

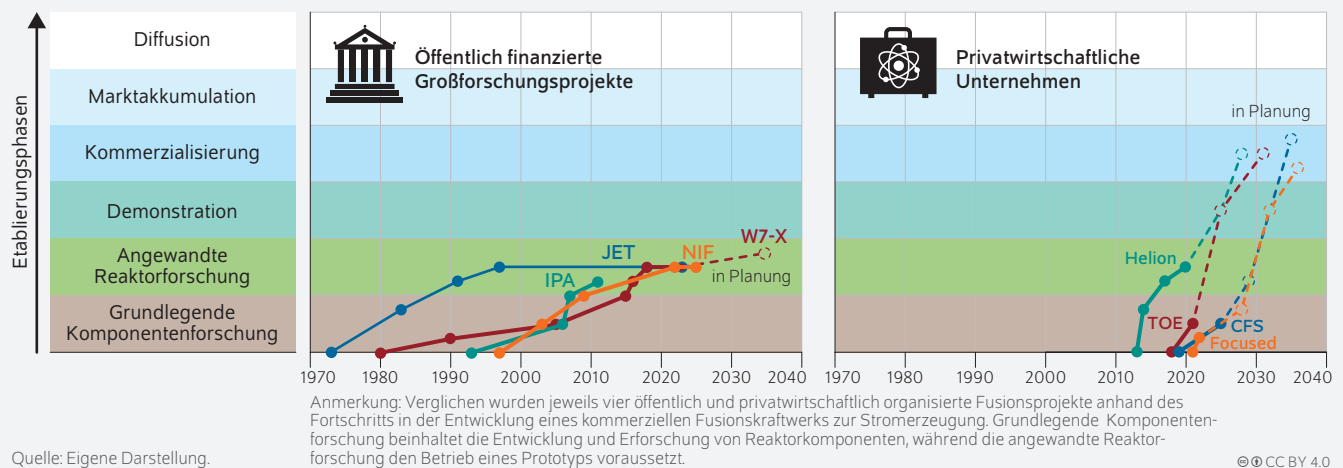
AUF EINEN BLICK

Kernfusionsforschung verschiebt Schwerpunkt: kommerzielle Nischenprodukte statt Energieversprechen

Von Charlotte Dering, Alexander Wimmers, Fanny Böse, Claudia Kemfert, Johanna Krauß, Björn Steigerwald und Christian von Hirschhausen

- Privatwirtschaftlich organisierte Unternehmen im starken Aufwind, aber auch Druck zur Kommerzialisierung von Forschungsergebnissen
- Spezialisierung in marktnahe Nischen beobachtbar, wie zum Beispiel in Magnetentwicklung und Lasertechnik
- Fallstudien zu konkreten Fusionsprojekten zeigen eine stark veränderte, anwendungsorientierte Industrieentwicklung auf
- Konkret energiewirtschaftliche Nutzung aber trotz optimistischer Ankündigungen nicht absehbar
- Forschungsförderung muss sich neuen Entwicklungen anpassen und sollte nicht auf energetische Nutzung von Kernfusion setzen

Privatwirtschaftliche Unternehmen versprechen kommerzielle Fusionsenergie in wenigen Jahren, obwohl Großforschungsprojekte in der Grundlagenforschung verbleiben



ZITAT

„Die Kernfusion liefert auf absehbare Zeit keinen Beitrag zur Energieversorgung – seit 70 Jahren heißt es, sie komme ‚in einigen Jahrzehnten‘. Real geht es um den Wettbewerb um knappe Forschungsmittel, auch innerhalb der Fusionsforschung. Angesichts begrenzter Mittel sollten wir Prioritäten setzen, etwa bei Energiespeichern, die für die Energiewende jetzt entscheidend sind.“ — Claudia Kemfert —

MEDIATHEK



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

Kernfusionsforschung verschiebt Schwerpunkt: kommerzielle Nischenprodukte statt Energieversprechen

Von Charlotte Dering, Alexander Wimmers, Fanny Böse, Claudia Kemfert, Johanna Krauß, Björn Steigerwald und Christian von Hirschhausen

ABSTRACT

Die Kernfusion, bei der Atomkerne miteinander verschmolzen werden, verspricht saubere, sichere und nahezu unerschöpfliche Energie. Seit den 1950er Jahren legitimiert dieses Versprechen weltweit umfangreiche öffentliche Investitionen in die Forschung, ohne dass die energiewirtschaftliche Nutzung näher rückt. Doch die Kernfusionsforschung unterliegt derzeit einem erheblichen Wandel: Während öffentliche Großforschungseinrichtungen (Big Science) über die Grundlagenforschung nicht hinauskommen, konzentrieren sich privatwirtschaftliche Unternehmen zunehmend auf Teilkomponenten, wie zum Beispiel die Magnetentwicklung und Lasertechnik. Mithilfe eines Bewertungsschemas lassen sich die Aktivitäten sehr unterschiedlicher privatwirtschaftlicher Kernfusionsunternehmen vergleichbar machen und Schlussfolgerungen für die Forschungs- und Innovationspolitik ziehen. Untersucht werden vier Unternehmen hinsichtlich ihres Entwicklungsstands und -potenzials. Der Vergleich zeigt, dass sich die privatwirtschaftlichen Unternehmen zunehmend auf Komponenten und Teilgebiete konzentrieren, die kurz- und mittelfristig kommerziell nutzbar gemacht werden könnten. Im Gegensatz dazu liegen die Erwartungshorizonte der Großforschung weit jenseits der 2050er Jahre. Deshalb sollte die deutsche Forschungspolitik nicht am Ziel der energiewirtschaftlichen Nutzung von Kernfusion festhalten, sondern auf die Innovationsdynamik privater Akteure setzen und die bestehenden Strukturen der öffentlich finanzierten Großforschung grundlegend evaluieren.

Seit den 1950er Jahren besteht die Vision von der Kernfusion¹ als Energiequelle der Zukunft. Doch trotz jahrzehntelanger Forschung, milliardenschwerer Investitionen und politischer Hoffnungsbekundungen – wie zuletzt durch Bundeskanzler Friedrich Merz, der auf dem Nordsee-Gipfel im Januar 2026 die Windenergie als Übergangstechnologie zur Kernfusion bezeichnete² – bleibt sie für die energiewirtschaftliche Nutzung in weiter Ferne.³ Seit einigen Jahren herrscht in der weltweiten Forschung zur Kernfusion jedoch eine beschleunigte Dynamik. Die Entwicklung privatwirtschaftlicher Unternehmen („New Ventures“) in Segmenten der Kernfusion wird durch das Engagement von KI-Unternehmen finanziell und medial befeuert. Die erhofften Potenziale der Kernfusion bestehen dabei in der Bereitstellung von Energie für Datenzentren sowie der Nutzung von KI-Ansätzen in der Reaktorentwicklung selbst.⁴ Jüngster Höhepunkt ist der angekündigte Zusammenschluss des von US-Präsident Donald Trump gegründeten Unternehmens, der Trump Media and Technology Group (TMTG), mit einem privatwirtschaftlichen New Venture aus der Kernfusionsbranche, TAE in Kalifornien. Dieser Zusammenschluss hätte mit geschätzten sechs Milliarden US-Dollar ein dreimal so großes Volumen wie die bisher größte Aktivität in der Fusionsindustrie.⁵

¹ Bei der Kernfusion wird durch die Verschmelzung leichter Atomkerne zu schwereren eine große Menge an Energie freigesetzt, die in Reaktoren zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt werden soll. Vgl. Alexander Wimmers et al. (2025): Kommerzielle Energieerzeugung mit Kernfusion nicht absehbar – Anwendungsforschung entwickelt sich dynamisch. DIW Wochenbericht Nr. 13 (online verfügbar; abgerufen am 5. Februar 2026). Dies gilt auch für alle anderen Onlinequellen dieses Berichts, sofern nicht anders vermerkt.

² Vgl. ntv (2026): Windkraft aus Nordsee soll neue Abhängigkeiten verhindern (online verfügbar).

³ Diese Hoffnungen bestehen seit Jahrzehnten, vgl. dazu u. a. Lyman Spitzer (1958): The Stellarator Concept. *The Physics of Fluids* 1 (4), 253–264 (online verfügbar); Cesare Marchetti und Nebojsa Nakicenovic (1979): The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model. *International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)* (online verfügbar); sowie International Atomic Energy Agency (2024): IAEA World Fusion Outlook 2024. Internationale Atomenergieorganisation (online verfügbar).

⁴ Vgl. IEA (2024): Energy and AI. International Energy Agency. Paris, Frankreich (online verfügbar).

⁵ Aktuell wird die größte privatwirtschaftliche Aktivität in der Fusionsindustrie von Commonwealth Fusion (Massachusetts, USA) mit ca. zwei Milliarden US-Dollar Kapitalzuflüssen gehalten, vgl. Deborah Sophia und Timothy Gardner (2025): Trump Media bets on fusion energy with \$6 billion TAE deal. Reuters. 19. Dezember 2025 (online verfügbar), sowie Wimmers et al. (2025), a. a. O.

Die Forschung und Entwicklung im Bereich der Kernfusion war über Jahrzehnte hinweg nahezu vollständig durch öffentlich finanzierte Großforschungsprogramme geprägt. Seit den 1950er Jahren bildete die langfristige Perspektive einer energiewirtschaftlichen Nutzung der Kernfusion eine zentrale Legitimationsgrundlage für umfangreiche staatliche Investitionen. Das konstante Versprechen der Kernfusions-Community, dass es in wenigen Jahrzehnten kostengünstige und unendlich verfügbare Energie geben werde, ging sogar als sogenannte „Fusionskonstante“ in die Literatur ein.⁶ Die Kernfusion (in Verbindung mit der Kernspaltung) erhielt über viele Jahrzehnte die höchste Förderung innerhalb des Energiesektors, mit großem Abstand vor fossilen Energieträgern, Erneuerbaren oder der Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen (Abbildung 1).

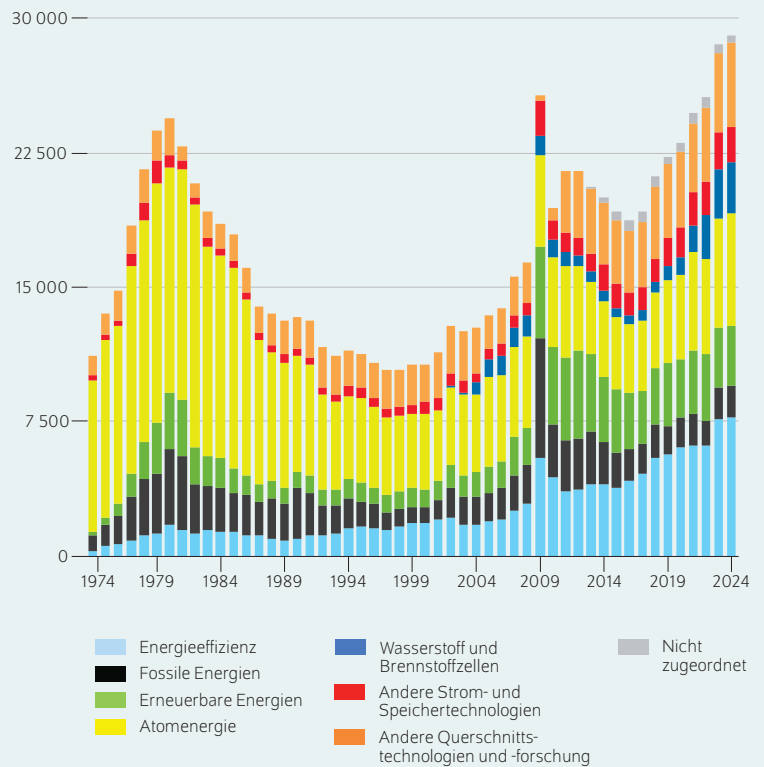
Auf europäischer Ebene wurden Großprojekte wie der Joint European Torus (JET) und insbesondere das im Bau befindliche ITER-Projekt über die Förderprogramme von EURATOM beziehungsweise EUROfusion finanziert. Allein für ITER sind im EU-Finanzrahmenprogramm 2021–2027 Mittel in Höhe von 5,6 Milliarden Euro vorgesehen.⁷ Auch in Deutschland werden Forschungsaktivitäten zur Kernfusion in den nächsten Jahren mit 2,7 Milliarden Euro umfassend finanziert. Dies betrifft insbesondere den Aufbau und den langfristigen Betrieb großer außeruniversitärer Forschungseinrichtungen, wie das Kernforschungszentrum in Karlsruhe (heute KIT) und das Forschungszentrum (FZ) Jülich sowie das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München. Hinzu kommen Sonderprogramme auf Bundesebene wie das „Förderprogramm Fusion 2040“ und der „Aktionsplan Fusion“ im Rahmen der Hightech Agenda Deutschland.⁸

Dynamischer Aufstieg privatwirtschaftlicher New Ventures ...

Während die Fusionsforschung- und Entwicklung sich lange auf öffentliche Forschungseinrichtungen konzentrierte, entfalten seit etwa 20 Jahren zunehmend privatwirtschaftlich organisierte Unternehmen Aktivitäten in diesem Bereich. Der Anstieg an Neugründungen ist auch dadurch gekennzeichnet, dass in den letzten Jahren deutlich mehr privates Kapital investiert wird. Die im privaten Sektor angelegten Mittel belaufen sich inzwischen auf über elf Milliarden

Abbildung 1

Forschungsförderung für Energie in OECD-Ländern 1974–2024, in Millionen US-Dollar (2022)



Anmerkung: Trotz der hohen Summen wird in offiziellen Statistiken keine Differenzierung zwischen Kernspaltung und Kernfusion vorgenommen. Für die Jahre 2014 bis 2024 ergeben Statistiken der Internationalen Energie Agentur (IEA) auf Basis von Meldungen der europäisch finanzierten Mitgliedsländer ein durchschnittliches Verhältnis der Forschungsausgaben von Kernfusion zu Kernspaltung von etwa fünf zu zwei.

Quelle: IEA Energy Technology RD&D Budgets Data Explorer.

© CC BY 4.0

Atomenergie einschließlich Kernfusion erhielt die mit Abstand höchsten Förderungen.

US-Dollar.⁹ Die Zahl privatwirtschaftlich gegründeter Unternehmungen in dem Sektor liegt inzwischen bei über 80. Der Trend dürfte sich in Zukunft noch verstärken. Die Mehrzahl der statistisch erfassten Unternehmen stammt aus den OECD-Ländern, mit Abstand die meisten aus den USA (Abbildung 2). Daneben ist die Szene auch im Vereinigten Königreich, Japan und Deutschland besonders aktiv. Die Situation in China ist weniger gut dokumentiert, jedoch erfolgen auch dort erhebliche Forschungsanstrengungen.¹⁰

⁶ Laut Fusionskonstante liegt der energiewirtschaftliche Durchbruch der Kernfusion immer 20 bis 40 Jahre in der Zukunft, vgl. Wimmers et al. (2025), a. a. O. Weitere prominente Beispiele sind Marchetti und Nakicenovic (1979), a. a. O. sowie Cesare Marchetti (1976): On Hydrogen and Energy Systems. International Journal of Hydrogen Energy 1 (1), 3–10 (online verfügbar) und in jüngerer Zeit IAEA (2024), a. a. O.

⁷ European Commission (2021): Fusion Energy and ITER (online verfügbar).

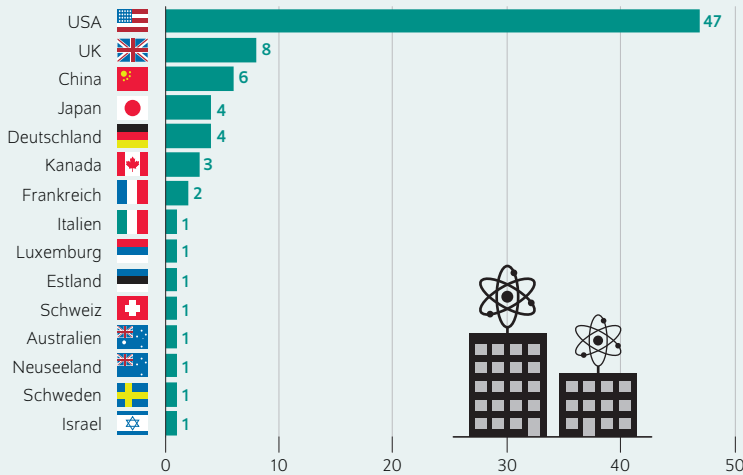
⁸ Das KIT hatte 2023 ein Gesamtbudget von 1,147 Milliarden Euro, davon 154 Millionen Euro für Kernfusion. Hinzu kommen das FZ Jülich mit einem Gesamtbudget von 973 Millionen Euro in 2024 sowie das IPP mit einem Budget von ca. 156 Millionen Euro im Jahr 2023. Das „Förderprogramm Fusion 2040“ sieht 370 Millionen Euro vor und der „Aktionsplan Fusion“ wurde für den Zeitraum 2025–2029 mit zwei Milliarden Euro geplant.

⁹ Diese Investitionen entsprechen einer durchschnittlichen geglätteten jährlichen Wachstumsrate (aus dem engl. Compound Annual Growth Rate CAGR) seit dem Jahr 2007 von ca. 20 Prozent. Aktualisierte Summe privater Investitionen seit dem Jahr 2000, inflationsbereinigt in USD basierend auf Björn Steigerwald, Johanna Krauß und Jens Weibezahn (2026): New Ventures in Fusion Energy: Analyzing a Dynamically Emerging Market. In Alexander Wimmers et al. (Hrsg.): Nuclear Power: Technology, Geopolitics, and Economics. Studies in Energy, Resource and Environmental Economics. Springer Nature Switzerland, 395–408 (online verfügbar). Aktuelle Daten können auf Plattformen für neue Unternehmungen wie zum Beispiel Crunchbase (online verfügbar) eingesehen werden.

¹⁰ Steigerwald, Krauß und Weibezahn (2026), a. a. O.

Abbildung 2

Regionale Verteilung privatwirtschaftlicher Unternehmen („New Ventures“) im Bereich Kernfusion
Anzahl der Unternehmen



Quelle: Eigene Recherche.

© CC BY 4.0

In über 80 Privatunternehmen wird an Themen der Kernfusion gearbeitet. USA stark dominant.

Die New Ventures unterscheiden sich dabei nicht nur organisatorisch von der öffentlichen Großforschung, sondern verfolgen auch andere Entwicklungsstrategien. Sie formulieren ambitioniertere Zeitpläne, setzen auf alternative Fusionskonzepte oder fokussieren sich gezielt auf einzelne technologische Komponenten, wie Magnete oder Laser. Dagegen führen sie keine Grundlagenforschung durch.

... aber auch überzogene Erwartungen an bevorstehende Fusionskraftwerke

Die zunehmenden privatwirtschaftlichen Aktivitäten im Fusionssektor haben in den vergangenen Jahren dazu geführt, dass sich die Erwartungen an die Kommerzialisierung der Fusionsenergie verändert und politische Reaktionen zugenommen haben. Es ist ein regelrechter Wettlauf um die erste kommerzielle Nutzung entstanden, der zu einem Hype geführt hat.¹¹

Angesichts der geringen Fortschritte in der Kernfusionsforschung in den vergangenen Jahrzehnten erscheinen diese Ankündigungen jedoch irrational, weshalb man hier

von einem „Kernfusions-Paradox“ sprechen kann.¹² Private Unternehmen mit relativ wenig eigener Forschung kündigen kommerzielle Stromerzeugung bereits um die 2030er an, wohingegen die Großforschungseinrichtungen erst in Richtung zweite Hälfte des Jahrhunderts planen. Nach Helion Energy, das die Stromversorgung ab 2028 plant, hat TAE, gemeinsam mit der TMTG, das zweit-ambitionierteste Ziel für eine kommerzielle Energiegewinnung aus Kernfusion angekündigt: 2031.

In diesem dynamischen Umfeld ist es sogar zwischen deutschen Bundesländern zu einem Wettbewerb um den Anspruch gekommen, das „erste Fusionskraftwerk“ innerhalb der eigenen Landesgrenzen zu realisieren – zunächst Bayern¹³, dann Hessen¹⁴ und inzwischen auch eine Fraktion in Nordrhein-Westfalen.¹⁵ Inzwischen haben sich die Länder Bayern, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, und Schleswig-Holstein zur „Fusionsallianz“ zusammengeschlossen, die ein Fusionskraftwerk in Deutschland ermöglichen soll.¹⁶ Die Bundesländer erhoffen sich durch den Aufbau dieser Allianz die Ansiedlung von Hightech-Unternehmen, den Ausbau vorhandener Forschungsstrukturen und dadurch die politische Symbolik eines „innovativen Standorts“.¹⁷

New Ventures sollen bei dieser Aufgabe gezielt durch Fachkräfteprogramme, Innovationshubs und geeignete Standorte unterstützt werden. Dadurch verschiebt sich die wahrgenommene Rolle von New Ventures von explorativen Technologieentwicklern hin zu vermeintlichen Realisierungsakteuren für ein forschungspolitisches Großprojekt.

Auch wenn der neue Hype eine energiewirtschaftliche Nutzung in naher Zukunft verspricht, sprechen eine Vielzahl ungelöster technisch-naturwissenschaftlicher Herausforderungen dagegen – unter anderem die Entwicklung hitzebeständiger Materialien, die zuverlässige Brennstoffher- und bereitstellung sowie die Energieabfuhr. Dies ist auch Konsens in der Literatur außerhalb der Kernforschungs-Community.¹⁸

¹¹ Vgl. Dan Drollette (2024): Introduction: Fusion, the next big thing—again? Bulletin of the Atomic Scientists 80, 343–344 (online verfügbar); sowie Jasha Bareis et al. (2023): Technology Hype: Dealing with Bold Expectations and Overpromising. TATuP – Zeitschrift Für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis 32 (3), 10–71 (online verfügbar).

¹² Vgl. dazu Arbeiten der Autor*innen zur paradoxen Rolle der Atomenergie in Energieszenarien, zum Beispiel in Christian von Hirschhausen et al. (2023): Energie- und Klimaszenarien gehen paradoxerweise von einem starken Ausbau der Atomenergie aus. DIW Wochenbericht Nr. 44 (online verfügbar).

¹³ Rebekka Jakob und Christoph Frey (2026): In Gundremmingen soll das erste Fusionskraftwerk der Welt entstehen. Augsburgs Allgemeine vom 15. Januar (online verfügbar).

¹⁴ Timothy Gardner (2025): Fusion energy startup Focused signs agreement with RWE, German state. Reuters.com vom 24. März (online verfügbar).

¹⁵ FDP Landtagsfraktion Nordrhein-Westfalen (2025): Das erste Fusionskraftwerk soll in Nordrhein-Westfalen stehen – Jetzt die Weichen für die Energieversorgung der Zukunft stellen (online verfügbar).

¹⁶ Ministerium für Wissenschaft, Kultur, Bundes- und Europaangelegenheiten Mecklenburg-Vorpommern (2025): MV ist Teil der neuen Fusionsallianz (online verfügbar).

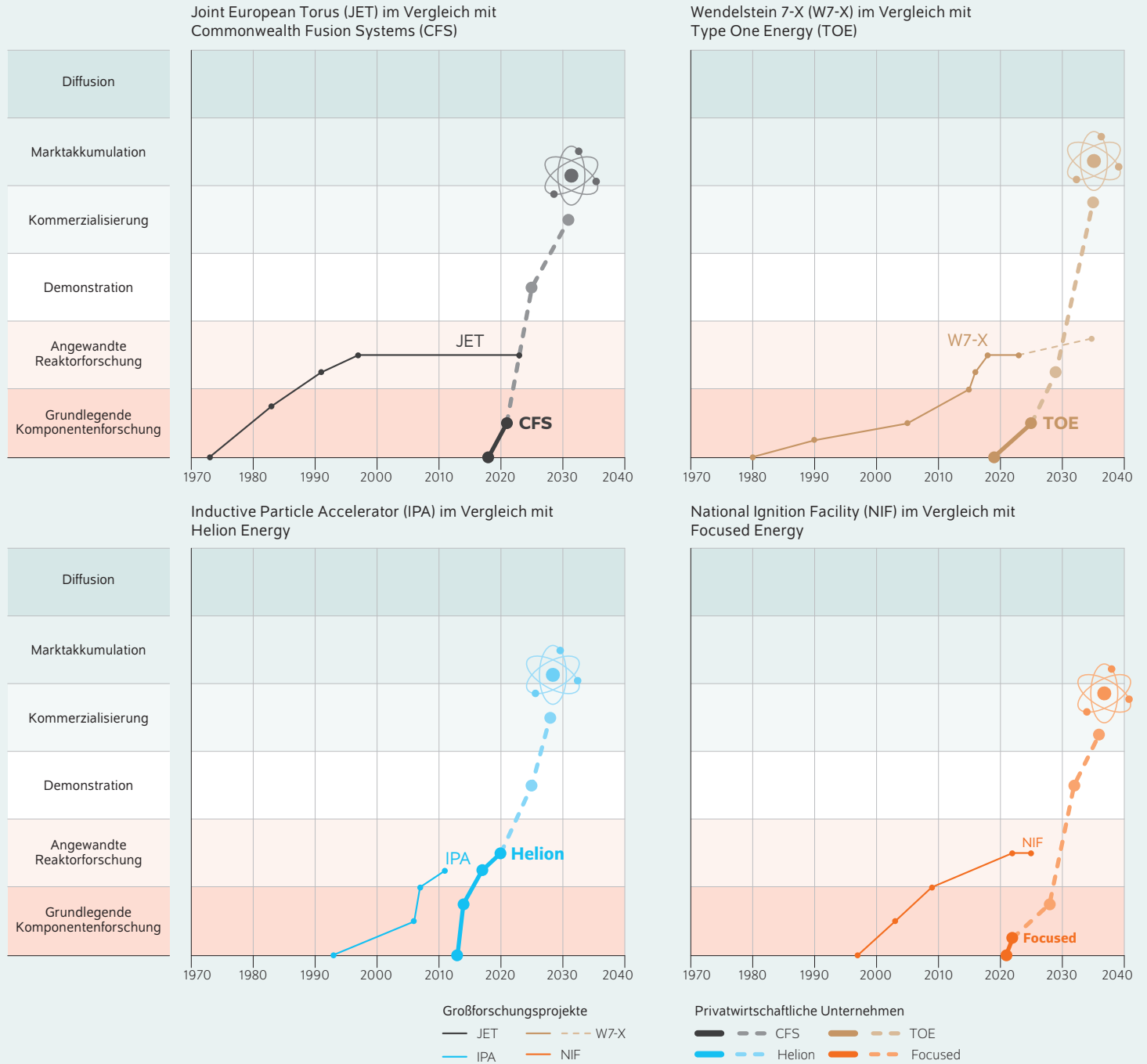
¹⁷ Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (2023): Bayern startet die Mission Kernfusion: Ministerpräsident Dr. Markus Söder und Wissenschaftsminister Markus Blume stellen Masterplan vor (online verfügbar).

¹⁸ Vgl. dazu ausführliche Erläuterungen in Wimmers et al. (2025), a. a. O., worin weiterführende Literatur referenziert ist.

Abbildung 3

Techno-ökonomische Einordnung ausgewählter privatwirtschaftlicher Unternehmen und Großforschungsprojekte

Verglichen wird der Fortschritt der Großforschungsprojekte mit den privatwirtschaftlichen Unternehmen



Quelle: Eigene Berechnungen.

© CC BY 4.0

Öffentliche Großforschungsprojekte verbleiben auf einer niedrigen Ebene der Forschung, während privatwirtschaftliche Unternehmen eine Kommerzialisierung der energiewirtschaftlichen Nutzung von Kernfusion versprechen.

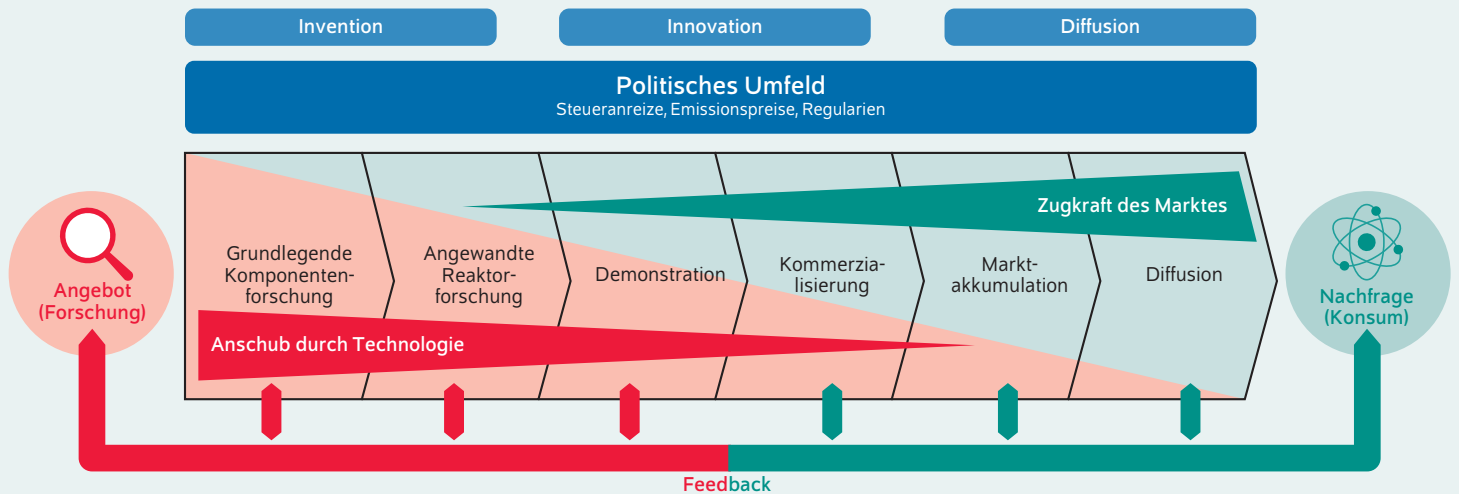
Kasten

Ein Bewertungsschema zum techno-ökonomischen Vergleich unterschiedlicher Kernfusionsunternehmen: das Fusions-Innovationsmaß

Abbildung 1

Innovationkette zwischen Grundlagenforschung und Markteinführung

Innovationstheorie auf der Basis von Schumpeter (1939): Invention, Innovation, Diffusion



Quelle: Michael Grubb, Jean-Charles Hourcade und Karsten Neuhoff (2014): Planetary Economics – Energy, Climate Change and the Three Domains of Sustainable Development. London, UK: Routledge, 325.

© CC BY 4.0

Grundlegende Komponentenforschung beinhaltet die Entwicklung und Erforschung von Reaktorkomponenten, während die angewandte Reaktorforschung den Betrieb eines Prototyps voraussetzt.

Um die techno-ökonomischen Entwicklungen unterschiedlicher Kernfusionsunternehmen mit vielen verschiedenen Teilsystemen zu vergleichen, wird auf einen Ansatz zurückgegriffen, der auf das aufgearbeitete Modell eines Innovationsprozesses zurückgreift.¹

¹ Joseph A. Schumpeter (1939): Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process. New York: McGraw-Hill, 2. Auflage; Michael Grubb, Jean-Charles Hourcade und Karsten Neuhoff (2014): Planetary Economics – Energy, Climate Change and the Three Domains of Sustainable Development. London, UK: Routledge.

Dieser beginnt mit Grundlagenforschung und -entwicklung und nimmt dann in Bezug auf eine Produktpalette konkretere Formen an (Abbildung 1).

Obwohl sich die Kernfusion, im Gegensatz zu anderen Produkten wie Mikrochips oder Raumfahrzeugen, bisher lediglich im Bereich von Forschung und Entwicklung (F&E) bewegt, ist das Schema für einen Vergleich unterschiedlicher Reaktorkonzepte geeignet. Hierfür wird zwischen sechs Prozessstufen entlang techno-

New Ventures fokussieren auf Komponenten

Mithilfe des Fusions-Innovationsmaßes (Kasten) können öffentliche Großforschungsprojekte mit privatwirtschaftlichen New Ventures verglichen und gemonitort werden.¹⁹ Zur Auswahl der Fallstudien wurden vier dominante Technologielinien der Fusionsforschung identifiziert: Magneteinschlussfusion, entweder in Form von Tokamak- oder Stellarator-Konzepten, Laserfusion sowie

¹⁹ Charlotte Dering, Alexander Wimmers und Christian von Hirschhausen (2026): Innovation Dynamics and Technological Maturity in the Fusion Sector: An Assessment of Fusion Projects. Zur Veröffentlichung angenommen bei Energy Strategy Reviews. Preprint (online verfügbar).

Feldumkehrkonfigurationen (Field Reversed Configuration, FRC).²⁰ Für jeden dieser Ansätze wurde jeweils ein öffentlich finanziertes und ein privatwirtschaftliches Projekt ausgewählt, um einen vergleichenden Überblick über den aktuellen Fusionssektor zu ermöglichen.²¹

²⁰ Für eine Einordnung der Technologien siehe Alexander Wimmers, Fanny Böse und Christian von Hirschhausen (2026): Nuclear Physics and Reactor Technologies (Fission and Fusion). In Wimmers et al. (Hrsg.), . a. a. O., 11–54 (online verfügbar).

²¹ Zur Methodik und Begründung der Fallstudienauswahl vgl. Dering et al. (2026), a. a. O.

ökonomischer Unterkriterien differenziert, die durch eine Kombination aus quantitativer und qualitativer Bewertung vergleichbar gemacht werden.

Das Innovationsmaß setzt sich dann aus der Kombination aus Forschungstypus, technischer Meilensteine beziehungsweise technologischer Readiness Level (TRL)² und einem Maß für die energetische Nutzung zusammen. Dabei werden die TRL von eins bis zwei der Grundlagenforschung, drei bis vier der angewandten Forschung und Entwicklung, fünf bis sechs der Demonstrations- und sieben bis acht der Kommerzialisierung. Das Maß für die energetische Nutzung berücksichtigt das in der Kernfusionsindustrie übliche Maß an Energiegewinnung über Energieverbrauch („energy gain“, genannt Q), das wiederum mit einem technischen Kriterium aus der Plasmaphysik, dem Tripelprodukt, verbunden ist.

Für die als vielversprechendste Technologielinie eingeschätzte Magnetfusion mit Tokamaks ist die Forschung an dem früheren Großprojekt, dem Joint European Torus (JET) seit 1973 und bis zu seiner Abschaltung 2024 auf dem Niveau der Grundlagenforschung verblieben. Zwar wurden 1983, 1991, 1997 und Ende 2023 Meilensteine verzeichnet, teilweise als Weltrekorde publiziert, jedoch das Ziel einer Einspeisung, das heißt einem Q-Faktor über eins, niemals erreicht (Abbildung 2). Die Kurve der privatwirtschaftlichen Ausgründung, Commonwealth Fusion Systems (CFS), sieht dagegen strukturell verschieden aus (Abbildung 2): Von relativ geringen TRL-Werten, reduziert auf Magnetentwicklung außerhalb eines Reaktors (2021) werden sehr anspruchsvolle Ziele formuliert. Geplant ist ein erster Experimentalreaktor zur Systemvalidierung (genannt SPARC, zuerst 2025, nun 2027), gefolgt von einem kommerziellen Reaktor, genannt ARC und dessen Stromerzeugung Anfang der 2030er Jahre.

² Die TRL wurden von der NASA zur Bewertung des technologischen Entwicklungsstands eingeführt und später in einer internationalen Norm (ISO 16290) standardisiert, welche hier herangezogen wird.

Bei den privatwirtschaftlichen Unternehmen wurden die in jeder Technologielinie nach finanziellen Kriterien²² führenden Unternehmen ausgewählt: Commonwealth Fusion Systems (CFS), Type One Energy (TOE), Focused Energy sowie Helion Energy. Die öffentlichen Großforschungsprojekte wurden nach der Höhe eines technischen Leistungsparameters²³ ausgewählt. Da der Schwerpunkt dieses

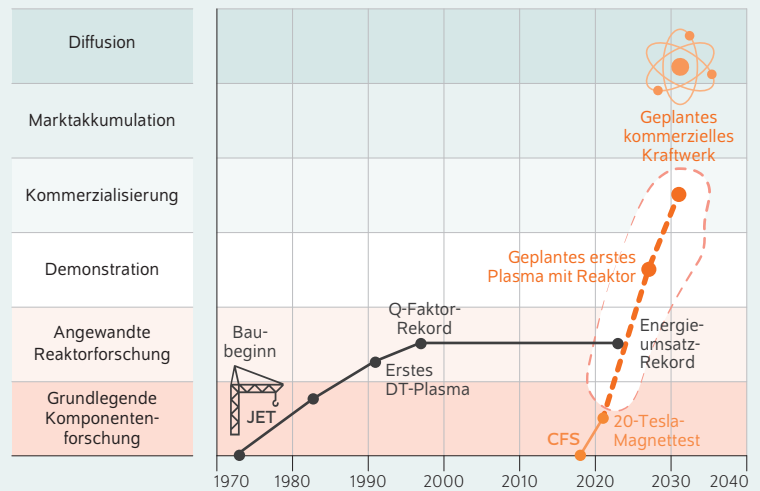
²² Verglichen wurden die kumulierten Summen aus Venture-Finanzierungsrunden und gewährten Fördermitteln.

²³ Verglichen wurde das Tripelprodukt, also das Produkt aus Temperatur, Druck und Einschusszeit des Plasmas. Es muss einen bestimmten Grenzwert überschreiten, damit eine selbsterhaltende Fusionszündung erfolgt, vgl. dazu Samuel E. Wurzel und Scott C. Hsu. (2022): Progress toward Fusion Energy Breakeven and Gain as Measured against the Lawson Criterion. Physics of Plasmas 29 (6), 062103 (online verfügbar).

Abbildung 2

Herleitung des techno-ökonomischen Innovationsmaßes für Fusionsunternehmen

Am Beispiel von Joint European Torus (JET) und Commonwealth Fusion Systems (CFS)



Quelle: Eigene Berechnungen.

© CC BY 4.0

Die stagnierende Weiterentwicklung der Grundlagenforschung (JET) steht im Kontrast zu den ambitionierten Plänen von CFS zur zeitnahen Kommerzialisierung.

Gleichsam als Signal für die Ernsthaftigkeit der Zeitschiene wurden Stromabnahmeverträge mit Google und Eni Energies (Italien) in Höhe von über einer Milliarde US-Dollar abgeschlossen.

Berichts auf den New Ventures liegt, wird als Bezugspunkt nur ein öffentliches im Detail dargestellt: Das erste europäische Großforschungsprojekt, der Joint European Torus (JET) (Kasten).

Die betrachteten Unternehmen verfolgen Entwicklungsstrategien, die sich deutlich von denjenigen der öffentlichen Großforschung unterscheiden (Abbildung 3). Charakteristisch für die Unternehmen ist, dass sie entweder auf alternative Fusionskonzepte und Reaktorkonfigurationen jenseits der etablierten laser- und magnetbasierten Ansätze setzen oder als Spin-offs aus dem universitären Kontext direkt auf den wissenschaftlichen Ergebnissen der sogenannten

„Big Science“ aufbauen.²⁴ Damit greifen sie auf ein über Jahrzehnte hinweg aufgebautes, öffentlich finanziertes Wissens- und Technologiefundament zurück. Auf dieser Basis formulieren die New Ventures das Ziel, die bisher erreichten Leistungskennzahlen, beispielsweise der Magnetfeldstärke und Laserschussrepetition, nicht nur zu reproduzieren, sondern um mehrere Größenordnungen zu übertreffen.

Diese Beschleunigungslogik stellt einen Bruch mit den traditionellen, sequenziellen Entwicklungsmodellen der öffentlich finanzierten Fusionsforschung dar. Gleichzeitig birgt sie technologische und ökonomische Risiken, da zentrale Annahmen zur Skalierbarkeit, Systemintegration und Langzeitstabilität vielfach noch nicht empirisch validiert sind. Parallel zur Fusionsforschung entsteht eine Vielzahl von Produkten, die als Einnahmequellen dienen könnten. Dazu zählen technologische Subsysteme, Komponenten und Teilinfrastrukturen. Während das komplexe Gesamtsystem eines Fusionsreaktors häufig noch auf einer überwiegend konzeptionellen Ebene verbleibt, werden einzelne Komponenten – etwa Magnettechnologien, Lasersysteme oder optische Bauteile – häufig entkoppelt voneinander entwickelt und weisen bereits fortgeschrittene Entwicklungsstadien auf.²⁵

Besonders Magnet- und Lasertechnologien sind von hoher Relevanz, da sie den technologischen Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von New Ventures bilden. Diese Technologien haben bereits heute industrielle Anwendungspotenziale und erreichen im Vergleich zum integrierten Reaktorsystem höhere technologische Reifegrade. Damit einher geht jedoch auch eine Verschiebung der Forschungsschwerpunkte, weg von der ursprünglich angestrebten energetischen Nutzung eines Kraftwerks hin zu kurzfristigeren und von der Marktnachfrage abhängigen kommerziellen Dienstleistungen, die zeitnah auch ohne staatliche Förderung auskommen könnten.

Fallbeispiel Focused Energy: Strategische Verschiebung von energetischer Nutzung hin zu Laserentwicklung

Die Verschiebung von der energetischen Nutzung hin zu kommerzialisierbaren Vorprodukten und Komponenten lässt sich zum Beispiel am deutsch-amerikanischen New Venture Focused Energy beobachten.²⁶ Das Unternehmen verfolgt einen Ansatz der Laserfusion. Das Konzept knüpft unmittelbar an die wissenschaftlichen Grundlagen der National Ignition Facility (NIF) an, zielt jedoch auf eine

alternative Zündungsstrategie, die im Erfolgsfall höhere Energiegewinne und bessere Skalierbarkeit verspricht. Technologisch erfordert dieser Ansatz den Einsatz extrem leistungsfähiger Lasersysteme, die Pulse mit hoher zeitlicher Präzision und Wiederholgenauigkeit erzeugen. Diese Lasersysteme befinden sich heute jedoch noch in einem frühen Entwicklungsstadium.²⁷

Seit 2022 hat Focused Energy eine eigene experimentelle Laborinfrastruktur in Darmstadt aufgebaut. Der Schwerpunkt liegt auf der Reduktion fundamentaler technischer Unsicherheiten.²⁸ Mittelfristig plante das Unternehmen zunächst eine Abfolge verschiedener Testanlagen mit dem Ziel der Energiegewinnung. Diese Roadmap wird inzwischen jedoch nicht mehr in ihrer ursprünglichen Form verfolgt. Insbesondere der explizite Demonstrationsreaktor als integrierter Zwischenschritt wurde aus der Planung gestrichen. Stattdessen setzt Focused Energy nun auf den Aufbau einer Reihe spezialisierter Entwicklungsinfrastrukturen, die jeweils einzelne technologische Kernkomponenten adressieren. Bei dieser neuen Priorisierung wird der Fokus auf industrielle Lasersysteme als eigenständiges Technologie- und Geschäftssegment deutlich. Gleichzeitig werden einzelne Reaktorkomponenten nicht in einem Gesamtsystem, sondern in modularen Systemen entwickelt. Statt des unmittelbaren Nachweises eines geschlossenen Fusionsenergiesystems rücken also kurzfristig verwertbare Anwendungen in den Vordergrund. So plant Focused Energy am Standort des ehemaligen Kernkraftwerks Biblis den Aufbau einer Hochleistungslaseranlage, die unter anderem das Durchleuchten von radioaktiven Abfall- und Entsorgungsfässern zur zerstörungsfreien Inhaltsbestimmung ermöglichen soll. Darüber hinaus sind mobile Hochpräzisions-Prüfverfahren vorgesehen, die außerhalb des eigentlichen Fusionskontexts einsetzbar sind, beispielsweise in Brückenprüfverfahren.²⁹ Im Gegensatz zu Focused Energy, das sich technologisch in der ersten Phase der Innovationskette befindet, sind Aktivitäten des verglichenen Großforschungsprojekts NIF in die zweite Stufe, der angewandten Forschung und Entwicklung (F&E), einzuordnen (Abbildung 3).

Commonwealth Fusion Systems: Fokus auf Magnetentwicklung

CFS wurde 2018 als Spin-off aus dem Plasma Science and Fusion Center des Massachusetts Institute of Technology (MIT) gegründet. Das Unternehmen verfolgt einen kompakten Ansatz der Magnetfusion, bei dem technologische Fortschritte nicht primär durch eine Vergrößerung der Anlage, sondern durch eine Steigerung der Magnetfeldstärke erzielt werden sollen. Ziel ist die Realisierung eines Demonstrationsreaktors in den frühen 2030er Jahren. Analog zu TOE liegt der technologische Kern von CFS jedoch

²⁴ Vgl. zum Thema Big Science Richard Rhodes (1995): *Dark Sun: The Making of the Hydrogen Bomb*. New York, NY: Touchstone; sowie Alvin Martin Weinberg (1994): *The First Nuclear Era: The Life and Times of a Technological Fixer*. New York: AIP Press (Kapitel 13: "Moonlight Philosophy of Scientific Administration").

²⁵ Stefania Böhnlein, Fanny Böse und Alexander Wimmers (2026): *The System Good Nuclear Fusion—Organizational Approaches and Two Case Studies on Magnetic Confinement Fusion*. In: Wimmers et al. (Hrsg.), a. a. O., 99–133 (online verfügbar); sowie William Nuttal et al. (2025): *Commercializing Fusion Energy – How Small Businesses Are Transforming Big Science*. Golden, CO: Whittles Publishing.

²⁶ Das Unternehmen wurde 2021 als Spin-off der Technischen Universität Darmstadt und von National Energetics (Austin, USA) gegründet, vgl. Webseite von Focused Energy (online verfügbar).

²⁷ Vgl. Todd Ditmire et al. (2023): *Focused Energy, A New Approach Towards Inertial Fusion Energy*. *Journal of Fusion Energy* 42 (2), 27 (online verfügbar).

²⁸ Focused Energy (2022): *Focused Energy Celebrates One Year of Achieving Key Fusion Energy Milestones* (online verfügbar).

²⁹ Timothy Gardner (2025), a. a. O.

in der Entwicklung und Anwendung von Reaktorkomponenten, insbesondere von Hochtemperatur-Supraleitern (HTS). Diese sollen Magnetfeldstärken von bis zu 20 Tesla ermöglichen. Sie stellen damit gegenüber dem bislang erfolgreichsten europäischen Tokamak, dem Joint European Torus (JET), eine Steigerung um etwa den Faktor fünf bis sechs dar.³¹ Die Erfolge des JET sind der Grundlagenforschung zuzuordnen (Kasten). CFS konnte entsprechende Feldstärken bereits in isolierten Magnettests nachweisen.³² Die Integration dieser Hochfeldmagnete in ein vollständiges Reaktorsystem stellt somit weiterhin eine zentrale Herausforderung dar.

Unabhängig vom eigentlichen Reaktorziel besitzt die entwickelte Magnettechnologie ein erhebliches Potenzial zur kurzfristigen kommerziellen Anwendung. In aktuellen Studien wird hervorgehoben, dass HTS-Magnete im Bereich von etwa 15 bis 25 Tesla einen eigenständigen Technologie-sprung darstellen, der unabhängig vom Bau eines Fusionsreaktors in zahlreichen Anwendungen, etwa in der Kernspinresonanzspektroskopie, der Materialforschung oder der Grundlagenphysik, nutzbar ist.³³

Type One Energy spezialisiert sich ebenfalls auf Magnetentwicklung

TOE verfolgt im Gegensatz zu CFS die Entwicklung eines alternativen Magnetkonzepts (genannt „Stellarator“). Beide Firmen kooperieren eng in der Magnetentwicklung. Technologisch baut TOE unmittelbar auf den Ergebnissen jahrzehntelanger öffentlicher Stellarator-Forschung auf, insbesondere auf den Erkenntnissen aus dem Betrieb des Wendelstein 7-X des Instituts für Plasmaphysik (IPP) in Greifswald, dessen Aktivitäten in die Stufe der angewandten Forschung und Entwicklung einzuordnen sind (Abbildung 3). Die hierfür entwickelten Design-, Simulations- und Optimierungswerkzeuge, zunehmend auch KI-basiert, können eigenständige Produkte darstellen, die bereits unabhängig vom Fusionskontext in anderen Bereichen, wie etwa bei Beschleunigungsmagneten, Präzisionsantrieben oder elektromagnetischen Spezialanlagen, Anwendung finden können. Darüber hinaus können relevante Nischenprodukte in der Präzisionsfertigung und Systemintegration entstehen. Stellaratoren erfordern enge geometrische Toleranzen im Submillimeterbereich.³⁴ Die dabei entwickelten Fertigungs- und Montageverfahren besitzen Spillover-Potenziale für andere Industrien

mit vergleichbaren Anforderungen, etwa in der Luft- und Raumfahrt oder der Halbleiterindustrie.

Helion Energy: Vorreiter bei energiewirtschaftlichen Ambitionen

Helion Energy, das New Venture mit den ambitioniertesten Kommerzialisierungszielen (2028), stellt insofern eine Ausnahme dar, als dass es sich derzeit auf die Energiegewinnung fokussiert. Helion Energy weicht in seiner organisatorischen und technologischen Ausrichtung von dem beobachteten Muster der anderen New Ventures insofern ab, als dass es seit seiner Gründung im Jahr 2013 mehrere Prototypen basierend auf dem FRC-Konzept entwickelte, die einen schrittweisen Entwicklungsprozess eines Fusionskraftwerks ermöglichen sollen.³⁵ Dieser Ansatz folgt einem vergleichsweise traditionellen, linearen Pfad der technologischen Entwicklung, bei dem aufeinanderfolgende Prototypen primär der Annäherung an ein funktionsfähiges Kraftwerksdesign dienen. Diese Ausrichtung zeigt sich besonders deutlich in den ambitionierten Zeit- und Leistungszielen des Unternehmens. Helion plante, mit dem Polaris-Reaktor bereits im Jahr 2024 eine Netto-Stromerzeugung zu demonstrieren.³⁶ Bis Februar 2026 liegen jedoch keine öffentlich zugänglichen Ergebnisse vor, die eine erfolgreiche Netto-Stromerzeugung bestätigen würden. Ungeachtet dessen kündigte Helion Energy an, bis 2028 ein erstes kommerzielles Fusionskraftwerk in Betrieb nehmen zu wollen und im Rahmen eines Stromabnahmevertrags (PPA) Energie an Microsoft zu liefern.³⁷ Systematische Kommerzialisierungsvorhaben von Komponenten wurden bislang nicht kommuniziert. Der technologische Reifegrad auf der Stufe der angewandten Forschung und Entwicklung ist mit dem öffentlichen Vergleichsprojekt, dem „Inductive Particle Accelerator“ gleich auf (Abbildung 3).

Fazit: Mehr auf die innovationsdynamik privater Akteure setzen

Bei der Forschung zur Kernfusion handelt es sich nicht mehr vorrangig um ein energiewirtschaftliches Thema, sondern um Forschungs- und Innovationspolitik. Aufgrund einer Vielzahl ungelöster naturwissenschaftlicher und ingenieurtechnischer Fragen bleibt die kommerzielle energetische Nutzung von Kernfusion, wie schon seit den 1950er Jahren, „einige Jahrzehnte“ entfernt und steht auch nicht im Mittelpunkt der meisten privatwirtschaftlichen Unternehmen. Angesichts dieser Strukturverschiebungen und der offensichtlichen Schwierigkeiten der öffentlichen Grundlagenforschung muss die langfristige Forschungsstruktur zur Kernfusion in Frage gestellt und konservativ-vorsichtig ausgerichtet werden. Der Fusionssektor entwickelt sich zunehmend zu einem innovationsgetriebenen Technologiefeld, dessen wirtschaftliche Attraktivität nicht mehr an der

³⁰ Der Begriff Tokamak ist ein Akronym aus der russischen Bezeichnung für eine toroidale Kammer mit Magnetspulen, was den torusförmigen Aufbau dieser Reaktoren beschreibt. Tokamaks gelten als am weitesten entwickeltes Fusionsreaktor-konzept, vgl. Wimmers et al. (2025), a. a. O.

³¹ Pablo Rodriguez-Fernandez et al. (2022): Overview of the SPARC Physics Basis towards the Exploration of Burning-Plasma Regimes in High-Field, Compact Tokamaks. Nuclear Fusion 62 (4), 042003 (online verfügbar).

³² Commonwealth Fusion Systems (2021): A record of progress and milestones of the HTS Magnet Demonstration through September 8th 2021 (online verfügbar).

³³ Tim A. Coombs et al. (2024): High-Temperature Superconductors and Their Large-Scale Applications. Nature Reviews Electrical Engineering 1 (12), 788–801 (online verfügbar).

³⁴ Hans Stephan Bosch et al. (2013): Technical Challenges in the Construction of Steady-State Stellarator Wendelstein 7-X. Nuclear Fusion 53, 126001 (online verfügbar).

³⁵ Vgl. auf der Webseite von Helion Energy (online verfügbar).

³⁶ Vgl. auf der Webseite von Helion Energy (online verfügbar).

³⁷ Justine Calma (2023): Microsoft just made a huge, far-from-certain bet on nuclear fusion. The Verge (online verfügbar).

Realisierung eines marktfähigen Fusionskraftwerks hängt, sondern auf die Vermarktung von Nischenprodukten und Komponenten in anderen Sektoren fokussiert ist.

Vor diesem Hintergrund sollte sich die deutsche Forschungspolitik nicht am Ziel des „ersten Fusionskraftwerks der Welt“ orientieren. Stattdessen erscheint es sinnvoll, auf die Innovationsdynamik privater Akteure zu setzen und die bestehenden Strukturen der öffentlich finanzierten Großforschung einer grundlegenden Evaluierung zu unterziehen. Angesichts rückläufiger öffentlicher Fördermittel und anderer Technologien mit dringenderer Relevanz für die Energiewende erscheint die Fortschreibung des Status quo der Förderstruktur nicht angebracht. Vielmehr sollte der Fokus verstärkt auf die kommerzielle Nutzung von Teilkomponenten gelegt werden. Diese Produkte und anderweitig nutzbare Komponenten, etwa in den Bereichen Magnet-, Laser- oder

Materialtechnologien, weisen bereits heute höhere technologische Reifegrade sowie klar identifizierbare industrielle Anwendungsfelder auf. Die öffentliche Förderung dieser Bereiche sollte unabhängig von energetischen Nutzungspotenzialen erfolgen.

Die Diskrepanz zwischen öffentlicher Grundlagenforschung und New Ventures dürfte in Zukunft weiter zunehmen. Der hier entwickelte Ansatz erlaubt eine Einschätzung über die unterschiedlichen Dynamiken in beiden Marktsegmenten. Angesichts der umfangreichen Forschungsmittel, die für die Kernfusion geplant sind, ist eine objektive Analyse von Chancen und Risiken dieser Finanzierung nützlich, was bisher (mit sehr wenigen Ausnahmen) im Diskurs fehlt. Ein jährliches „Fusion Monitoring“ wäre ein sinnvoller erster Schritt in diese Richtung.

Charlotte Dering ist Projektmitarbeiterin an der TU Berlin | cd@wip.tu-berlin.de

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

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

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

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

Björn Steigerwald ist Projektmitarbeiter an der TU Berlin | bs@wip.tu-berlin.de

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

JEL: L51, L95, Q48

Keywords: nuclear fusion, economics, R&D, laser, magnets

© Der Artikel ist gemäß der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0 nutzbar: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

This report is also available in an English version as DIW Weekly Report <7+8>/2026:

www.diw.de/diw_weekly





DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.
Anton-Wilhelm-Amo-Straße 58, 10117 Berlin

www.diw.de

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

93. Jahrgang 17. Februar 2026

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. Sabine Zinn

Chefredaktion

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

Lektorat

Leon Stolle

Redaktion

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