

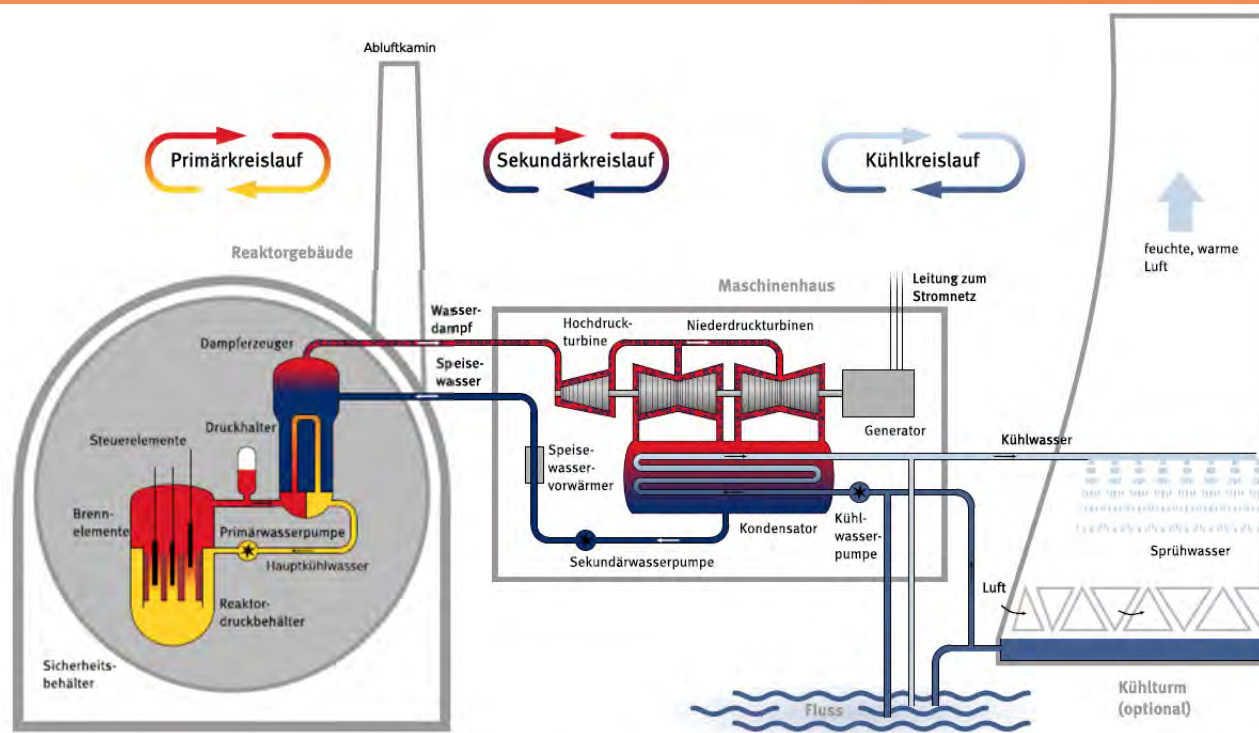
Wir stellen uns dem Klimawandel

Von der Bombe zum Kraftwerk

- Keine **Kettenreaktion** ohne **hohe Material-Verdichtung**.
Das gilt für die **Kern-Spaltung** (Fission), wie für die **Kern-Fusion**
- Wenn **ein Ereignis mehrere Folgeereignisse** auslöst, haben wir eine unkontrollierte Kettenreaktion, sprich: „eine (Atom- oder Wasserstoff-) **Bombe**“.
- Wenn die **Zahl der Folgeereignisse kontrolliert** werden kann, dann haben wir ein **Kraftwerk**.
- Wie kann man die **Kontrolle erlangen**?
 - Kernspaltung / Atomkraftwerk:
 1. Packungsdichte der Brennstäbe;
 2. Kontrolle der Sekundärneutronen (**Regelstäbe** und **Moderator**)
 - Kernfusion:
 1. Einschluss der Wasserstoffatome (**Plasma: H⁺ Ionen**) in einem Magnet- oder Trägheitsfeld
 2. sehr hohe Temperaturen

Wir stellen uns dem Klimawandel

Das Atom- / Kern- Kraftwerk



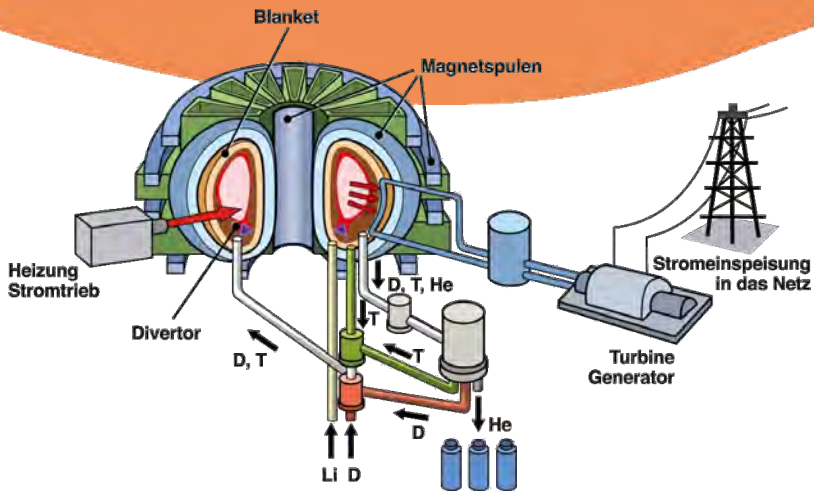
CC SOME RIGHTS RESERVED
Creative Commons BY San Jose, Niabot (SVG version), Ben Mirwald (Welt der Physik)

www.weltderphysik.de

Wir stellen uns dem Klimawandel

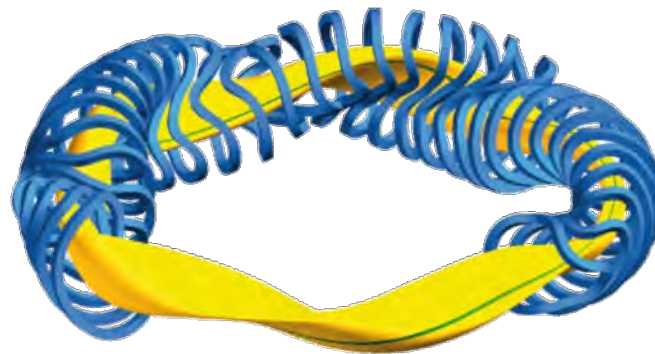
Das Fusions- Kraftwerk

TOKAMAK



[Aufbau und Funktion des TOKAMAK](#)

Stellarator



[Aufbau und Funktion des Stellarator](#)

Laser



[Aufbau und Funktion der Laserfusion LLNL](#)

Wir stellen uns dem Klimawandel

... und wo ist das Problem?

Das Stichwort ist Radioaktivität

- Das ist ionisierende Energie, die bei **Zerfall / der Spaltung** eines Materials **frei wird**.
Ionisierend = verursacht chemische/physikalische Material-Veränderungen.
- α (= Heliumkerne²⁺); β^- (= e^- (Elektronen)) oder β^+ (= e^+ (Positronen)), und γ -Strahlung
Reichweite: α -Strahler = ein **Blatt** Papier; β = ein **Buch**, γ = eine **Bibliothek**
- Bei der Kernspaltung sind praktisch alle Fragmente Radioaktiv
- Halbwertszeit: ist der Zeitraum, in dem sich die **Hälfte** des aktiven Materials **umgewandelt** hat.
Zeitspannen liegen zwischen **Bruchteilen einer Sekunde**, bis **zig-Tausend Jahre**
- Bei der Kernfusion ist das Problem sehr deutlich **reduziert**, weil keine Spaltprodukte entstehen.
- Die **Spalt- oder Fusions-Anlagen** werden im Betrieb selber **kontaminiert** und teilweise **strahlend**.

Wir stellen uns dem Klimawandel

... und wo ist das Problem?

Das zweite Stichwort ist **der GAU** (der größte anzunehmende Unfall)

- Eine **unkontrollierte Kettenreaktion** in einem **Kraftwerk** bis zum Bersten des Druckbehälters
- In einem Atomkraftwerk ist jede Situation kritisch, wenn das Kühl- oder Regelsystem versagt.
 - Fall 1 Harrisburg 1979: **Zwischenfall-Typ Kühlsystem**.
https://de.wikipedia.org/wiki/Reaktorunfall_im_Kernkraftwerk_Three_Mile_Island
teilweise **Kernschmelze**. Verursacht durch menschliches, technisches Versagen, und Designfehlern
 - Fall 2 Tschernobyl 1986: **Zwischenfall-Typ Regelsystem**.
https://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe_von_Tschernobyl
vollständige **Kernschmelze** mit Explosion der Druckbehälters und anschließendem Graphitbrand. Verursacht durch menschliches und Ingenieurs-Versagen.
 - Fall 3 Fukushima 2011: **Zwischenfall-Typ Kühlsystem**.
https://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe_von_Fukushima
teilweise **Kernschmelze** mit Explosion der Reaktorgebäudehülle. Verursacht durch einen Tsunami, dessen Folgen durch konstruktiv fehlerhaft ausgelegte Notstromversorgung katastrophal wurden (dissimilar Redundant).

Wir stellen uns dem Klimawandel

... und wo ist das Problem bei der Fusion?

Das zweite Stichwort ist **der GAU** (der größte anzunehmende Unfall)

Fusionskraftwerke sollten zumindest ebenfalls außer Kontrolle geraten können, aber der **Fusionsprozess** wird umgehend **stoppen**, wenn die **Bedingungen nicht** mehr **erfüllt** sind, was bei einer Störung als gegeben angenommen werden kann.

Kein langanhaltender Austritt von radioaktiven Substanzen.

Wir stellen uns dem Klimawandel

Die Kosten der Energie

$$\text{Stromgestehungskosten} \left[\frac{\text{ct}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\text{Invest} + \text{Lebenszeit_Betriebskosten}}{\text{Lebenszeit_Energieproduktion}}$$

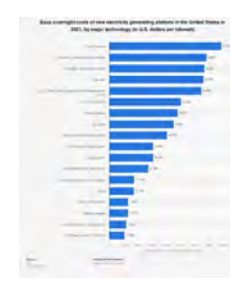
<https://www.quarks.de/technik/energie/welche-art-von-strom-ist-am-guenstigsten/>

https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf

<https://de.statista.com/infografik/26886/stromgestehungskosten-fuer-erneuerbare-energien-und-konventionelle-kraftwerke-in-deutschland/>

https://www.focus.de/finanzen/boerse/konjunktur/atom-kohle-gas-wind-solar-welche-stromart-uns-am-wenigsten-kostet_id_11658454.html

<https://www.bundestag.de/resource/blob/928968/dbf38fce5ecf9d658119a3c53d912875/WD-5-138-22-pdf-data.pdf>



Wir stellen uns dem Klimawandel

... was kostet die Zeit?

- heutiger Stromertrag: 500 TWh (erneuerbar: ca. 50%)
- heutiger Energieverbrauch 2500 TWh (30% Wohnen; 30% Mobilität; 40% Gewerbe/Industrie)
- Bedarf 2045: 1500 TWh (-80% Wohnen; -80% Verkehr; +30% Gewerbe / Industrie)
=> Erneuerbare müssten um den Faktor 8 ausgebaut werden, **bis zur CO₂-Neutralität**.
- Anteil Atom-Strom an der Stromerzeugung 2022 6% (10% Weltweit)
- Bauzeit eines AKW in Europa ca. 15 Jahre => **die Ausbauziele sind unerreichbar !!!**
- Fertigstellung 1. Fusions-Demonstrator (ITER) 2035; DEMO ?; serienreife Kraftwerke ?
=> **die Ausbauziele sind unerreichbar !!!**
- **aber trotzdem kann man das eine tun und das Andere nicht lassen ...**
- **auf keinen Fall gibt es Zeit für Scheindebatten, denn ...**

... wenn es schlecht läuft, das Leben.

Wir stellen uns dem Klimawandel

Interessante Links

- <https://www.arte.tv/de/videos/114191-000-A/versprechen-kernfusion/> (ARTE TV)
- https://www.youtube.com/watch?v=t_9rX7a_tOU (Prof. Hartmut Zohm MPI Garching)
- <https://www.youtube.com/watch?v=nVTcirxdRWM> (Prof. Harald Lesch LMU München)
- <https://www.youtube.com/watch?v=HHdoEyKCDvo> (Prof. Harald Lesch „Terra X“)
- <https://www.youtube.com/watch?v=-OQBJYE2Wrw> (Prof. Harald Lesch Uni Stuttgart)
- <https://www.iter.org> (Homepage: ITER / TOKAMAK)
- <https://www.ipp.mpg.de/wendelstein7x> (Homepage: MPI Stellarator)
- <https://www.llnl.gov/news/ignition> (Homepage LLNL: Fusion / Laser)
- <https://de.statista.com/infografik/26886/stromgestehungskosten-fuer-erneuerbare-energien-und-konventionelle-kraftwerke-in-deutschland/>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoff> (Das Periodensystem)

Wir stellen uns dem Klimawandel

Fukushima: von Natalie Rehm

- nicht immer ist alles nur bloße Theorie -