

# WISSEN

Dr. med. Google

Die Weltkonzerne der IT-Industrie erobern das Gesundheitswesen – wie viel Privatsphäre wird den Patienten noch bleiben? > Seite 38/39

## VERKEHR

### Es stinkt was in Deutschland



VON CHRISTOPH BEHRENS

International feiert Deutschland sich gern als Umweltschützer. Neidisch, ehrfürchtig blickten viele Staaten während der Klimakonferenz in Paris zum Beispiel auf die Energiewende. Manche Lorbeeren sind berechtigt. Fabriken, Haushalte, der Handel, die Energieerzeuger stoßen heute weniger Treibhausgase aus als vor 25 Jahren. Fast jeder hat seinen Beitrag für den Klimaschutz geleistet – außer der Individualverkehr. 1200 Milliarden Kilometer legen alle Deutschen im Jahr insgesamt zurück, drei Viertel davon mit dem Auto. An dem Wert hat sich seit zwei Jahrzehnten nichts geändert, der Benzinverbrauch steigt sogar. Der Trend geht zu schweren, spritschluckenden Modellen; jedes fünfte Fahrzeug in Deutschland ist mittlerweile ein SUV. Kleinwagen würden dagegen „langweiliger“ für die Käufer, urteilt der Duisburger Autoexperte Ferdinand Dudenhöffer.

### Noch liefern SUVs satte Gewinne – doch die Autoindustrie verschläft gerade die Zukunft

Dummerweise ist diese Einstellung zum Exportschlager geworden. Die gleichen PS-Boliden, die für hohe Feinstaubwerte in München und Stuttgart sorgen, verzeichnen die höchsten Wachstumsraten in Schwellenländern wie Indien und China. Nicht nur die heimische Energiewende, auch der globale Klimaschutz wird so konterkariert. Der Erfolg des Größenwahns mag bislang beachtlich sein: 2014 war das umsatzstärkste Jahr der Autobranche, SUVs wirkten als „Gewinnbeschleuniger“, schwärmen deren Vertreter. Doch die Zahlen dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Autoindustrie gerade ihre Innovationskraft verspielt. Die meisten Patentanmeldungen für alternative Antriebe kommen derzeit aus Fernost, hat die Münchner Kanzlei Grünecker ermittelt. Japan und Korea dominieren auch die Wertschöpfungskette neuer Batterietechnologien – zentrale Bausteine für die saubere Mobilität der Zukunft. In Deutschland hingegen haben Patentanmeldungen auf den alten Verbrennungsmotor einen Höchststand erreicht, die Forschung an Alternativen lässt nach. Langfristig könnte diese Rechnung böse ausgehen. In China laufen kleinere Hersteller von Elektroautos, wie der von Warren Buffet finanzierte BYD-Konzern, den westlichen Firmen bereits den Rang ab. Gerade hat die Klimakonferenz in Paris deutlich gemacht, dass auch Schwergewichte wie die USA dazu bereit sind, Klimaschutz künftig mit harten Vorschriften zu erzwingen. Was passiert, wenn große Konzerne solche Vorzeichenwechsel verschlafen, zeigt das Beispiel RWE. Die Essener haben lange Zeit zu wenig in Erneuerbare investiert und schreiben jetzt hohe Verluste. Auch der Ausbau von Windenergie und Solarkraft wurde zunächst belächelt – mittlerweile wird er weltweit kopiert. So ein Ruck muss nun auch bei der Mobilität passieren.

## Top 3

Archäologische Stätten mit den meisten Skelettfunden, die auf einen gewaltsamen Tod deuten



- Nubien** Sudan, Friedhof 117, 12 000 – 10 000 v. Chr. **46%**
- Northern British Columbia** Kanada, 1500 v. Chr. – 500 n. Chr. **32%**
- Sarai Nahar Rai** Indien, 1140 – 854 v. Chr. **30%**

SZ-Grafik: Sead Mujic; Quelle: Rose, ourworldindata.org, 2015



Im Forschungsreaktor Wendelstein 7-X wirbeln geladene Teilchen durcheinander. Magnetfelder verhindern, dass sie an eine Wand stoßen. Auf diesem Bild sind Bahnen von Elektronen zu sehen. FOTO: IPP

# Sternstunde

In einem Versuchsreaktor in Greifswald erproben Physiker die Zündung eines kleinen Sonnenfeuers. Kann der bizarr geformte Fusionsofen eine unerschöpfliche, klimaneutrale Energiequelle werden?

VON ROBERT GAST

Eine stärkere Symbolik kann man sich kaum wünschen: Auf dem Pariser Klimagipfel ringen Diplomaten zwei Wochen lang um ein zweites Abkommen, das eine CO<sub>2</sub>-freie Zukunft sichern soll. Und auf den letzten Metern der Verhandlungen fällt der Startschuss für ein physikalisches Experiment, das den Weg zu einer klimafreundlichen und theoretisch unerschöpflichen Energiequelle weist.

So sehen das zumindest die Befürworter der Kernfusion. Für sie ist das Verschmelzen von Atomkernen, wie es im Inneren der Sonne stattfindet, die effizienteste aller Energiequellen. Eine Energiequelle, die man auch auf der Erde erschließen können müsste, indem man ein kleines Sonnenfeuer in einem Reaktor zündet. Am Donnerstag ist dieses ambitionierte Ziel ein Stück näher gerückt: In der Ostseestadt Greifswald absolvierte der gut eine Milliarde Euro teure Forschungsreaktor „Wendelstein 7-X“ seinen ersten Testlauf.

Der 16 Meter breite und fünf Meter hohe Forschungsreaktor ist weltweit die größte Anlage dieser Bauweise und in gewisser Weise ein Exot im Vergleich mit anderen Fusionsreaktoren. Der sogenannte „Stellarator“ basiert auf einem anderen Prinzip als die meisten Versuchsanlagen. Auch der in Südfrankreich entstehende Iter ist anders designt als die verschlungen geformte Brennkammer von Wendelstein 7-X. Während das heiße Gas im Inneren von Iter in einer Donut-förmigen Brennkammer erhitzt wird, bewegt es sich in Wendelstein 7-X wie in einer Brezel, die der Bäcker zu oft geknetet hat. Die Form ist das Resultat aufwendiger Computersimulationen. Lange von Forschern unterschätzt, hat der sogenannte „Stellarator“ einen Vorteil gegenüber dem bisherigen Favoriten der Fusionsforscher. Während der kreisrunde „Tokamak“-Reaktortyp (Iter) regelmäßig Pausen einlegen muss, könnte die Greifswalder Version ohne Unterbrechungen betrieben werden.

Das hoffen zumindest die Physiker. Mit Vorhersagen ist es in der Fusionsforschung allerdings so eine Sache. Das Forschungsgebiet hat eine lange Geschichte enttäuschter Erwartungen hinter sich. Immer wieder sind in den vergangenen Jahrzehnten Forschungsreaktoren spektakulär gescheitert, weil die Wissenschaftler von Problemen überrascht wurden.

Doch die zugrunde liegende Idee ist einfach zu faszinierend. Der Traum von der Kernfusion ist ein schöner Traum, und noch dazu ein sehr alter. Er kam in den 1950er Jahren auf, als die Supermächte immer zerstörerische Atombomben bauten. Es zeigte sich, dass man Sprengkraft eben-

so aus der Spaltung schwerer Atomkerne gewinnen kann wie auch aus der Verschmelzung leichter Kerne. Das letztere Prinzip der Wasserstoffbombe müsste sich doch ebenso in einem Reaktor umsetzen lassen, wie die Kernspaltung in einem klassischen Atomkraftwerk, glaubten die Physiker. Aus ihrer Sicht ist diese Variante weit eleganter als das Zertrümmern von Atomen und den strahlenden Abfällen, die das erzeugt. Statt etwas zu zerstören, schafft die Fusion etwas Neues: Treffen sich zwei Atomkerne des Elements Wasserstoff, können sie zu einem etwas größeren Helium-Atomkern verschmelzen. Dabei wird Masse in Energie umgewandelt. Die Reaktion findet im Inneren der Sonne statt, unzählige Male pro Sekunde. So entsteht die Wärme, ohne die nichts gehen würde auf der Erde.

### Der Brennstoff ist unerschöpflich. Man kann ihn aus Meerwasser gewinnen

Seither propagieren Physiker die Kernfusion als nahezu makellose Energiequelle. In einem Gramm ihres Brennstoffs steckt so viel Energie wie in elf Tonnen Kohle. Man kann diesen Brennstoff – die Wasserstoff-Varianten Deuterium und Tritium – aus Meerwasser gewinnen oder im Fusionsreaktor erbrüten. Das alles soll CO<sub>2</sub>-neutral möglich sein, und ohne das Risiko eines atomaren Super-GAUs.

Die Vision hat allerdings einen Haken: Atomkerne lassen sich nur sehr ungerne verschmelzen. Wegen ihrer elektrischen Ladung stoßen sie einander ab. Nur in einem Hundert Millionen Grad heißen Gas (einem sogenannten Plasma), prallen sie so heftig aufeinander, dass sie ihre natürliche Abneigung überwinden. Allerdings könnte kein Behälter solch eine sengende Brühe aufnehmen, ohne zu schmelzen.

Seit 65 Jahren versuchen Physiker daher, heiße Plasmen mit Magnetfeldern in der Schwebe zu halten. Für geladene Partikel wirken sie wie Leitplanken. Trifft ein Atomkern oder Elektron auf ein Magnetfeld, wird es auf eine Kurve gelenkt. Mit geschickt konstruierten Arrangements aus Spulen, die Magnetfelder erzeugen, können Physiker das Plasma von den Wänden des Reaktors fernhalten – zumindest für kurze Zeit. Es länger zu halten, ist so schwer, wie einen Pudding mit Gummibändern festzuzurren. Früher oder später quillt das Plasma aus jedem Magnetfeld-Käfig, stößt an die Wand und kühlt sich ab. Um das zu vermeiden, muss die Brennkammer die Ausmaße einer Kirche haben. Nur dann sind die Wärmeverluste vernachlässigbar, sodass die Kernfusion in Gang bleibt.

Wendelstein 7-X hingegen soll noch gar keine Energie erzeugen. Im Inneren der 16 Meter breiten Vakuum-Schlaufe werden vorerst überhaupt keine Fusionsreaktionen stattfinden. Die Greifswalder Physiker haben ein anderes Ziel: Sie wollen ein 100 Millionen Grad heißes Plasma länger und besser gefangen halten als ein Reaktor der Tokamak-Bauweise. Der bisherige Rekordhalter steht in Japan und hat das heiße Gas sechseinhalb Minuten lang eingesperrt. „Wir hoffen, im Jahr 2020 eine halbe Stunde zu schaffen“, sagt Thomas Klinger, der Leiter von Wendelstein 7-X.

Damit das gelingen kann, sind 725 Tonnen Hightech notwendig. 65 Vakuumpumpen entfernen Luftatome aus dem Reaktor, das Gas wird mit Mikrowellen erwärmt, die 2000-mal so stark sind wie in einer Küchen-Mikrowelle. Außerdem müssen 230 Tonnen Edelstahl auf minus 270 Grad gekühlt werden. Nur dann verlieren die riesigen Magnetspulen ihren elektrischen Widerstand und erreichen die notwendigen Stromstärken, Physiker sprechen von Supraleitung.

Bereits 1993 reiften die Pläne, die Maschine in Greifswald als Herzstück einer Zweigstelle des Garchinger Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) zu errichten. Bei den Planungen kam es aber immer wieder zu Rückschlägen. Viele der gelieferten Magnetspulen wiesen Mängel auf, ein Hersteller ging sogar pleite. Mehrere Komponenten mussten neu entworfen werden. 2003 sah es so aus, als stünde das Projekt vor dem Aus. Letztlich ist Wendelstein 7-X mit neun Jahren Verspätung fertig geworden, zu doppelt so hohen Kosten wie geplant.

Der Ablauf erinnert an den Internationalen Fusionsreaktor Iter. Der 23 000-Tonnen-Koloss hat derzeit fast ein Jahrzehnt Verspätung. Statt 2016 wird er frühestens 2025 fertig werden. Die Kosten werden sich wohl mehr als verdreifachen. Ob die Europäische Union, die 45,5 Prozent des Geldes bereitstellen soll, den Preisaufschlag mitträgt, ist noch offen.

Dabei wäre auch Iter trotz seiner geplanten Leistung von 500 Megawatt noch kein Kraftwerk, das man ans Stromnetz anschließen könnte. Das könnte erst mit dem Nachfolger gelingen, der frühestens 2040 gebaut werden soll. Der Iter-Reaktortyp „Tokamak“ hat allerdings einen konstruktionsbedingten Nachteil: Iter wird sein Plasma immer nur für gut acht Minuten einschließen, dazwischen muss er Pausen einlegen. „Das ist ein Problem, aber wir arbeiten an einer Lösung“, sagt Ambrogio Fasoli, Fusionsforscher an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne. Wenn in Greifswald alles gut geht, könnte die Lösung durchaus der Stellarator sein. Wie gut dessen sonderbar geformte Spulen letztlich ein Plasma einsperren, muss sich in den kommenden Jahren allerdings noch zeigen.

Vom dem Ziel, Energie zu erzeugen, ist der Stellarator noch viel weiter entfernt als die Tokamak-Konkurrenz. Das Plasma im Inneren von Wendelstein 7-X nimmt nur 30 Kubikmeter ein. In Iter wird Platz sein für 840 Kubikmeter Brennstoff. Dennoch hoffen die Greifswalder Physiker, dass ihr Reaktordesign am Ende womöglich sogar das bessere sein könnte. „Es könnte so laufen wie bei Otto- und Dieselmotor, die beide parallel entwickelt wurden“, sagt der

Projektleiter Thomas Klinger. Auch Physiker, die eigentlich Tokamaks erforschen, schauen nun gespannt nach Greifswald. „Das ist ein aufregendes Moment in der Geschichte der Fusionsforschung“, sagt der Plasma-Physiker Martin Greenwald vom Massachusetts Institute of Technology. „Wir alle sind froh, dass das Projekt trotz der großen Schwierigkeiten vollendet wurde“, kommentiert auch sein Kollege Ambrogio Fasoli.

Die Kritiker des Testreaktors dürften das anders sehen. Im Vorfeld liefen Umweltaktivisten des BUND Mecklenburg-Vorpommern Sturm gegen Wendelstein 7-X. Sie warnten vor „schweren Sicherheitsmängeln“, etwa feinen Rissen im 1,8 Meter dicken Betonpanzer, der den Reaktorraum umgibt. Die Fusionsforscher beauftragten daraufhin den TÜV Süd, der in einem Gutachten feststellte, dass die Anlage sicherheitstechnisch in Ordnung sei.

### Auch die Kernfusion ist eine Nukleartechnologie. Das könnte ihr zum Verhängnis werden

Der Streit hat allerdings in Erinnerung gerufen, dass es sich auch bei der Kernfusion um eine Nukleartechnologie handelt. Während Wendelstein 7-X vergleichsweise wenig Radioaktivität freisetzen wird, werden ausgewachsene Fusionsreaktoren Tonnen an Atommüll abwerfen, zum Beispiel weil die Wände der Brennkammer mit der Zeit radioaktiv werden und man sie austauschen muss. Diese Abfälle müssten allerdings nur 100 Jahre lang ins Endlager, sagen die Fusionsbefürworter. Immerhin: Da sich stets nur wenige Gramm Brennstoff im Fusionsreaktor befinden, kann es zu keinem Nuklearunfall wie in Tschernobyl oder Fukushima kommen.

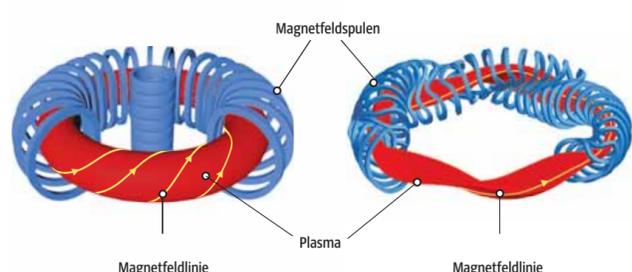
Das Kalkül der Physiker ist, dass das künstliche Sonnenfeuer deshalb eines Tages die Kernspaltung ablöst. Die atompolitische Sprecherin der Grünen, Sylvia Kotting-Uhl, hat große Zweifel daran, ob das gelingen kann: „Die Kernfusion wird frühestens ab 2050 Strom liefern, aber dann muss unser Energiesystem bereits auf erneuerbare Energien umgestellt sein“, sagt sie. Somit komme die Kernfusion schlichtweg zu spät. „Ich bin gespannt, ob es gelingen wird, ganz Europa mit erneuerbaren Energien zu versorgen“, sagt hingegen Thomas Klinger. Es sei wichtig, in Sachen Energietechnik mehrgleisig zu fahren.

Fest steht, dass es bei der Kernfusion längst nicht mehr nur um Technik oder Physik geht. Der Bau der Fusionsreaktoren ist ein logistisches Alptraum. Und die Vision, einen kleinen Stern auf der Erde zu zünden, reicht womöglich nicht aus, diesen Aufwand zu rechtfertigen.

### Zwei Reaktortypen für die Kernfusion

**Tokamak:** Der bisherige Favorit der Physiker kann nur mit Pausen betrieben werden. Mehrmals pro Stunde muss er ausgeschaltet werden.

**Stellarator:** Er könnte pausenlos laufen. Die Anlage Wendelstein 7-X soll beweisen, dass er ähnlich gut funktioniert wie ein Tokamak.



SZ-Grafik; Quellen: Creative Commons BY 3.0