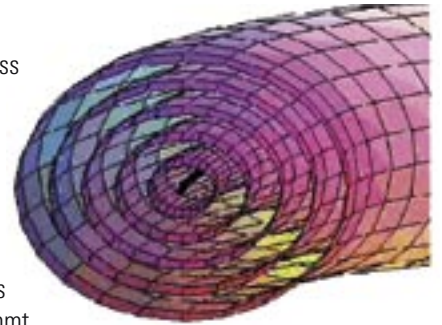


Ein Käfig für das heiße Plasma

A2: WIE DIE JAHRESRINGE EINES BAUMSTAMMS

Die große Herausforderung bei der Kernfusion ist ein effizienter magnetischer Einschluss des aus Deuterium und Tritium bestehenden Plasmas. Beim Bau des Magnetfeldkäfigs nutzen die Forscher aus, dass die geladenen Plasmateilchen von elektromagnetischen Kräften auf Spiralbahnen um die magnetischen Feldlinien gezwungen werden. Wie auf Schienen geführt, können die Teilchen so von den Wänden des Plasmagefäßes ferngehalten werden. Für einen „dichten“ Käfig müssen die Feldlinien innerhalb des Plasmagefäßes geschlossene, ineinander geschachtelte Flächen aufspannen – wie die Jahresringe eines Baumstamms. Auf diesen Flächen ist der Plasmadruck jeweils konstant, während er von Fläche zu Fläche – vom heißen Zentrum nach außen – abnimmt.



Diese ineinander geschachtelten „Magnetröhren“ würden nun jedoch die Plasmateilchen an ihren Enden verlieren – mitsamt der kostbaren Wärmeenergie. Deshalb werden sie zu einem Ring geschlossen. Allerdings wird das Magnetfeld auf der Innenseite des Rings stärker als auf der Außenseite, weil sich die Feldlinien dort dichter zusammendrängen. In der Folge würde das Plasma nach außen aus dem Ring schleudern. Um das zu verhindern, verdrillen die Physiker das Magnetfeld nochmals in sich. Die Feldlinien schrauben sich um die „Jahresringe“ herum: So führen sie die Plasmateilchen immer wieder vom schwächeren Magnetfeld auf der Ringaußenseite zurück ins dichtere Magnetfeld innen – das Plasma bleibt gefangen. Doch das erfordert eine komplizierte Anordnung der Magnetfeldspulen.

A3: „STERNENMASCHINEN“ UND TOKAMAKS

Die ersten Stellaratoren, die „Sternenmaschinen“ (lat. *stella* für Stern), in den 1950er- und 1960er-Jahren scheiterten zunächst daran. Erst heute können Supercomputer die Geometrie der Spulen so genau berechnen, dass der Stellarator wieder im Rennen um das beste Konzept für einen Fusionsreaktor ist. Ein neues Projekt in Deutschland, Wendelstein-7X, soll nun zeigen, dass Stellaratoren das heiße Plasma zuverlässig einschließen können. Die Nase vorn hat derzeit aber ein konkurrierendes Prinzip: der Tokamak. Während Stellaratoren den Magnetfeldkäfig ausschließlich mit Hilfe äußerer Spulen aufbauen, stellen Tokamaks einen Teil dieses Feldes durch einen im Plasma fließenden elektrischen Strom her. Dieser erzeugt ein um sich wirbelndes Magnetfeld, das das Plasma wie einen Schlauch zusammenhält. Der Tokamak ist einfacher aufgebaut als ein Stellarator. Deshalb verhalf er der Fusionsforschung zu hohen Plasmatemperaturen. Als Transformator induziert er im Plasma allerdings nur Strom, solange sich die Stromstärke in seiner Primärspule ändert. Er muss also im Gegensatz zum Stellarator mit Pulsen arbeiten. Für einen Kraftwerksbetrieb ist das nicht sehr praktisch, auch wenn sich ein Puls über Stunden ausdehnen lässt, denn die permanente Änderung der recht enormen Kräfte an den Spulen etc. würde beim längeren Betrieb, also über mehrere Jahre hinweg, das Material sehr belasten. Physiker forschen nun an einer alternativen Betriebsweise: Zusätzliche elektromagnetische Hochfrequenzfelder sollen das Auf und Ab der Pulse so ausgleichen, dass im Plasma ein Gleichstrom fließt.

A4: NIE WIEDER STREIT UM ENERGIE?

Entscheidend ist ein perfekter magnetischer Einschluss, der das heiße Plasma möglichst gut isoliert und nicht auskühlen lässt. Die neuesten Ideen dazu fließen ein in den Bau des internationalen Forschungsreaktors ITER, der in Südfrankreich entsteht. Voraussichtlich 2020 soll ITER richtig „zündet“ und erstmals mehr Fusionsenergie erzeugen als seine Plasmaheizung verbraucht – und zwar zehnmals soviel. Klappt das, dann könnte um 2035 DEMO folgen: Dieser Prototyp eines Kraftwerks soll aus der Fusionswärme bereits elektrischen Strom erzeugen. Ab Mitte dieses Jahrhunderts wären die ersten kommerziellen Fusionskraftwerke möglich. Der Brennstoffvorrat dafür wäre gigantisch, denn schon 0,08 Gramm Deuterium und 0,2 Gramm Lithium würden genügen, um den heutigen Jahresbedarf einer Familie an elektrischem Strom zu erzeugen. Das Deuterium steckt in schwerem Wasser (D₂O), das in allen Ozeanen natürlicherweise vorkommt. Lithium ist Bestandteil von Mineralien, die fast überall in der Erdkruste existieren.

(Bild: „Energieproduktion der Sonne“ / SOHO-Collaboration, ESA)