Kernfusion

PHYSIK & ENERGIE · ENERGIE UND KLIMA

Seit Jahrzehnten kursiert unter Physikern ein bitterer Witz: Die Kernfusion sei die Energie der Zukunft, und das werde sie auch immer bleiben. Tatsächlich wurde das Fusionskraftwerk schon so oft für „in dreißig Jahren“ versprochen, dass viele Menschen nicht mehr hinhören. Doch in den letzten Jahren hat sich etwas verändert. Es gibt Experimente, die erstmals mehr Fusionsenergie freisetzen, als man an Laserenergie hineinsteckt, Rekorde in Greifswald, Milliardenprogramme der Bundesregierung und private Firmen, die eigene Anlagen bauen.

Was ist dran? Wir erklären, wie Fusion funktioniert, warum ausgerechnet ein Quanteneffekt sie überhaupt möglich macht, und wo die Forschung im Herbst 2026 tatsächlich steht.

Wie die Sonne Energie gewinnt

Bei der Kernfusion verschmelzen leichte Atomkerne zu schwereren. Dabei wird Energie frei, weil der neue Kern etwas leichter ist als die Summe seiner Bausteine, und die fehlende Masse verwandelt sich nach Einsteins $E = mc^2$ in Energie. In der Sonne verschmelzen Wasserstoffkerne über mehrere Zwischenschritte zu Helium. In einem irdischen Kraftwerk würde man zwei schwerere Wasserstoffsorten nehmen, Deuterium und Tritium. Verschmelzen sie, entstehen ein Heliumkern und ein schnelles Neutron, und es werden 17,58 Megaelektronenvolt frei. Etwa achtzig Prozent davon trägt das Neutron davon [5].

Pro Kilogramm Brennstoff ist das ungeheuer viel. Deuterium lässt sich aus Meerwasser gewinnen, Tritium soll im Kraftwerk selbst aus Lithium erbrütet werden, das ebenfalls reichlich vorhanden ist [5]. Es entsteht kein Kohlendioxid, und anders als bei der Kernspaltung gibt es keine Kettenreaktion, die außer Kontrolle geraten könnte. Wird das Plasma gestört, erlischt die Fusion einfach.

Ein Wall, der eigentlich unüberwindlich ist

Das Problem ist, Kerne überhaupt zusammenzubringen. Atomkerne sind positiv geladen und stoßen sich ab, je näher sie sich kommen, desto stärker. Erst auf extrem kurze Entfernung übernimmt die Kernkraft und zieht sie zusammen. Dazwischen liegt eine Energieschwelle, der Coulomb-Wall (Abb. 1).

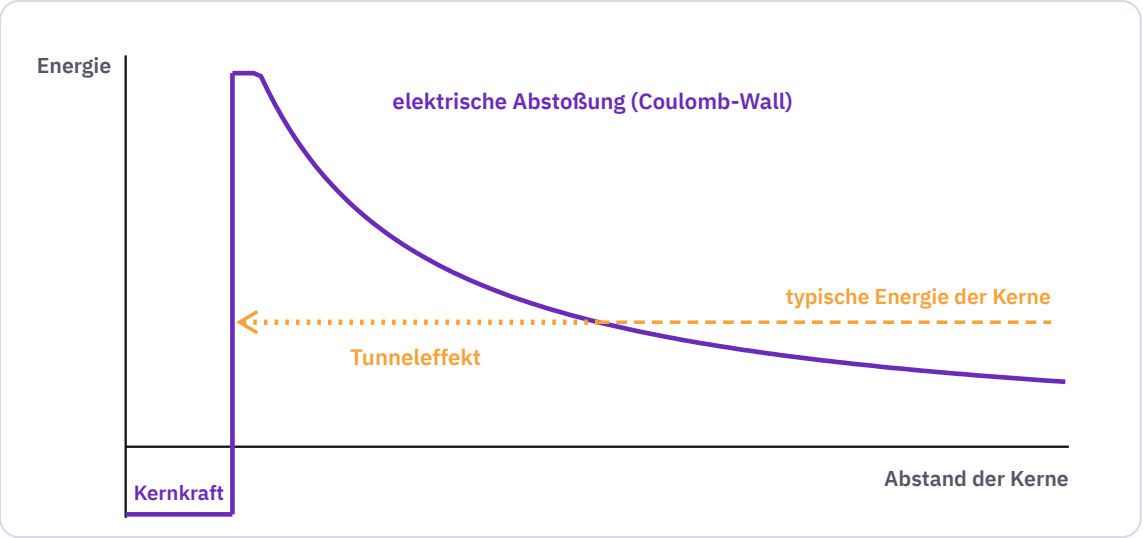


Abb. 1: Der Coulomb-Wall zwischen zwei Atomkernen, schematisch. Klassisch könnten die Kerne den Wall nicht überwinden, quantenmechanisch können sie ihn durchtunneln. Eigene Darstellung.

Rechnet man klassisch, reicht nicht einmal die Hitze im Inneren der Sonne von rund 15,7 Millionen Kelvin [6], um diesen Wall zu überwinden. Die Sonne dürfte gar nicht brennen. Dass sie es doch tut, liegt an einem reinen Quanteneffekt. Weil Teilchen auch Welleneigenschaften haben, können sie mit einer kleinen Wahrscheinlichkeit durch eine Barriere hindurchschlüpfen, die sie eigentlich nicht überwinden könnten. Der britische Astrophysiker Robert Atkinson und Fritz Houtermans haben 1929 in Göttingen als Erste gezeigt, dass dieser Tunneleffekt die Energiequelle der Sterne erklärt [7]. Ohne Quantenphysik keine Sonne, und ohne Sonne kein Leben.

Auf der Erde hat man weder die Dichte noch die Geduld der Sonne. Deshalb muss man den Brennstoff noch heißer machen, auf etwa 100 Millionen Grad [5]. Bei solchen Temperaturen ist Materie ein Plasma, ein Gas aus freien Kernen und Elektronen, das keine Gefäßwand berühren darf. Zwei Wege werden verfolgt, um es zu bändigen.

Zwei Wege zum Ziel

Beim **magnetischen Einschluss** hält man das Plasma mit starken Magnetfeldern in einem ringförmigen Gefäß in der Schwebe. Die bekannteste Bauform ist der Tokamak, wie ihn der europäische Versuchsreaktor JET in Großbritannien hatte und der internationale Großreaktor ITER in Südfrankreich haben wird. Eine zweite Bauform ist der Stellarator, dessen verdrehte Magnetspulen das Plasma ohne einen Strom im Plasma selbst einschließen. Er ist schwieriger zu konstruieren, kann aber im Prinzip dauerhaft laufen. Das weltweit größte Exemplar, Wendelstein 7-X, steht am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Greifswald.

Beim **Trägheitseinschluss** schießt man mit gewaltigen Lasern auf eine winzige Brennstoffkapsel und drückt sie so schnell zusammen, dass die Kerne verschmelzen, bevor

die Kapsel auseinanderfliegt. Das ist das Prinzip der National Ignition Facility in Kalifornien.

Was in den letzten Jahren erreicht wurde

Wann	Wo	Was
Dezember 2022	National Ignition Facility (USA), Laser	erstmals mehr Fusionsenergie (3,15 MJ) als Laserenergie auf das Ziel (2,05 MJ) [1]
Februar 2024	JET (Großbritannien), Tokamak	Rekord von 69 MJ in 5 Sekunden aus 0,2 Milligramm Brennstoff [2]
April 2025	National Ignition Facility	8,6 MJ aus 2,08 MJ Laserenergie, Verstärkung 4,13 [3]
Mai 2025	Wendelstein 7-X (Greifswald), Stellarator	Weltrekord für das Tripelprodukt bei langen Entladungen, 43 Sekunden gehalten [4]
Juni 2026	National Ignition Facility	Zündung zum elften Mal erreicht [1]

Die Werte messen Unterschiedliches und sind nicht direkt vergleichbar. „Mehr Energie als hineingesteckt“ bezieht sich bei den Laserversuchen nur auf die Laserenergie, die das Ziel trifft, nicht auf den Strom für die gesamte Anlage.

Diese Einschränkung ist wichtig, weil sie in Schlagzeilen oft untergeht. Die Laser der National Ignition Facility brauchen ein Vielfaches der Energie, die sie am Ende auf die Kapsel bringen. Von einem Kraftwerk, das unterm Strich Strom liefert, ist auch dieser Erfolg noch weit entfernt. Er zeigt aber, dass die Physik funktioniert, und dass sich ein brennendes Plasma kontrolliert erzeugen lässt. Bis Juni 2026 ist das in Livermore elfmal gelungen [1].

Beim magnetischen Einschluss geht es vor allem um Dauer und Qualität. Ein Maß dafür ist das Tripelprodukt aus Dichte, Temperatur und Einschlusszeit. Für ein Kraftwerk braucht man etwa $3 \cdot 10^{21}$ keV · s pro Kubikmeter. Wendelstein 7-X hat 2025 bei langen Plasmaentladungen einen Weltrekord für diesen Wert aufgestellt und ihn 43 Sekunden lang gehalten. Die absoluten Spitzenwerte erreichen große Tokamaks wie JT-60U und JET, allerdings nur für wenige Sekunden [4].

Und wann kommt der Strom aus der Steckdose?

Hier lohnt der Blick auf die Zeitpläne, und zwar auf die echten. ITER, das größte Fusionsprojekt der Welt, soll nach dem 2024 vorgestellten neuen Plan 2034 den wissenschaftlichen Betrieb aufnehmen und erst 2039 mit dem eigentlichen Brennstoff Deuterium und Tritium arbeiten[8]. Auch ITER soll noch keinen Strom ins Netz liefern, sondern zeigen, dass ein Plasma deutlich mehr Fusionsleistung erzeugen kann, als man zum Heizen hineinsteckt.

Schneller wollen private Firmen sein. Commonwealth Fusion Systems in den USA baut den kompakten Tokamak SPARC mit Magneten aus Hochtemperatur-Supraleitern. Nach Angaben des Firmenchefs war die Anlage im Juli 2026 zu rund 80 Prozent fertig, das erste Plasma ist für 2027 geplant, nachdem der Termin bereits zweimal verschoben wurde[9]. In Deutschland arbeiten unter anderem Start-ups an Stellaratoren und Laserfusion. Die Bundesregierung hat für die laufende Legislaturperiode insgesamt 2,4 Milliarden Euro für die Fusion eingeplant. Forschungsministerin Dorothee Bär hat als Ziel ausgegeben, dass das erste Fusionskraftwerk der Welt in Deutschland stehen soll[10].

Ehrlich gesagt kann niemand seriös vorhersagen, wann das erste Fusionskraftwerk Strom liefert. Die Physik ist in großen Teilen verstanden, die offenen Fragen sind vor allem technische: Materialien, die jahrelang dem Neutronenbeschuss standhalten, das Erbrüten von Tritium, Magnete und Laser, die zuverlässig und bezahlbar laufen. Für die Energiewende der nächsten zwanzig Jahre spricht deshalb wenig dafür, dass Fusion schon eine große Rolle spielt. Für die zweite Hälfte des Jahrhunderts könnte sie eine wichtige Säule werden. Was heute schon funktioniert, zeigt unser Artikel über die Fotovoltaik, die das Licht genau des Fusionsreaktors nutzt, den wir am Himmel haben.

Zum Weiterlesen

Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper

Wolfgang Demtröder · Springer Spektrum · ISBN 978-3-662-49093-8

Für alle, die den Tunneleffekt und die Kernphysik dahinter mit den nötigen Formeln verstehen wollen.

Bei Amazon ansehen*

* Werbelink: Kaufen Sie über diesen Link, erhalten wir von Amazon eine kleine Provision, am Preis ändert sich für Sie nichts. Mehr Empfehlungen auf unserer Seite Bücher zur Quantenphysik.

Quellen

1. Lawrence Livermore National Laboratory: *Achieving Fusion Ignition.* lmf.llnl.gov.
2. UK Atomic Energy Authority: *JET's final tritium experiments yield new fusion energy record.* 8. Februar 2024. gov.uk.
3. Lawrence Livermore National Laboratory: *National Ignition Facility – 2025.* Jahresbericht FY 2025. annual.llnl.gov.
4. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik: *Wendelstein 7-X sets new performance records in fusion research.* 2025, mit Aktualisierung vom 30. Juni 2025. ipp.mpg.de.
5. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik: *Fusionsforschung. Einführung und Grundlagen.* ipp.mpg.de.
6. NASA Goddard Space Flight Center: *Sun Fact Sheet.* nssdc.gsfc.nasa.gov.
7. R. d'E. Atkinson, F. G. Houtermans: *Zur Frage der Aufbaumöglichkeit der Elemente in Sternen.* In: Zeitschrift für Physik 54 (1929), S. 656–665, doi:10.1007/BF01341595.
8. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik: *New ITER schedule.* 3. Juli 2024. ipp.mpg.de.
9. Nuclear News Network: *SPARC (Commonwealth Fusion Systems) – fusion project status.* Stand 19. Oktober 2026. nuclearnewsnetwork.com.
10. ZfK – Zeitung für kommunale Wirtschaft: *Milliarden für die Fusion: Bund will neue Energieära einleiten.* 25. März 2026. zfk.de.

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Kernfusion. Stand: Oktober 2026. URL:
https://quanten.de/kernfusion.html (PDF:
https://quanten.de/pdf/kernfusion.pdf)
```


Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Der Tunneleffekt · Supraleitung · Fotovoltaik · Der Laser

---

Online-Fassung mit aktualisierten Quellen: https://quanten.de/kernfusion.html