

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

Wissenschaftsjahr 2025 – Zukunftsenergie

Hintergrundtext Fusionsenergie

Fusionsenergie ist potenziell ressourcenschonend, sauber, sicher und grundlastfähig. Perspektivisch lassen sich damit große Mengen Energie aus kleinen Mengen Brennstoff gewinnen. Doch bis dahin ist noch viel Forschung notwendig. Zusätzlich zur jahrzehntelangen institutionellen Förderung unterstützt das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) diese Forschung mit dem Projektförderprogramm „Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“.

Fusion ist die Energiequelle der Sterne. In ihnen verschmelzen Wasserstoffatome zu Heliumatomen. Die Masse der so entstehenden Kerne ist geringer als diejenige der ursprünglichen Kerne. Die Differenz wird als Energie freigesetzt.

Dieser Prozess ist nur unter hohem Druck und hoher Temperatur möglich, weil die gegenseitige Abstoßung der positiv geladenen Atomkerne sonst ihre Fusion verhindern würde. Im Inneren der Sonne beispielsweise herrschen bis zu 15 Millionen Grad Celsius und ein Druck von 100 Millionen Bar.

Fusionsreaktoren – Die Kraft der Sonne auf Erden

Weltweit versuchen Forscherinnen und Forscher auch auf der Erde Bedingungen zu schaffen, die Fusion ermöglichen – und ihre Energie so für uns nutzbar zu machen. Derzeit finden zwei technologische Ansätze besondere Beachtung: die Magnet- und die Laserfusion. Bei der Magnetfusion wird innerhalb eines Gefäßes ein Gasgemisch aus den Wasserstoffisotopen Deuterium und Tritium so stark erhitzt, dass ein Plasma entsteht. Wenn dieses Plasma auf die Gefäßwand treffen würde, würde es sich sofort abkühlen. Eine Fusionsreaktion wäre damit nicht mehr möglich. Mithilfe von Magnetfeldern lässt sich das Plasma jedoch im Gefäß einschließen, da die vorliegenden Protonen und Elektronen den Magnetfeldlinien folgen. Dadurch reduziert sich der Kontakt mit der Reaktorwand. Im Plasma können dann – ähnlich wie in der Sonne – Fusionsreaktionen stattfinden.

Der Tokamak und der Stellarator sind die zwei gängigsten Varianten eines Magnetfusionsreaktors. Beim Stellarator ist die donut-artige Form im Gegensatz zum Tokamak aufgrund der unterschiedlichen Magnetfeldkonfigurationen zusätzlich in sich gewunden. Prinzipiell bringt diese Form entscheidende Vorteile mit sich. Allerdings sind die Bauteile eines Stellarators viel komplexer sowie sein Bau und seine Wartung komplizierter und kostspieliger. Die Magnetfusion ist zurzeit der Ansatz, der am weitesten erforscht ist.

Bei der Laserfusion wird ein Brennstoffkügelchen („Target“) mittels Laserstrahlen schnell und stark zusammengedrückt, sodass die hohen Temperaturen und Dichten für die

Fusionsreaktion erreicht werden können. Nach der Komprimierung breitet sich das Brennstoffplasma aus. Da es aufgrund der Trägheit aber nicht unendlich schnell auseinanderfliegen kann, können währenddessen Fusionsreaktionen stattfinden. Auch innerhalb der Laserfusion gibt es verschiedene Verfahren. Man unterscheidet hauptsächlich zwischen dem „direct drive“ und „indirect drive“. Der wesentliche Unterschied besteht darin, ob die Laserstrahlen direkt auf das Brennstoffkügelchen gerichtet sind oder ob sie den Brennstoff über einen Umweg – also indirekt – zur Kompression bringen.

Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk

Fusionsenergie wäre potentiell ressourcenschonend, sauber, sicher und grundlastfähig. Ein Gramm Fusionsbrennstoff kann etwa die gleiche Menge Energie wie elf bis 13 Tonnen Steinkohle freisetzen. Zudem werden keine fossilen Brennstoffe verbrannt. Der produzierte Strom wäre somit CO₂-neutral. Gefährliche, unkontrollierte Kettenreaktionen sind physikalisch unmöglich. Ein Betriebsausfall würde die Reaktion unmittelbar stoppen.

Um Fusionsenergie in die Anwendung zu bringen, ist weitere Forschung unbedingt notwendig. Internationale Beachtung findet vor allem das internationale Forschungsprojekt ITER „International Thermonuclear Experimental Reactor“ im südfranzösischen Cadarache, an dem Deutschland über Euratom beteiligt ist. Deutschland zählt dank langjähriger institutioneller Förderung zu den weltweit führenden Nationen im Bereich der Fusionsforschung, insbesondere in der Magnetfusion. Mit Blick auf die Laserfusion verfügt Deutschland über wichtige Teiltechnologien, beispielsweise zu Lasern und Optik.

Um den Spitzenplatz in der Fusionsforschung zu halten und auszubauen, hat das BMFTR das [Förderprogramm „Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk“](#) ins Leben gerufen. Ziel ist projektbasierte Forschung, die zum technologischen Reifegrad wesentlicher Komponenten eines zukünftigen Fusionskraftwerks beitragen soll. Diese Forschung erfolgt technologieoffen, unterstützt also sowohl die Magnet- als auch die Laserfusion. Zudem ist das Programm als technologieorientierte Verbundforschung angelegt, um Wissenschaft und Industrie zusammenzubringen. Auf diese Weise und über BMFTR-geförderte Nachwuchsgruppen entsteht ein Fusionsökosystem, das nötig ist, damit die Fusion den Sprung von der Forschung in die Anwendung schafft.

In einem weiteren wesentlichen Schritt müssen rechtliche Rahmenbedingungen für Fusionskraftwerke geschaffen werden. Mit dem „Pilotvorhaben zur Regulatorik für Fusionsanlagen“ (ReFus) unterstützt das BMFTR die Erforschung diesbezüglicher wissenschaftlicher Grundlagen.