

Ein grosser Schritt nach vorn für die Menschheit - laserinduzierte Kernfusion

Nagenthan Kovinthapillai, Andras Marosi, Felix Kunz, Hugo Gonçalves und Jason Nguyen

Seit Jahrzehnten hat die Menschheit ein Traum: Die Kernfusion, eine unerschöpfliche Energiequelle der Sonne. Es gibt weltweit noch keinen Netzstrom, welcher in einem Fusionskraftwerk erzeugt wurde. An der National Ignition Facility (NIF) in Livermore ist es Alex Zylstra und seinem Team gelungen, diesem weltweiten Ziel einen grossen Schritt näher zu kommen. Mit Hilfe von Lasern wurde im Experimentalreaktor zwei Drittel der zur Fusion aufgewendeten Energie zurückgewonnen – ein Lichtblick in der von Rückschlägen geprägten Kernfusionsforschung. Dieser Ansatz ist nicht neu, jedoch wird er vor allem aus Kostengründen erst seit gut 10 Jahren ernsthaft untersucht. [1]

Was ist Kernfusion?

Die Kernfusion ist ein Prozess, bei dem Wasserstoffatomkerne verschmolzen werden und dadurch Helium entsteht. Dabei wird Energie freigesetzt, welche im kontrollierbaren Umfeld eines Reaktors nutzbar gemacht werden könnte. Um die Fusionsreaktion zu «zünden», müssen schwere Wasserstoffkerne wie Deuterium und Tritium auf mehrere zehn Millionen C° erhitzt werden. Dadurch geht das Wasserstoffgas in ein Plasma über – der Zustand, in welchem sich negativ geladene Elektronen von positiv geladenen Teilchen des Atomkerns trennen. Somit werden elektrostatische Kräfte überwunden, die normalerweise die Fusion verhindern würden. Um dieses Energiepotenzial in einem Kraftwerk auszuschöpfen, muss neben der Temperatur, die sonst nur im Inneren der Sonne existiert, eine stabile Plasmaform dauerhaft gewährleistet werden können. Zudem muss eine positive Energiebilanz erreicht werden: Das Experiment der Fusion muss gelingen und dabei darf nicht mehr Energie verbraucht werden, als freigesetzt wird. [2]

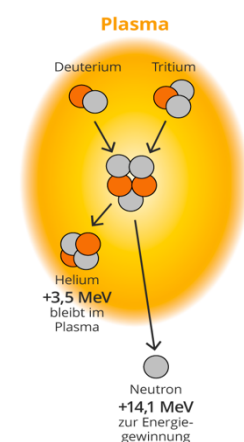


Abb. 1: Schematische Darstellung der Kernfusion von Deuterium und Tritium im Plasma [10]

Die konventionelle Methode

Der Tokamak bezeichnet einen ringförmigen, experimentellen Kernreaktor. Der Aufbau umfasst neben der Deuteriumzufuhr und dem Generator zur Stromerzeugung weitere Hauptkomponenten: Eine Vakuumkammer sowie unterschiedlich angeordnete supraleitende Magnetspulen zur Erzeugung und Erhaltung des Plasmas. Der Transformator ermöglicht durch Induktion, Ströme von bis zu mehreren Millionen Ampere im Plasma zu erzeugen. [3]

Der physikalische Effekt der Induktion bringt eine starke Erhitzung des Plasmas durch elektrischen Widerstand mit sich. Zur weiteren Energiezufuhr werden elektromagnetische Wellen auf die Frequenz der im Plasma vorhandenen Teilchen abgestimmt. Als Letztes bietet die Neutralteilcheninjektion eine weitere Möglichkeit Hitze zu erzeugen, indem ungeladene Teilchen in den Plasmastrom «geschossen» werden und so ihre kinetische Energie bei der Kollision mit anderen Teilchen übertragen. [3]

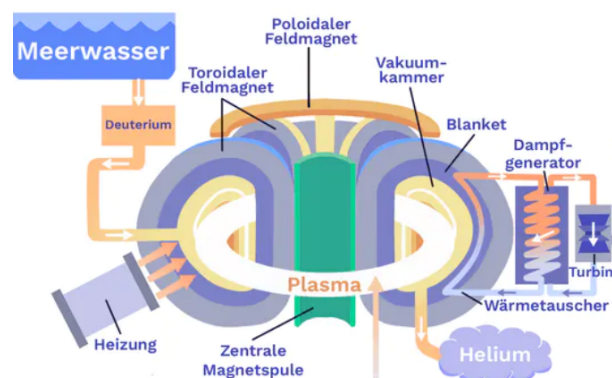


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Tokamak-Reaktors [9]

Daneben gibt es bei der Forschung am Tokamak-Reaktor einige Herausforderungen – dazu zählen die plötzlichen Verluste des Plasmas, die Instabilitäten an den Plasmarändern, Teilchenabstrahlung und das «Aktivieren» des Reaktorwandmaterials. [3]

Die laserinduzierte Kernfusion

Im Januar 2021 publizierte das Team des amerikanischen Forschungsreaktors NIF ein seither präzedenzloses Verhältnis zwischen kinetischer Energie (Input) und Hotspotenergie (Output). Die Ein- und Ausgangsenergie betrug rund 15 kJ respektive 10 kJ, was einer Ausbeute von 66% entspricht. [1] Das entspricht den Höchstwerten des JET (Joint European Torus), der bisher erfolgreichsten europäischen Kernforschungsprojekts und weltweit grössten Tokamak-Modell. [4]

Das Prinzip bei der laserinduzierten Kernfusion beruht auf präzise kalibrierte Hochleistungslaser, die sich in einem kugelförmigen Reaktor punktförmig bündeln. In diesem Punkt wird das Ziel in Pelletform von den parallel geschalteten Lasern während trillionstel Sekunden getroffen und für circa 20 Nanosekunden unter enormem Druck auf mehrere zehn Millionen C° erhitzt. [5][6]

Ein Blick auf die technologischen Fortschritte der letzten 50 Jahre lassen zwar keine genauen Prognosen zu, jedoch ist zu erwarten, dass wir den Punkt der «rentablen» Fusion in den kommenden Dekaden erreichen werden. Fokusintensität sowie Repetitionsrate der Laser haben sich seit 1960 im Faktor 10^{15} erhöht, während sich der Preis von Laserdioden heute auf ein Niveau von 1/40 dessen von vor 20 Jahren reduziert hat, gemessen an dem Preis/Leistung-Verhältnis. [7]

Ein grosser Schritt für die Menschheit

Hochrechnungen haben ergeben, dass gegen Mitte des aktuellen Jahrhunderts der globale Energiebedarf nicht mehr gedeckt werden kann. Eine kommerzielle Stromerzeugung durch Kernfusion ist für die Menschheit insgesamt von entscheidender Bedeutung. Angesichts des immer grösser werdenden Energiebedarfes sowohl pro Kopf als auch kollektiv bietet die Kernfusion eine beinahe unerschöpfliche Quelle erneuerbarer Energie. [8]

Im Hinblick auf den Klimawandel würde die Fusionsenergie einen massgeblichen Beitrag zur Energiewende als emissionsfreie Alternative leisten. Auch ist zu erwarten, dass geopolitische Abhängigkeiten im Energiesektor durch ein Etablieren von Kernfusionsreaktoren reduziert werden können. [8]

Quellen

- [1] A. B. Zylstra u. a., „Record Energetics for an Inertial Fusion Implosion at NIF“, *Phys. Rev. Lett.*, Bd. 126, Nr. 2, S. 025001, Jan. 2021, doi: [10.1103/PhysRevLett.126.025001](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.126.025001).
- [2] S. C. Prager, „Nuclear Fusion Power – An Overview of History, Present and Future“, *International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls*, Bd. 4, Nr. 4, S. 1–10, Jan. 2019, doi: [10.21307/ijanmc-2019-064](https://doi.org/10.21307/ijanmc-2019-064).
- [3] Y. Martin, A. Fasoli, und F. Manke, „Die Kernfusion : auf dem Weg zu einer alternativen Energiequelle“, 2017, doi: [10.5169/SEALS-738060](https://doi.org/10.5169/SEALS-738060).
- [4] M. Claessens, *ITER: The Giant Fusion Reactor: Bringing a Sun to Earth*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: [10.1007/978-3-030-27581-5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27581-5).
- [5] D. Clery, „Laser fusion reactor approaches ‘burning plasma’ milestone“, *Science*, Bd. 370, Nr. 6520, S. 1019–1020, Nov. 2020, doi: [10.1126/science.370.6520.1019](https://doi.org/10.1126/science.370.6520.1019).
- [6] H. Weber, „Kernfusion mit Lasern“, Feb. 1972, doi: [10.5169/SEALS-915666](https://doi.org/10.5169/SEALS-915666).
- [7] Marvel Fusion -The ultimate clean energy solution. URL: <https://marvelfusion.com/technology/>. [Stand: 21.10.2022].
- [8] V. Crastan, *Energiewirtschaft und Klimaschutz, Elektrizitätswirtschaft und Liberalisierung, Kraftwerktechnik und alternative Stromversorgung, Chemische Energiespeicherung*, 4., Bearbeitete Auflage, Korrigierte Publikation 2018. Berlin: Springer Vieweg, 2018.
- [9] E. Steinberger, E. Hodgson und S. Moghaddam (2020): Können wir die Kernfusion zum Erfolg bringen? Eine realistische Analyse | ClimateScience. URL: <https://climatescience.org/de/advanced-energy-make-fusion-work>. [Stand: 09.10.2022].
- [10] F. Konitzer (2021): Kernfusion. Die ENERGIE der SONNE nutzen. URL: <https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/nachhaltigkeit/kernfusion-fusion-sonne-energie-kraftwerk-102.html>. [Stand: 09.10.2022]