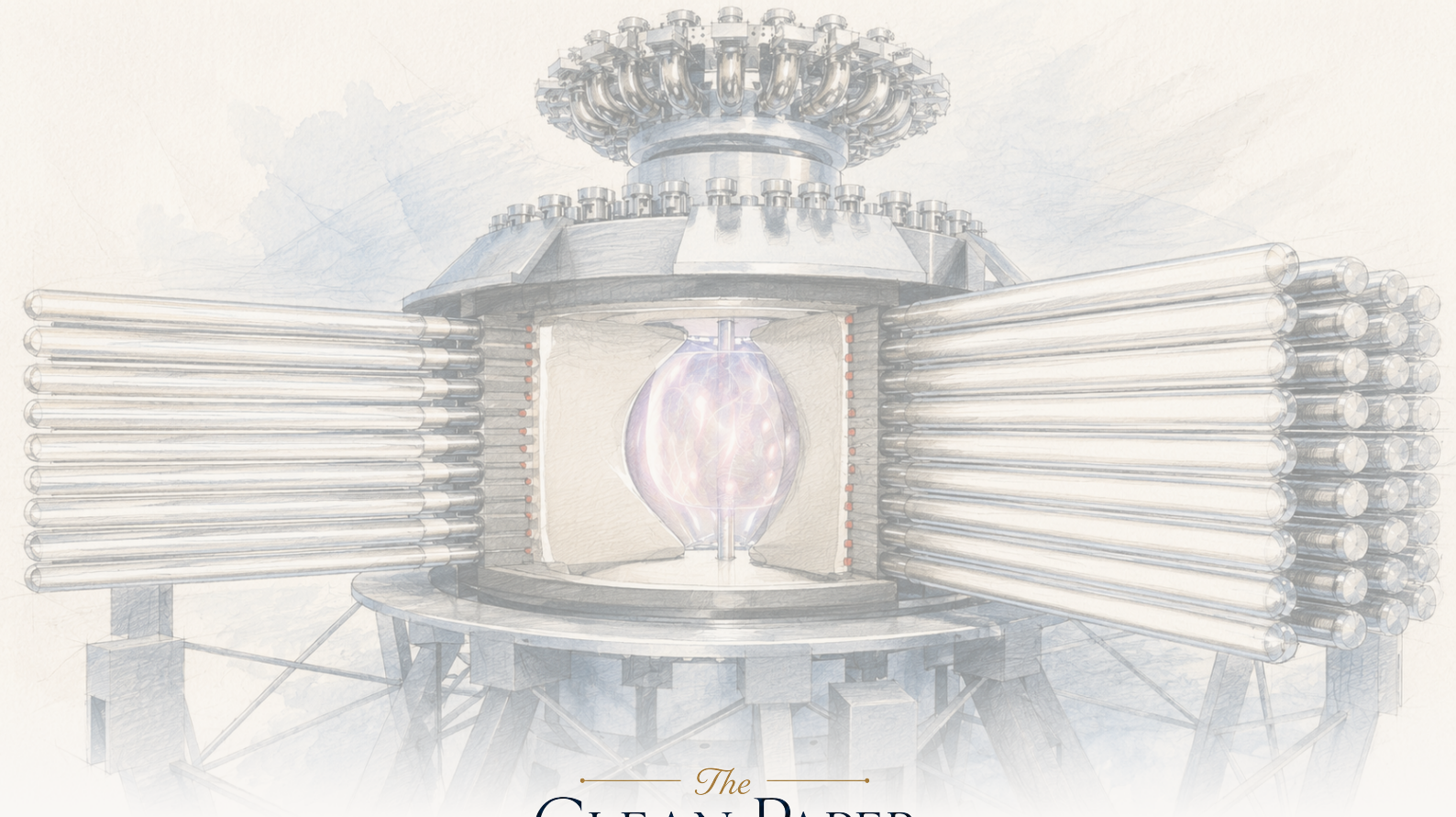


The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Eine Fusionsmaschine erhitzte ihr Plasma durch Zusammendrücken — der echte Fortschritt und das Kraftwerk, das sie nicht ist

General Fusions LM26 komprimierte ein magnetisiertes Deuteriumplasma mit einer implodierenden Lithium-Auskleidung und beobachtete, wie es sich erhitzte — die Elektronentemperatur stieg auf mehr als das Dreifache und erreichte gemessen etwa 0,72 keV (718 ± 80 eV, rund 8 Millionen °C). Der Analyse zufolge stammt der größte Teil der Erwärmung von der Kompression selbst, also von dem Mechanismus, auf dem der Magnetized-Target-Fusion-Ansatz beruht. Das ist ein echter technischer Prüfpunkt auf diesem Weg zur Fusion. Zugleich sind es erst elf Schüsse an einer Maschine, beschrieben in einem nicht peer-reviewten Unternehmens-Preprint, bei einer Temperatur noch ungefähr zehnmal unterhalb dessen, was ein brennendes Plasma braucht — ohne Nettoenergie, ohne Breakeven und ohne Strom. Ein Mechanismus gezeigt, kein Kraftwerk gebaut.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment*, S. J. Howard et al. (General Fusion), arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (preprint) · DOI: 10.48550/arXiv.2606.23974

Eine Fusionsmaschine erhitzte ihr Plasma durch Zusammendrücken — der echte Fortschritt und das Kraftwerk, das sie nicht ist

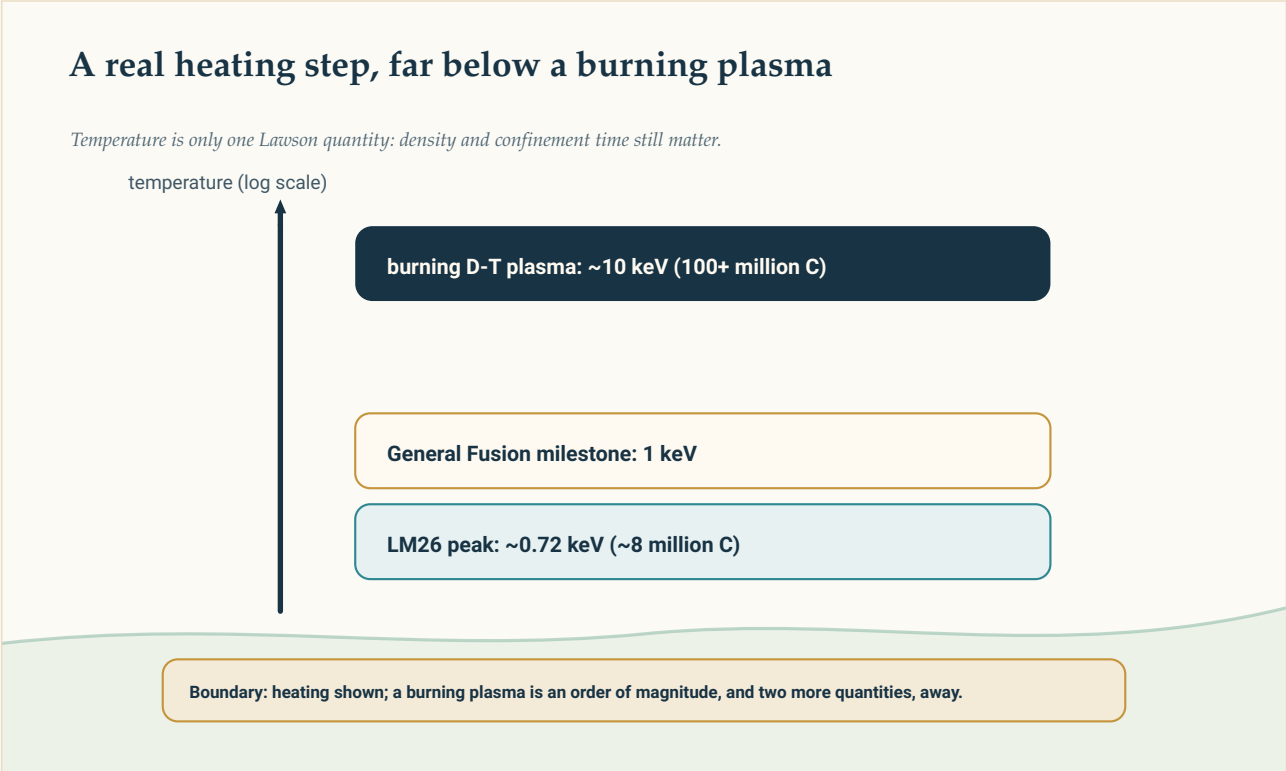
Damit ein Fusionsreaktor mehr Energie zurückliefert, als sein Betrieb kostet, muss ein Brennstoffplasma gleichzeitig heiß genug, dicht genug und lange genug eingeschlossen sein – diese drei Größen werden in der Physik im sogenannten Lawson-Kriterium zusammengefasst. Der größte Teil des Feldes versucht das mit riesigen supraleitenden Magneten (Tokamaks wie ITER) oder mit Anordnungen gewaltiger Laser (Trägheitsfusion, etwa an der US-amerikanischen National Ignition Facility). Eine kleinere Gruppe von Unternehmen setzt auf einen dritten Weg, die **Magnetized Target Fusion** (MTF): Zunächst wird ein warmes, magnetisiertes Plasma erzeugt und dann sehr schnell mechanisch *zusammengedrückt*, sodass die Kompression selbst für die Erwärmung sorgt – ähnlich wie ein Dieselmotor seinen Kraftstoff durch Verdichtung statt durch einen Zündfunken entzündet.

Im Juni 2026 veröffentlichte das kanadische Unternehmen **General Fusion** Ergebnisse seiner **Lawson Machine 26 (LM26)**, die genau diese zentrale Annahme prüfen: Erhitzt mechanische Kompression ein magnetisiertes Plasma tatsächlich so, wie es die Modelle vorhersagen? Bei den ersten elf Kompressionsschüssen – ein Deuteriumplasma in einer sphärischen Tokamak-Konfiguration wurde dabei von einer implodierenden *festen Lithium-Auskleidung* zusammengedrückt – wurden die besten Plasmen während der Kompression deutlich heißer, dichter und stärker magnetisiert. Nach der Analyse des Unternehmens stammt der größte Teil dieser Erwärmung von der Kompression selbst.

Das ist ein reales, konkretes technisches Ergebnis für den MTF-Ansatz. Es ist zugleich nur eine erste Serie von Schüssen, beschrieben in einem **Preprint des Unternehmens, der noch nicht peer-reviewed wurde**, bei einer Temperatur, die weiterhin weit unter der eines brennenden Plasmas liegt – und es ist weder Fusionsenergie noch Breakeven noch ein Kraftwerk.

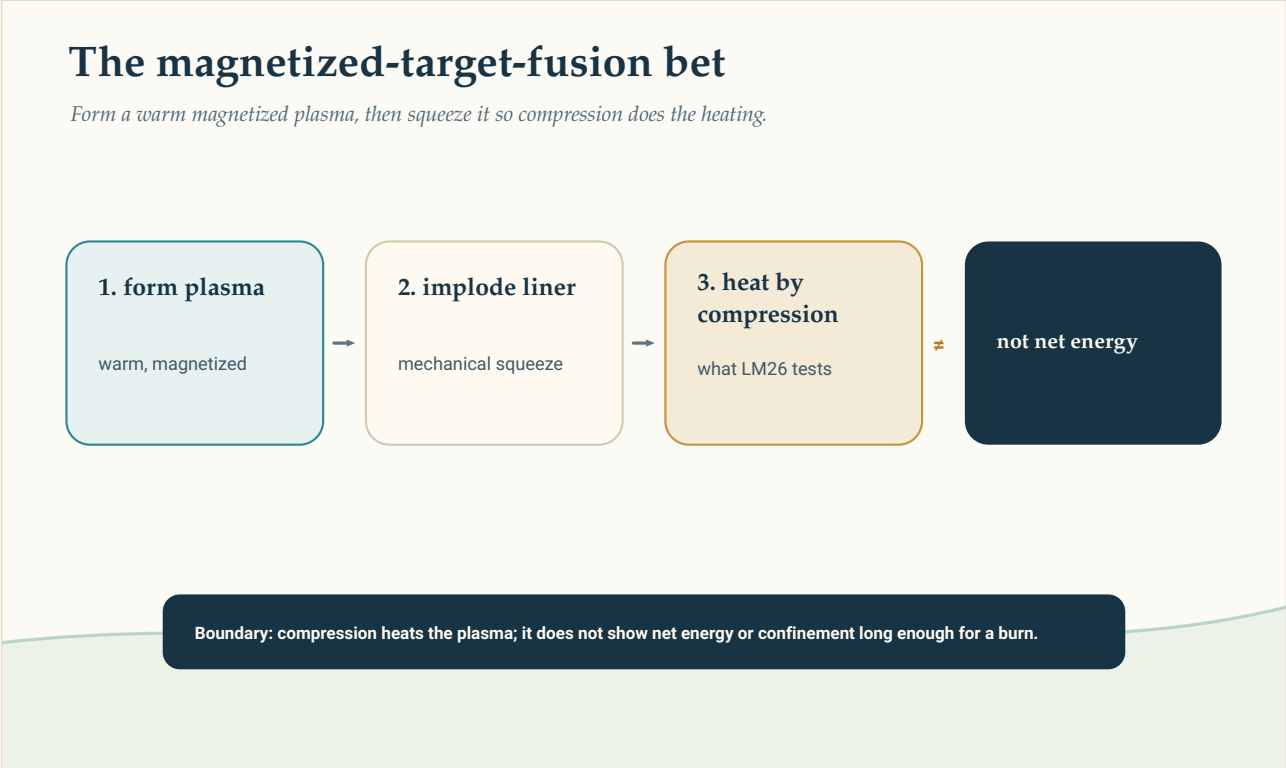
[video pending]

Dies sind Werbeaufnahmen von General Fusion. Sie sind hier enthalten, um zu zeigen, wie LM26 aussieht; sie sind kein unabhängiger Beleg dafür, dass die Maschine ihre künftigen Fusionsziele erreichen wird.



Eine Temperaturskala: die etwa 0,72 keV von LM26, General Fusions Meilenstein von 1 keV und die ungefähr 10 keV, die ein brennendes Deuterium-Tritium-Plasma benötigt. Temperatur ist nur eine der drei Größen im Lawson-Kriterium.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0



Magnetized Target Fusion: Zuerst wird ein warmes magnetisiertes Plasma erzeugt, dann durch eine

implodierende Auskleidung komprimiert, sodass das Zusammendrücken die Erwärmung liefert – die Idee der Kompressionszündung wie beim Diesel. LM26 testete, ob die Kompression das Plasma erhitzt; nicht Nettoenergie oder ausreichenden Einschluss.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Was „Magnetized Target Fusion“, „keV“ und das Lawson-Kriterium bedeuten

Die Plasmatemperatur in der Fusionsforschung wird meist in **Kiloelektronenvolt (keV)** statt in Grad angegeben: 1 keV entspricht ungefähr **11,6 Millionen °C**. Ein Deuterium-Tritium-Brennstoff muss etwa **10 keV** (über 100 Millionen °C) erreichen, damit Fusion effizient abläuft – doch Temperatur ist nur eine von drei Bedingungen, die gleichzeitig erfüllt sein müssen. Nach dem **Lawson-Kriterium** braucht ein Reaktor außerdem genügend **Dichte** und eine ausreichend lange **Einschlusszeit**. Diese Größen werden oft zu einem „Tripelprodukt“ zusammengefasst (Temperatur × Dichte × Einschlusszeit). Das Plasma zu erhitzen ist notwendig, allein aber bei Weitem nicht ausreichend.

Magnetized Target Fusion (MTF) liegt zwischen den beiden verbreiteteren Ansätzen. Statt ein heißes Plasma mit riesigen Magneten lange einzuschließen oder ein winziges Target mit Lasern fast augenblicklich zu erhitzen, erzeugt MTF ein magnetisiertes Plasma und komprimiert es dann innerhalb von Mikrosekunden mechanisch. Wenn das funktioniert, erhöht die Kompression sowohl die Temperatur als auch die Dichte des Plasmas – und könnte so Fusionsbedingungen ohne Magnete in ITER-Größe oder Laser in NIF-Größe erreichen. Ob die Kompression diese Erwärmung in einer realen Maschine tatsächlich liefert, ist genau die Frage, die ein Test wie LM26 beantworten soll.

Was die Autoren gemacht haben

- Sie bauten und betrieben **LM26**, eine Magnetized-Target-Fusion-Maschine bei General Fusion: Ein Deuteriumplasma in sphärischer Tokamak-Konfiguration wird erzeugt und anschließend von einer nach innen implodierenden **festen Lithium-Auskleidung** komprimiert – mit ungefähr **dreifacher radialer Kompression**.
- Sie führten die **ersten elf Kompressionsschüsse** durch und statteten die Maschine mit zahlreichen Diagnoseinstrumenten aus. Daraus rekonstruierten sie Temperatur, Dichte und Magnetfeld des Plasmas über die Zeit und zeichneten emittierte Neutronen, Röntgenstrahlung und sichtbares Licht sowie Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der Plasma-Wand-Wechselwirkung auf.
- Sie entwickelten ein **integriertes physikalisches Modell**, das die Erwärmung durch Kompression gegen ohmsche Erwärmung (durch den eigenen Plasmastrom) und Energieverluste an der Begrenzung abwägt. Anschließend verglichen sie das Modell mit den Messdaten, um abzuschätzen, woher die Erwärmung tatsächlich kam.

Was sie herausfanden

- **Das Plasma wurde beim Zusammendrücken heißer.** In den besten Schüssen stieg die Elektronentemperatur um **mehr als das Dreifache**, die Elektronendichte um etwa **das Zehnfache** und das poloidale Magnetfeld ebenfalls um ungefähr **das Zehnfache**, ausgelöst durch die dreifache radiale Kompression. Im besten Schuss misst das Paper eine **maximale Elektronentemperatur von etwa 0,72 keV** (718 ± 80 eV, per Thomson-Streuung) – rund 8 Millionen °C.
- **Der größte Teil der Erwärmung wird der Kompression zugeschrieben.** Das integrierte Modell kommt zu dem Schluss, dass ein *mehrheitlicher Anteil* des Temperaturanstiegs durch die mechanische Kompression selbst entstand – also durch genau den Mechanismus, auf dem der gesamte MTF-Ansatz beruht – und nicht durch ohmsche Erwärmung.
- **Die Neutronenemission nahm während der Kompression zu**, was mit einem heißeren und dichteren Deuteriumplasma vereinbar ist.

Was dies nicht zeigt

- Es handelt sich **nicht** um Fusionsenergie, Breakeven oder Nettoenergiegewinn. Hier wurde nicht mehr Energie erzeugt, als für den Betrieb nötig war. Das Ergebnis betrifft das *Erhitzen eines Plasmas* – einen Schritt im Fusionszyklus – und nicht die Energiebilanz eines Reaktors.
- Die Temperatur liegt **noch ungefähr um den Faktor zehn zu niedrig** für ein brennendes Plasma. Etwa 0,72 keV entsprechen rund 8 Millionen °C; Deuterium-Tritium-Brennstoff benötigt Größenordnungen von **10 keV (über 100 Millionen °C)** *und* ein genügend großes Produkt aus Dichte und Einschlusszeit, um eine Brennreaktion aufrechtzuerhalten. General Fusions eigener nächster Meilenstein liegt bei **1 keV** – auch das ist noch weit von der Zündung entfernt.
- „**Der größte Teil der Erwärmung stammt von der Kompression**“ ist eine **modellbasierte Schlussfolgerung**, keine direkte Messanzeige. Sie ergibt sich aus einem integrierten physikalischen Modell, das an die Diagnosedaten angepasst wurde. Wie sehr man der Aufteilung zwischen Kompressionsheizung, ohmscher Erwärmung und Verlusten vertraut, hängt davon ab, wie robust dieses Modell ist.
- Es ist ein **Unternehmens-Preprint und nicht peer-reviewed**. Die Ergebnisse wurden von demselben Team berichtet, das die Maschine gebaut hat und Kapital auf Grundlage ihres Versprechens eingeworben hat; eine unabhängige wissenschaftliche Begutachtung steht noch aus.
- Der Anstieg der Neutronen ist **kein energierelevanter Fusionsertrag**. Unter diesen Bedingungen sind einige Neutronen aus Deuteriumreaktionen zu erwarten, aber weit unterhalb eines für Stromerzeugung nützlichen Niveaus.
- Die Arbeit sagt nichts über die separate Unternehmensbehauptung aus, ein **künftiges Kraftwerk werde Strom ins Netz einspeisen** – eine Aussage, der unabhängige Berichterstattung mit großer Vorsicht begegnet ist.

Wie belastbar sind die Belege?

- **Die Kernaussage ist eng gefasst und überprüfbar.** „Wir haben ein magnetisiertes Plasma komprimiert, und es wurde heißer – überwiegend wegen der Kompression“ ist genau der Mechanismustest, den der MTF-Ansatz bestehen muss. Das Paper stützt ihn mit einer stark instrumentierten Schussserie und einem expliziten Energiebilanzmodell. Wenn das Ergebnis die Begutachtung übersteht, ist es eine echte – wenn auch frühe – Bestätigung des Ansatzes.
- **Die Einschränkungen sind grundlegend, nicht kosmetisch.** Elf Schüsse, eine Maschine, ein Team, noch keine Begutachtung und eine Spitzentemperatur, die um etwa eine Größenordnung unter der eines brennenden Plasmas liegt. Die tragende Schlussfolgerung – *der Großteil der Erwärmung stammt aus Kompression* – beruht auf einem Modell. Eine zentrale Frage im Peer Review wird daher sein, wie robust diese Aufteilung ist.
- **Der nüchterne Stand lautet: ein Mechanismus wurde demonstriert, nicht ein Energiemeilenstein erreicht.** Das verschiebt MTF ein Stück von „die Kompression *sollte* das Plasma erhitzen“ zu „die Kompression *erhitzt* das Plasma“ – und nicht weiter.

Warum das wichtig ist

Das Interessante an Magnetized Target Fusion sind weniger Rekorde als mögliche Kosten. Wenn mechanische Kompression ein Plasma bis in Richtung Fusionsbedingungen erhitzen kann, könnte man vielleicht ohne Magnete in ITER-Größe oder Laser in NIF-Größe dorthin gelangen – ein potenziell günstigerer Weg mit schnelleren Entwicklungszyklen, *wenn* er funktioniert. Dieses „wenn“ ist der Kern der Sache, und es hängt an unspektakulären Zwischenprüfungen wie dieser: Liefert die Kompression tatsächlich die Erwärmung, die die Modelle versprechen? Für die ersten Schüsse lautet die Antwort von LM26 vorsichtig: ja. Gerade *weil* dieses Ja eingeschränkt ist, ist es erwähnenswert – eine Sprosse auf einer langen Leiter, berichtet von den Menschen, die sie hinaufsteigen, noch von niemand anderem überprüft und weit vom oberen Ende entfernt.

Kurz zusammengefasst

General Fusions LM26 komprimierte ein magnetisiertes Deuteriumplasma mit einer implodierenden Lithium-Auskleidung und zeigte dabei eine deutliche Erwärmung: Die Elektronentemperatur stieg auf mehr als das Dreifache und erreichte gemessen etwa 0,72 keV (718 ± 80 eV, ungefähr 8 Millionen °C). Nach der Analyse des Unternehmens stammt der größte Teil dieser Erwärmung von der Kompression selbst – genau dem Mechanismus, auf dem sein Magnetized-Target-Fusion-Ansatz beruht. Das ist ein realer, spezifischer technischer Schritt für diesen Weg zur Fusion. Zugleich handelt es sich um die ersten elf Schüsse einer einzigen Maschine, beschrieben in einem nicht peer-reviewten Unternehmens-Preprint, bei einer Temperatur ungefähr zehnmal unterhalb dessen, was ein brennendes Plasma benötigt – ohne Nettoenergie, ohne Breakeven und ohne Strom. Ein Mechanismus wurde gezeigt, kein Kraftwerk gebaut.

Quellen

S. J. Howard et al. (General Fusion), The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment, arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (2026)
https://arxiv.org/abs/2606.23974

General Fusion, 'General Fusion Achieves Compressional Plasma Heating with LM26 Magnetized Target Fusion Machine' (company announcement, June 2026)
https://generalfusion.com/post/general-fusion-achieves-compressional-plasma-heating-with-lm26-magnet

Nature news, 'Nuclear-fusion firm says plant will deliver electricity to grid - but big questions remain' (2026)
https://www.nature.com/articles/d41586-026-01795-z