

# Vielleicht-Maschine mit Zukunft

Mit Kernfusion ließe sich die Energieversorgung der Zukunft sichern. Das große Vorbild ist unsere Sonne, die ihre Energie aus der Verschmelzung leichter Atomkerne gewinnt. Grundlegende Erkenntnisse zur Entwicklung dieser neuen Energiequelle stammen vom Garching **Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP)**, das in diesem Jahr sein 50-jähriges Bestehen feiert.

TEXT **ELKE MAIER**

Den Anfang machte die Sagenfigur Prometheus: Um den Menschen das Feuer wiederzugeben, das der Göttervater Zeus ihnen genommen hatte, hielt er einen Pflanzenstängel in den Himmel und entzündete ihn am funkensprühenden Gespann des Sonnengottes Helios. Der Gedanke, die solare Glut einzufangen, fasziniert die Menschen bis in die Gegenwart. Heute arbeiten weltweit Forscher daran, das Sonnenfeuer auf der Erde selbst zu entfachen und für die Energiegewinnung nutzbar zu machen, darunter die Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP) in Garching und Greifswald. Die Herausforderungen dabei sind weitaus größer, als die Pioniere der Fusionsforschung vor einigen Jahrzehnten erwartet hatten.

Ende der 1940er-Jahre begannen Wissenschaftler zu untersuchen, wie man aus Kernfusion Energie gewinnen könnte. Bereits 1929 hatten die Physiker Fritz G. Houtermans und Robert d'Escourt Atkinson vermutet, die Sonnenglut stamme aus der Verschmelzung leichter Atomkerne. Zehn Jahre später beschrieben Hans Bethe und Carl Friedrich von Weizsäcker den Reaktionszyklus, in dessen Verlauf bei rund 15 Millionen Grad Celsius im Sonneninneren Wasserstoffkerne zu Helium verschmelzen. Damit waren die theoretischen Grundlagen für die Fusionsforschung geschaffen.

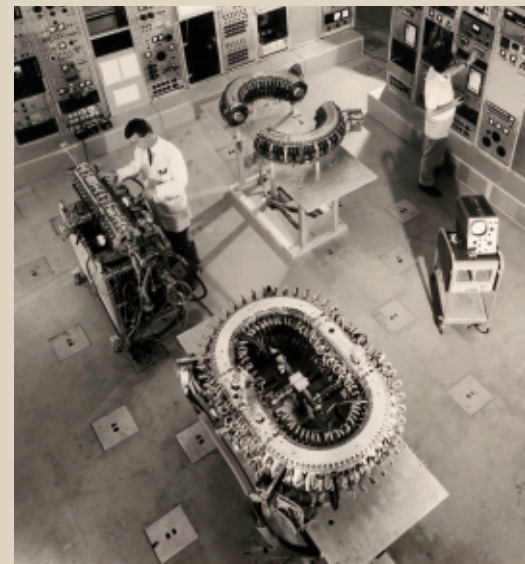
Um die Kernfusion unter irdischen Bedingungen in Gang zu setzen, müsste es den Forschern gelingen, ein extrem dünnes, ionisiertes Gas – ein Plasma – aus den Wasserstoffisotopen Deuterium und Tritium wärmeisolierend einzuschließen und auf mehr als 100 Millionen Grad zu erhitzen. Denn nur bei diesen Temperaturen ist die Geschwindigkeit der Teilchen so hoch, dass zwei positiv geladene Atomkerne ihre gegenseitige Abstoßung überwinden und miteinander verschmelzen. Gelingt das, ist die Energieausbeute gewaltig: Ein Gramm Brennstoff könnte dieselbe Menge an Energie liefern wie die Verbrennung von elf Tonnen Kohle.

Doch wie sollte man es bewerkstelligen, ein derart heißes Plasma unter Verschluss zu halten? In jedem Gefäß würde der Kontakt des Brennstoffs mit dem Wandmaterial augenblicklich zur Abkühlung führen, und die Fusion käme zum Stillstand. Den entscheidenden Einfall hatte 1951 der amerikanische Astronom Lyman Spitzer von der Princeton University. Er schlug vor, das Plasma in einen

magnetischen Käfig zu bannen; die Magnetfelder würden die elektrisch geladenen Teilchen berührungsfrei in der Schwebe halten.

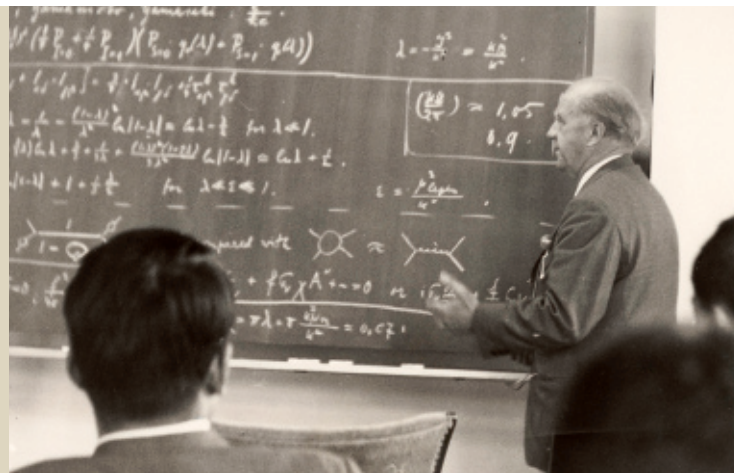
Die Begeisterung war zunächst groß, zumal die Bestandteile für den Brennstoff nahezu unbegrenzt vorhanden sind. Deuterium kommt in den Ozeanen vor, Tritium lässt sich aus Lithium gewinnen, das man in Gesteinen findet. In 20 Jahren, so meinten Experten 1955, würden die Energieprobleme der Menschheit ein für alle Mal gelöst sein. Etwas zurückhaltender gab man sich in Los Alamos, wo der Engländer James Tuck sein geplantes Experiment *Perhapsatron* nannte – *Vielleicht-Maschine*. Mit diesem Namen lag er nicht ganz falsch, denn schon bald zeichnete sich ab, dass sich das flüchtige Plasma nur schwer bändigen ließ. Eine ganze Reihe von Instabilitäten störte den magnetischen Einschluss und führte dazu, dass die geladenen Teilchen entwischten. So stellte man sich Ende der 1950er-Jahre darauf ein, dass der Weg zum Fusionskraftwerk wohl länger sein würde als erhofft.

Zu dieser Zeit gab es auch in Deutschland Pläne, die Fusionsforschung auszuweiten. Am Göttinger Max-Planck-Institut für Physik lag ein Schwerpunkt auf allgemeiner Plasmaphysik und Kernfusion. Werner Heisenberg, der damalige Direktor des Instituts, setz-



Wendelstein 1a, der erste Stellarator des IPP, nahm noch im Gründungsjahr 1960 seinen Betrieb auf (vorne). Im Hintergrund: die Stellaratoren Wendelstein 1b (rechts) und Wendelstein 4 (links).

Visionär der Fusionsforschung:  
Werner Heisenberg auf einem  
Symposium in Feldafing im Juli 1965.



te sich dafür ein, die „Arbeiten auf dem Gebiet der thermonuklearen Reaktionen“ auszubauen. Sein Antrag auf Forschungsmittel, den er 1956 beim Bundesministerium für Atomfragen einreichte, hatte Erfolg. Auf den positiven Bescheid folgte die räumliche Ausdehnung des Göttinger Instituts. Am 28. Juni 1960 gründete man in Garching bei München das IPP, zunächst als Institut für Plasma-physik GmbH, bevor es 1971 in das Max-Planck-Institut für Plasma-physik umgewandelt wurde. Gesellschafter waren Werner Heisenberg und die Max-Planck-Gesellschaft. Bereits 1961 schloss das IPP einen Assoziationsvertrag mit der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ab und ist seither Teil des Europäischen Fusionsforschungsprogramms. In den Anfangsjahren war noch völlig offen, welche Ansätze zum Ziel führen würden. Daher forschten die Garchinger Wissenschaftler auf breiter Front, um verschiede-

SÜDDEUTSCHE ZEITUNG VOM 22. NOVEMBER 1955



Schließlich werde man daran gehen (...) die stärkste in der Natur vorkommende Energiequelle, die im Innern der Sonne und der meisten Sterne liege, für den friedlichen Aufbau der Erde in den Dienst zu stellen (...) Dieses Problem übertreffe an Kühnheit alles bisher Dagewesene.«

ne Einschlussmethoden zu testen. Auch weltweit erprobten Plasmaphysiker viele Konzepte, um das flüchtige Teilchengemisch zu bändigen – und verwarfen die meisten davon.

Zwei Anlagentypen überdauerten den Selektionsprozess: Der Stellarator, dessen Prinzip auf Lyman Spitzer zurückgeht, baut den Magnetfeldkäfig allein mithilfe äußerer Spulen auf; demgegenüber nutzt der Tokamak, ausgetüfelt von den russischen Physikern Igor E. Tamm und Andrej D. Sacharow, zusätzlich einen im Plasma fließenden Strom, der gleichzeitig für die Aufheizung des Brennstoffs sorgt. Weil dieser Plasmastrom in Pulsen von einem Transformator erzeugt wird, können Tokamaks nur gepulst arbeiten, während sich Stellaratoren für den Dauerbetrieb eignen.

Doch in den 1960er-Jahren blieben die experimentellen Fortschritte mit beiden Anlagentypen unbefriedigend. Vor allem der viel zu hohe Teilchenverlust machte den Physikern zu schaffen. Gegen Ende des Jahrzehnts schienen die Wissenschaftler in einer Sackgasse angelangt – als 1968 eine Nachricht aus Russland eintraf: Forscher meldeten von dort, mit ihrem Tokamak T<sub>3</sub> bezüglich Temperatur, Dichte und Einschlusszeit des Plasmas Werte erreicht zu haben, die alle bisherigen Ergebnisse übertrafen. In anderen Ländern war man zunächst skeptisch. So reiste Anfang 1969 ein englisches Team eigens nach Moskau, um die Angaben der russischen Kollegen zu überprüfen. Für ihre neuartigen Lasermessungen hat-

ten die Engländer fünf Tonnen physikalische Apparatur im Gepäck. Als die Messungen die Angaben nicht nur bestätigten, sondern teilweise sogar übertrafen, brach in der wissenschaftlichen Welt eine Tokamak-Euphorie aus.

Der neuen Entwicklung konnte man sich auch in Deutschland nicht entziehen. Im Jahr 1973 ging am IPP der erste Tokamak *Pulsator* in Betrieb; gleichzeitig experimentierten die Wissenschaftler weiterhin mit ihren Stellaratoren. Daneben verfolgten sie noch eine andere kühne Idee: Mithilfe des Hochleistungslasers *Asterix* wollten die Forscher winzige, tiefgefrorene Deuterium-Tritium-Kügelchen im freien Fall mit gebündelten Laserlichtstrahlen beschießen. Durch die energiereichen Lichtblitze innerhalb von milliardstel Sekundenbruchteilen extrem komprimiert und auf Zündtemperatur gebracht, sollten die Kügelchen als „Mini-Wasserstoffbomben“ detonieren und dabei Energie abgeben.

Im Jahr 1974 wurde jedoch beschlossen, die Arbeiten im IPP ausschließlich auf den magnetischen Einschluss von Plasmen auszurichten und die 1967 begonnenen Untersuchungen zur Laserfusion einzustellen. Am 1. Januar 1975 wurde die Laserfusion in eine Projektgruppe ausgegliedert, aus der 1981 das neue Max-Planck-Institut für Quantenoptik hervorging.

Mit dem Stellarator *Wendelstein 7-A* gelang es am IPP im Jahr 1980 weltweit zum ersten Mal, ein heißes Plasma ohne zusätzlichen Plasmastrom einzuschließen. Bis dahin war das nur mit kalten Plasmen gelungen. „Garching shows stellarators may be good after all“, war daraufhin in der Zeitschrift *PHYSICS TODAY* zu lesen. Dabei waren Reaktionsgefäß und helikale Spulen von *Wendelstein 7-A* in der Institutswerkstatt als zeitlich begrenzte Übergangslösung gefertigt worden – die dann fast ein Jahrzehnt bestehen blieb und Berühmtheit erlangte.

Den nächsten großen Erfolg konnten die Forscher 1982 verbuchen: Der Tokamak *ASDEX* lieferte den Beweis, dass sich die Wärmedämmung durch eine spezielle Magnetfeldanordnung (Divertor genannt) verdoppeln lässt. Die Physiker erzielten so einen Plasmazustand mit besonders guter Wärmeisolation, das sogenannte H-Regime. Seither arbeiten Fusionsanlagen weltweit mit Divertor.

Heute ist das IPP das einzige Institut, das Tokamak und Stellarator im Vergleich untersucht. Im 1993 gegründeten Teilinstitut in Greifswald entsteht derzeit der Stellarator *Wendelstein 7-X*, während die Garchinger Forscher mit dem Tokamak *ASDEX Upgrade* experimentieren. Die Erfahrungen fließen in das europäische Gemeinschaftsprojekt *JET* im englischen Culham ein sowie in den internationalen Testreaktor *ITER*, der seit 2007 im südfranzösischen Cadarache entsteht. Läuft alles nach Plan, könnte Mitte dieses Jahrhunderts das erste Kraftwerk ans Netz gehen – und damit das Feuer des Prometheus wieder auf der Erde entzünden.