

KOSMISCHES AUGE

200 Sterne

sind es, deren Licht das James-Webb-Weltraumteleskop zeitgleich untersuchen kann. Seite 24

ALLES IM FLUSS

Gewässer bilden Lebensadern für Mensch und Umwelt. Wie der Wandel des Klimas sie beeinflusst, ist Gegenstand der Forschung.

Seite 23



Foto: G. G. G. G.

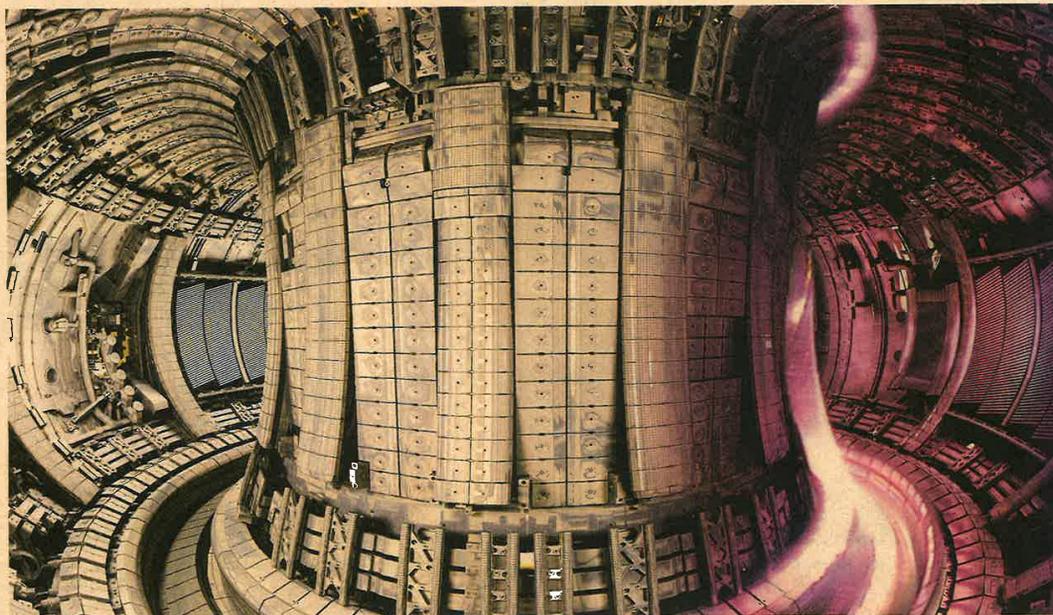


Foto: Euronuclear

Und es gibt doch Fortschritte: Mit dem britischen Fusionsreaktor Jet gelang kürzlich ein wichtiger Durchbruch. Bei der Versuchsanlage SPC in Genf hilft künstliche Intelligenz.

KI beherrscht das nukleare Fusionsfeuer

Fusionskraftwerke gegen künftige Energiekrisen? Forschende sind optimistisch, mahnen aber zur Geduld: Bei der aktuellen Verringerung der CO₂-Emissionen werden sie noch keine Rolle spielen.

Thomas Bergmayr

Spätestens nach der Katastrophe von Tschernobyl 1986 ging vielen auf, dass die Kernspaltung für die Zukunft unserer Energieversorgung vielleicht nicht der Weisheit letzter Schluss ist. Im Jahr davor hatten Michail Gorbatschow und Ronald Reagan in Genf auf die Entwicklung eines gemeinsamen Fusionsenergieprojekts angestoßen – wäre das eine Energiealternative, mit der man rechnen kann?

Die Vertragsunterzeichnung, zugleich der Grundstein für den späteren Versuchsreaktor Iter, ist nun über 35 Jahre her. Man bekommt den Eindruck, bei der „Wundertechnologie“ gegen künftige Energiekrisen und ungewollte Abhängigkeiten hätte sich wenig Greifbares getan. Das Gefühl täuscht freilich, denn auf dem Weg zur Realisierung dieser Technologie sind in Wahrheit substantielle Fortschritte gelungen.

Energieengpässe

Nachhaltige klimaneutrale Energieerzeugung ist ein wachsender Sektor, aber ob er mit dem eskalierenden Stromhunger der Menschheit mithalten kann, ist zweifelhaft. Eine Lösung für die Energieengpässe der Zukunft (ohne die neuerdings wieder salofähige Kernkraft) wäre also nicht verkehrt. Und das wird die Fusionsenergie zumindest anteilmäßig auch tatsächlich leisten –

davon ist Friedrich Aumayr, Vorstand des Instituts für Angewandte Physik der TU Wien, überzeugt. Aumayr ist wissenschaftlicher Direktor des österreichischen Fusionsforschungsprogramms, das von der Akademie der Wissenschaften (ÖAW) koordiniert wird.

Er sieht insbesondere durch jüngste erfolgreiche Experimente mit dem Reaktor JET bestätigt, dass Fusionskraftwerke grundsätzlich funktionieren und in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts auch ihren Platz im Strommix haben werden. „Die Physik hinter Iter ist mittlerweile in trockenen Tüchern. Der Reaktor wird zeigen, dass bei der Fusion auch mehr Energie frei wird, als man für das Heizen des Plasmas aufbringen muss“, sagt Aumayr.

Dass man nicht schon längst so weit ist, liegt an den organisatorischen Hürden für solche internationalen Großprojekte, vor allem aber an den vielen schweren Brocken, die einem die Physik bei der Bändigung der Fusionsenergie in den Weg legt. Um unter dem Strich mehr Energie aus der Fusion von Kernteilchen zu beziehen, als man für die komplexe technische Apparatur aufwenden muss, bedarf es Lösungen, die zum Teil erst erfunden werden mussten. Einige davon gibt es mittlerweile.

Vereinfacht gesagt zapft man bei der Kernfusion jene Energie an, die frei wird, wenn Atome zu neuen Ele-

menten verschmelzen. Nicht bei allen Kernfusionen ist diese Bilanz positiv. Damit die Rechnung aufgeht, muss die Masse der beiden Kerne zusammen größer sein als die gemeinsame Masse der entstehenden Kerne und Teilchen.

Gegen den Widerstand

Wenn die Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium zu Helium-4 fusionieren, ist das der Fall. Das größte Hindernis bei der Verschmelzung solcher Kerne ist ihre elektrische Abstoßung. Eigentlich steht selbst den Wasserstoffisotopen nach der klassischen Mechanik nicht genug Energie zur Verfügung, um den Abstoßungswiderstand zu überwinden. Dass das trotzdem klappt, ist dem quantenmechanischen Tunneleffekt zu verdanken.

Außerdem benötigt man extrem hohe Temperaturen und Drücke sowie starke, steuerbare Magnetfelder. Diese sollen unter anderem verhindern, dass das heiße Deuterium- und Tritium-Plasma mit seiner Umgebung in Berührung kommt. Die Umsetzung dieser hochkomplexen Anforderung mündete in unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien von Fusionsreaktoren mit magnetischem Einschluss des Plasmas.

Am bekanntesten sind die Typen Stellarator und Tokamak, die sich vor allem durch die Formen und Quellen der erzeugten Magnetfelder

unterscheiden. Beim Stellarator lassen sich Stabilitätsprobleme im Plasmastrom, wie sie beim Tokamak-Konzept für Kopfzerbrechen sorgen, leichter vermeiden. Allerdings macht die komplexe Anlagengeometrie die Konstruktion und Wartung von Stellaratoren äußerst aufwendig.

Beim seit 2007 in Bau befindlichen internationalen Projekt Iter beispielsweise setzt man daher auf einen Tokamak-Reaktor. Das Konzept zeichnet sich dadurch aus, dass der magnetische Plasmaeinschluss zum Teil von im Plasma fließendem Strom hervorgerufen wird. Das Ziel ist da wie dort eine selbsterhaltende Fusionsreaktion, der Weg dorthin wird davon bestimmt, wie gut man es schafft, das Hunderte von Millionen Grad Celsius heiße Plasma zu kontrollieren.

Fusion mit KI-Hilfe

Dieses permanente Feintuning ist eine Aufgabe mit zahllosen Variablen, weshalb sich die Hilfe durch künstliche Intelligenz geradezu aufdrängt. Tatsächlich könnten entsprechende Algorithmen Fusionsenergie der wirtschaftlichen Nutzbarkeit einen bedeutenden Schritt näherbringen, wie Versuche eines internationalen Teams am Swiss Plasma Center (SPC) zuletzt zeigten. Das Besondere am Tokamak-Reaktor des SPC ist seine umfassende

Konfigurierbarkeit. Diese wurde mit den Deep-Learning-Fähigkeiten von Software aus dem Haus Deepmind kombiniert, einer 2014 von Google übernommenen Firma. Auch Forschende der Universität Linz lieferten wichtige Beiträge.

Die Experten entwickelten und trainierten eine KI, die – anfangs in Simulationen – spezifische Plasmakonfigurationen formen und aufrechterhalten kann. Dann testete das Forschungsteam um Federico Felici vom SPC das neue System im Tokamak, um zu sehen, wie es sich unter realen Bedingungen verhält. Das im Fachjournal *Nature* präsentierte Ergebnis zeigt, dass man offenbar auf dem richtigen Weg ist.

Der Algorithmus schaffte es, die Magnetfelder so zu steuern, dass nicht nur herkömmliche Plasmaformen entstehen konnten, sondern auch reichlich unkonventionelle. Es gelang sogar, zwei Plasmen getrennt und zur gleichen Zeit im Torus des Reaktors aufrechtzuerhalten – etwas Vergleichbares war bisher noch nie gelungen. Dass die Kernfusion trotz dieser Fortschritte bei der akuten Verringerung der CO₂-Emissionen noch eine Rolle spielen wird, bezweifeln Felici und sein Team. Aumayr bestätigt diese Einschätzung: Die Fusions-Roadmap sieht vor, dass der Iter-Nachfolger Demo nach 2050 erstmals Fusionsstrom ins Stromnetz einspeisen wird.