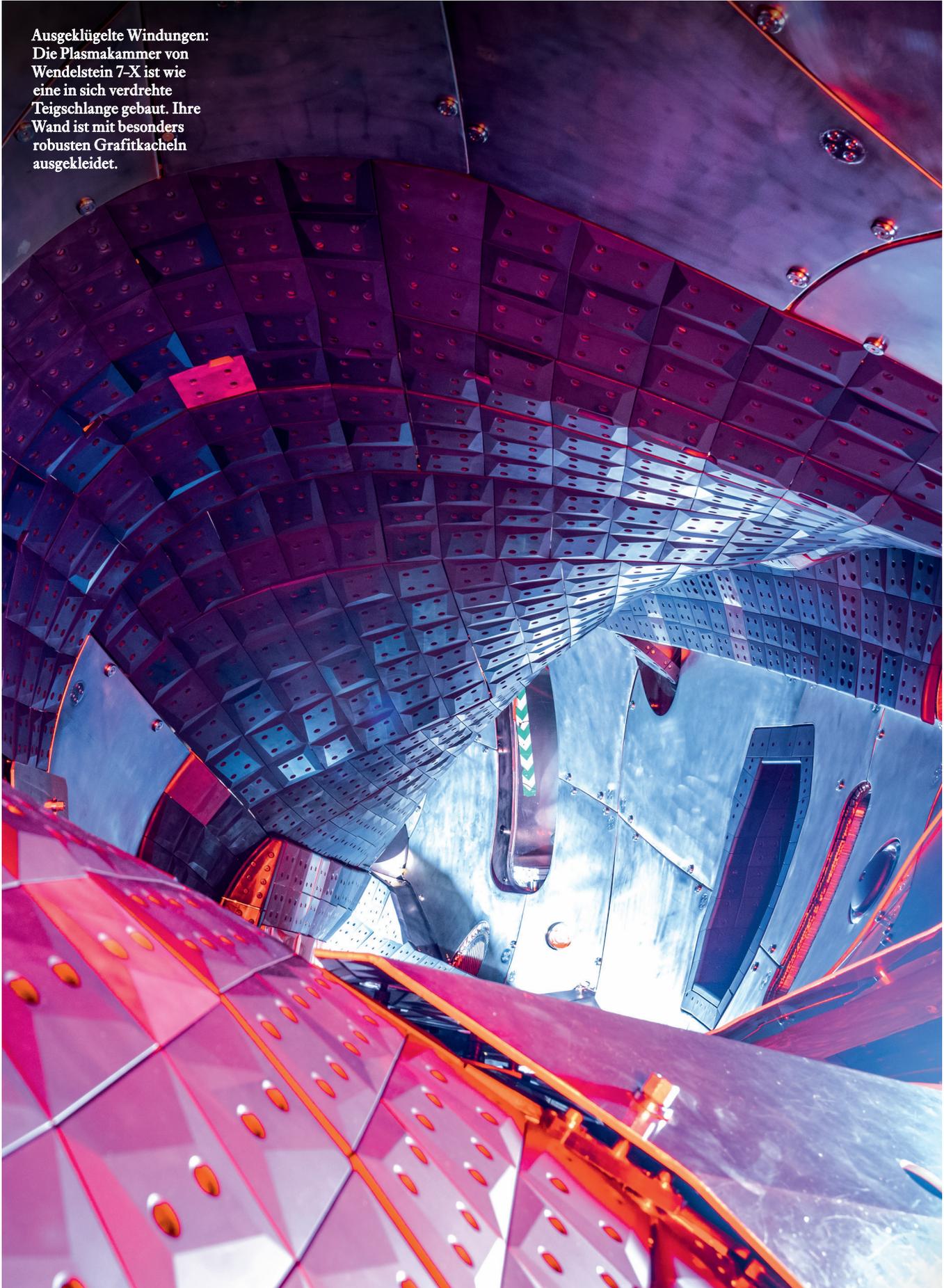


Ausgeklügelte Windungen:
Die Plasmakammer von
Wendelstein 7-X ist wie
eine in sich verdrehte
Teigschlange gebaut. Ihre
Wand ist mit besonders
robusten Grafitkacheln
ausgekleidet.



BRENNPUNKTE DER KERNFUSION

TEXT: ANDREAS MERIAN

Im Dezember 2022 hat die National Ignition Facility in den USA einen Durchbruch in der Fusionsforschung verkündet. Die Kernfusion verspricht eine saubere und praktisch unerschöpfliche Energiequelle. Diese anzuzapfen, daran arbeitet auch das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik. Seine wissenschaftliche Direktorin Sibylle Günter und der emeritierte Direktor Karl Lackner ordnen ein, wo einige der staatlichen und privaten Fusionsprojekte stehen – auch im Vergleich zu den Konzepten, an denen ihr Institut forscht.

In einem Glas Meerwasser steckt so viel Energie wie in einem Barrel Öl. Doch während beim Verbrennen der 159 Liter Öl mehr als 300 Kilogramm CO₂ frei werden, entsteht keinerlei Treibhausgas, wenn die Energie aus dem Wasser herausgeholt wird. Um sie überhaupt nutzen zu können, muss allerdings zunächst die Kernfusion gemeistert werden. Deren Versprechen sind groß: praktisch unbegrenzte Energie, und das sauber; das heißt: auch ohne langlebigen radioaktiven Abfall. Die Kernfusion könnte erneuerbare Energiequellen in Zeiten und Gegenden mit wenig Wind und Sonne ideal ergänzen.

Fusionsenergie entsteht, wenn leichte Atomkerne verschmelzen. Das passiert natürlicherweise jedoch nur bei Bedingungen, wie sie etwa in der Sonne herrschen. Die Voraussetzungen versuchen Wissenschaftlerinnen und Ingenieure seit Jahrzehnten auch technisch zu erreichen. Weil die Fusionsforschung aber immer noch ziemlich weit weg ist von einem Strom produzierenden Kraftwerk, sprechen manche sarkastisch von der Fusionskonstante: Die Stromerzeugung durch einen Fusionsreaktor liege immer dreißig oder gar fünfzig Jahre in der Zukunft.

Derzeit ist Iter das größte und mit aktuell geschätzten Kosten von 18 bis 22 Milliarden Euro teuerste Fusionsprojekt weltweit. Der Name steht für International Thermonuclear Experimental Reactor und ist ein Forschungsprojekt von EU, USA, China, Indien, Südkorea, Japan und Russland. Auch das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik ist daran beteiligt. Iter soll etwa zehnmals so viel Fusionsenergie freisetzen, wie direkt in die Fusionsreaktion fließt, um diese zu

starten. Doch Strom wird Iter nicht erzeugen. Das soll erst in einem Demonstrationskraftwerk geschehen, das unter dem schlichten Namen Demo geplant wird und das Zusammenspiel sämtlicher Kraftwerkskomponenten erproben soll. Es soll gebaut werden, sobald die Experimente an Iter abgeschlossen sind. Doch das kann noch dauern.

Ursprünglich sollte Iter bereits 2016 den Betrieb aufnehmen. Dann hieß es, der Reaktor stehe 2025 und könne 2035 Energie erzeugen. Doch vor Kurzem wurde öffentlich, dass auch dieser Zeitplan nicht zu halten ist. „Iter ist nicht nur ein wissenschaftliches Projekt, sondern hat auch eine politische Komponente“, sagt Sibylle Günter, Direktorin am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching. Die politischen Randbedingungen führen auch zu technischen Schwierigkeiten. Denn die Partnerländer teilen sich nicht nur die Finanzierung, sondern auch die Entwicklung und Fertigung. „Die Einzelkomponenten des Reaktors werden also in den verschiedenen Ländern hergestellt, mit dem Erge-

63



nis, dass am Ende nicht alles wie geplant zusammenpasst“, sagt Sibylle Günter. Auch in einer Pressemitteilung von Iter ist von „umfangreichen Reparaturen“ die Rede.

Trotz oder gerade wegen des mühsamen Fortschritts bei diesem staatlich geförderten Großprojekt arbeiten inzwischen auch zahlreiche Unternehmen an der Kernfusion. Denn die Aussicht auf unbegrenzte saubere Energie ist zu verlockend. So versuchen sich laut der Fusion Industry Association weltweit 33 Firmen an diesem Vorhaben. Dabei verfolgen sie teilweise grundlegend andere technische Ansätze der Kernfusion und versprechen – ihren Investoren wie auch der Allgemeinheit – die baldige kommerzielle Nutzung der Fusionsenergie. Zu diesem Zweck haben die Unternehmen bislang mehr als 4,7 Milliarden US-Dollar an Investitionen eingeworben. Doch während die Start-ups sicherlich agiler sind als staatliche Projekte wie Iter, stehen sie in puncto wissenschaftlich-technischer Machbarkeit oftmals auf weitaus wackligen Füßen. „Die Ansätze, die der Forschungsmainstream aktuell verfolgt, sind Kompromisse“, sagt Karl Lackner. Der emeritierte Direktor am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching forschte selbst jahrzehntelang zur Kernfusion und erlebte sowohl Fortschritte als auch unerwartete Hindernisse bei dem Verfahren, auf dem auch Iter beruht. „Ein Reaktor wie Iter bietet eine Lösung für alle Probleme, die wir bisher erkannt haben – für keines die optimale, aber für alle zumindest eine ausreichende Lösung. Einige der alternativen Ansätze lösen ein Problem hervorragend und sind daher spannend. Doch für die anderen Probleme gestaltet sich die Lösung schwieriger oder ist eventuell sogar unmöglich.“

Allen Ansätzen gemeinsam ist, dass sie sich den Prozess zum Vorbild nehmen, mit dem die Sonne Energie erzeugt: In ihr fusionieren die Kerne von Wasserstoffatomen bei einem Druck von rund 200 Milliarden Bar und gut 15 Millionen Grad Celsius zu Helium. Unter diesen Bedingungen

liegt die Materie als Plasma vor, das heißt, Elektronen und positiv geladene Atomkerne sind nicht mehr aneinander gebunden. Die hohe Temperatur gibt den positiv geladenen Kernen die nötige Geschwindigkeit, um die abstoßende elektrostatische Kraft untereinander zu überwinden. Der Druck in der Sonne verdichtet die Materie außerdem so stark, dass das Aufeinandertreffen zweier Atomkerne wahrscheinlicher wird. Technisch kann dieser Druck auf der Erde nicht

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Die Kernfusion könnte praktisch unendlich saubere Energie liefern und wird daher in einigen staatlichen Großforschungsprojekten wie Iter, Asdex Upgrade und Wendelstein 7-X sowie zahlreichen Start-up-Unternehmen erforscht.

Iter soll mehr Energie liefern, als direkt in den Start der Kernfusion fließt, verzögert sich aber immer wieder. Für den Betrieb benötigt aber auch Iter mehr Energie, als die Kernfusion erzeugt, und produziert keinen Strom. Das soll erst das Kraftwerk Demo schaffen.

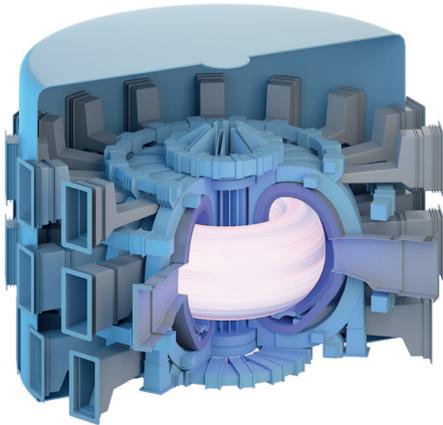
Die privaten Initiativen verkünden teilweise sehr ambitionierte Zeitpläne, die mit Skepsis betrachtet werden müssen. Oft bieten sie für ein Problem der Kernfusion eine sehr gute Lösung, für andere jedoch keine ausreichende.

erreicht werden, weshalb in den Fusionsreaktoren weitaus höhere Temperaturen nötig sind, um Atomkerne zur Fusion zu bewegen. Zudem fusionieren gewöhnliche Wasserstoffatome viel zu langsam für eine technische Nutzung. Doch bereits vor mehr als siebzig Jahren fand die Physik eine prinzipiell technisch machbare Lösung: die Fusion von schwerem und überschwerem Wasserstoff – auch bekannt als Deuterium und Tritium.

Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik erforscht zwei der ältesten Konzepte eines Fusionsreaktors. Am Standort in Garching experimentieren Forschende mit dem Asdex Upgrade, der wie Iter ein Tokamak ist. Ein Tokamak ist ein donutförmiges Gefäß, in dem ein starkes Magnetfeld die elektrisch geladenen Teilchen des Plasmas einschließt. Am Standort in Greifswald wird hingegen am Reaktor Wendelstein 7-X getüftelt, einem Stellarator. Auch der Stellarator bündelt das Plasma in einem ringförmigen Gefäß per Magnetfeld. Allerdings ähneln sein Plasmagefäß und sein Magnetfeld eher einer mehrfach in sich verdrehten Teigschlinge als einem glatten Donut.

In beiden Reaktortypen geht es zunächst darum, ein Wasserstoffplasma mit dem Magnetfeld so einzufangen, dass die geladenen Teilchen die Wand möglichst nicht berühren. Kommt das Plasma zu stark in Kontakt mit dem Gefäß, kühlt es zu sehr aus und eine sich selbst erhaltende Fusionsreaktion wird unmöglich. Zwar ist die Geometrie des Magnetfeldes im Tokamak einfacher als im Stellarator, im Tokamak muss aber Strom durch den Plasmaring fließen, was einige praktische Probleme für einen effizienten Kraftwerksbetrieb schafft. Die gäbe es im Stellarator nicht. „Vom Konzept her ist der Stellarator für ein Fusionskraftwerk besser geeignet“, erklärt Günter. „Allerdings muss das Magnetfeld eines Stellarators optimiert werden, was nur mit ausreichender physikalischer Kenntnis und Rechenleistung möglich ist. Daher hat die Fusionsforschung zunächst den einfacheren Tokamakansatz verfolgt.“ Auch Demo ist momentan als Tokamak geplant. Sollte sich bis zum Baubeginn allerdings herausstellen, dass das Stellaratorkonzept überlegen ist, könnten diese Pläne noch umgeworfen werden. Dass am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik sowohl Stellarator als auch Tokamak erforscht werden, ist weltweit einzigartig für eine Forschungseinrichtung. Das ermöglicht die in der Grundlagenforschung wichtige Objektivität, so Sibylle Günter: „Wir sind nicht festgelegt und





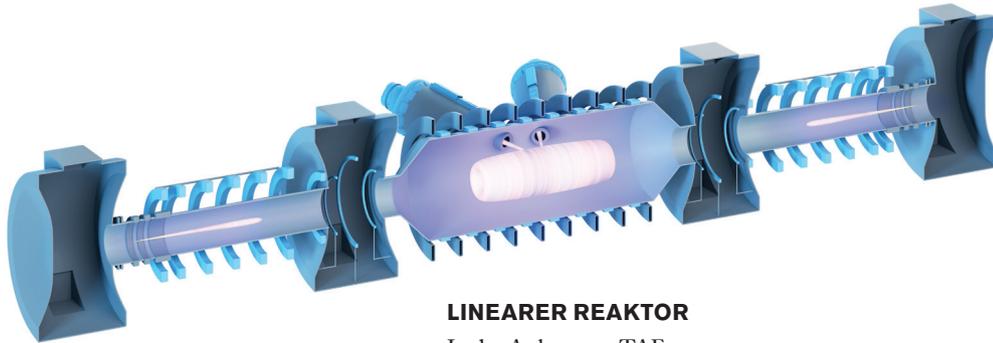
TOKAMAK

Die Plasmakammer von Asdex Upgrade, Iter und möglicherweise Demo hat die Form eines Donuts.



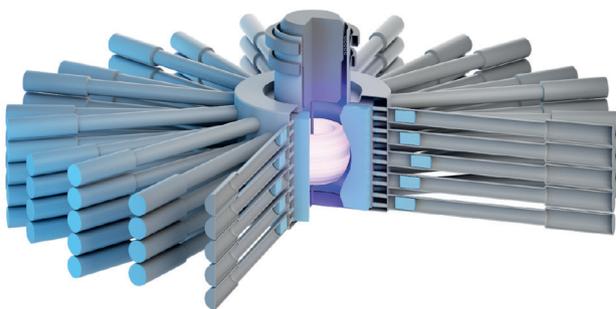
STELLARATOR

Ein gewundenes Magnetfeld schließt das Plasma im ebenso geformten Plasmagefäß etwa von Wendelstein 7-X ein.



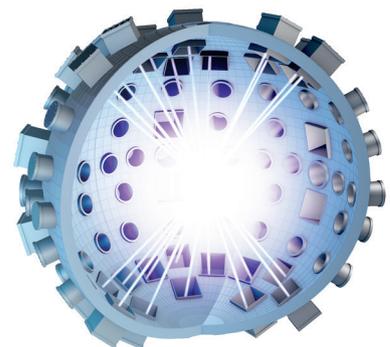
LINEARER REAKTOR

In der Anlage von TAE werden zwei Plasmapakete aufeinandergeschossen und erzeugen ein rotierendes zylindrisches Plasma.



MODIFIZIERTER TOKAMAK

General Fusion erzeugt ein Plasma in einem Behälter aus rotierendem flüssigem Metall, das zur Zündung mit Kolben komprimiert wird.



TRÄGHEITSFUSION

Die NIF und einige Start-ups nutzen die Trägheit von Masse aus, die ein Plasma zusammenhält, nachdem dieses mit starken Lasern verdichtet und erhitzt wurde.

ILLUSTRATION: P. BALL, THE RACE TO FUSION ENERGY, NATURE, VOLUME 599, ISSUE 7886, 25 NOVEMBER 2021; TRÄGHEITSFUSION: GCO

können die Vor- und Nachteile vergleichen und offen diskutieren. Zudem befruchtet sich die Forschung an beiden Anlagentypen gegenseitig.“

Kleiner Tokamak mit starken Magneten

Um in beiden Reaktortypen die nötige Temperatur für die Fusion zu erreichen, wird das Wasserstoffplasma durch den Einschuss schneller Wasserstoffatome, durch elektromagnetische Strahlung und, im Fall des Tokamak, durch Strom geheizt. Stimmen die Bedingungen schließlich, verschmelzen die Kerne von Deuterium und Tritium, und es entstehen ein Heliumkern und ein Neutron, beide mit beträchtlicher Bewegungsenergie. Für das ungeladene Neutron ist der Magnetkäfig durchlässig, sodass das Teilchen mit voller Wucht in die Gefäßwand eindringt. Die dabei entstehende Wärme soll wie in einem konventionellen Kraftwerk zur Stromerzeugung genutzt werden. Allerdings bleibt das Wandmaterial dabei als leicht radioaktiver Abfall zurück.

Unter den Start-ups setzt auch Commonwealth Fusion Systems auf das Tokamakdesign. Das Unternehmen kündigte sogar an, dass der Prototyp Sparc bereits in fünf Jahren funktionsfähig sein soll. Gelingen soll das mit einem im Vergleich zu Iter viel kleineren Tokamak, an dem sich schneller und kostengünstiger die nötigen Änderungen für einen marktreifen Reaktor vornehmen lassen. Um darin das Plasma einzuschließen, sind viel stärkere Magnetfelder nötig. Herzstück von Sparc sind daher neuartige Magnetspulen aus Hochtemperatur-Supraleitern, die leistungsfähiger als die supraleitenden Spulen von Iter sind und weniger stark gekühlt werden müssen. Die Technik wurde lange Zeit am MIT in Cambridge, Massachusetts, erforscht, woraus das Start-up hervorging. „Ich bin froh, dass Commonwealth Fusion Systems den Hochfeldansatz weiterverfolgt“, sagt Karl Lackner: „Die Erfolgsaussichten sind gut, denn das grundlegende

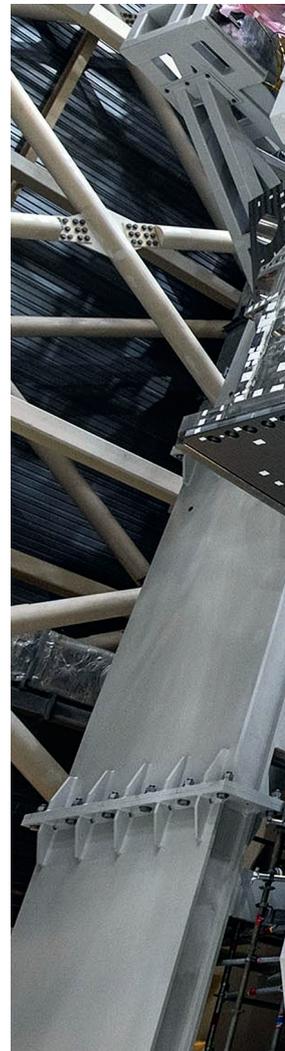
Prinzip ist lange erprobt. Allerdings lehrt uns die Erfahrung, beim angekündigten Zeitplan skeptisch zu sein.“ Immerhin konnte Commonwealth Fusion Systems auch private Investoren von seiner Idee überzeugen: Im vergangenen Jahr warb das Start-up mehr als 1,8 Milliarden US-Dollar ein.

Mit Google hat auch das Fusions-Start-up TAE Technologies starke Unterstützung im Rücken, und das nicht nur finanziell. Denn Google hilft auch mit Rechenleistung und Fachwissen auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz. „TAE verfolgt einen alten Ansatz, der erst durch die Nutzung fortgeschrittener Feedbacktechniken wieder attraktiv geworden ist“, erklärt Karl Lackner. TAE erzeugt durch eine Kombination aus Teilchenbeschleunigern und Magnetspulen einen Plasmazylinder, der etwa die Form einer Blechdose ohne Deckel und Boden hat. Der Zylinder dreht sich wie eine Walze, wodurch er stabilisiert wird – allerdings nur vorübergehend. Ohne weiteres Zutun würde die Rotation immer langsamer und der Plasmazylinder letztlich kollabieren. Erst dank aufwendiger Berechnungen mit der Unterstützung von Google konnte TAE die Instabilitäten verstehen und in Feedbackschleifen kontrollieren. Dieser Fortschritt beeindruckt Karl Lackner, doch er ist auch kritisch: „TAE steht beim Tripelprodukt, also der Kombination aus Temperatur, Teilchendichte und Einschlusszeit, heute da, wo die Forschung an Tokamaks in den 1970er- und 1980er-Jahren stand, hat aber vor allem noch eine viel zu geringe Teilchendichte.“ Das Tripelprodukt ist ein Maßstab dafür, wie nah das Plasma den Bedingungen für eine sich selbst erhaltende Kernfusion kommt. TAE erreichte dabei im Jahr 2019 noch nicht den Wert, welchen der Vorgänger von Asdex Upgrade am Max-Planck-Institut für Plasma-Physik bereits 1989 erzielte. Zudem strebt TAE wie einige wenige andere Unternehmen die Verschmelzung nicht von Tritium und Deuterium an, sondern von Bor und Protonen. So würde kein radioaktives und schwer

zu beschaffendes Tritium gebraucht, und es bliebe keine radioaktive Reaktorwand zurück. „Allerdings ist die Fusion von Bor und Proton wesentlich schwerer zu erreichen, und auch die Ausbeute ist geringer“, sagt Karl Lackner.

Während für TAE theoretische Berechnungen den Fortschritt brachten, soll bei General Fusion präzise Ingenieurskunst zum Durchbruch führen. Im herkömmlichen Tokamak und im Stellarator ist die Wechselwirkung zwischen Reaktorwand und Plasma problematisch. So sucht die Fusionsforschung seit Jahren intensiv nach den richtigen Materialien für die Reaktor-

Typisch Großbaustelle:
Im französischen Forschungszentrum Cadarache entsteht der Fusionsreaktor Iter – dabei kommt es immer wieder zu Verzögerungen. Durch die schleifenförmigen Elemente wird am Ende die Plasmakammer laufen.

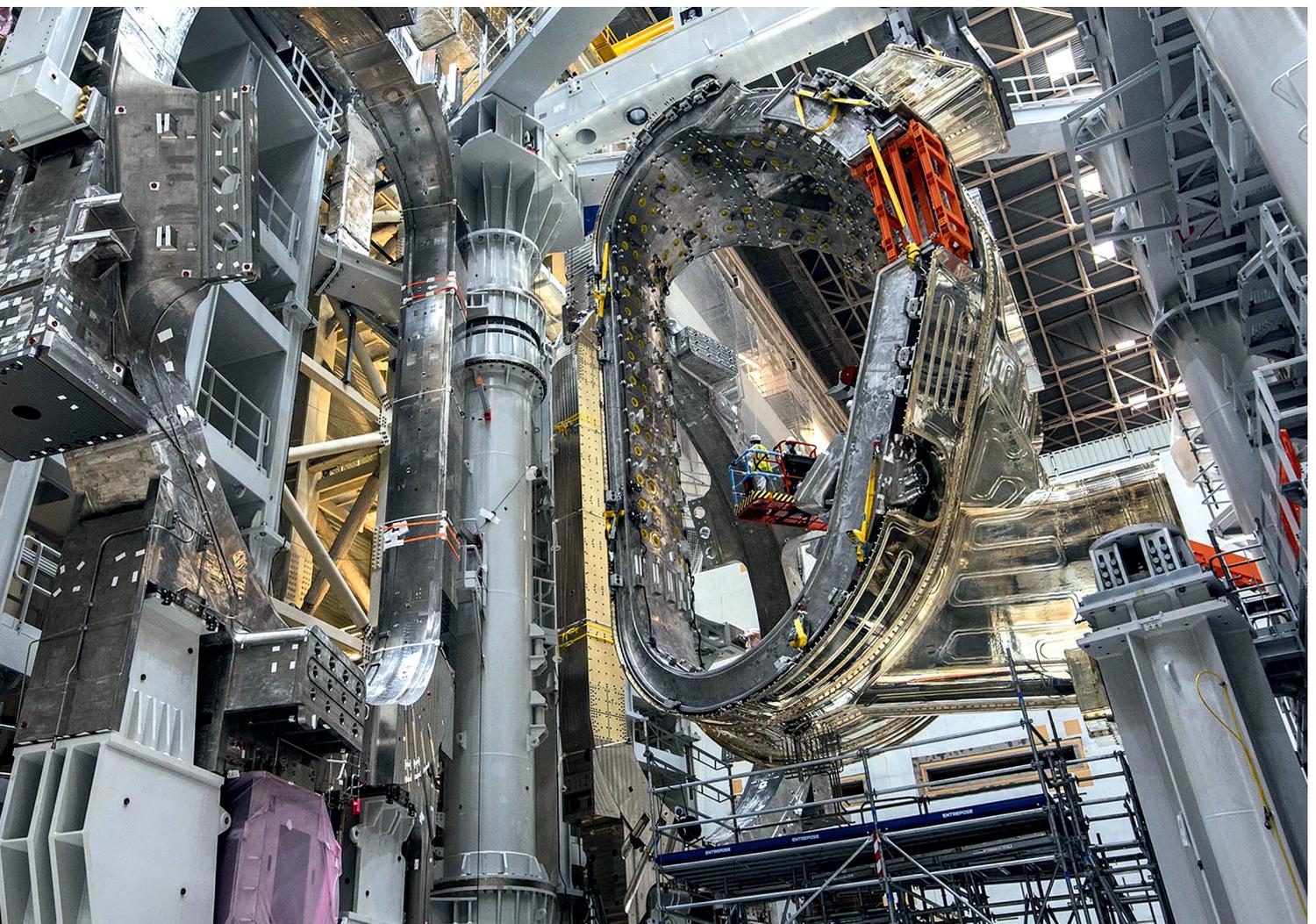


wand. General Fusion geht hier einen anderen Weg als die Mainstream-Forschung: Das Plasma soll durch flüssiges Metall eingeschlossen werden. Dieses wird durch die Wechselwirkung mit dem Plasma nicht zerstört und muss daher nicht immer wieder ausgetauscht werden. Zudem erleichtert es die Wand aus flüssigem Metall, die Fusionsenergie in Form von Wärme abzuführen. Beim Reaktordesign setzt General Fusion auf einen modifizierten Tokamak. Das flüssige Metall wird dazu im Reaktor zum Rotieren gebracht. Wie Wäsche beim Schleudern wird es dabei an die Wand des Gefäßes gedrückt, sodass in der Mitte ein Hohlraum entsteht.

In diesen Hohlraum soll das Plasma aus Deuterium und Tritium eingebracht werden. Um das Plasma zu zünden, das heißt: die Kernfusion zu starten, muss es allerdings weiter komprimiert werden. Dafür will General Fusion genau gesteuerte Kolben nutzen, die rundherum in der Reaktorwand angebracht sind und das flüssige Metall mit seinem Plasmakern zusammenpressen. Doch hier sieht Lackner auch eine der größten Herausforderungen: „Das komprimierte Plasma wird voraussichtlich instabil sein.“ Trotzdem gab General Fusion bekannt, dass es in Zusammenarbeit mit der United Kingdom Atomic Energy Authority ein De-

monstrationskraftwerk im englischen Culham bauen wird. Dieses soll schon 2025 fertiggestellt sein und den Weg zu ersten kommerziellen Fusionskraftwerken Ende der 2020er- oder Anfang der 2030er-Jahre ebnen.

Allen bisher genannten Projekten ist gemeinsam, dass bei ihnen ein Magnetfeld das Plasma einschließt. Einen völlig anderen Weg verfolgen etwa die staatliche Forschungseinrichtung National Ignition Facility (NIF) der USA sowie die deutschen Start-ups Marvel Fusion und Focused Energy. Sie setzen auf die laserbasierte Trägheitsfusion. Dabei werden die Bedingungen für die Kernfusion nur für



67

FOTO: ITER ORGANIZATION, [HTTP://WWW.ITER.ORG/](http://www.iter.org/)

Mit Lichtleistung zur Trägheitsfusion: An der National Ignition Facility in den USA wird der aktuell stärkste Laser der Welt in mehrere Strahlen geteilt, welche in der Reaktorkammer Röntgenstrahlung erzeugen. Diese bringt eine Kapsel mit Deuterium und Tritium zur Explosion, sodass ein Plasma entsteht und es zur Kernfusion kommt.



68

sehr kurze Zeit erreicht, üblicherweise für einige Nanosekunden. Das Plasma hält für diese kurze Zeit schon alleine aufgrund der Massenträgheit zusammen und muss nicht aufwendig in einen Magnetkäfig gesperrt werden. Um die hohe Temperatur und die nötige Dichte für die Kernfusion innerhalb kürzester Zeit zu erreichen, setzen die Forschenden auf leistungsstarke Laser. Die NIF am Lawrence Livermore National Laboratory ist vor allem eine militärische Forschungseinrichtung, denn an der laserbasierten Trägheitsfusion lässt sich studieren, was bei der Zündung einer Was-

serstoffbombe passiert. Die dortige Anlage ist trotzdem – oder gerade deswegen – das am weitesten entwickelte System zur Trägheitsfusion. So kann die NIF den derzeit stärksten Laser der Welt nutzen. Seine Energie erzeugt indirekt, also über mehrere Zwischenschritte, die Kombination von hoher Temperatur und Dichte, die ein Plasma zündet. Im Dezember 2022 gelang den Forschenden der NIF ein Rekordschuss: Die Kernfusion setzte etwa 50 Prozent mehr Energie frei, als der Laser einbrachte, um das Plasma zu erzeugen und zu zünden. Ähnliche Erfolge konnte das

Team in der Vergangenheit allerdings nur mit Mühe reproduzieren, da unter anderem kleinste Abweichungen in der Geometrie des Experiments bereits zu großen Unterschieden im Ergebnis führen. Von einem Kraftwerk ist der Ansatz ohnehin weit entfernt: Die Anlage des NIF kann aktuell nur vier bis sechs Schüsse pro Tag abfeuern, für ein Kraftwerk müssten es mehrere pro Sekunde sein.

Im Unterschied zur NIF zielen die beiden deutschen Start-ups mit ultrakurzen Laserpulsen direkt auf eine Kapsel mit dem Brennstoff. Focused

KERNFUSION

heißt die Verschmelzung von Atomkernen. Handelt es sich um leichte Kerne wie Protonen, wird dabei Energie frei; Sterne erzeugen auf diese Weise Energie.

MAGNETEINSCHLUSS

heißt ein Ansatz der Kernfusion, bei dem ein Plasma in einem Magnetfeld eingeschlossen wird.

Dies geschieht vor allem in Tokamak- und Stellaratoranlagen, die sich in der Erzeugung des Magnetfelds unterscheiden.

TRÄGHEITSFUSION

bedeutet, dass das Fusionsplasma aufgrund der Masseträgheit die nötige Dichte kurzzeitig behält. Laser können das Plasma erzeugen, verdichten und heizen.

siv nennt. Bei der lasergestützten Trägheitsfusion von Marvel Fusion soll der besondere Kniff sein, dass die Kapseln mit dem Brennstoff eine besondere Nanostruktur aufweisen. Allerdings sind nur wenige wissenschaftliche Details des Ansatzes öffentlich, entsprechend skeptisch zeigen sich Günter und Lackner. „Anhand der öffentlich zugänglichen Informationen ist nicht ersichtlich, wie der Ansatz von Marvel Fusion funktionieren soll“, konstatiert Lackner.

Probleme macht die Energiebilanz

Ein Problem plagt alle derzeit verfolgten Ansätze: Bisher sind die Fusionsreaktoren weit davon entfernt, mehr Energie zu erzeugen, als für den gesamten Betrieb notwendig ist. Für die Nutzung der Kernfusion in Kraftwerken ist schließlich nicht die Energiebilanz der Fusionsreaktion entscheidend, sondern die Nettoenergieausbeute des ganzen Kraftwerks. Selbst Iter wird da keine schwarzen Zahlen erreichen. Zwar soll er mehr Energie erzeugen, als direkt in das Plasma fließt. Trotzdem würde Iter als Kraftwerk insgesamt mehr Energie verbrauchen, als er erzeugt. Denn vor allem die Kühlung der großen Magnetspulen sowie die Heizung des Plasmas verschlingen enorme Energiemengen. Zudem lässt sich die durch die Kernfusion generierte Wärme nicht verlustfrei in Strom umwandeln. Vermutlich könnte Iter theoretisch circa die Hälfte des eigenen Energiebedarfs decken. Bei der Trägheitsfusion ist der Unterschied noch gewaltiger: Beim jüngsten und bisher besten Versuch der laserbasierten Trägheitsfusion in der NIF wurden 150 Prozent der Laserenergie durch Kernfusion wieder frei. Doch für die Erzeugung der Laserenergie war etwa 150-mal mehr Energie notwendig, als in der Reaktorkammer ankam. Somit setzte die Kernfusion etwa ein Prozent der eingesetzten Energie als Wärme frei. Davon könnten allenfalls etwa 50 Prozent in Strom umgewandelt werden.

Das Pilotkraftwerk Demo soll jedoch beweisen, dass zumindest die Kernfusion per Magneteinschluss auch alles in allem Energie produzieren kann, wenn die Anlage nur groß genug ist. Doch selbst wenn Forschungsgruppen irgendwann eine sich selbst erhaltende Fusionsreaktion mit positiver Energiebilanz bewerkstelligen, wird sich noch zeigen müssen, ob diese Art der Stromerzeugung wirtschaftlich ist.

Trotz aller Schwierigkeiten bleibt ein Fusionskraftwerk ein erstrebenswertes Ziel. Denn die Probleme fossiler Brennstoffe sind hinlänglich bekannt, und ob erneuerbare Quellen wie Wind und Sonne in der Praxis den wachsenden Energiebedarf der Menschheit decken können, ist noch offen. Welcher der zahlreichen Ansätze zur Kernfusion am Ende erfolgreich sein wird, ist schwer abzusehen. Klar ist allerdings, dass die Konkurrenz den wissenschaftlichen Austausch nicht unterdrücken sollte: „Ob nun durch staatliche Forschung oder privatwirtschaftliche Initiative – wichtig ist, dass die Ergebnisse offen kommuniziert werden“, sagt Karl Lackner. „Auf diese Weise kommen wir auf jeden Fall schneller ans Ziel.“

Energy, eine Ausgründung der TU Darmstadt, erzeugt und verdichtet ein Plasma zunächst, indem ein mit Deuterium und Tritium gefülltes Kügelchen mit einem Laserstrahl beschossen wird. Ein Ionenstrahl zündet das Plasma dann. Dadurch lässt sich der Aufwand für einen extrem leistungsfähigen Laser vermeiden, was Kosten spart. „Ein spannender Ansatz – wenn er funktioniert“, sagt Sibylle Günter. „Und beim Zeitplan bin ich kritisch.“ Denn schon Mitte der 2030er-Jahre sollen erste Kraftwerke Strom produzieren, ein Plan, den selbst das Unternehmen aggress-

FOTO: LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY