

Kernfusion: die Hoffnung stirbt zuletzt



Es lebe das Plasma

So ziemlich alles was uns umgibt besteht aus Molekülen, wobei letztere nichts anderes sind, als Atome, die sich nach bestimmten Regeln zusammengerottet haben. Moleküle bauen einen festen Gegenstand auf, so wie die Ziegelsteine ein Haus: sie haben dort einen angestammten Platz und geben dem Ganzen seine Gestalt.

Im Gegensatz zu Ziegeln aber zittern die Moleküle unentwegt vor sich hin. Für dieses Zittern sind wir Lebewesen mit Sensoren ausgestattet: bei Berührung empfinden wir Wärme. Es kommt nun vor, dass Moleküle so sehr zappeln, dass sie ihren Platz verlassen und sich auf die Reise machen. Der Gegenstand verliert dadurch seine Gestalt, er schmilzt.

Wird die Bewegung noch wilder, dann fangen die Moleküle an zu fliegen, und wir haben es mit einem Gas zu tun. Da sausen die Teilchen in der Gegend herum, prallen aufeinander wie Pingpong-Bälle, und wenn sie auf eine Oberfläche stoßen, dann üben sie eine Kraft aus, genannt „Druck“. Das Maß für die Bewegung der Atome oder Moleküle ist die Temperatur.

Erhitzen wir das Gas weiter, dann gehen zunächst die Moleküle kaputt und wir haben nur noch einzelne Atome vor uns, und bei einigen 10.000 Grad °C fangen die Elektronen an, sich von ihrem Kern zu trennen, aus dem Gas wird jetzt ein „Plasma“.

Nackte Atomkerne und freie Elektronen fliegen jetzt wirr durcheinander. Gehen wir mit der Temperatur noch höher, sagen wir zehntausend Mal so hoch, dann kann es vorkommen, dass Kerne so stark aufeinanderprallen, dass sie miteinander verschmelzen. Bei dieser „Kernfusion“ werden enorme Mengen an Energie frei, mehrere Millionen mal so viel wie bei Verbrennung von Kohle oder Gas. So erzeugt die Sonne ihre Energie.

Die kleine Sonne

Mit einer kleinen Sonne auf Erden könnten wir unseren Energiehunger stillen und wären alle Sorgen los. Aber da gibt es ein Problem. Während wir ein Stück Metall auf den Tisch stellen, Flüssigkeit in eine Schale gießen und Gas in eine Flasche einsperren können müssen wir beim Plasma darauf achten, dass es

mit der Wandung seines Behälters nicht in Berührung kommt. Da würde es sich abkühlen und wäre dann kein Plasma mehr.

Die Sonne hält ihr Plasma durch die eigene Schwerkraft zusammen. Aber was sollen wir machen? Da gibt es nun einen Trick: Magnetismus. Die Atomkerne und Elektronen sind ja elektrisch geladen und sie bewegen sich sehr schnell. Magnetische Felder lenken sie von ihrer Flugbahn ab, und zwar immer quer zur momentanen Bewegung und quer zu den Magnetlinien, so dass sie sich letztlich im Kreis bewegen oder auf einer Spirale.

Anders ausgedrückt: nur parallel zu Magnetlinien können die Atome und Elektronen ungestört geradeaus fliegen. Man nehme also ein Rohr, lege es längs in ein Magnetfeld, und jetzt kann das Plasma nur ganz mühsam an die Wände des Rohres driften, während es sich in Längsrichtung frei bewegen kann. Wenn das Plasma allerdings an die Stirnflächen des Rohres stößt, dann hat die Magie ihr Ende. Dumm gelaufen.

Kluge Forscher haben nun so ein Rohr zu einem Ring gebogen und die offenen Enden zusammengeschweißt. Das sah dann so aus wie eine leckere Fleischwurst, ohne die abgeschnürten Zipfel, dafür aber mit einem kreisförmigen Magnetfeld. Das waren russische Forscher und sie nannten das Ganze „toroidalnaya kamera s'magnitnym polem“, abgekürzt *Tokamak*.

Die Mutter aller Tokamaks

In solch einen *Tokamak* füllt man also etwas Gas, legt ein Magnetfeld an, heizt das Ganze auf 50 oder hundert Millionen Grad und wartet auf die Kernfusion. Seit sechs Jahrzehnten wurden bisher in verschiedenen Ländern mehrere Dutzend solcher Maschinen gebaut. „Und“, werden Sie jetzt fragen „hat man tatsächlich Kernfusion bekommen? Hat es geklappt?“

Im Prinzip ja, allerdings hat man immer weniger Energie herausbekommen, als man zum Heizen des Plasmas reingesteckt hat. Dieses Verhältnis, der Q-Faktor, war immer kleiner als eins. Dennoch hat man die Hoffnung nicht aufgegeben. Man hat gelernt, dass die Chancen umso besser sind, je größer man das Ding macht, so groß, dass eine Nation alleine das Projekt nicht mehr stemmen konnte.

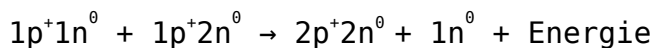
1985 dann initiierten zwei recht vernünftige Männer, Michail Gorbatschow und Ronald Reagan, ein Projekt zum Bau des Jumbos unter allen *Tokamaks*, der hoffentlich kein weißer Elefant wird. Die EU und viele weitere Nationen folgten dem Projekt und 2008 starteten die Erdbewegungen für das ITER genannte Projekt in Cadarache in Südfrankreich.

Die Physik hinter dem Projekt

Wenn dann also alles gut geht und der Drache eines Tages Feuer speit, dann passiert Folgendes:

Das auf 150 Millionen Grad aufgeheizte Plasma besteht aus den Kernen von Wasserstoff – Deuterium (D) und Tritium (T), die sich als besonders fusionsfreudig geoutet haben. Das sind Wasserstoff-Atomkerne, tragen aber im Gegensatz zur landläufigen Sorte noch ein bzw. zwei Neutronen mit sich herum.

D besteht also aus einem Proton und einem Neutron, also $1p1n$ und T ist $1p2n$. Die Fusion sieht dann so aus:



Das Fusionsprodukt $2p2n$ ist der Atomkern des Gases Helium, das wir auch auf der Sonne finden, und n ist ein einzelnes Neutron, welches mit mörderischer Geschwindigkeit davon fliegt und den Löwenanteil der Energie E mit sich nimmt.

Einstein-Fans behaupten nun, dass bei diesem Prozeß Materie in Energie verwandelt würde. Stimmt nicht: vor und nach der Fusion haben wir insgesamt zwei Protonen und drei Neutronen, nichts ging verloren, zählen Sie selbst nach. Würden wir allerdings die Teile vor und nach der Fusion wiegen, dann wäre da ein Unterschied! Die Energie die bei dem Prozeß frei wurde ist jetzt nicht mehr in den Kernen vorhanden. Dieser Energieverlust hat selbst eine Masse: $m = E/c^2$ und die fehlt jetzt auf der Waage; es ist der „Massendefekt“.

Dem freien Neutron können die wahnsinnigen Magnetfelder, die das Plasma im Torus gefangen halten, gestohlen bleiben; es ist nämlich, wie der Name schon sagt, elektrisch neutral und fühlt nichts von dem ganzen Magnetismus. So fliegt es also geradeaus bis es auf eine Barriere trifft, die es abbremsst. Diese Barriere heizt sich dann auf und die Hitze kann man irgendwie, eines Tages, dazu benutzen um Turbinen anzutreiben und Elektrizität zu gewinnen.

Das ist aber bei ITER noch nicht geplant. Die Anlage hat nur das Ziel, ein Plasma aufzubauen, welches 1000 Sekunden lang mehr Energie durch Fusion erzeugt, nämlich 500 Megawatt, als die die Heizung des Plasmas verbraucht, nämlich 50 MW. ITER soll ein „Proof of Concept“ sein; der Beweis, dass das Verfahren „Kernfusion“ einen netto Gewinn an Energie bringen kann.

Und wann bekommen wir endlich den sauberen Strom?

Vergleichen wir den Weg zur kleinen Sonne auf Erden mit der Entwicklung der Luftfahrt. Von ersten bescheidenen Gleitflügen Otto Lilienthals zu Ende des 19. Jahrhunderts dauerte es 60 Jahre, bis das Jet- Zeitalter durch die Boeing 707 eingeläutet wurde. Der aktuelle Entwicklungsstand der Fusion entspricht in dieser Analogie der Phase zwischen den ersten Motorflügen der Gebrüder Wright und der Nonstop-Überquerung des Atlantik durch Charles Lindbergh. Das war sozusagen der „Proof of Concept“ für die Luftfahrt und dem entsprechen die 1000 Sekunden Fusion in unserem ITER. Vom Jet-Zeitalter, d.h. vom routinemäßigen Betrieb industrieller Fusionskraftwerke, sind wir noch ein gutes Stück entfernt.

Erste Bauarbeiten für ITER begannen 2013 und man plant, dass 2025 zum erstem Mal Plasma zwischen den Magnetfeldern der Anlage wabert, das ist der Meilenstein „First Plasma“.

Warum so langsam alles? Nun, der Torus hat zwar nur zwölf Meter Durchmesser, er würde also gut in Ihr Wohnzimmer passen, aber mit all dem Drum und Dran wird daraus dann doch wieder eine komplizierte Angelegenheit, [wie hier gut zu](#)

sehen ist.

Das oben erwähnte „First Plasma“ heißt aber nicht, dass dann schon Kernfusion stattfindet. Dafür sind ja viel höhere Temperaturen nötig. Diese Arbeiten sollen ab 2035 stattfinden, also ein halbes Jahrhundert nach dem Reagan – Gorbi Deal. Nehmen wir an, dass wiederum zehn Jahre später, also 2045, so eine Deuterium – Tritium Fusion stattfindet und für 1000 Sekunden aufrecht erhalten werden kann, dann hätte ITER seine Schuldigkeit getan, dann hätte man den Atlantik überquert. Im nächsten Schritt würde dann eine erste experimentelle Anlage gebaut, die Strom erzeugt, aber noch nicht ins Netz einspeist. Falls das klappt würden die Erfahrungen aus dieser Anlage die Basis für das erste industrielle Fusionskraftwerk, gewissermaßen der Einstieg ins Jet Zeitalter.

Vorsichtig gerechnet könnten also nach 2045 noch mal 25 plus 25 Jahre vergehen, bis sauberer Fusions-Strom aus der Steckdose kommt. Mit anderen Worten, liebe Leserin, lieber Leser, weder Sie noch ich werden in diesen Genuß kommen! Tut mir leid, aber meine Schuld ist es nicht.

Und noch ein Wermutstropfen: So ganz sauber ist die Fusion nicht, denn die erwähnten schnellen Neutronen können allerlei Unheil anstellen. Wenn sie auf Materie treffen können sie radioaktive Substanzen erzeugen, und das Tritium selbst, die eine Hälfte des Treibstoffs, ist von Haus aus schon radioaktiv, mit einer Halbwertszeit von zwölf Jahren; allerdings mit harmloser Strahlung, nicht zu vergleichen mit den Spaltprodukten unserer heutigen Reaktoren.

Quo Vadis?

Neben den technologisch – wissenschaftlichen Herausforderungen lauert da noch eine ganz andere Gefahr. Es könnte sein, dass nachdem viele Milliarden Dollars, unendliche Stunden an Geisteskraft und der lebenslange Einsatz brillanter Professionals schließlich zum Erfolg geführt haben, wenn die Sonne auf Erden dann also angeknipst wird, dass dann eine Stimme ertönt: „Fusionskraft – nein danke“. Und dass auch dann, am Ende des 21. Jahrhunderts, die Vernunft sich von Ideologie geschlagen gibt und die mühsam errichteten Anlagen verschrottet werden.

Einen zögerlichen Versuch, dem zuvorzukommen hat es schon gegeben. Man erkannte, dass die Bezeichnung des gigantischen Vorhabens „International Thermonuclear Experimental Reactor“ ein rotes Tuch für Atomkraft Gegner sein musste; es war eine Ansammlung offensiver Vokabeln und eine Zumutung für die zarte grüne Seele. Eine pfiffige Mitarbeiterin kam dann darauf, dass das Akronym ITER das lateinische Wort für „der Weg“ ist.

So wurde die von unsensiblen Ingenieuren in den achtziger Jahren zusammenschraubte Bezeichnung uminterpretiert in: „iter, der Weg, für die Menschheit“. Stellt sich nur noch die Frage, wohin der führen soll. *Quo Vadis humanitas?*

Dieser Artikel erschien zuerst bei www.think-again.org und im Buch „Grün und Dumm“ <https://think-again.org/product/grun-und-dumm/>