

Wimmers, Alexander J. et al.

Article

Kommerzielle Energieerzeugung mit Kernfusion nicht absehbar: Anwendungsforschung entwickelt sich dynamisch

DIW Wochenbericht

Provided in Cooperation with:

German Institute for Economic Research (DIW Berlin)

Suggested Citation: Wimmers, Alexander J. et al. (2025) : Kommerzielle Energieerzeugung mit Kernfusion nicht absehbar: Anwendungsforschung entwickelt sich dynamisch, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 92, Iss. 13, pp. 195-201,
https://doi.org/10.18723/diw_wb:2025-13-1

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/315404>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

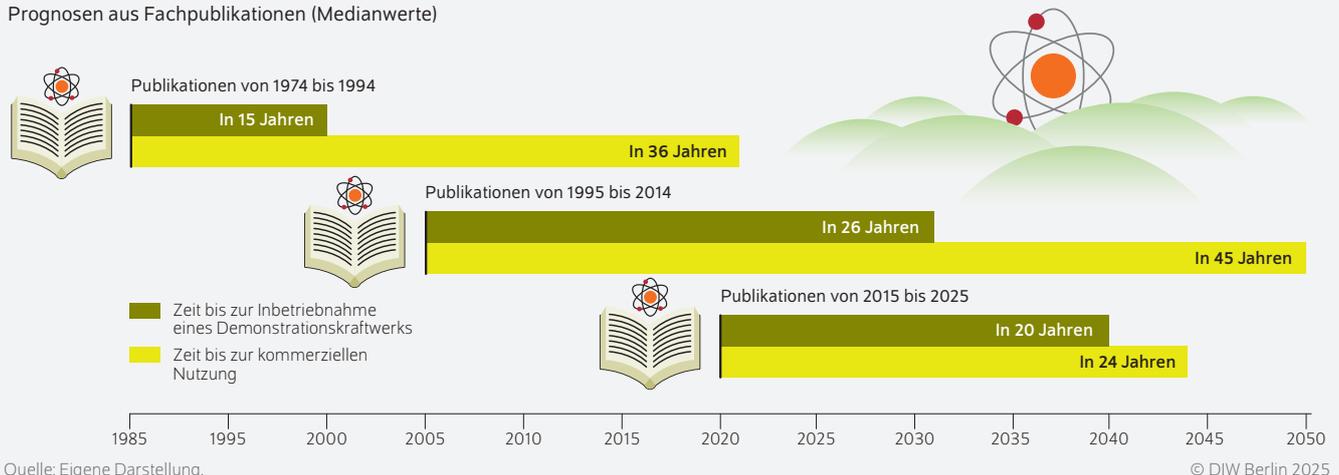
Kommerzielle Energieerzeugung mit Kernfusion nicht absehbar – Anwendungsforschung entwickelt sich dynamisch

Von Alexander Wimmers, Fanny Böse, Alexander Buschner, Claudia Kemfert, Johanna Krauss, Julia Rechlitz, Björn Steigerwald und Christian von Hirschhausen

- Erfolge in der Fusionsforschung werden medial oft als Durchbrüche gefeiert
- Kommerzielle Nutzung zur Energieerzeugung aber trotz Teilerfolgen nach wie vor nicht absehbar
- Internationales Pilot-Großforschungsprojekt ITER um Jahrzehnte verzögert und mit Fokus auf Grundlagenforschung
- Privat kofinanzierte Unternehmen bringen mit hohen Investitionen neue Dynamik in die Forschung
- Fokus bei diesen Unternehmen liegt nicht auf der energetischen Nutzung der Kernfusion, sondern auf der Weiterentwicklung von eher nutzbaren Produkten wie Magneten und Lasern

Prognosen für die Nutzung der Kernfusion: Erwartete Zeitpunkte für den Betrieb von Reaktoren verschieben sich regelmäßig

Prognosen aus Fachpublikationen (Medianwerte)



ZITAT

„Die Nutzung der Kernfusion für die Strom- und Energieversorgung ist wie seit 70 Jahren nach wie vor nicht absehbar. Im Gegensatz zu den traditionellen Pilotprojekten der öffentlichen Großforschungsanlagen, die oftmals verzögert sind, konzentrieren sich neue, privat kofinanzierte Unternehmen auf anwendungsorientierte Forschung.“

— Christian von Hirschhausen —

MEDIATHEK



Audio-Interview mit Christian von Hirschhausen
www.diw.de/mediathek

Kommerzielle Energieerzeugung mit Kernfusion nicht absehbar – Anwendungsforschung entwickelt sich dynamisch

Von Alexander Wimmers, Fanny Böse, Alexander Buschner, Claudia Kemfert, Johanna Krauss, Julia Rechlitz, Björn Steigerwald und Christian von Hirschhausen

ABSTRACT

Die Kernfusion wurde seit den 1940er Jahren für die militärische Nutzung entwickelt. Die Hoffnungen, diese Technik in wenigen Jahrzehnten für die Energieerzeugung nutzen zu können, haben sich bis heute nicht erfüllt. Trotz einiger medial aufgegriffener Erfolge, wie bei den Experimenten der National Ignition Facility in Kalifornien Ende 2022, sind die wesentlichen Herausforderungen heute nicht kleiner als in der Vergangenheit. Eine Untersuchung von Expert*innenmeinungen zeigt, dass noch kein konkreter Pfad zu einer kommerziellen Nutzung dargelegt werden kann. Repräsentativ für allgegenwärtige Verzögerungen ist das vormalige Vorzeigeprojekt International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER): 1985 von den USA und der Sowjetunion initiiert, musste seit den 1990er Jahren der Beginn der Forschungsarbeiten immer weiter verschoben werden. Inzwischen ist die Inbetriebnahme der Fusionsexperimente erst für die späten 2030er Jahre vorgesehen. Gleichzeitig entstehen neue, privat kofinanzierte Unternehmensstrukturen, welche sich auf konkrete Anwendungen fokussieren, wie die Entwicklung von Magnetspulen und Lasertechnik. Die deutsche, europäische und internationale Forschungsförderung muss sich auf die neuen Entwicklungen einstellen und insbesondere die Großforschungseinrichtungen in Bezug auf das Ziel Kernfusion kritisch hinterfragen.

Seit den 1950er Jahren haben sich die Erwartungen, die Kernfusion könne in einigen Jahrzehnten kommerziell zur Energieerzeugung genutzt werden, nicht bewahrheitet.¹ Vielmehr sind bei grundlegenden technischen Herausforderungen bis heute keine Lösungen abzusehen, die einen gewinnbringenden Einsatz in der Energiewirtschaft möglich machen würden. Wie vor 70 Jahren ist auch heute offen, welches Reaktorkonzept langfristig die besten Perspektiven aufweist und eines Tages tatsächlich einsetzbar sein könnte (Kasten). Besonders kritisch stellt sich die Situation bei dem vormaligen Vorzeigeprojekt, dem International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) sowie seinem derzeit noch geplante Folge- und Demonstrationsprojekt (DEMO), dar. Beide Projekte sind um Jahrzehnte verspätet.

Andererseits ist in der Forschungslandschaft rund um die Kernfusion seit einigen Jahren eine Dynamik zu beobachten, die sich insbesondere auf Unternehmen mit privater Kofinanzierung und der Beteiligung privater Akteure an öffentlichen Pilotprojekten gründet. So flossen in den vergangenen zehn Jahren zweistellige Milliardenbeträge (US-Dollar) in etwa 80 private kleine und mittelgroße Unternehmen der Branche. Damit wird eine Verschiebung der Akteursstrukturen absehbar, die die Entwicklung der Fusionstechnologie dynamisieren und bestehende Forschungsstrukturen in Frage stellen könnte.

Dieser Wochenbericht nutzt zwei Datensätze, um die aktuellen und längerfristigen Trends in dem Sektor zu analysieren: Mittels einer umfangreichen Literaturrecherche wurden Prognosen von Expert*innen bezüglich der kommerziellen Nutzung der Kernfusion ausgewertet. Zudem wird anhand einer Analyse laufender Entwicklungsprojekte die Dynamik privatwirtschaftlicher Unternehmen dargestellt, die auf Anwendungsforschung und kurzfristige Kommerzialisierung von Nebenprodukten setzt.

¹ Shutarō Takeda, Alexander Ryota Keeley und Shunsuke Managi (2023): How Many Years Away Is Fusion Energy? A Review. *Journal of Fusion Energy* 42 (1), 16.

Kurzer Rückblick: Kontrollierte Kernfusion als Ziel von Großforschungseinrichtungen ...

Während des Kalten Kriegs entstanden in vielen Ländern Großforschungseinrichtungen, die sich sowohl mit der militärischen als auch mit der zivilen Nutzung von Kernfusion beschäftigten. In Deutschland wurden mit dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) an den Standorten Garching und (ab 1991) Greifswald sowie den Kernforschungszentren Karlsruhe und Jülich große Dauerforschungseinrichtungen mit einem Schwerpunkt auf Kernfusion geschaffen.

Die Entwicklung teurer Infrastrukturen der Grundlagenforschung war von regelmäßig wiederkehrenden Tech-Hype-Phasen begleitet, in denen Fortschritte öffentlichkeitswirksam gefeiert wurden, auch wenn das Ziel der kommerziellen Nutzung kaum näher rückte.² Dies begann auf der ersten Konferenz zur kommerziellen Nutzung der Atomenergie in Genf im Jahr 1955, bei der die kommerzielle Verfügbarkeit von Kernfusion in 20 Jahren angekündigt wurde.³ Zuletzt sorgte im Dezember 2022 das Kernwaffenforschungsinstitut National Ignition Facility (NIF) in Kalifornien für weltweite Aufmerksamkeit, als erstmals mehr Energie durch eine Fusionsreaktion freigesetzt wurde als für ihre Zündung notwendig war. Dieses Ergebnis wurde medial zwar als ein Meilenstein in der Kernfusion aufgenommen, ein kommerzieller Durchbruch ist aber selbst in der Ferne nicht absehbar, weil die Zündung nur für ein einziges Brennstoffpellet mit einer sehr geringen Energieausbeute durchgeführt wurde und die für die Aufbringung der Laserenergie notwendige Primärenergie in der Energiebilanz nicht berücksichtigt wurde.⁴

Auch in Deutschland führte das Experiment in den USA zu einer Dynamisierung der Forschungspolitik. Im Jahr 2024 veröffentlichte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Förderprogramm Fusion 2040, in dem der Betrieb eines deutschen Fusionskraftwerks explizit angestrebt wird.⁵ Darüber hinaus rief die Bayerische Staatsregierung eine Mission Kernfusion ins Leben und plant die Einrichtung eines eigenen Fusionscampus mit Lehrstühlen,

² Vgl. Vaclav Smil (2023): *Invention and Innovation: A Brief History of Hype and Failure*. Cambridge, sowie Jascha Bareis, Maximilian Roßmann und Frédérique Bordignon (2023): *Technology Hype: Dealing with Bold Expectations and Overpromising*. TATuP – Zeitschrift Für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis 32 (3), 10–71 (online verfügbar, abgerufen am 2. März 2025). Dies gilt für alle Onlinequellen in diesem Bericht, sofern nicht anders vermerkt.

³ Vgl. Joachim Radkau (1983): *Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945–1975: Verdrängte Alternativen in der Kerntechnik und der Ursprung der nuklearen Kontroverse*. Hamburg.

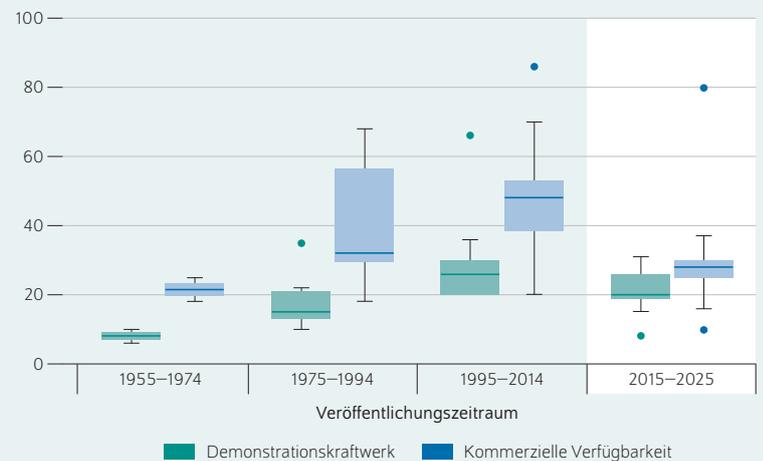
⁴ Der erzielte Energieüberschuss von 1,1 Megajoule entspricht der Energie, die bei der Verbrennung von circa 32 Gramm Steinkohle freigesetzt wird, vgl. Pressemitteilung des Lawrence Livermore National Lab vom 14. Dezember 2022: *A shot for the ages: Fusion ignition breakthrough hailed as 'one of the most impressive scientific feats of the 21st century'* (online verfügbar). Vgl. auch Reinhard Grünwald (2024): *Auf dem Weg zu einem möglichen Kernfusionskraftwerk – Wissenslücken und Forschungsbedarfe aus Sicht der Technikfolgenabschätzung*. TA-Kompakt. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (online verfügbar).

⁵ Bundesministerium für Bildung und Forschung (2024). *Förderprogramm Fusion 2040 – Forschung auf dem Weg zum Fusionskraftwerk* (online verfügbar).

Abbildung 1

Erwartungen an die technische und kommerzielle Durchsetzung der Kernfusion

Ausgewählte Schätzungen seit den 1950er Jahren



Anmerkungen: Die Boxplots zeigen mit den mittleren Strichen den mittleren prognostizierten Zeitraum (Median) bis zum ersten Demonstrationskraftwerk beziehungsweise zur kommerziellen Verfügbarkeit der Kernfusion, mit den Kästen alle prognostizierten Zeiträume im 50-Prozentintervall, mit den sich anschließenden T-förmigen Strichen Projektionen mit maximal 1,5-fachem Boxlängenabstand von deren Enden und mit den Punkten darüber hinaus gehende Ausreißer.

Quelle: Eigene Darstellungen basierend auf Original-Literatur.

© DIW Berlin 2025

Mittlere Prognosewerte für ein erstes Demonstrationskraftwerk liegen noch immer bei über 20 Jahren.

Nachwuchsgruppen und einem eigenen Studiengang.⁶ Auch Hessen legte eine Forschungsstrategie zur Kernfusion auf.⁷

... aber kommerzielle energetische Nutzung ist nach wie vor nicht konkret absehbar

Unabhängige Analysen waren von Anfang an sehr kritisch bezüglich der möglichen Wettbewerbsfähigkeit von Kernfusionsreaktoren. So kommt das Lehrbuch *Atomkraft* aus dem Jahr 1960 zu dem Schluss, dass Fusionsreaktoren „wahrscheinlich wesentlich kostspieliger als Spaltungsreaktoren werden“ würden, die ihrerseits weit von der Wettbewerbsfähigkeit entfernt waren.⁸ Daran hat sich bis heute nichts geändert.⁹

⁶ Staatsministerium für Wissenschaft (2024): *Bayern startet die Mission Kernfusion: Ministerpräsident Dr. Markus Söder und Wissenschaftsminister Markus Blume stellen Masterplan vor* (online verfügbar).

⁷ Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum (2024): *Focused Energy erhält 2,5 Millionen Euro* (online verfügbar), sowie die Stellungnahme für den Hessischen Klimarat von Matthias Englert und Anna Kopp (2024): *Übersichtsstudie Kernfusion für den Klimabeirat Hessen*. Öko-Institut e.V. (online verfügbar).

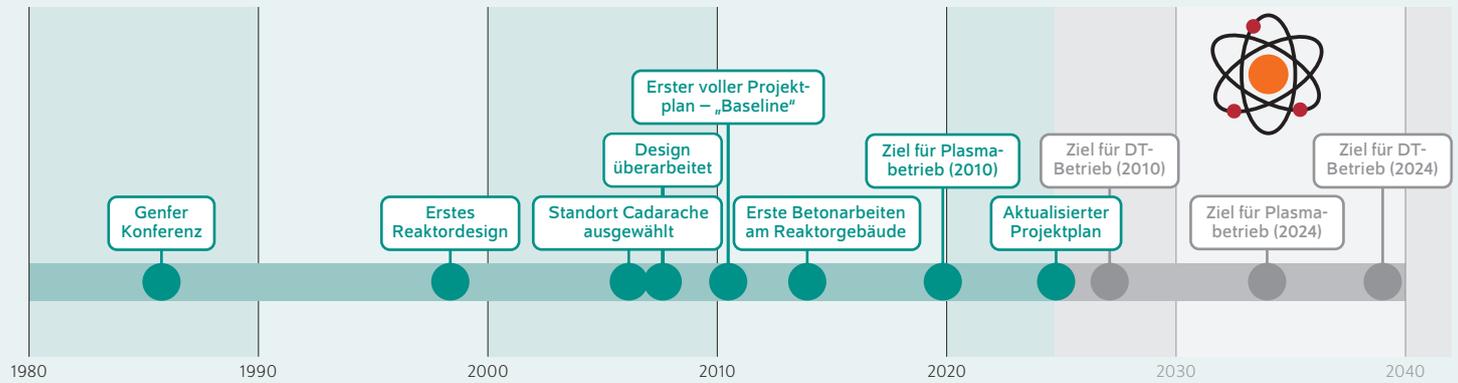
⁸ Vgl. Friedrich Münzinger (1960): *Atomkraft: Der Bau ortsfester und beweglicher Atomtriebe und seine technischen und wirtschaftlichen Probleme. Eine kritische Einführung für Ingenieure, Volkswirte und Politiker*. New York, 169.

⁹ Vgl. Sven Wurbs et al. (2024): *Kernfusion als Baustein einer klimaneutralen Energieversorgung? Chancen, Herausforderungen, Zeithorizonte*. Impuls. Acatech (online verfügbar), Grünwald (2024), a. a. O. sowie Axel Kleidon und Harald Lesch (2024): *Kann Kernenergie zur Energiewende beitragen? Zukünftige Energieversorgung in Deutschland*. *Physik in unserer Zeit* 55 (6), 286–293 (online verfügbar).

Abbildung 2

Entwicklung des ITER-Projekts seit 1985 einschließlich geplanter Meilensteine

Ausgewählte Ereignisse seit 1985



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf der ITER-Website (online verfügbar) sowie Gibney (2014) (online verfügbar) und Gibney (2024) (online verfügbar).

© DIW Berlin 2025

Systematische Verzögerungen im ITER-Projekt stellen das gesamte Projekt in Frage.

Trotz ungelöster technisch-physikalischer Herausforderungen haben Expert*innen in der Kernfusionsforschung über die letzten Jahrzehnte immer wieder einen baldigen Beitrag der Kernfusion zur Energieproduktion erwartet.¹⁰ Diese Entwicklung veranlasst einige Wissenschaftler*innen sogar dazu, von einer sogenannten „Fusionskonstante“ zu sprechen, die besagt, dass die Prognosen bis zur kommerziellen Verfügbarkeit von Fusionskraftwerken unabhängig vom Zeitpunkt der Prognose immer 20 bis 40 Jahre betrage.¹¹ Eine umfassende Literaturobwohl man vermuten könnte, dass die prognostizierten Zeiträume mit der fortschreitenden Forschung abnehmen, lässt sich dies durch die erhobenen Daten nicht bestätigen. Die Prognosezeiträume für Demonstrationskraftwerke wie auch für die kommerzielle Verfügbarkeit der Kernfusion werden im Mittel über den Beobachtungszeitraum nicht kleiner. Prognosen, die nach 2000 veröffentlicht wurden, gehen im Mittel weiterhin von einem Zeitraum von etwas mehr als 24 Jahren bis zur Verfügbarkeit eines Demonstrationskraftwerks und von 40 Jahren bis zur kommerziellen Verfügbarkeit der Kernfusion aus.

Darüber hinaus fällt die starke Streuung der Prognosezeiträume auf. Bei einem Vergleich der Mittelwerte (Mediane) ist zu erkennen, dass die rein technische Umsetzung der Kernfusion (Betrieb eines Demonstrationskraftwerks) im Mittel circa zehn Jahre vor seiner kommerziellen Nutzung erwartet wird. Obwohl man vermuten könnte, dass die prognostizierten Zeiträume mit der fortschreitenden Forschung abnehmen, lässt sich dies durch die erhobenen Daten nicht bestätigen. Die Prognosezeiträume für Demonstrationskraftwerke wie auch für die kommerzielle Verfügbarkeit der Kernfusion werden im Mittel über den Beobachtungszeitraum nicht kleiner. Prognosen, die nach 2000 veröffentlicht wurden, gehen im Mittel weiterhin von einem Zeitraum von etwas mehr als 24 Jahren bis zur Verfügbarkeit eines Demonstrationskraftwerks und von 40 Jahren bis zur kommerziellen Verfügbarkeit der Kernfusion aus.

Vorzeigeprojekt ITER seit 1985 in Dauerkrise

Systematische Verzögerungen und hohe Kostensteigerungen lassen sich anhand des vormaligen Vorzeigeprojekts ITER besonders gut nachvollziehen.¹³ Das Projekt geht auf eine Kooperation der USA und der Sowjetunion aus dem Jahr 1985 zurück. Mittlerweile gehören dem Großprojekt 33 Länder an. Am Standort Cadarache in Südfrankreich sollte, der Planung von 1993 entsprechend, bereits im Jahr 2005 eine Versuchsanlage und in den 2020er Jahren ein Demonstrationskraftwerk (DEMO) in Betrieb geben. Allerdings hat sich das als Grundlagenforschung angelegte Großprojekt immer wieder verzögert (Abbildung 2). Das Ziel beim bereits erheblich verzögerten Baubeginn im Jahr 2007 war der Beginn der Plasmaexperimente im Jahr 2016, das im Jahr 2010 aber bereits auf 2019 verschoben wurde. Nach weiteren Verschiebungen im Projektplan geht man inzwischen davon aus, dass die erste Deuterium-Tritium-Fusion nicht vor 2039 erfolgen wird. Auch die Kosten des ITER sind erheblich gestiegen.¹⁴ Ausgehend von einer initialen Kostenschätzung von fünf Milliarden Euro wird inzwischen von 20 Milliarden Euro, teilweise sogar von über 40 Milliarden Euro gesprochen.¹⁵

Das ITER-Projekt ist ein reines Forschungsprojekt, bei dem unter anderem die Funktionsfähigkeit der supraleitenden Magnete, das Verhalten des Plasmas sowie das Erbrüten

¹⁰ Samuele Meschini et al. (2023): Review of commercial nuclear fusion projects. *Frontiers in Energy Research* 11, 1157394 (online verfügbar).

¹¹ Takeda, Keeley und Managi (2023), a. a. O.

¹² Siehe Alexander Buschner und Julia Rechtlitz (mimeo): Forecasting Nuclear Fusion Availability Using Experts' Assessment.

¹³ ITER (2024): On the road to ITER (online verfügbar), Elizabeth Gibney (2014): Five-year delay would spell end of ITER. *Nature Q&A* (online verfügbar), sowie Elizabeth Gibney (2024): ITER delay: what it means for nuclear fusion. *Nature* 631, 488–489 (online verfügbar).

¹⁴ Meschini et al. (2023), a. a. O., David Kramer (2023): ITER appears unstoppable despite recent setbacks. *Physics Today* 78 (8), 18–22 (online verfügbar) sowie ITER (2024): Why have ITER costs risen (online verfügbar).

¹⁵ ITER (2024): Updated baseline presented (online verfügbar), Kramer (2023), a.a.O. sowie Science & Business (2024): ITER fusion project confirms more delays and €5B cost overrun (online verfügbar).

Kasten

Grundlagen der kontrollierten Kernfusion und grundlegende Herausforderungen bei der Umsetzung

Es gibt verschiedene Arten der Kernfusion. Die am häufigsten Angestrebte ist die der Verschmelzung der Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium zu Helium, bei der große Mengen an Energie sowie ein Neutron freigesetzt werden (Abbildung). Damit die Deuterium- und Tritium-Ionen trotz ihrer gegenseitigen elektrostatischen Abstoßung verschmelzen, muss das Wasserstoffgemisch in einem Plasmazustand vorliegen und eine bestimmte Zeit sehr hohen Temperaturen und ausreichend hohem Druck ausgesetzt werden. Dazu braucht es geeignete physikalische Bedingungen, welche bis heute nur für sehr kurze Zeiten, in vereinzelten Experimenten und ohne energetische Nutzung erreicht worden sind.

Es gibt zwei wesentliche Technologielinien:

- Beim magnetischen Einschluss wird mit Hilfe von Magnetspulen ein heißes Plasma erzeugt, welches zur Fusion führen kann. Die geläufigsten Reaktorkonzepte mit Magneteinschluss sind der Tokamak und der Stellarator. Während der Tokamak einen gepulsten Strom benötigt, um das Plasma zu erzeugen, ist der Stellarator durch seine spezielle Verwindung der Spulen darauf nicht angewiesen und könnte deshalb im sogenannten Dauerbetrieb laufen.
- Beim Trägheitseinschluss wird die Trägheit des Plasmas für den Einschluss genutzt und die Dichte des Plasmas maximiert. Bei der trägheitsbasierten Laserfusion wird mit Hilfe von hochenergetischen Lasern auf ein sehr kleines Brennstoffpellet geschossen, in dem es dann zur Fusion kommt.

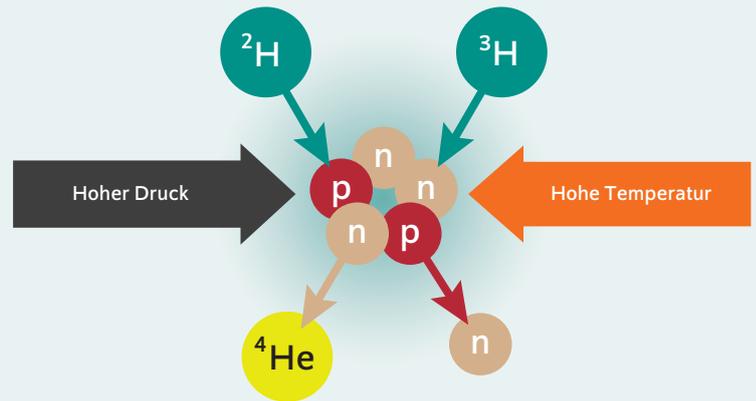
Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Fusionskonzepte und Technologielinien, die unter anderem auf einer Kombination von Magnet- und Trägheitseinschluss basieren. Jedoch sind die meisten dieser Konzepte technologisch noch weniger ausgereift als die der Magnet- und Laserfusion. Beispielsweise muss ein entzündetes Plasma je nach Technologielinie dauerhaft stabil gehalten werden, um kontinuierliche Fusionsprozesse zu ermöglichen. In Magnetfusionskonzepten sollen Hochleistungsmagneten für lange Einschlusszeiten sorgen, die jedoch externe Heizsysteme erfordern, durch Störungen das Plasma destabilisieren und die Anlage

von Tritium untersucht werden sollen. Es ist deshalb nicht dazu geeignet, die technische Umsetzung der kontrollierten Fusion mittels magnetischen Einschlusses zur Stromproduktion zu demonstrieren. Erst das Nachfolgeprojekt DEMO soll eine Demonstrationsanlage darstellen, bei der Kernfusion und Stromproduktion inklusive des erforderlichen Tritiumbrütens im Betrieb gezeigt werden. Frühere Planungen gingen von einer Betriebsphase ab 2020 aus, inzwischen ist dies auf die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts verschoben worden. Vor diesem Hintergrund ist die gesamte Planung des DEMO-Projekts kritisch zu hinterfragen. Auch sind öffentlich finanzierte DEMO-Projekte in China, Japan, Südkorea, Russland, Indien und den USA für die 2040er bis 2050er Jahre geplant, die eine (Re-)Nationalisierung der Fusionsforschung andeuten, sodass die weitere Finanzierung

Abbildung

Funktionsweise der Deuterium-Tritium-Kernfusion

Vereinfachte Darstellung der Verschmelzung von D-T zu He-4 und n



Quelle: Eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2025

Bei der Kernfusion verschmelzen die Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium unter Freisetzung großer Energiemengen zu Helium und einem (schnellen) Neutron.

beschädigen können. Bei Trägheitskonzepten wird ein einziges sogenanntes Target gezielt erhitzt, welches äußerst präzise hergestellt werden muss, um eine Zündung zu garantieren. Weiterhin sind unter anderem Fragen der Brennstoffversorgung, vorrangig mit Tritium, ungeklärt. Angedachtes Erbrüten von Tritium im laufenden Betrieb ist technisch unerprobt und Tritium lässt sich aufgrund seiner geringen Halbwertszeit nicht auf Vorrat lagern. Bisher gab es keine erfolgreiche technische Demonstration einer Fusionsanlage im Dauerbetrieb; vielmehr liefen bisherige Experimente einmalig oder nur für wenige Minuten.

des ITER aufgrund reduzierter Forschungsmittel in Frage gestellt werden könnte.¹⁶

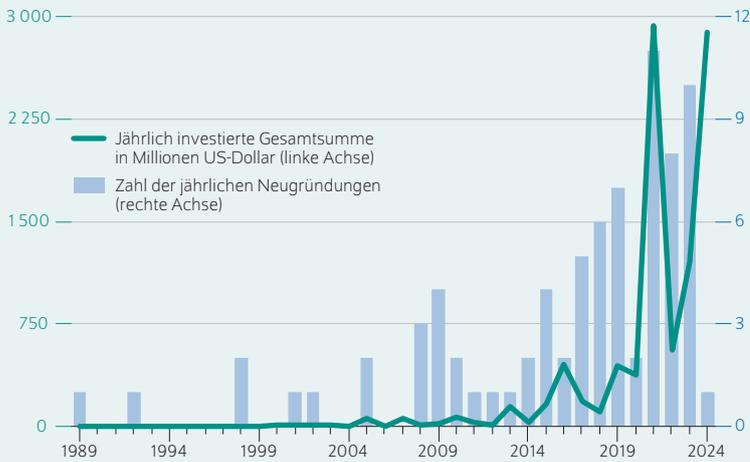
Hohe Dynamik bei öffentlich-privater Finanzierung und Unternehmensentwicklung

Während sich die Fusionsforschung und Anlagenentwicklung in den 1980er und 1990er Jahren in öffentlichen Forschungseinrichtungen konzentrierte, wurden seit den 2000er Jahren einige wenige neue private oder privat-öffentliche

¹⁶ Bereits 2002 stellte das Büro für Technikfolgenabschätzung am Bundestag eine Neuausrichtung der Kernfusionsforschung in den Raum, bei der die Weiterentwicklung von Tokamakkonzepten aktiv beendet werden könnte. Armin Grunwald et al. (2002): Kernfusion. TAB-Sachstandbericht, Arbeitsbericht Nr. 75 (online verfügbar).

Abbildung 3

Finanzierung für private Ventures im Fusionssektor
Finanzierungshöhe in Millionen US-Dollar (linke Achse) und Zahl der Neugründungen (rechte Achse)



Quelle: Eigene Darstellungen basierend auf öffentlich verfügbaren Daten.

© DIW Berlin 2025

Die Finanzierung privater Unternehmen im Fusionssektor stieg in den letzten Jahren deutlich an.

Unternehmen (New Ventures) gegründet (Abbildung 3). Weltweit sind derzeit circa 80 New Ventures in der Kernfusion aktiv. Diese New Ventures betreiben privat finanzierte Anwendungsforschung, die auf den Ergebnissen der Grundlagenforschung an Experimentalanlagen großer Forschungsinstitute aufbaut. Unter anderem stehen dabei die Entwicklung leistungsfähiger Magnete und die Optimierung der Effizienz von Lasersystemen im Fokus. Kommerzielle Kernfusionsenergie ist von diesen Unternehmen in den nächsten Jahren nicht zu erwarten; geplant sind ausschließlich Experimentalanlagen.

Laut der FusDIS-Datenbank der Internationalen Atomenergieorganisation sind 50 der insgesamt 169 weltweit gebauten oder geplanten Fusionsanlagen in privater Hand.¹⁷ Die gelisteten Anlagen können teilweise als Reaktoren bezeichnet werden. Sie sind ausschließlich Experimentalanlagen und deshalb nicht für die kommerzielle Energieerzeugung ausgelegt, zudem ist nicht jedem New Venture eine konkrete Anlage zuzuordnen. Die aufgeführten Anlagen unterscheiden sich nach Betriebsstatus, Finanzierungsstruktur und Anlagenkonzept (Abbildung 4).¹⁸ Die in Planung befindlichen Anlagen sind überwiegend privat finanziert.

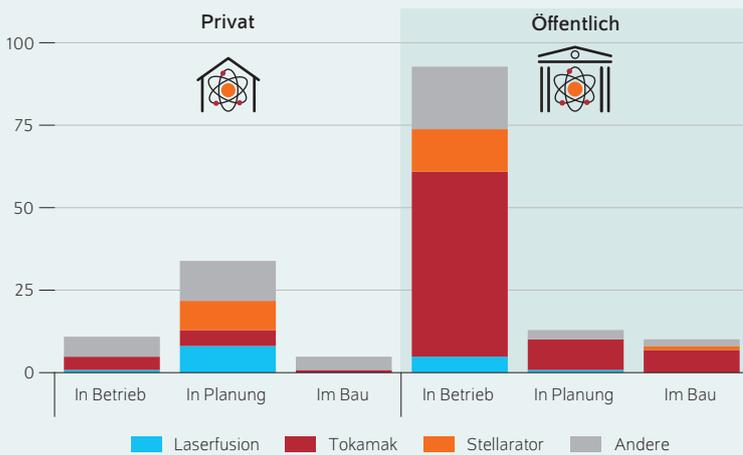
Fazit: Anwendungsorientierte Forschung sollte in den Fokus der Forschungsförderung rücken

Bei der Kernfusion handelt es sich um langfristig angelegte Grundlagenforschung. Die Verbindung militärischer Interessen mit einer breit aufgestellten Grundlagenforschung hat seit den 1940er Jahren zur Entwicklung nationaler und internationaler Großforschungseinrichtungen geführt. Diese Strukturen haben gewisse Erfolge beim Verständnis der wissenschaftlichen Grundlagen der Kernfusion erzielt und militärische Anwendungen ermöglicht, sind jedoch darüber hinaus nicht auf kommerzielle Anwendungen zur Energieerzeugung ausgelegt. Vielmehr laufen die in den 1960er bis 1990er Jahren aufgelegten Forschungsprogramme mit Blick auf die öffentlich propagierte kommerzielle Nutzung inzwischen ins Leere. Symptomatisch hierfür sind die jahrzehntelangen Verzögerungen beim ITER.

Andererseits entwickelt sich in bestimmten Anwendungsbereichen seit ein bis zwei Jahrzehnten eine rasch anwachsende Zahl von kleineren Unternehmen mit substanzieller privater Kofinanzierung. Inzwischen weist rund ein Drittel der Testanlagen eine privatwirtschaftliche Unternehmensstruktur auf, mit steigender Tendenz. Schwerpunkte sind Entwicklungen in der Magnetforschung und der Lasertechnik. Die energetische Nutzung steht bisher nicht im Mittelpunkt dieser Unternehmen und ist angesichts bestehender

Abbildung 4

Überblick über Art und Struktur der bekannten Fusionsanlagen
Anzahl der Anlagen nach Reaktorkonzept, (Haupt-)Finanzierungsart und aktuellem Betriebsstatus



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Auswertung der IAEA-FusDIS (Stand 12. Dezember 2024).

© DIW Berlin 2025

Heute werden die meisten Experimentalanlagen privat geplant.

¹⁷ IAEA (2024): Fusion Device Information System (FusDIS) (online verfügbar, zuletzt abgerufen am 12. Dezember 2024). Die Anlagen der vier deutschen New Ventures Gauss Fusion, Focused Energy, Marvel Fusion und Proxima Fusion werden als geplant gelistet. Die Anlagen von Focused Energy und Marvel Fusion werden allerdings in den USA geplant.

¹⁸ Die FusDis listet abgeschaltete Anlagen nicht auf. Beispielsweise fehlt der Joint European Torus, der Ende 2023 seinen Betrieb einstellte, vgl. Daniel Clery (2024): European fusion reactor goes out with a bang. Science (online verfügbar).

technischer, institutioneller und ökonomischer Unsicherheiten auch nicht absehbar.

Die öffentliche nationale und internationale Forschungsförderung sollte sich den neuen Rahmenbedingungen anpassen. Statt den Fokus auf ein hypothetisches Fusionskraftwerk zu legen, sollte der Schwerpunkt auf anderen potenziellen

Anwendungen liegen. Eine technologieoffene Förderung unterschiedlicher Fusionskonzepte, wie den Magnet- und Trägheits- und anderen Fusionsansätzen, auf allen föderalen Ebenen (Land, Bund, EU, global) ist angesichts knapper Mittel und anderer forschungswürdiger Energiekonzepte nicht sinnvoll.

Christian von Hirschhausen ist Fellow der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | chirschhausen@diw.de

Fanny Böse ist Doktorandin an der TU Berlin | fab@wip.tu-berlin.de

Alexander Buschner ist Projektmitarbeiter an der TU Berlin | abu@wip.tu-berlin.de

Claudia Kemfert ist Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | ckemfert@diw.de

JEL: L51, L95, Q48

Keywords: nuclear fusion, economics, R&D

Johanna Krauss ist Projektmitarbeiterin an der TU Berlin | jjk@wip.tu-berlin.de

Julia Rechlitz ist Gastwissenschaftlerin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | jrechlitz@diw.de

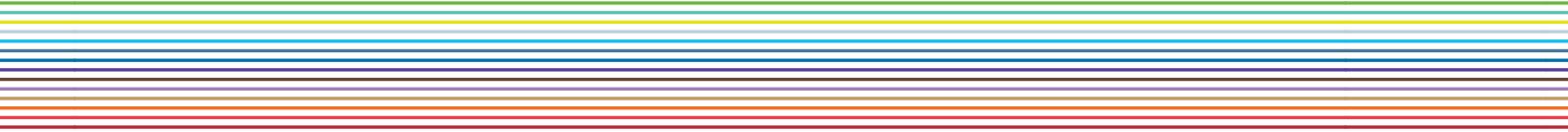
Björn Steigerwald ist Forschungsassistent der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | bsteigerwald@diw.de

Alexander Wimmers ist Gastwissenschaftler der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | awimmers@diw.de

This report is also available in an English version as DIW Weekly Report 15/2025:

www.diw.de/diw_weekly





DIW BERLIN

DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.
Mohrenstraße 58, 10117 Berlin

www.diw.de

Telefon: +49 30 897 89-0 E-Mail: kundenservice@diw.de

92. Jahrgang 26. März 2025

Herausgeber*innen

Prof. Anna Bindler, Ph.D.; Prof. Dr. Tomaso Duso; Sabine Fiedler; Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.; Prof. Dr. Peter Haan; Prof. Dr. Claudia Kemfert; Prof. Dr. Alexander S. Kritikos; Prof. Dr. Alexander Kriwoluzky; Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.; Prof. Dr. Carsten Schröder; Prof. Dr. Sabine Zinn

Chefredaktion

Prof. Dr. Pio Baake; Claudia Cohnen-Beck; Sebastian Kollmann;
Kristina van Deuverden

Lektorat

Till Köveker

Redaktion

Rebecca Buhner; Dr. Hella Engerer; Petra Jasper; Adam Mark Lederer;
Frederik Schulz-Greve; Sandra Tubik

Gestaltung

Roman Wilhelm; Stefanie Reeg; Eva Kretschmer, DIW Berlin

Umschlagmotiv

© imageBROKER / Steffen Diemer

Satz

Satz-Rechen-Zentrum Hartmann + Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin

Der DIW Wochenbericht ist kostenfrei unter www.diw.de/wochenbericht
abrufbar. Abonnieren Sie auch unseren Wochenberichts-Newsletter unter
www.diw.de/wb-anmeldung

ISSN 1860-8787

Nachdruck und sonstige Verbreitung – auch auszugsweise – nur mit
Quellenangabe und unter Zusendung eines Belegexemplars an
den Kundenservice des DIW Berlin zulässig (kundenservice@diw.de).