

Blick in den Sonnenofen

Für das internationale Fusions-Forschungsprojekt ITER entwickeln Fraunhofer-Forscher einen Sensor, der extremen Bedingungen standhält.

Text: Monika Weiner

Theoretisch lassen sich die Energieprobleme der ständig wachsenden Weltbevölkerung ganz leicht lösen. Alles was man braucht, ist Wasserstoff – ein Element, das im Universum reichlich vorhanden ist. Bringt man die Kerne von Wasserstoffatomen zum Verschmelzen, entsteht Helium und dabei wird Energie frei. Viel sogar: In einem einzigen Gramm Wasserstoff steckt der Energieinhalt von mehr als acht Tonnen Erdöl. Dieser Fusionsprozess erzeugt seit Jahrmillionen im Inneren der Sterne Licht und Wärme. Das Prinzip hat sich also mehr als bewährt.

Kein Wunder, dass Forscher auf der ganzen Welt davon träumen, die schier unerschöpfliche Energiequelle auch auf der Erde anzuzapfen. Dies ist freilich nur möglich, wenn man ähnliche Bedingungen schafft, wie sie im Inneren eines Sonnenofens herrschen: Der Wasserstoff muss auf über hundert Millionen Grad erhitzt und verdichtet werden. Die extremen Temperaturen und Drücke sind notwendig, um die abstoßende Kraft, welche die positiv geladenen Atomkerne auf Distanz hält, zu überwinden.

In kleinen Forschungsreaktoren ist es bereits gelungen, für kurze Zeit Wasserstoff soweit zu konzentrieren, dass er zu Helium fusioniert. Energie wurde damit bisher allerdings keine gewonnen – der Stromverbrauch der Reaktoren war weit höher als der Output. Der endgültige Beweis, dass sich durch Verschmelzung von Wasserstoff tatsächlich Strom für die Netze produzieren lässt, steht daher immer noch aus.

Fusion auf der Erde: ein teures Ziel

Den Durchbruch soll jetzt ITER bringen, der »International Thermonuclear Experimental Reactor«. Ein Mammut-Projekt, in dem die Forschungspartner – Europa, Japan, Russland, die USA, China und Südkorea – ihr Know-how bündeln. 5,5 Milliarden Euro investieren sie in ITER, hunderte von internationalen Teams sind an der Planung und Realisierung beteiligt. Anfang des nächsten Jahrzehnts soll der Reaktor im südfranzösischen Cadarache in Betrieb gehen. Wenn alles klappt wie geplant, läuft der Fusionsprozess nach dem Zünden bis zu 60 Minuten stabil weiter.

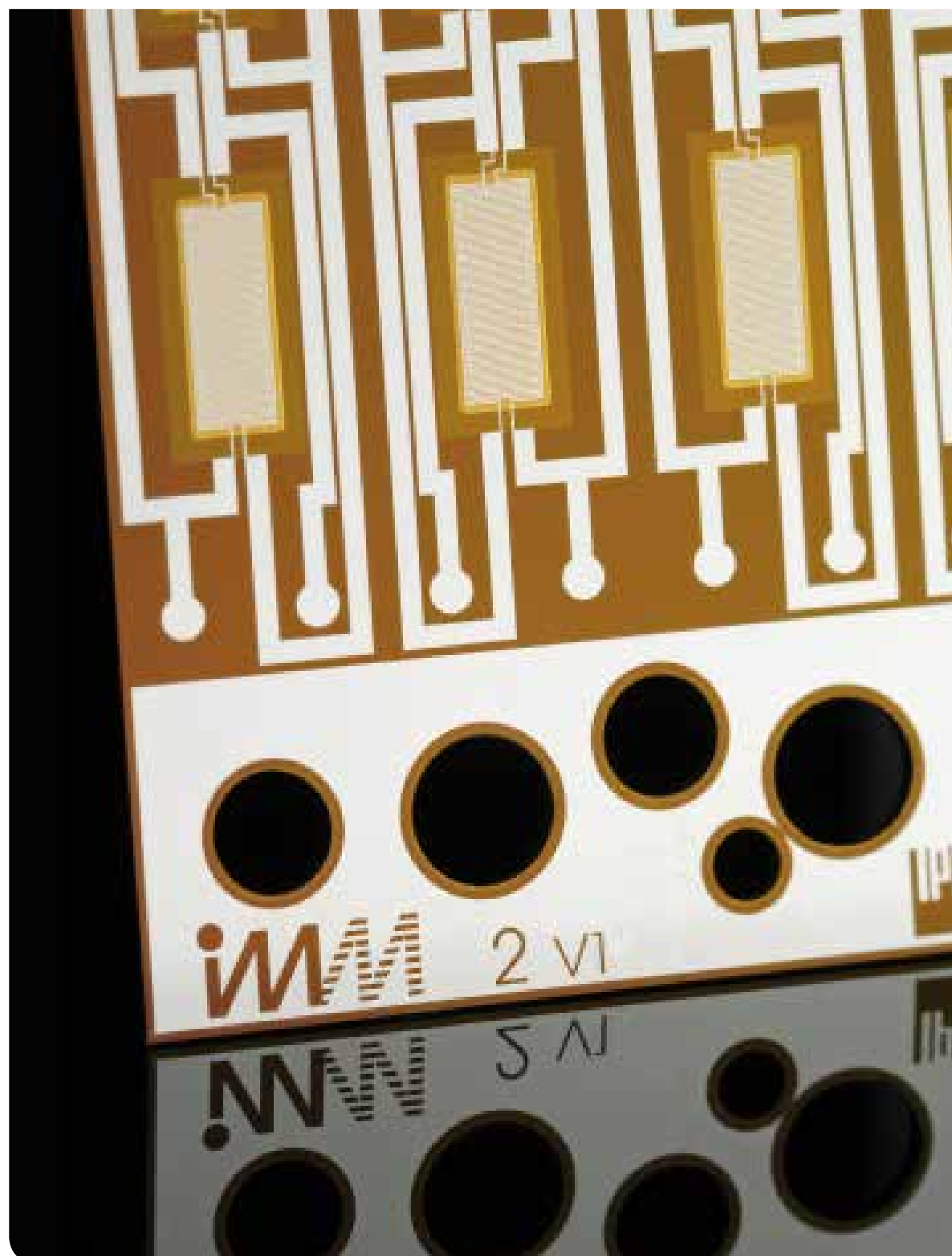
Herzstück der Anlage wird ein ringförmiges Vakuumgefäß, umgeben von supraleitenden Magnetspulen. Auf den Konstruktionszeichnungen sieht es aus wie ein überdimensionaler Doughnut. In seinem Inneren wollen Wissenschaftler sonnenähnliche Verhältnisse schaffen: Das Gas im Vakuumgefäß wird mit Mikrowellenstrahlung angeregt. Dabei verliert der Wasserstoff seine Elektronen – es entsteht ein Plasma aus positiv geladenen Ionen. Diese werden in dem kreisförmigen Magnetfeld beschleunigt wie auf einer Rennbahn. Die zunehmende Temperatur und Dichte führen schließlich dazu, dass die Kerne verschmelzen.

Ionen auf der Rennbahn

All das funktioniert freilich nur, wenn genau die richtigen Bedingungen herrschen. »Beim Betrieb von Fusionsanlagen muss der Plasmaeinschluss überwacht und gesteuert werden. Kontrollieren lassen sich die Bedingungen beispielsweise durch Variation der Magnetfeldstärke, der eingebrachten Energie oder der Teilchen«, erklärt Dr. Peter Detemple vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT-IMM in Mainz. »Besonders wichtig ist es, einen abrupten Zusammenbruch des Plasmaeinschlusses zu vermeiden. Dieser würde die Anlage beschädigen, weil innerhalb kürzester Zeit die gesamte im Plasma gespeicherte Energie auf die Wand des Vakuumbehälters übertragen würde.«

Im Auftrag des europäischen ITER-Partners Fusion for Energy erarbeitet Detemples Team gemeinsam mit den Wissenschaftlern am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching eine Messtechnik für den neuen Reaktor. Keine leichte Aufgabe, denn die Sensorik muss den extremen Bedingungen im Inneren des Vakuumbehälters standhalten: Wandtemperaturen von 450 Grad Celsius und dem ständigen Bombardement durch Neutronen und Röntgenstrahlung, die bei der Fusionsreaktion frei werden. »Das sind schon sehr harsche Bedingungen«, resümiert der Physiker.

Prototyp des Bolometerchips © Fraunhofer ICT



Besondere Umstände erfordern besondere Technik. Bolometer-Kameras – eine Entwicklung des Max-Planck-Instituts – entpuppten sich als ideal: Sie verfügen über ein ausgetüfteltes Blenden-System, das Streulicht abhält und den Blick auf einen extrem kleinen Fleck konzentriert. »So lässt sich das Plasma in einer genau definierten Richtung beobachten«, berichtet Detemple. Sein Team entwickelt den Chip, der im Inneren der Bolometer-Kameras die Strahlung des Plasmas detektiert und in Messsignale umwandelt. Auch dies ist keine einfache Aufgabe – das Spektrum reicht von langwelligem Infrarot bis zu extrem harten Röntgenquanten.

Kleiner Sensor großer Durchblick

Der Prototyp ist mittlerweile fertig: ein etwa 2,5 mal 3 Zentimeter kleines Siliziumplättchen mit Fensteröffnungen, die von einer hauchdünnen Membran überspannt werden. Auf der Vorderseite der Membran befindet sich ein Absorber aus Platin, einem Material, das resistent ist gegen die Neutronenstrahlung, die bei der Fusion frei wird. Auf der Rückseite ist ein präzises Widerstandsthermometer angebracht.

Fällt nun Strahlung auf den Platin-Absorber, so erwärmt sich dieser und der Widerstand des Detektors auf der Rückseite steigt an. »Auf diese Weise können wir die Intensität der vom Plasma ausgesendeten Strahlung über einen breiten Spektralbereich ermitteln«, erklärt Detemple. »Diese Größen sind entscheidend für die Steuerung und Überwachung von Fusionsanlagen.« Bei ITER ist geplant, mehrere hundert dieser Bolometer-Kameras einzusetzen – angebracht an verschiedenen Stellen im Vakuumgefäß sollen sie die räumliche Lage und Intensitätsverteilung des Plasmas ermitteln.

Den ersten Härtetest hat die neue Sensorik schon bestanden: im Münchner Forschungsreaktor ASDEX-Upgrade und anderen internationalen Fusionsforschungsanlagen. Jetzt muss die Technik noch robuster werden. Vor allem die extrem hohen Temperaturen, die im ITER herrschen werden, sind eine Herausforderung. »Wir können dabei glücklicherweise auf Erfahrungen zurückgreifen, die wir bei der Entwicklung von Dünnschichtsensoren für Kunden aus der Medizintechnik und der Chemischen Industrie gesammelt haben. Auch da muss die Sensorik unter extremen Bedingungen funktionieren«, so Detemple. Dennoch muss sein Team derzeit die eigenen Grenzen überschreiten: »So hoch wie im ITER-Projekt waren die Anforderungen noch nie.«

Aber es geht ja auch um etwas ganz Besonderes: Die Technik ist ein wichtiger Baustein im riesigen Forschungsmosaik des ITER. Und damit wird sie vielleicht eines Tages dazu beitragen, die Energieprobleme der Menschheit zu lösen. ■