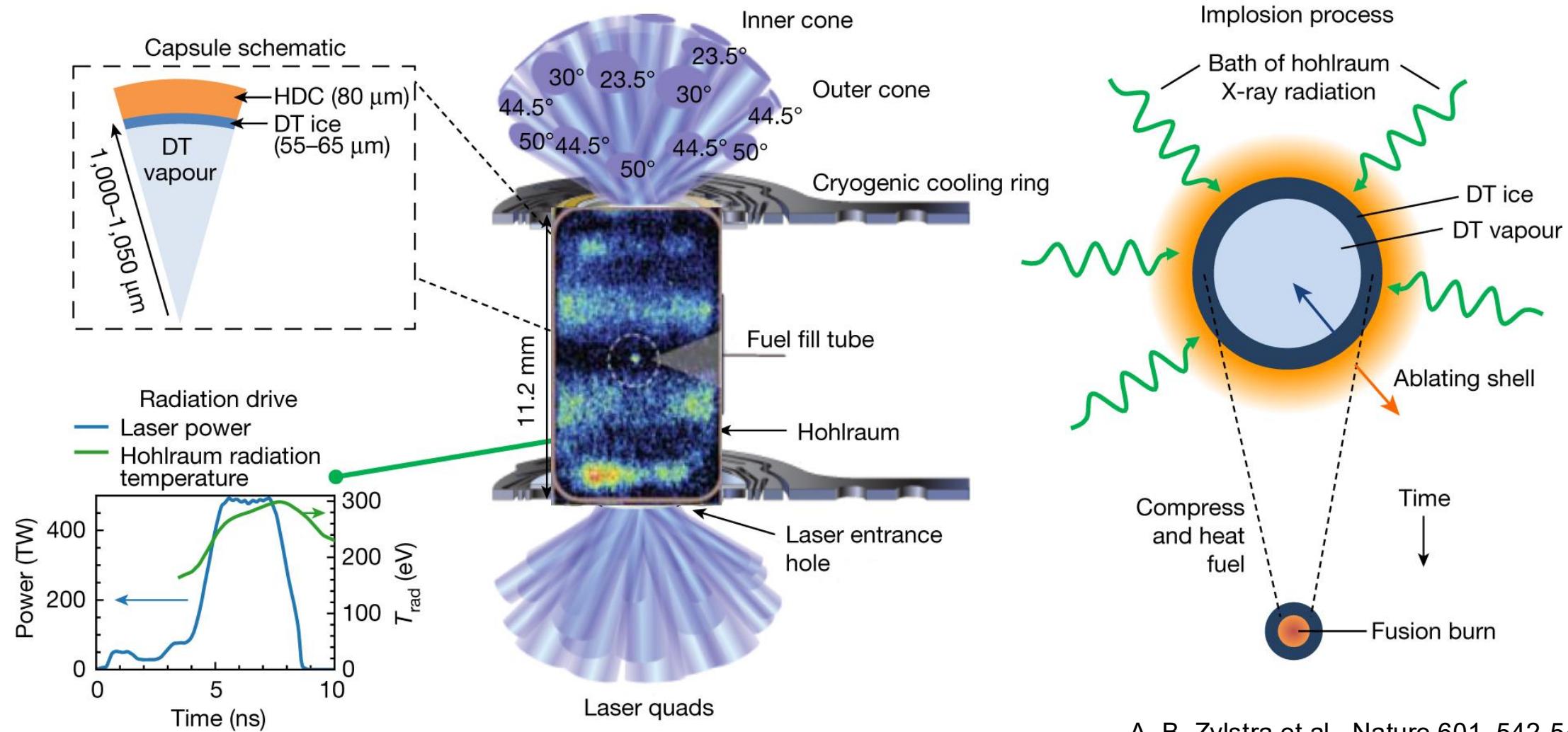
D.K. bei NIF (2013 - 2016)
(hatte gehofft "Ignition" mitzubekommen ...)

Fusionsexperimente an der National Ignition Facility



A. B. Zylstra et al., Nature 601, 542-548 (2022)

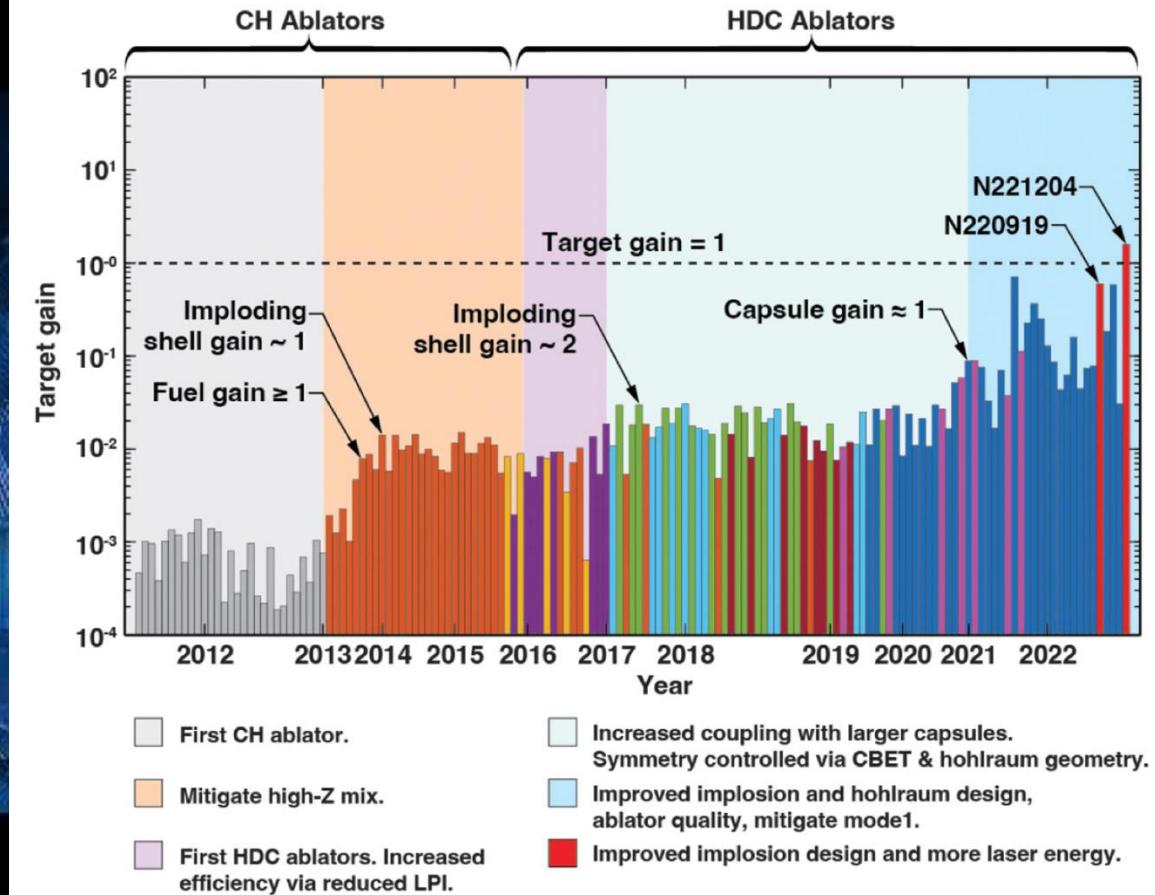
Fusionsexperimente an der National Ignition Facility



Im Jahr 2022: Ignition – Zündung!



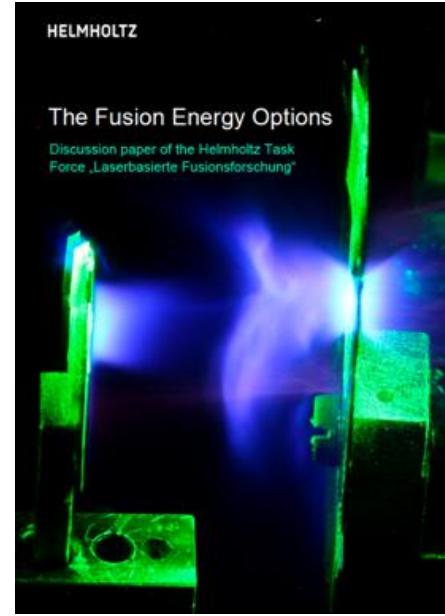
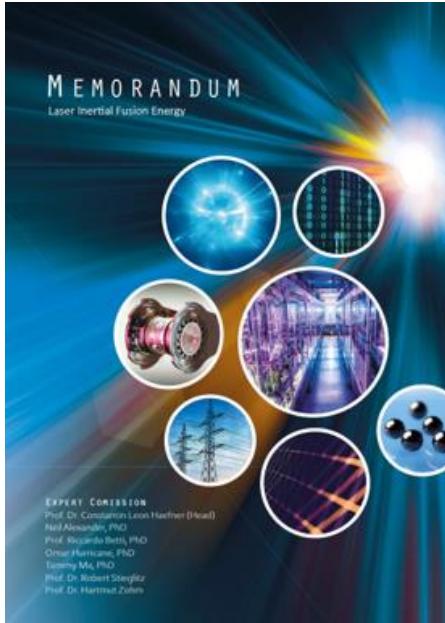
Im Jahr 2022: Ignition – Zündung!



Fusionsstartups (wahrscheinlich nicht ganz aktuell)



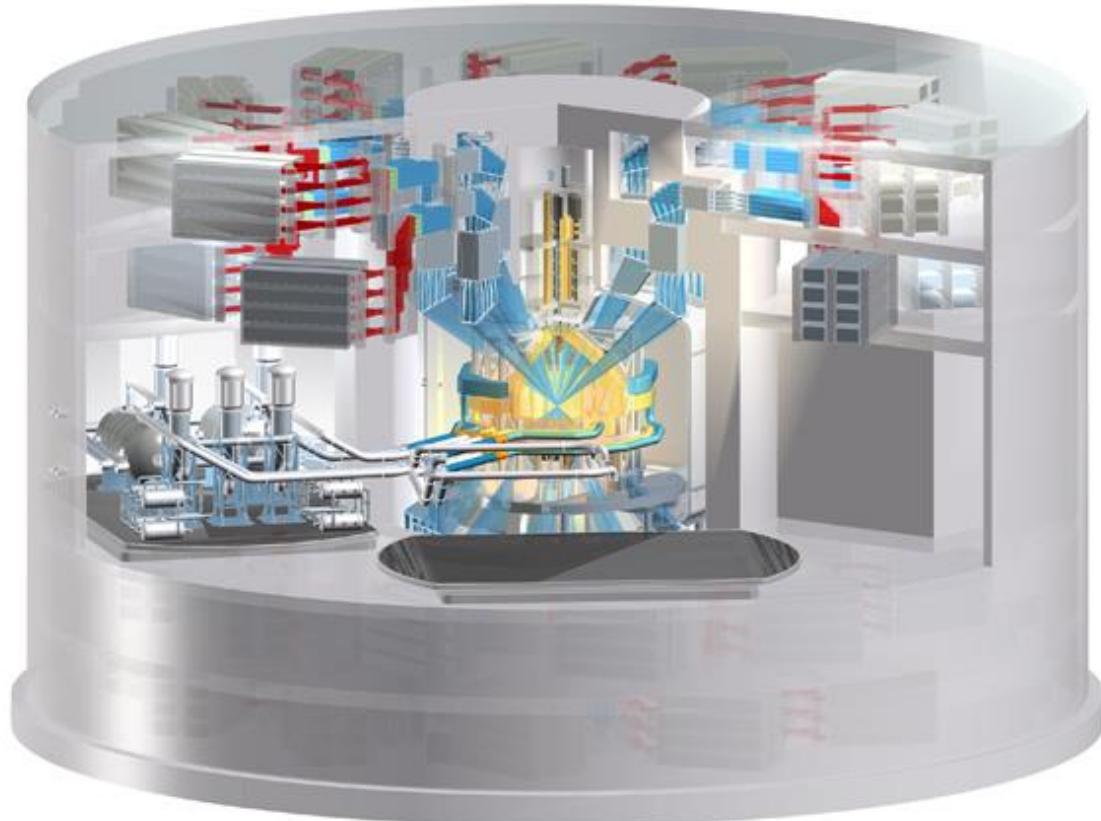
Verstärkte Förderung der Fusion durch den Bund



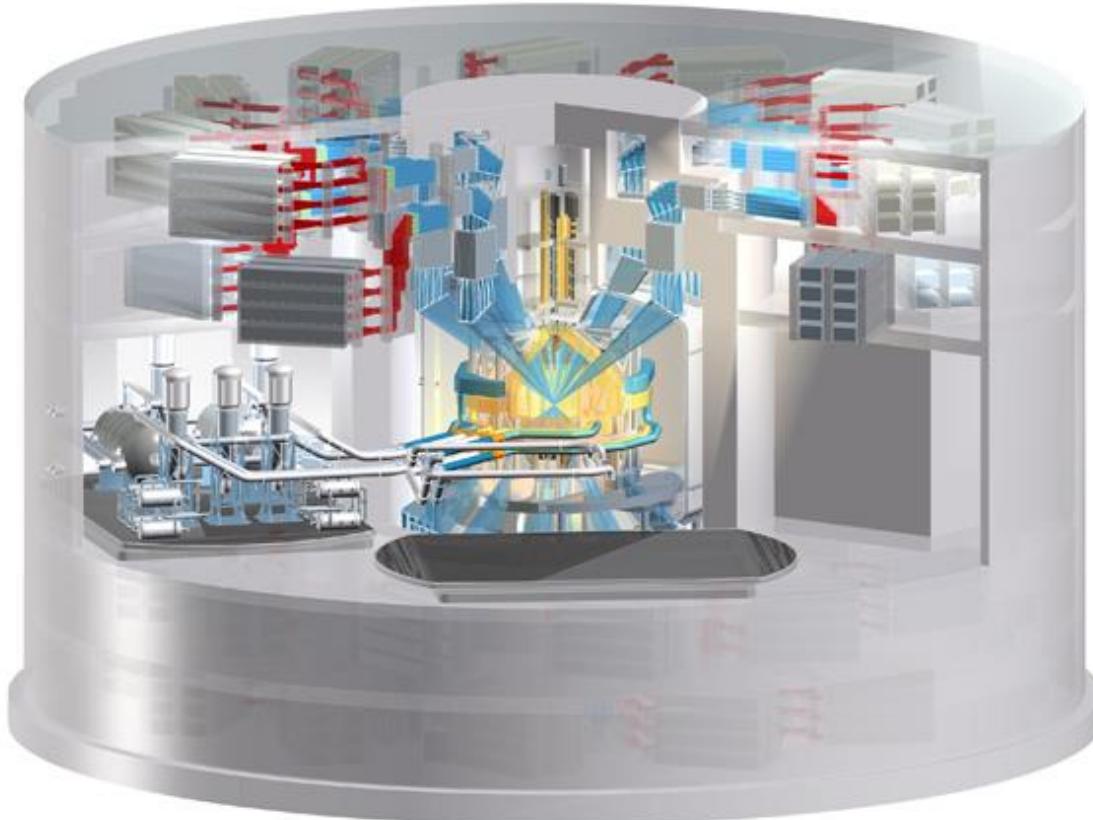
Ziele:

- Fusionsökosystem (Industrie, Forschungszentren, Universitäten)
- Etablierung von Zuliefererketten in der Industrie

Ein Trägheitsfusionskraftwerk?



Ein Trägheitsfusionskraftwerk?



Bisher:

300 MJ elektrische Energie

2 MJ Laserenergie

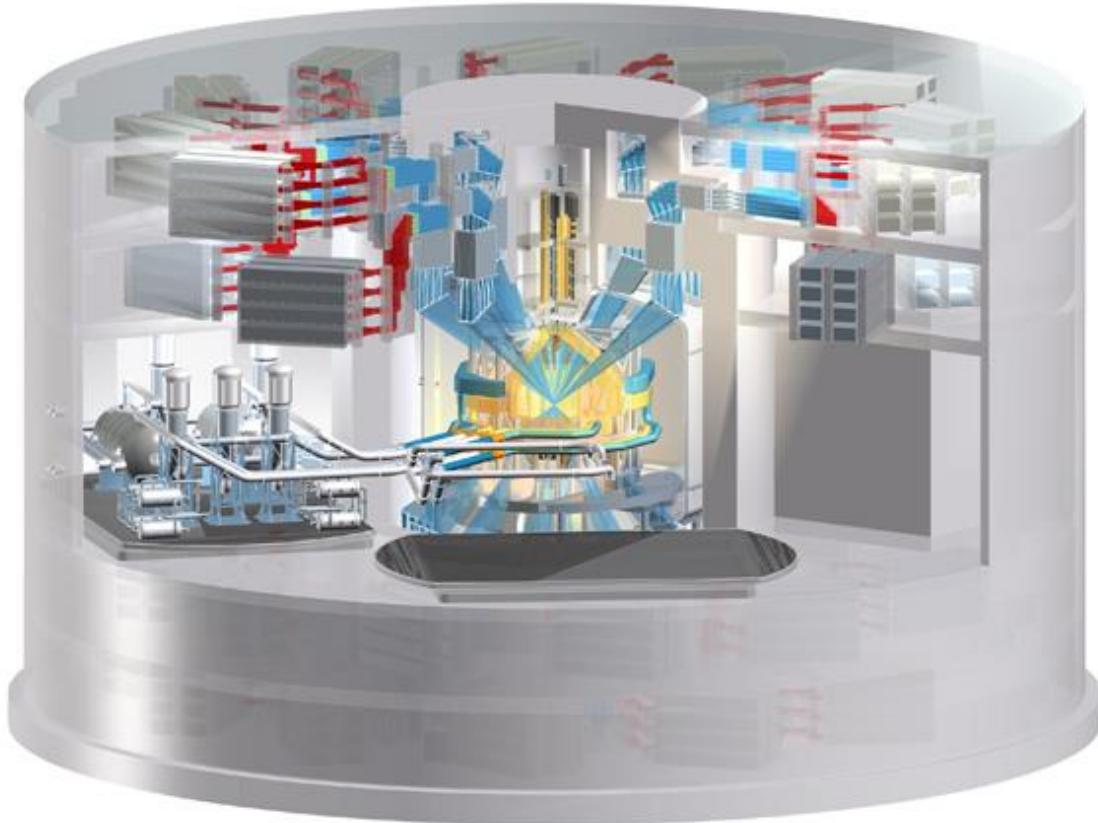
20 kJ in DT-Plasma

8,5 MJ Fusionsenergie

(und das max 1x am Tag)

Fusionskraftwerk müsste das 10x pro Sekunde durchführen

Ein Trägheitsfusionskraftwerk?



Bisher:

300 MJ elektrische Energie

2 MJ Laserenergie

20 kJ in DT-Plasma

8,5 MJ Fusionsenergie

(und das max 1x am Tag)

Fusionskraftwerk müsste das 10x pro Sekunde durchführen

Vergleich des Ziels von ITER (Magnetfusion):
10x mehr Energie aus Fusionsreaktionen als in das D-T-Plasma eingebracht wurde

Effizienzverbesserung

Bisher:

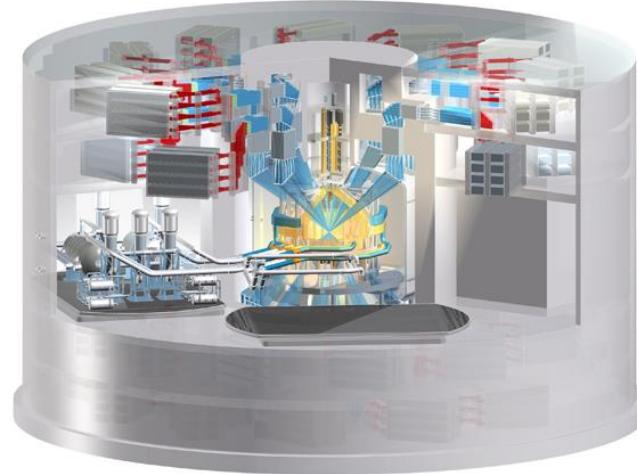
300 MJ elektrische Energie

2 MJ Laserenergie

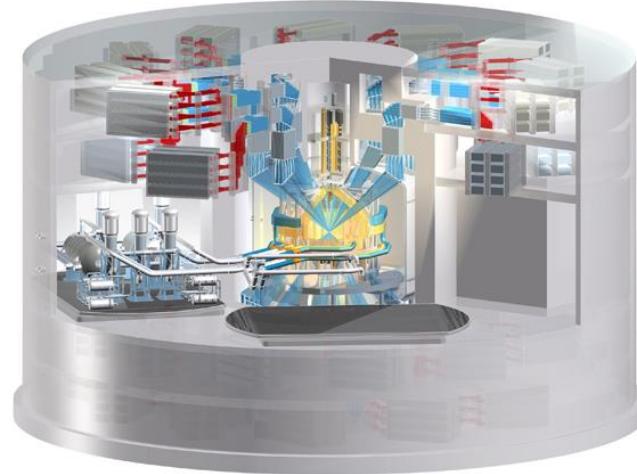
20 kJ in D-T-Plasma

8,5 MJ Fusionsenergie

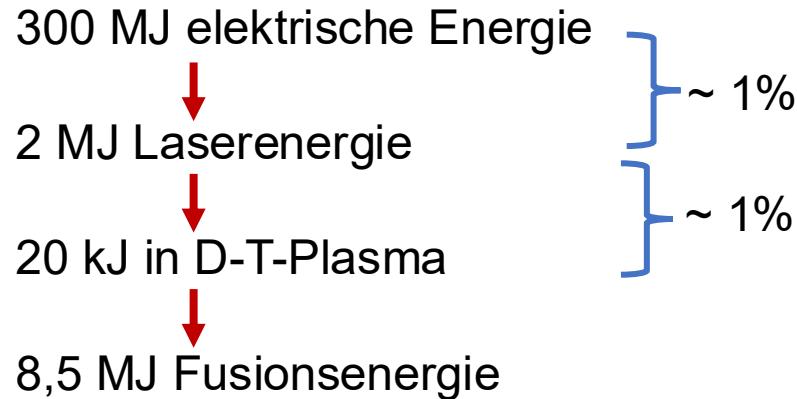
Max. 1 Schuss am Tag



Effizienzverbesserung



Bisher:



Effizienzverbesserung

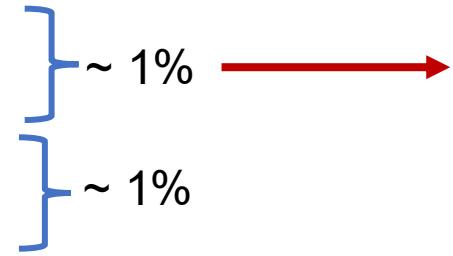
Bisher:

300 MJ elektrische Energie

2 MJ Laserenergie

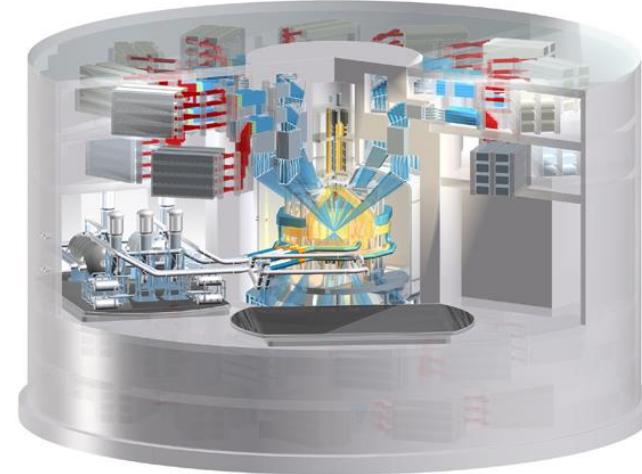
20 kJ in D-T-Plasma

8,5 MJ Fusionsenergie



10-20 % moderne Lasertechnologie

Max. 1 Schuss am Tag



Effizienzverbesserung

Bisher:

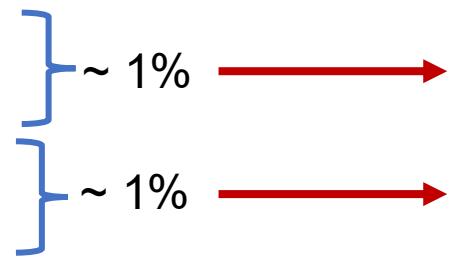
300 MJ elektrische Energie

2 MJ Laserenergie

20 kJ in D-T-Plasma

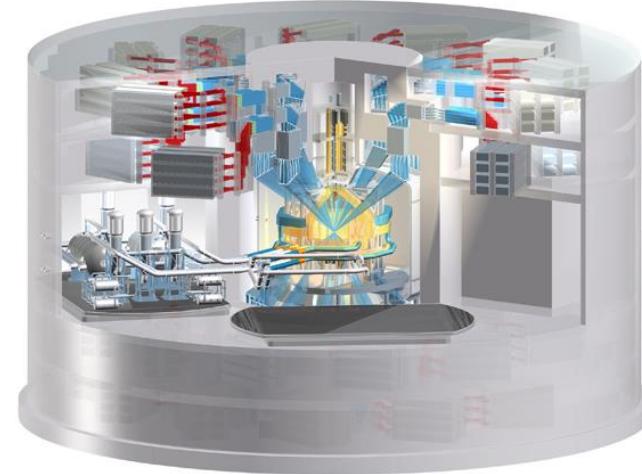
8,5 MJ Fusionsenergie

Max. 1 Schuss am Tag



10-20 % moderne Lasertechnologie

10-20% mit "Direct Drive" (ohne Hohlraum)
und "schneller Zündung" (Diesel vs Benziner)



Effizienzverbesserung

Bisher:

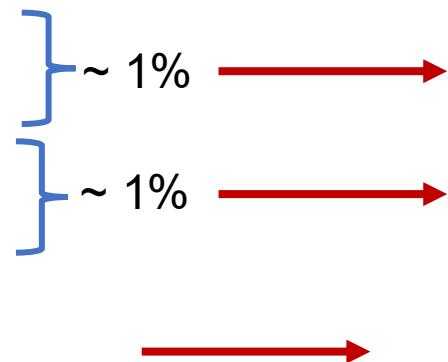
300 MJ elektrische Energie

2 MJ Laserenergie

20 kJ in D-T-Plasma

8,5 MJ Fusionsenergie

Max. 1 Schuss am Tag



10-20 % moderne Lasertechnologie

10-20% mit "Direct Drive" (ohne Hohlraum)
und "schneller Zündung" (Diesel vs Benziner)

200 MJ (mehr Laserenergie in D-T-Brennstoff)



Effizienzverbesserung

Bisher:

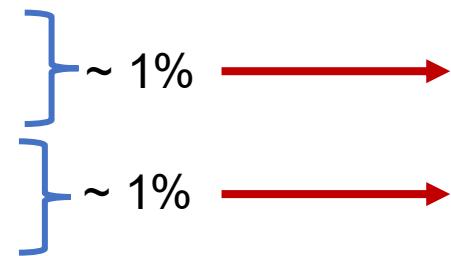
300 MJ elektrische Energie

2 MJ Laserenergie

20 kJ in D-T-Plasma

8,5 MJ Fusionsenergie

Max. 1 Schuss am Tag



10-20 % moderne Lasertechnologie

10-20% mit "Direct Drive" (ohne Hohlraum)
und "schneller Zündung" (Diesel vs Benziner)

200 MJ (mehr Laserenergie in D-T-Brennstoff)

5-10 Hz (Lasertechnologie & Pelleteinschuss)



Ein Fusionskraftwerk basierend auf Laserfusion?

- Die Physikseite

- “Direct Drive“ (kein Hohlraum)
- Besseres physikalisches Verständnis von Materie bei hoher Energiedichten erreichen
- „Target gain“ -> 100 (Jetzt ~4)

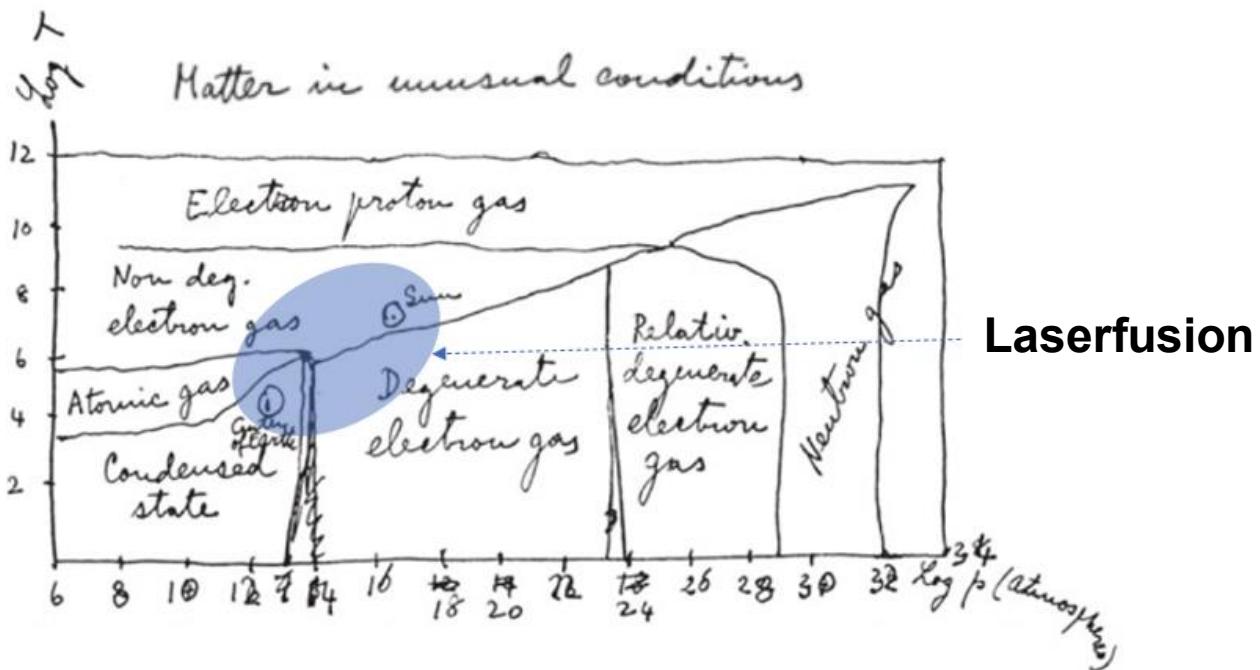


Ein Fusionskraftwerk basierend auf Laserfusion?

- Die Physikseite

- „Direct Drive“ (kein Hohlraum)
- Besseres physikalisches Verständnis von Materie bei hoher Energiedichten erreichen
- „Target gain“ -> 100 (Jetzt ~4)

Lecture notes of Enrico Fermi



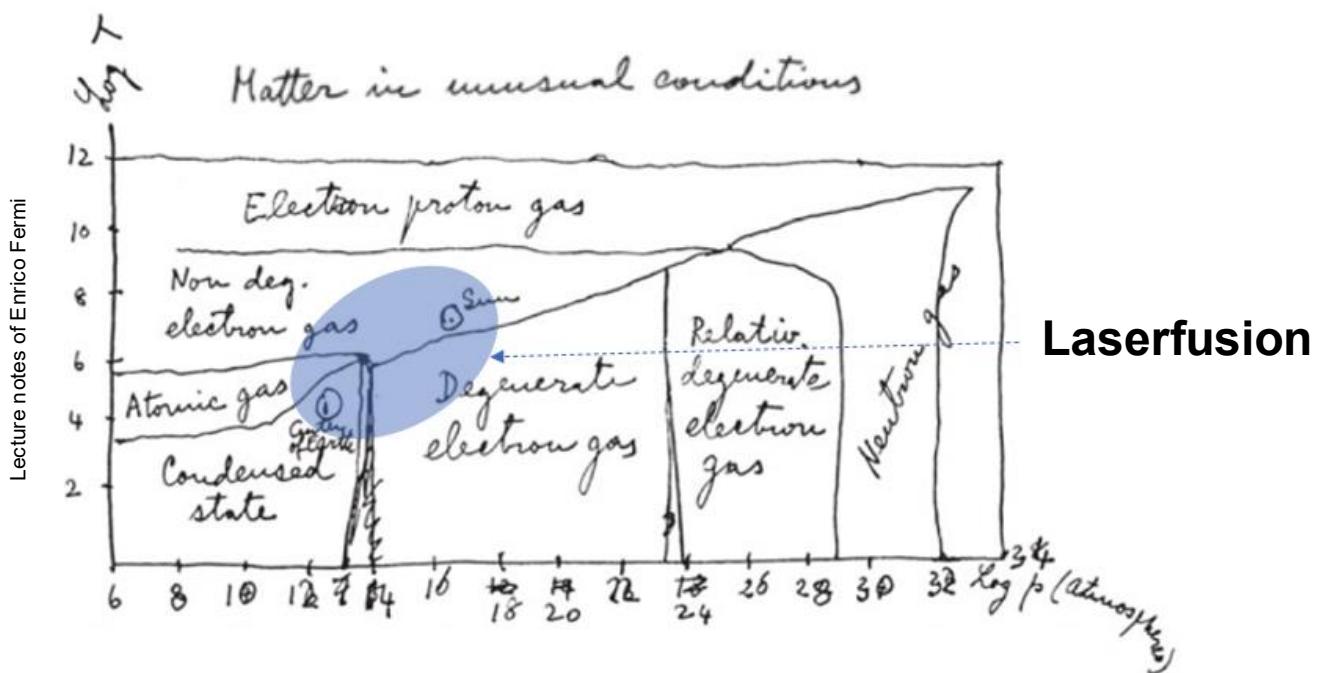
Laserfusion

**Ein gutes Verständnis von
Materie bei hoher
Energiedichte erreichen!**

Ein Fusionskraftwerk basierend auf Laserfusion?

- Die Physikseite

- „Direct Drive“ (kein Hohlraum)
- Besseres physikalisches Verständnis von Materie bei hoher Energiedichten erreichen
- „Target gain“ -> 100 (Jetzt ~4)



- Die Ingenieurseite:

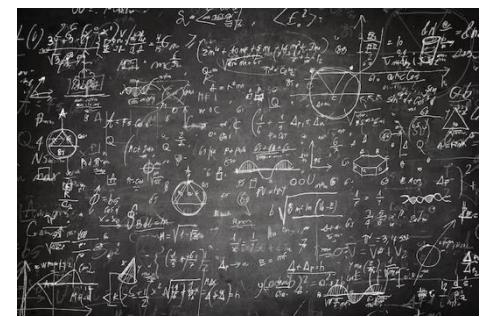
- Lasereffizienz: Blitzlampen (1%) -> Laserdioden (20%)
- 10 Hz Schussrate
- Tritium-Brüten
- Umgang mit Energiedeposition durch Neutronen

Ein gutes Verständnis von Materie bei hoher Energiedichte erreichen!

Es steht Arbeit an

- Physik von brennenden Fusionsplasmen und Erhöhung der Energieausbeute
 - Upgrade der National Ignition Facility
- Kraftwerkskompatible Treiberdesigns
 - Neue Labore: Erst “sub-scale”, dann “full-scale”

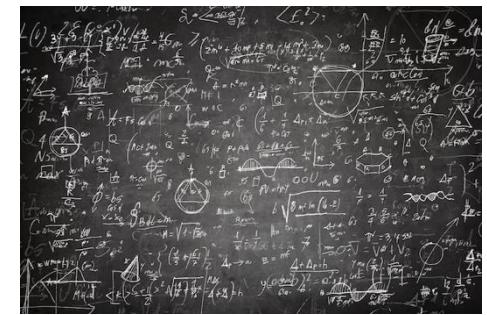
Grundlagenforschung



Es steht Arbeit an

- Physik von brennenden Fusionsplasmen und Erhöhung der Energieausbeute
 - Upgrade der National Ignition Facility
- Kraftwerkskompatible Treiberdesigns
 - Neue Labore: Erst “sub-scale”, dann “full-scale”
- Wiederholrate
 - Dioden-gepumpte Laser, billige Materialien, Positionierung & Timing
- Energieumwandlung
 - Energiedeposition von vielen Neutronen und effiziente Umwandlung in Wärme und Strom
- Kraftwerkskompatibles Tritium-Brüten

Grundlagenforschung

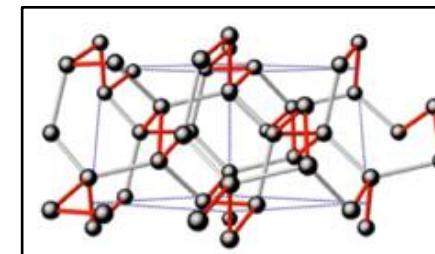
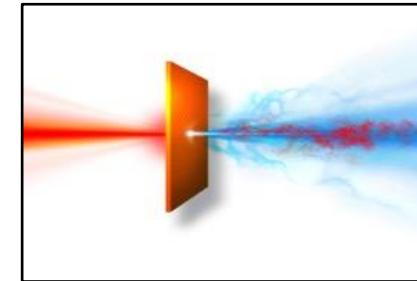


Angewandte
Forschung &
Engineering

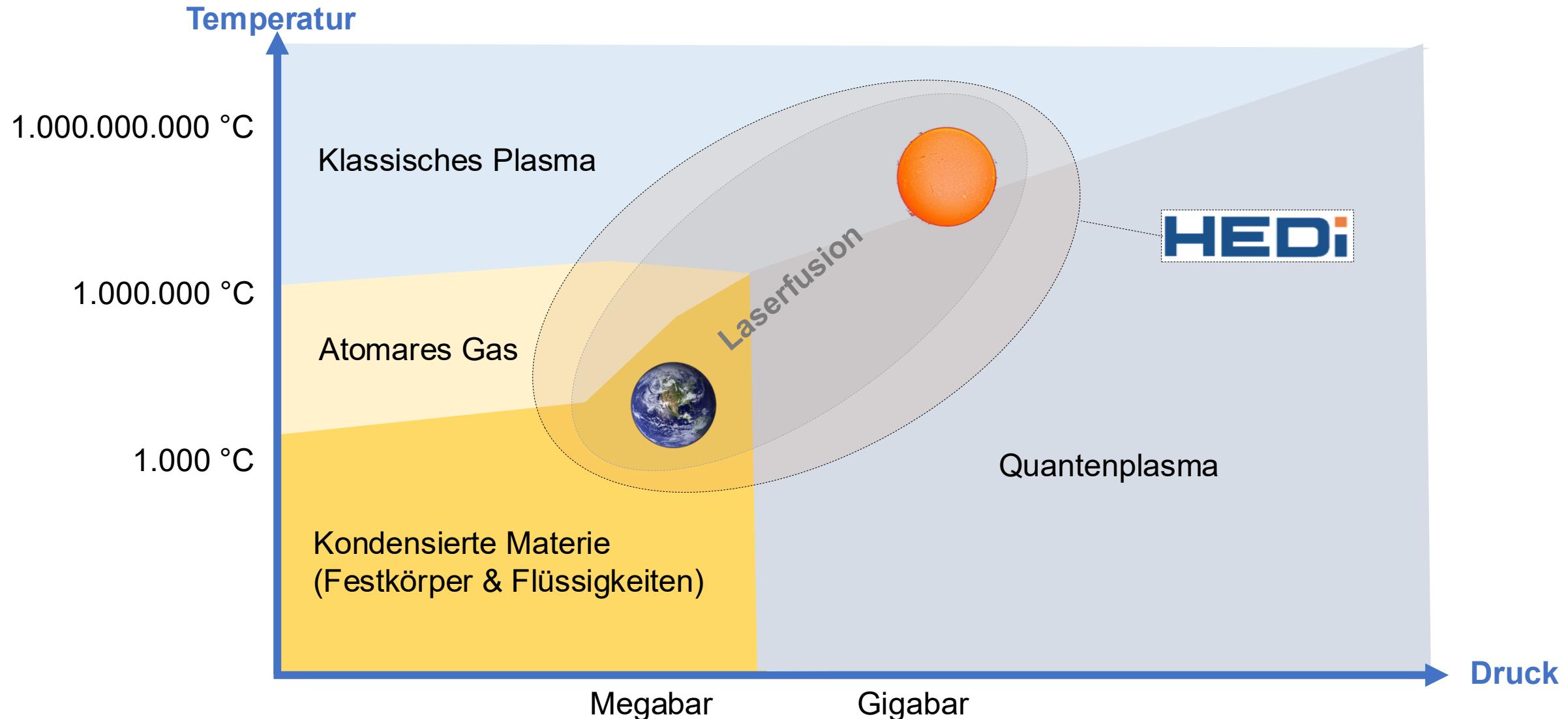


“Spin-offs” der Laserfusion

- Lasertechnologie
(z.B. CPA-Laser, Nobelpreis 2018)
- Kompakte Laser-getriebene
Teilchenbeschleuniger
- Ein besseres Verständnis des Universums durch
“Laborastrophysik”
 - Das Innere von Planeten und Sternen, Simulation von
Supernovae, etc.
- Neue leistungsfähige Materialien über extreme
Bedingungen, z.B. bessere Diamanten,
Supraleiter bei nahezu Raumtemperatur, uvm.



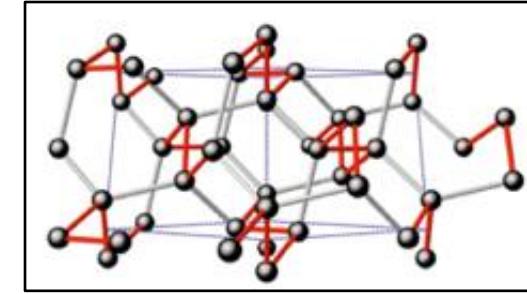
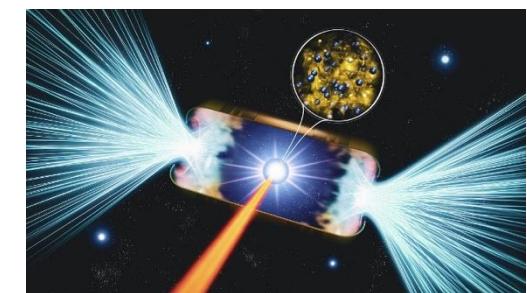
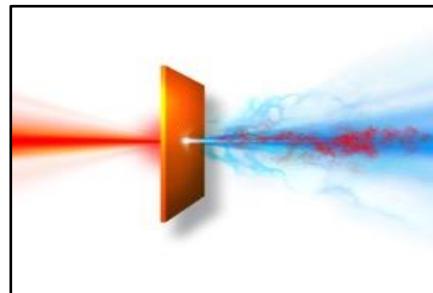
Materie bei hoher Energiedichte



Materie bei hoher Energiedichte

Megabar- bis Gigabar-Drücke sind relevant für:

- Entwicklung von Sternen und Planeten
- Klassifizierung von Exoplaneten
- Erdmagnetfeld
- Entstehung des Lebens
- Hochintensitäts-Lasertechnologie mit Anwendungen in der Materialbearbeitung, Teilchenbeschleunigung **und Laserfusion**
- Synthese nützlicher Materialien über extreme Bedingungen: “bessere” Diamanten, Nanoteilchen für die Katalyse, Supraleiter



Experimente zur Hochenergiedichtephysik



National Ignition Facility, USA

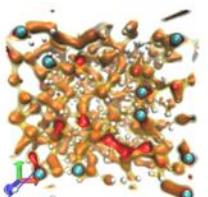
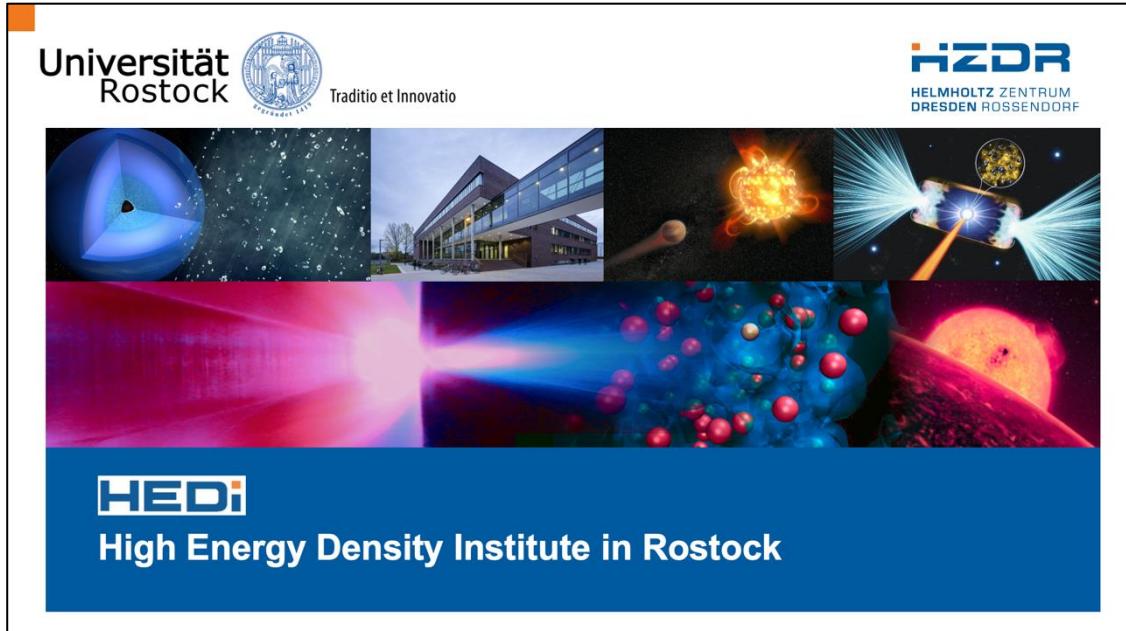


European XFEL, Schenefeld

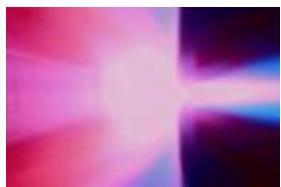


Universität Rostock

HEDI



HED Theorie

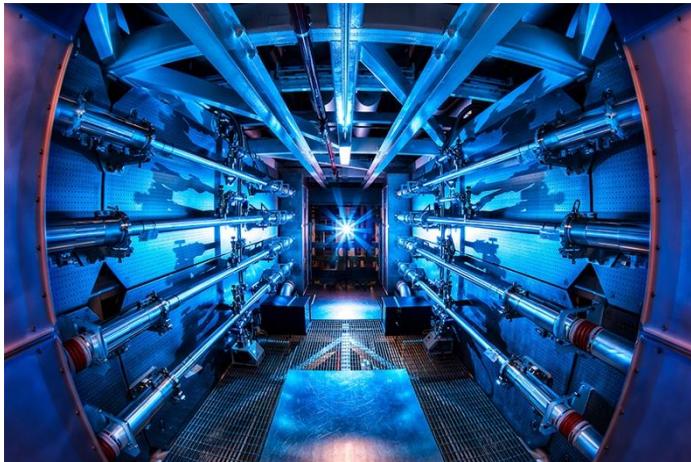


HED Experiment



HED Anwendungen,
insbesondere Trägheitsfusion

Spannende Zeiten !



Energiegewinnung durch (Trägheits-) Fusion

Suche nach lebensfreundlichen Planeten

Erzeugung nützlicher Materialien

Danke!

www.hed.physik.uni-rostock.de

