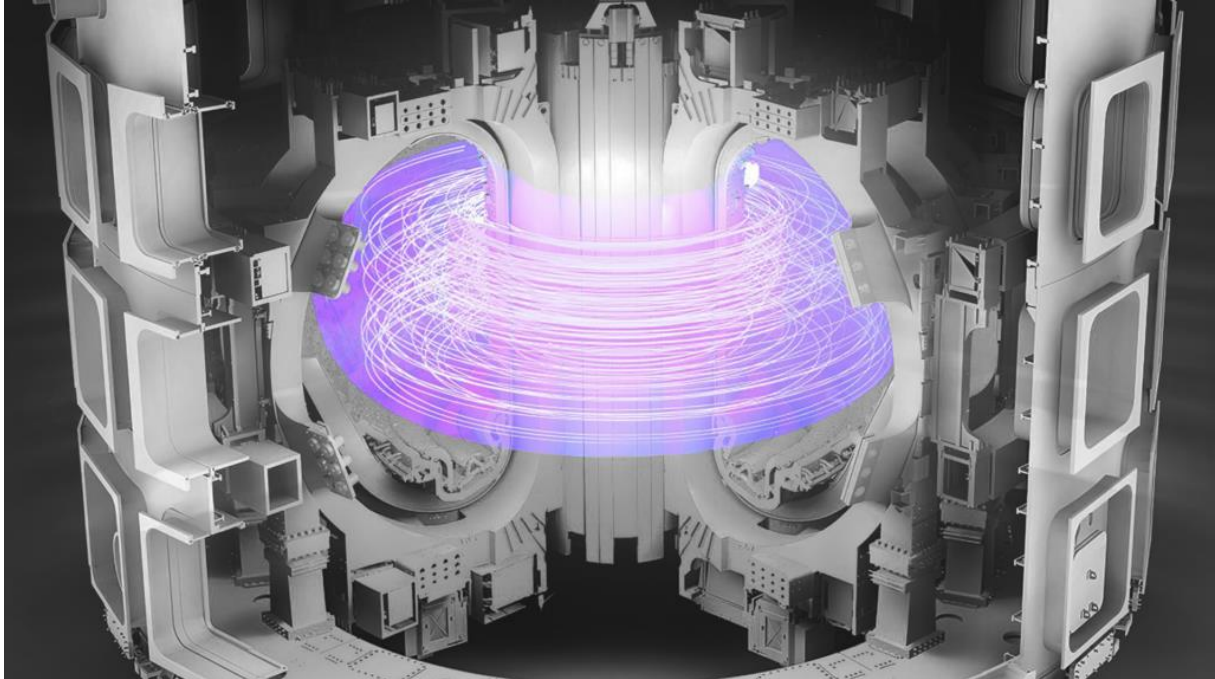


[What's fueling the commercial fusion hype?](#)

Bulletin of the Atomic Scientists, February 22, 2024

By [Victor Gilinsky](#) | February 20, 2024



The ITER tokamak will have the world's largest plasma volume of 840 m³. Despite billions of dollars invested over decades, controlled fusion has yet to be demonstrated experimentally and fusion power is nowhere near commercial application. (Credit: ITER International Organization, modified by F. Diaz-Maurin)

Recent White House and Energy Department pronouncements on speeding up the “commercialization” of fusion energy are so over the top as to make you wonder about the scientific competence in the upper reaches of the government.

In April 2022, the White House launched what it called a “[bold decadal vision](#)” for a 10-year program to “accelerate the realization of commercial fusion energy.” The “bold” part is the proposal, in questionable [analogy](#) with high-speed computing, to do in parallel all the development steps that are typically done sequentially to bring a new technology to the market. According to the White House, this parallel processing would include: technology development, preparing a regulatory system (including rules for fusion reactor exports), securing the supply chain, identifying high-value markets, training a diverse workforce, and gaining public support, all “to support the rapid scale-up of fusion energy facilities.”

The special attraction of fusion is of course that it offers a potential source of abundant carbon-free energy that does not generate radioactive nuclear waste. But just because it would be nice if controlled fusion could work

doesn't mean it's on the verge of doing so. The hard truth is that scientists and engineers don't even know yet whether controlled fusion can be achieved to make useful work, at least anywhere outside the sun (and other stars, of course).

A historical perspective is useful to understand where the hype about commercial fusion is coming from.

We have known about fusion powering the sun since Hans Bethe [explained it](#) in 1939. This was also almost exactly when Otto Hahn and Fritz Strassmann discovered uranium fission (and Lise Meitner and her nephew Otto Frisch [explained it](#)). Then in 1942, Enrico Fermi and a small number of co-workers [demonstrated](#) a controlled fission chain reaction in a squash court at the University of Chicago. Fermi spent about \$50 million in today's dollars on building his 20-foot-tall atomic pile.

More than 80 years later, the corresponding control-of-fusion principle has yet to be demonstrated experimentally and the US government already made \$35 billion in cumulative fusion [expenditure](#)—with probably a comparable investment abroad—without yet knowing what works.

The White House's approach to attain success appears based on the idea that enthusiasm and coordination of all diverse stakeholders backed up with enough money can solve a so-far-unsolved scientific problem.

Administration spokespersons mention projects that were successfully accelerated in this way, like the 1969 trip to the moon. Sure, this was indeed a hugely successful monumental project at the time, but no one involved doubted it was possible to do. All the necessary component technologies, like rockets and communications, were in hand on a smaller scale. In the case of fusion power reactors, [no one is yet sure](#) what they would look like, let alone if they will turn out to be possible and practicable.

The main research track today in fusion energy is “magnetic confinement”—configuring magnetic fields to keep in place a plasma of thermonuclear fuel 10 times hotter than the sun's core within a donut-shaped magnetic “bottle.” Dozens of such machines—known as “tokamaks,” a Russian-language transliteration for toroidal chamber with axial magnetic field—have been built around the world since the 1950s, but none got close to demonstrating a net energy gain. Controlled fusion, it turns out, is an extremely difficult problem. To solve it, fusion experts have concluded the key is to have a large enough facility.

The world's largest experimental fusion machine—[ITER](#) (initially the International Thermonuclear Experimental Reactor, also meaning “the way” in Latin)—is nearing completion in France. It is a highly complex scientific and engineering project. ITER [publicity describes](#) the building housing the

reactor as “slightly taller than the Arc de Triomphe in Paris,” and that the building foundation will support some 400,000 metric tons—“more than the weight of New York’s Empire State Building.” Started in 2006, ITER is a 35-country megaproject that was supposed to be completed in 2016 at a cost of \$6 billion. The reactor is currently projected to start up in 2025, but even that appears to be an optimistic date, as is the total budget estimate of about \$22 billion.

The initial design objective is to produce a fusion plasma with thermal power 10 times greater than the injected thermal power. Even if successful, this net power output would not yet be the fusion equivalent of Fermi’s 1942 experimental nuclear pile, which proved the controlled fission concept. Nor would ITER’s more ambitious subsequent goal of maintaining this plasma for eight minutes. To get to proof of principle would likely take another step or an upgrading of ITER.

The Lawrence Livermore National Laboratory’s weapons laboratory pursued another approach of “[internal confinement](#),” to create a fusion reaction at its National Ignition Facility (NIF) and claimed it could have power application. NIF uses light pulses from a concentric battery of powerful lasers to heat a small target containing a tiny bead of frozen thermonuclear fuel. This is, in effect, a miniature (secondary) thermonuclear bomb, with the lasers playing the role of the triggering fission reactions (primary). The light heats the container material sufficiently to ablate and swiftly compress the fuel to the point of detonation, which lasts some billionths of a second. The experiment was directed primarily at developing a useful diagnostic tool for [weapons](#) research. In power application, you would have to repeat the explosions at an extraordinarily fast rate, which is a tall order.

Despite its lack of promise for civilian use, the Energy Department and the White House have used the Livermore controlled fusion experiment results to boost the effort to harness fusion power for civilian purposes. In December 2022, Energy Secretary Jennifer Granholm [announced](#) with great fanfare that a laser pulse ignited a fusion reaction that produced more energy than was supplied by the light beams: “This milestone moves us one significant step closer to the possibility of zero carbon abundant energy powering our society ... a huge step forward to the president’s goal of achieving commercial fusion within a decade.” (Update: In less than nine years from now.)

In her energy balance, however, the energy secretary forgot to account for the energy it took to create the laser beams. This energy input, when added, drastically [reverses](#) her conclusion, with the fusion output then

amounting to only about one percent of the input. This is not disqualifying from a scientific point of view, but it obviously is in a power generating application. Still, this hasn't stopped the Energy Department from including Livermore's fusion ignition experiment in a promotional video on the "7 moments that changed nuclear energy history." The clip claims "[t]he Lab was the first to produce more energy from a fusion reaction than was used to start the process," again forgetting the energy it took to power the lasers.

Most people in the field still pin their hopes on the international ITER project for advancing the possibility of fusion power. One thing we know already is that, if a magnetic confinement fusion power reactor ever works, it will be huge and expensive. This contrasts with current thinking in energy policy that inclines to a more decentralized electrical system powered by more affordable and flexible generators. With fusion power being so difficult to demonstrate—even in principle—it will likely suffer a much longer time between proof of principle, if we ever get there, and significant commercial application. So, forget the Energy Department's parallel processing path promise.

A recent White House announcement on fusion had a link to an Atlantic Council [discussion](#) on fusion. In it, former Energy Secretary Ernie Moniz, a physicist, said he drew confidence about the prospects of fusion power from knowing that \$5 billion of private capital has been invested. This showed him that "somebody must think this has got a good chance of working." At the same time, if true, the funders who committed the \$5 billion were surely drawing confidence from the fusion physicists' enthusiastic claims. This circular reasoning does make one wonder.

It's not surprising that the fusion research community at the Energy Department is gushing with enthusiasm for commercialization of fusion and the near-term prospect of building pilot plants and revolutionizing electricity generation. But as with any big-bet investment, some perspective about the possibilities and risks involved is in order. Where is the US government agency that will provide such a perspective?

DeepL-Uebersetzung auf Deutsch

Was ist der Grund für den kommerziellen Hype um die Fusion?

Die jüngsten Verlautbarungen des Weißen Hauses und des Energieministeriums zur Beschleunigung der "Kommerzialisierung" der Fusionsenergie sind so übertrieben, dass man sich über die wissenschaftliche Kompetenz in den oberen Etagen der Regierung wundern muss.

Im April 2022 stellte das Weiße Haus eine "kühne Dekaden-Vision" für ein 10-Jahres-Programm vor, um "die Realisierung der kommerziellen Fusionsenergie zu beschleunigen". Der "kühne" Teil ist der Vorschlag, in fragwürdiger Analogie zum High-Speed-Computing alle Entwicklungsschritte, die normalerweise nacheinander erfolgen, um eine neue Technologie auf den Markt zu bringen, parallel durchzuführen. Dem Weißen Haus zufolge würde diese parallele Bearbeitung Folgendes umfassen: Technologieentwicklung, Vorbereitung eines Regulierungssystems (einschließlich Regeln für den Export von Fusionsreaktoren), Sicherung der Lieferkette, Ermittlung hochwertiger Märkte, Ausbildung einer Vielzahl von Arbeitskräften und Gewinnung öffentlicher Unterstützung, alles "zur Unterstützung des schnellen Ausbaus von Fusionsenergieanlagen".

Der besondere Reiz der Kernfusion liegt natürlich darin, dass sie eine potenzielle Quelle für kohlenstofffreie Energie im Überfluss bietet, die keinen radioaktiven Atommüll erzeugt. Aber nur weil es schön wäre, wenn die kontrollierte Fusion funktionieren würde, heißt das noch lange nicht, dass sie kurz davor steht. Die harte Wahrheit ist, dass Wissenschaftler und Ingenieure noch nicht einmal wissen, ob die kontrollierte Kernfusion so weit entwickelt ist, dass sie sinnvoll eingesetzt werden kann, zumindest außerhalb der Sonne (und anderer Sterne natürlich).

Um zu verstehen, woher der Hype um die kommerzielle Kernfusion kommt, ist ein historischer Blick nützlich.

Wir wissen von der Kernfusion, die die Sonne antreibt, seit Hans Bethe sie 1939 erklärt hat. Das war auch fast genau der Zeitpunkt, als Otto Hahn und Fritz Strassmann die Uranspaltung entdeckten (und Lise Meitner und ihr Neffe Otto Frisch sie erklärten). Im Jahr 1942 demonstrierten Enrico Fermi und einige wenige Mitarbeiter eine kontrollierte Spaltungskettenreaktion in einem Squash-Court an der Universität von Chicago. Fermi gab rund 50 Millionen Dollar (in heutigen Dollar) für den Bau seines 20 Fuß hohen Atommeilers aus.

Mehr als 80 Jahre später muss das entsprechende Prinzip der kontrollierten Kernfusion noch experimentell nachgewiesen werden, und die US-Regierung hat bereits 35 Milliarden Dollar für die Kernfusion ausgegeben - mit wahrscheinlich vergleichbaren Investitionen im Ausland -, ohne zu wissen, was funktioniert.

Der Ansatz des Weißen Hauses zur Erzielung von Erfolgen scheint auf der Vorstellung zu beruhen, dass Enthusiasmus und Koordination aller verschiedenen Interessengruppen, unterstützt durch genügend Geld, ein bisher ungelöstes wissenschaftliches Problem lösen können. Sprecher der Regierung erwähnen Projekte, die auf diese Weise erfolgreich beschleunigt wurden, wie die Reise zum Mond 1969. Sicherlich war dies damals ein äußerst erfolgreiches Monumentalprojekt, aber niemand der Beteiligten zweifelte daran, dass es möglich war. Alle notwendigen Komponenten wie Raketen und Kommunikationsmittel waren in kleinerem Maßstab vorhanden. Bei den Fusionsreaktoren weiß noch niemand, wie sie aussehen würden, geschweige denn, ob sie sich als möglich und praktikabel erweisen werden. Die wichtigste Forschungsrichtung im Bereich der Fusionsenergie ist heute der "magnetische Einschluss" - die Konfiguration von Magnetfeldern, um ein Plasma aus thermonuklearem Brennstoff, das zehnmals heißer ist als der Sonnenkern, in einer donutförmigen magnetischen "Flasche" zu halten. Dutzende solcher Maschinen - bekannt als "Tokamaks", eine russische Umschreibung für toroidale Kammern mit

axialem Magnetfeld - wurden seit den 1950er Jahren auf der ganzen Welt gebaut, aber keine konnte auch nur annähernd einen Nettoenergiegewinn nachweisen. Wie sich herausstellte, ist die kontrollierte Fusion ein äußerst schwieriges Problem. Fusionsexperten sind zu dem Schluss gekommen, dass der Schlüssel zur Lösung dieses Problems in einer ausreichend großen Anlage liegt.

Die größte experimentelle Fusionsanlage der Welt -ITER (ursprünglich International Thermonuclear Experimental Reactor, was auf Lateinisch "der Weg" bedeutet) - steht in Frankreich kurz vor der Fertigstellung. Es handelt sich um ein hochkomplexes wissenschaftliches und technisches Projekt. In der ITER-Werbung wird das Gebäude, in dem der Reaktor untergebracht ist, als "etwas höher als der Arc de Triomphe in Paris" beschrieben, und das Gebäudfundament wird etwa 400.000 Tonnen tragen - "mehr als das Gewicht des New Yorker Empire State Building". ITER wurde 2006 begonnen und ist ein Megaprojekt mit 35 Ländern, das 2016 mit einem Kostenaufwand von 6 Milliarden Dollar abgeschlossen werden sollte. Derzeit wird davon ausgegangen, dass der Reaktor 2025 in Betrieb gehen wird, aber selbst das scheint ein optimistisches Datum zu sein, ebenso wie der geschätzte Gesamtwert von etwa 22 Milliarden Dollar.

Das ursprüngliche Konstruktionsziel besteht darin, ein Fusionsplasma mit einer thermischen Leistung zu erzeugen, die zehnmal größer ist als die eingespeiste thermische Leistung. Selbst wenn dies gelingt, wäre diese Nettoleistung noch nicht das Fusionsäquivalent zu Fermis experimentellem Atommeiler von 1942, mit dem das Konzept der kontrollierten Kernspaltung bewiesen wurde. Auch das ehrgeizigere Ziel von ITER, dieses Plasma acht Minuten lang aufrechtzuerhalten, würde nicht erreicht. Um den Grundsatzbeweis zu erbringen, wäre wahrscheinlich ein weiterer Schritt oder eine Aufrüstung von ITER erforderlich.

Das Waffenlabor des Lawrence Livermore National Laboratory verfolgte einen anderen Ansatz des "internen Einschusses", um eine Fusionsreaktion in seiner National Ignition Facility (NIF) zu erzeugen, und behauptete, dass dieser Ansatz für die Energieversorgung geeignet sein könnte. NIF verwendet Lichtimpulse von einer konzentrischen Batterie leistungsstarker Laser, um ein kleines Ziel zu erhitzen, das ein winziges Kügelchen aus gefrorenem thermonuklearen Brennstoff enthält. Dabei handelt es sich um eine Miniatur-Thermonuklearbombe (sekundär), wobei die Laser die Rolle der auslösenden Spaltreaktionen (primär) übernehmen. Das Licht erhitzt das Behältermaterial ausreichend, um den Brennstoff abzutragen und schnell bis zur Detonation zu komprimieren, die einige Milliardstelsekunden dauert. Das Experiment diente in erster Linie dazu, ein nützliches Diagnoseinstrument für die Waffenforschung zu entwickeln. Für den Einsatz in der Energietechnik müsste man die Explosionen mit einer außerordentlich hohen Geschwindigkeit wiederholen, was eine große Herausforderung darstellt.

Trotz der mangelnden Aussichten für die zivile Nutzung haben das Energieministerium und das Weiße Haus die Ergebnisse des kontrollierten Fusionsexperiments in Livermore genutzt, um die Bemühungen um die Nutzung der Fusionsenergie für zivile Zwecke zu verstärken. Im Dezember 2022 verkündete Energieministerin Jennifer Granholm mit großem Tamtam, dass ein Laserpuls eine Fusionsreaktion auslöste, die mehr Energie erzeugte, als die Lichtstrahlen lieferten: "Dieser Meilenstein bringt uns einen bedeutenden Schritt näher an die Möglichkeit, unsere Gesellschaft mit kohlenstofffreier Energie zu versorgen ... ein großer Schritt in

Richtung des Ziels des Präsidenten, die kommerzielle Fusion innerhalb eines Jahrzehnts zu erreichen." (Update: In weniger als neun Jahren.)

In ihrer Energiebilanz hat die Energieministerin jedoch vergessen, die Energie zu berücksichtigen, die zur Erzeugung der Laserstrahlen benötigt wird. Wenn man diesen Energieaufwand hinzurechnet, kehrt sich ihre Schlussfolgerung drastisch um: Die Fusionsleistung beträgt dann nur noch etwa ein Prozent des Aufwands. Aus wissenschaftlicher Sicht ist dies nicht disqualifizierend, aber in einer Anwendung zur Energieerzeugung ist es das offensichtlich. Dennoch hat dies das Energieministerium nicht davon abgehalten, das Fusionszündexperiment von Livermore in ein Werbevideo über die "7 Momente, die die Geschichte der Kernenergie veränderten" aufzunehmen. In dem Clip wird behauptet, dass "das Labor das erste war, das mehr Energie aus einer Fusionsreaktion gewonnen hat, als zum Starten des Prozesses benötigt wurde", wobei wiederum die Energie vergessen wird, die zum Betrieb der Laser benötigt wurde.

Die meisten Fachleute setzen ihre Hoffnungen immer noch auf das internationale ITER-Projekt, um die Möglichkeiten der Fusionsenergie voranzubringen. Eines wissen wir bereits: Sollte ein Fusionsreaktor mit magnetischem Einschluss jemals funktionieren, wird er riesig und teuer sein. Dies steht im Gegensatz zu den gegenwärtigen Überlegungen in der Energiepolitik, die zu einem dezentraleren elektrischen System tendieren, das von erschwinglicheren und flexibleren Generatoren angetrieben wird. Da es so schwierig ist, die Fusionsenergie zu demonstrieren - selbst im Prinzip -, wird es wahrscheinlich noch viel länger dauern, bis der Grundsatzbeweis erbracht ist, falls wir es jemals schaffen sollten, und eine bedeutende kommerzielle Anwendung möglich ist. Vergessen Sie also das Versprechen des Energieministeriums, einen parallelen Prozess zu entwickeln.

Eine kürzliche Ankündigung des Weißen Hauses zur Fusion enthielt einen Link zu einer Diskussion des Atlantic Council über die Fusion. Darin sagte der ehemalige Energieminister Ernie Moniz, ein Physiker, dass er seine Zuversicht über die Aussichten der Fusionsenergie aus dem Wissen schöpft, dass 5 Milliarden Dollar an privatem Kapital investiert worden sind. Dies zeige ihm, dass "irgendjemand glauben muss, dass dies eine gute Chance hat zu funktionieren". Wenn das stimmt, haben die Geldgeber, die die 5 Milliarden Dollar bereitgestellt haben, ihr Vertrauen aus den enthusiastischen Behauptungen der Fusionsphysiker gezogen. Dieser Zirkelschluss gibt zu denken.

Es ist nicht verwunderlich, dass die Fusionsforschungsgemeinschaft im Energieministerium vor Begeisterung über die Kommerzialisierung der Fusion und die Aussicht auf den Bau von Pilotanlagen und die Revolutionierung der Stromerzeugung schwärmt. Doch wie bei jeder großen Investition sollte man sich über die Möglichkeiten und Risiken im Klaren sein. Wo ist die US-Regierungsstelle, die eine solche Perspektive bieten kann?