Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 82 (1991)

Heft: 24

Artikel: Kernfusion zwischen Chance und Show

Autor: Weber, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903050

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Kernfusion zwischen Chance und Show

R. Weber

Am Wochenende des 9. und 10. November 1991 liefen Meldungen über die Medien, wonach im europäischen Fusions-Forschungszentrum «Jet» ein Durchbruch bei der Kernfusion gelungen sei. Zugleich hiess es, es würden noch mindestens 50 Jahre vergehen, bis die Kernfusion kommerziell zur Stromerzeugung genutzt werden könne. Hinter diesen widersprüchlichen Aussagen stecken interessante Zusammenhänge – sowohl was die wissenschaftliche Seite als auch die Eigenwerbung der Wissenschaftler angeht.

Les 9 et 10 novembre 1991, les médias ont annoncé que le centre de recherche européen sur la fusion «Jet» avait réussi une percée dans le domaine de la fusion nucléaire. Il a en même temps été dit qu'il faudrait compter quelque 50 années jusqu'à ce qu'il soit possible de produire de manière rentable de l'électricité grâce à la fusion nucléaire. Ces déclarations contradictoires cachent des relations intéressantes aussi bien en ce qui concerne la science qu'en ce qui concerne la publicité personnelle des savants.

Adresse des Autors
Dr. *Rudolf Weber*, Wissenschaftsjournalist, Olynthus-Verlag, 5225 Oberbözberg.

Fusionsforschung ist der Versuch, auf der Erde kontrolliert nachzumachen, was das Sonnenfeuer in Gang hält, nämlich Atomkerne von Wasserstoff miteinander zu Heliumkernen zu verschmelzen. Das Hauptproblem besteht darin, dass die irdische Schwerkraft auch nicht annähernd jene Werte erreicht, die im Zentrum der Sonne die Materie unvorstellbar dicht zusammendrücken. Während aus diesem Grunde auf der Sonne 10 Millionen Grad für eine energieliefernde Fusion ausreichen, sind auf der Erde dafür weit über 100 Millionen Grad nötig. Zumindest nach der Theorie, denn die künstliche Kernfusion ist – ausser in unkontrollierter Art und Weise in der Wasserstoffbombe – auch nach bald 50 Jahren Forschung noch immer Zukunftsmusik.

Den bisher wohl grössten Schritt nach vorne hat die Forschung getan, als Ende der 60er Jahre sowjetische Wissenschaftler den Tokamak erfanden. Wie die volle russische Bezeichnung «Toroidalnaja Kamera Magnitnoj Katuschkoj», also toroidale Kammer mit Magnetspule sagt, wird der Fusionsbrennstoff in einem Torus bzw. Ringrohr mit Hilfe von Magnetfeldern eingeschlossen. Die Magnetfelder zwingen die ionisierten bzw. elektrisch leitend gemachten Wasserstoffatome, als geschlossener Ring gleichsam im Mittelkreis eines Autoreifens zu fliessen.

Mit verschiedenen Verfahren heizt man den Brennstoff auf mehrere Millionen Grad, in welchem Temperaturbereich er ein Plasma bildet: Die Elektronen der Atomhülle haben sich vollstän-

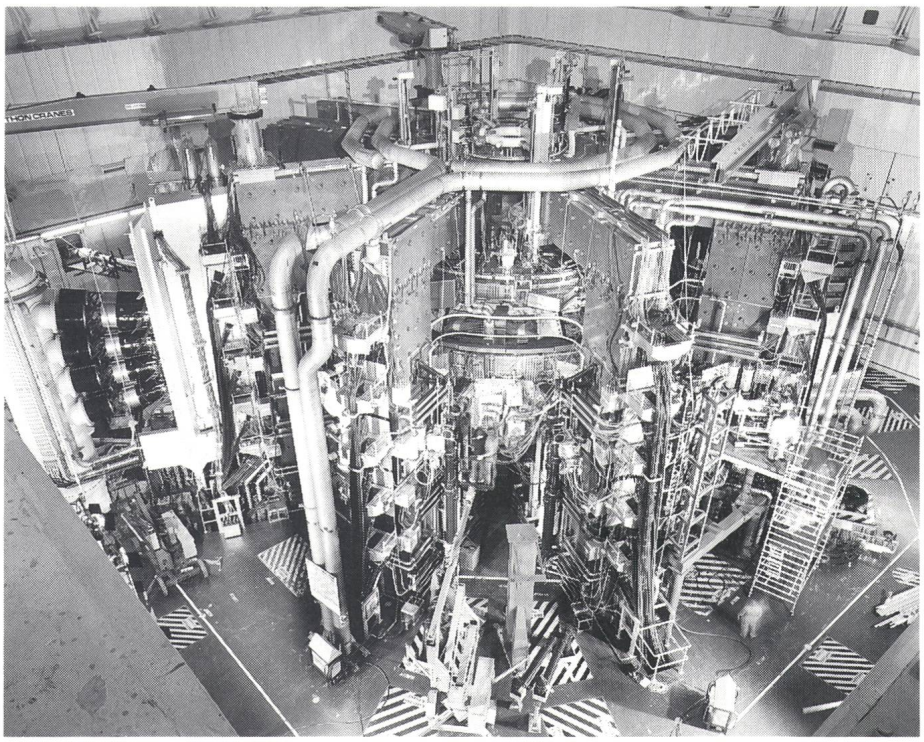

Bild 1 Blick auf die Installationen des Jet, dem grössten Fusionsprojekt der Welt Foto: Jet

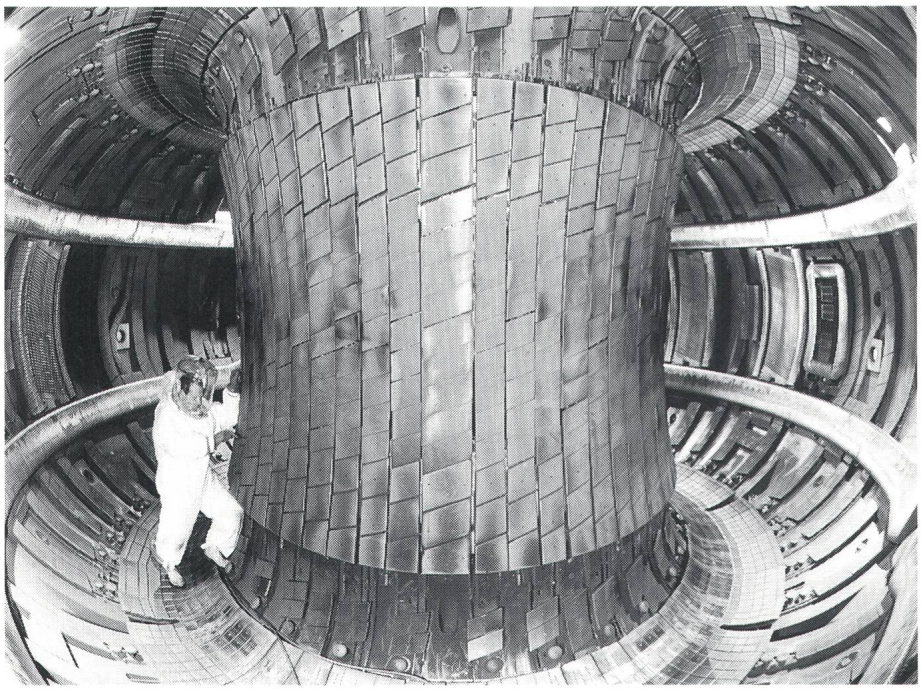

Bild 2 Das Innere des Torus des Jet Foto: Jet

dig von den nunmehr nackten Atomkernen getrennt. Der «Magneteinschluss» ist wohl die einzige Möglichkeit, das superheisse Plasma zu handhaben, würde es doch jede materielle Wand verdampfen.

Der Tokamak

Nachdem die Sowjets – in einer Frühübung von Glasnost – ihr Wissen allen interessierten Ländern zugänglich gemacht hatten, entstanden in den 70er Jahren in etlichen westlichen Ländern Tokamaks. Man lernte bald, dass nur immer grössere Plasma-Maschinen (noch handelt es sich nicht um Reaktoren) näher an die Fusionsbedingungen heranführen. Die derzeit grösste Maschine mit sechs Metern «Reifendurchmesser» wurde 1983 im englischen Culham nahe Oxford in Betrieb genommen. Sie ist ein Gemeinschaftsprojekt der zwölf EG-Staaten sowie der Schweiz und Schwedens – daher auch «Jet» für «Joint European Torus», «Gemeinsamer europäischer Torus», genannt.

Im Jet hat man in den letzten Jahren alle drei Fusionsbedingungen – neben der Temperatur auch eine Mindestdichte des Plasmas und eine Mindesteinschlusszeit – einzeln erreicht, doch nie zwei oder gar alle drei zugleich. Eines der Hindernisse sind Verunreinigungen, die von verirrten Plasmateilchen aus der Wand losgeschlagen werden.

Fortschritte in dieser Hinsicht hat in den letzten Jahren eine Beschichtung mit Berylliumoxid gebracht. Nun ist Berylliumoxid eine chemisch hochtoxische Substanz, vor der man die Monteure, welche nach jedem Experiment Umbauten im Torus vornehmen, mit einer Art Taucheranzug schützt. Dabei wurde die Idee geboren, früher als geplant Versuche mit dem radioaktiven Tritium zu fahren, denn die Anzüge bieten auch vor Tritiumresten und davon radioaktiv gemachten Teilen ausreichenden Schutz.

Bislang war Deuterium bzw. «schwerer» Wasserstoff als Versuchsbrennstoff verwendet worden, weil er nur wenig Radioaktivität verursacht. Ein Gemisch von Deuterium und Tritium bzw. «überschwerem Wasserstoff» hat den Vorteil, schon bei mässigeren Temperaturen als Deuterium allein zu fusionieren – die Theorie verspricht etwa 120 gegenüber mehr als 200 Millionen Grad (und gar einer Milliarde Grad zur Fusion von Helium).

Das Experiment

Nachdem der vorgesehene Termin am Freitag, dem 8. November wegen eines Lohnstreiks der britischen Wissenschaftler ins Wasser gefallen war, stieg das Experiment mit 0,2 Gramm Tritium und etwa 1,2 Gramm Deuterium am Morgen des 9. November. Bei 200 Millionen Grad seien dabei zwei «Schüsse» von jeweils einer Sekunde Dauer gelungen, und bei jedem habe die

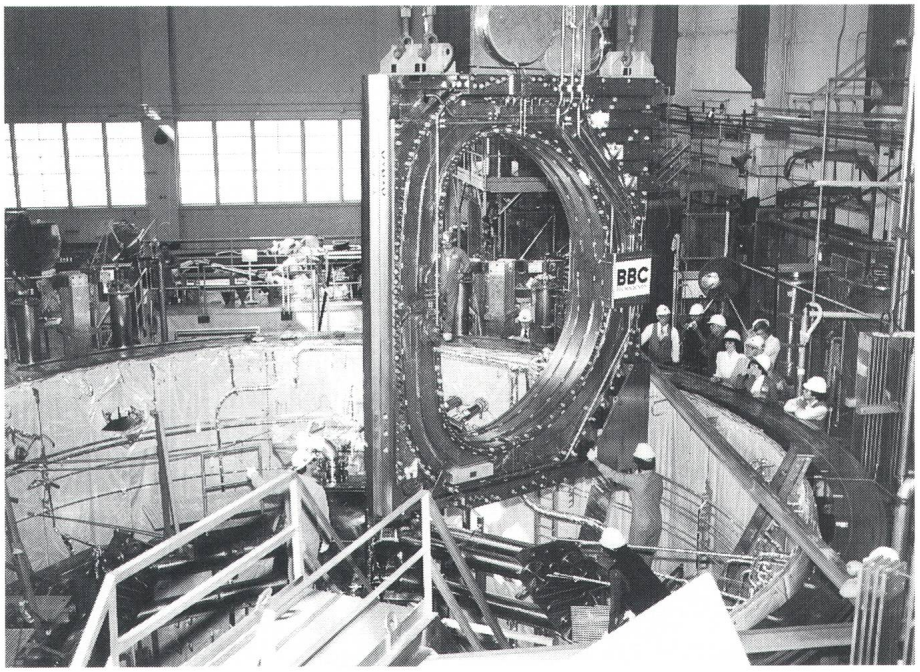

Bild 3 Künftige grosse Tokamaks, ob für Plasmastudien oder zur Energiegewinnung, kommen nach heutigen Vorstellungen nicht ohne supraleitende Magnetspulen zur Erzeugung der starken, das Plasma zusammenhaltenden Magnetfelder aus
Ende der 80er Jahre wurden solche Elektromagnete verschiedener Hersteller, darunter auch einer aus der Schweiz, im US-Forschungszentrum Oak Ridge einer eingehenden Prüfung unterzogen. Die Abmessungen lassen erahnen, wie gross und komplex künftige Tokamaks sein werden.
Foto: Archiv Weber, © Weber

JET: des résultats et des essais hors du commun!

Première mondiale: le tokamak européen Jet a produit 2 Mégajoules d'énergie basée sur la fusion thermonucléaire contrôlée en utilisant un mélange d'isotopes d'hydrogène (du deutérium et du tritium).

Après un début de semaine fébrile dédiée à calibrer, avec une très faible quantité de tritium (1% du total du gaz introduit dans l'enceinte, le restant étant du deutérium), la réponse des appareillages de mesure, super sophistiqués, les chercheurs s'étaient préparés aux expériences qui marqueront cette fin d'année.

Samedi 9 novembre, le tritium a été introduit (14% du total du gaz injecté) dans le tore sous forme de neutres rapides à partir des injecteurs de chauffage. La pointe de puissance était de 1,7 MW, l'impulsion principale présentait 1 MW sur 2 secondes. Les conditions principales étaient pour ces décharges: un courant de plasma de 3 MA et un champ magnétique torique de 2,8 Teslas. Il faudra bien sûr attendre des compléments d'information pour mieux cerner tous les paramètres de ces impulsions de plasma. Ce sont des expériences préliminaires qui revêtent une importance capitale car elles permettront de vérifier si les estimations faites à partir de plasma où seul le deutérium était présent sont valables. Ces expériences permettront d'aborder en 1995/1996 la phase du bilan énergétique nul dans cette installation expérimentale.

La maîtrise de la technologie du tritium est un autre aspect de cette étude préliminaire. Entre temps Jet sera arrêté pour environ 2 ans pour permettre la construction d'un écorceur magnétique à l'intérieur de la chambre à vide, ceci aura pour effet de réduire la migration des impuretés, issues des parois et des composants tapissant celles-ci, vers l'intérieur de la décharge. Ces impuretés ont pour effet de refroidir le plasma, dû à l'augmentation des pertes par rayonnement. C'est une grande réussite européenne à laquelle la Suisse participe.

Le Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, est l'élément moteur de la participation suisse au programme européen, une partie de la recherche portant sur la technologie est développée à l'Institut Paul Scherrer à Würenlingen. Des scientifiques du CRPP sont impliqués dans les recherches menées à Jet, rappelons à cet effet que le Professeur Francis Troyon, directeur du CRPP, est président du Conseil scientifique de Jet.

Le CRPP construit actuellement un 2e tokamak, qui entrera en fonctionnement l'année prochaine et que son programme de recherche permettra (comme c'est aussi le cas pour les autres tokamaks en fonction actuellement) également de mieux définir en 1996, la future machine mondiale (Iter).

Pierre J. Paris, Ing., Phys.,
Centre de Recherches en Physique des Plasmas EPFL

Energiefreisetzung zwischen einem und zwei Megawatt Wärmeleistung betragen (zur Erinnerung: ein Gramm Fusionsbrennstoff liefert so viel Energie wie sechs Tonnen Kohle).

Aus diesen Zahlen in der hauseigenen Pressemitteilung des Jet konstruierten einige Journalisten bis zu 2000 Megawatt elektrischer Leistung und sogar einen Durchbruch auf dem Gebiet der Kernfusion, wobei – wie schon so oft – der Hinweis auf die «saubere und unerschöpfliche neue Energiequelle» nicht fehlen durfte, die bei Gelingen in etwa 50 Jahren alle Energieprobleme lösen werde.

Wenn man jedoch weiss, dass mit Jet schon lange vorher ähnliche Resultate mit Deuterium-Brennstoff erzielt wurden, kann von Durchbruch höchstens insofern gesprochen werden: Das Experiment hat bestätigt, was man aufgrund gesicherter theoretischer Grundlagen über die Eigenschaften von Deuterium-Tritium-Gemischen schon wusste. Und die Wärmefreisetzung betrug zwar das 50fache dessen, was je zuvor erzielt worden war, doch ist das relativ zu sehen: Den zwei Megawatt erzeugter Wärmeleistung stehen einige hundert Megawatt gegenüber, die im Jet für das Aufheizen und Zusammenhalten des Plasmas aufgewendet werden müssen. Für die Energietechnik interessant wird die Fusion aber erst, wenn ein Vielfaches dessen an Leistung bzw. Energie herauskommt, was hineingesteckt werden muss.

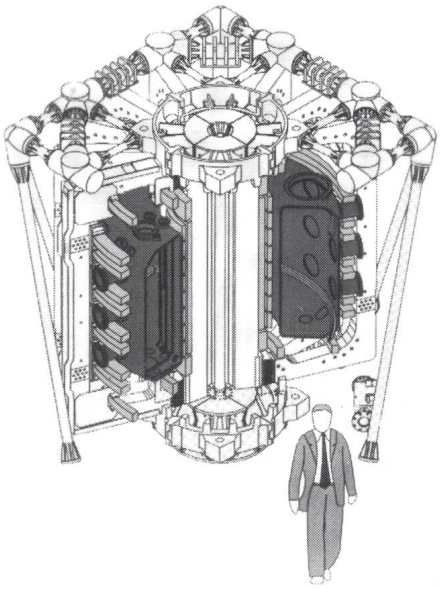

Bild 4 Das Centre de Rercherches en Physique des Plasmas (CRPP) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL) befasst sich seit 28 Jahren mit der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Plasmaphysik und seit zehn Jahren spezifisch mit der Fusion. Als Teil des europäischen Forschungsprogramms wird zurzeit ein spezieller Tokamak mit veränderlicher Konfiguration errichtet (TCV)

Foto: CRPP

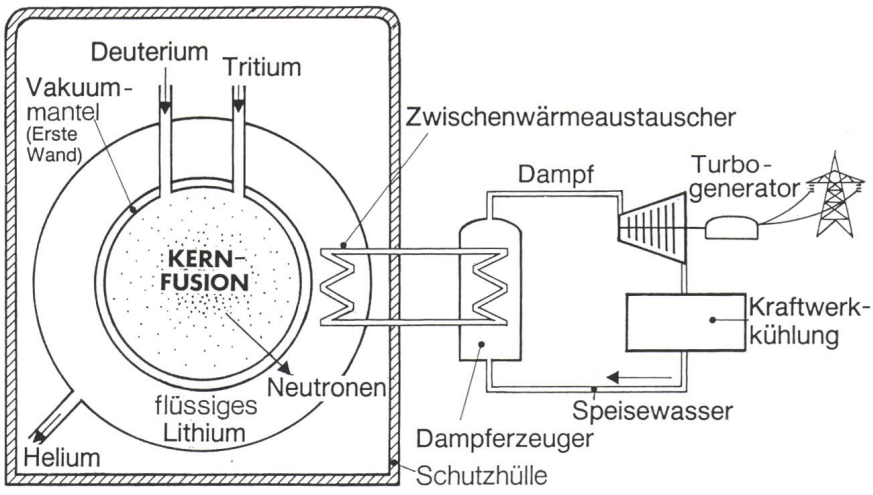

Bild 5 Ein künftiges Fusions-Kraftwerk könnte so aufgebaut sein:
Energiereiche Neutronen als Produkte der Fusionsreaktionen im Plasma gelangen durch die «erste Wand» in einen Mantel aus flüssigem Lithium. Sie heizen es auf und das Lithium gibt einerseits Wärme an einen Dampferzeuger ab, andererseits wird es zu Tritium umgewandelt, das zusammen mit Deuterium als Brennstoff dient.

Grafik: Webers Taschenlexikon Kernenergie, © Weber

Diese Hintergründe erklären auch, weshalb die Forscher trotz des Durchbruchs, von dem auch in ihrem Communiqué die Rede ist, wohlweislich von jenen 50 Jahren nicht abrücken, die sie seit Jahren als Zeitziel bis zur kommerziellen Nutzbarkeit ihres Kindes nennen. In den 70er Jahren sprachen die Forscher immer von 20 Jahren. Seither sind sie, trotz gewisser und wissenschaftlich beachtlicher Fortschritte,

Kernfusions-Energie: Jet an der Spitze

Jet – Abkürzung für Joint European Torus – ist ein bedeutendes Experiment im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms, das zum Ziel hat, die Kernfusion als neue Energiequelle nutzbar zu machen.

Das Jet Unternehmen hat seinen Sitz in Abingdon, Oxfordshire, U.K., und beschäftigt Mitarbeiter aus 14 europäischen Ländern (12 EG-Länder sowie Schweden und die Schweiz), die auch für die Finanzierung des Projektes aufkommen. Das Jet-Team zählt insgesamt 480 Mitarbeiter und verfügt über einen Finanzhaushalt von rund 100 M-ECU (175 Mio. Franken).

Innerhalb Europas betreiben viele Länder Fusionsforschung als Teil eines gemeinsamen Programms, das von Euratom – der europäischen Gemeinschaft zur Nutzung der Kernenergie – koordiniert wird. In den späten 60er Jahren war man übereingekommen, dass der beste Weg zu einem Fusionsreaktor über folgende Etappen führt: Nachweis der Realisierbarkeit auf wissenschaftlicher Ebene, Nachweis der Realisierbarkeit hinsichtlich technologischer Gesichtspunkte, Pilotprojekt eines leistungserzeugenden Reaktors.

Als wesentlicher Bestandteil der ersten Etappe des europäischen Programms sollte ein grosses Fusionsexperiment durchgeführt werden, das zum Ziel hat, Deuterium-Tritium Plasmen unter Reaktor-relevanten Bedingungen zu erzeugen. Dafür wurde 1973 eine international zusammengesetzte Planungsgruppe von Wissenschaftlern und Ingenieuren gebildet und fünf Jahre später wurde mit dem Bau von Jet begonnen.

Jet, das grösste und leistungsstärkste Fusionsexperiment, das je gebaut wurde, hat inzwischen Betriebsbedingungen erreicht, die so nahe an den Parametern eines Reaktors liegen wie bisher bei keinem anderen Experiment dieser Art; insbesondere wurden Plasmatemperaturen von mehr als 300 Mio. °C erzeugt. Unter bestimmten Bedingungen wurden auch für andere Parameter, wie Teilchendichte und Einschlusszeit, Werte im Reaktor-relevanten Bereich erreicht.

Bislang wurden die Jet-Experimente mit Deuterium-Plasmen durchgeführt, um die Aktivierung des Gefässes so niedrig als möglich zu halten. Für das letzte Betriebsjahr 1995/1996 ist geplant, Jet bei voller Leistung auch mit einem Reaktor-Brennstoffgemisch von 50% Deuterium und 50% Tritium zu betreiben.

Die Tritiumbetriebsphase wird in mehreren Schritten erreicht, erste vorbereitende Experimente werden im letzten Quartal 1991 durchgeführt, in der zweiten Jahreshälfte 1995–1996 finden dann die abschliessenden Experimente mit dem Reaktorbrennstoffgemisch statt. Damit läuft das Jet-Projekt aus, und die Belegschaft wird in ihre Heimatlabors zurückkehren.

Die von Jet erzielten Ergebnisse haben bereits den Weg in die Zukunft aufgezeigt, so dass die Parameter eines experimentellen Fusionsreaktors, der den nächsten folgerichtigen Schritt darstellt, mit ausreichender Sicherheit festgelegt werden können. Darüber hinaus hat das Jet-Projekt die bedeutenden Vorteile einer internationalen Zusammenarbeit unter Beweis gestellt. Der folgende Schritt, nämlich der Bau eines experimentellen Reaktors, wird aller Voraussicht nach ein Gemeinschaftsprojekt werden, an dem ausser Europa auch Japan, die Sowjetunion und die USA beteiligt sein werden. Es handelt sich um das Projekt Iter (International Thermonuclear Experimental Reactor). Das grundlegende Konzept, bei dem man sich weitgehend an den Ergebnissen von Jet orientiert hat, ist festgelegt, und die vier Partner haben sich auf drei Zentren als Standorte für die technische Planungsphase geeinigt. Der Reaktor wird während eines Betriebszyklus von etwa einer Stunde eine Leistung von rund 1000 MW erbringen. Damit soll der Beweis erbracht werden, dass die kontrollierte Kernfusion sowohl im wissenschaftlichen als auch im technischen Sinn, verwirklicht werden kann.

Der Bau eines Reaktorprototyps als letzte Phase wird vermutlich erst Anfang des nächsten Jahrhunderts verwirklicht werden, zu einem Zeitpunkt, zu dem neue leistungsfähige und saubere Energiequellen dringend benötigt werden. Im Hinblick auf die Umwelt wird die Energieerzeugung über fossile Brennstoffe, aufgrund der damit verbundenen Probleme der Verunreinigung der Atmosphäre, den Anforderungen nicht mehr genügen. Im Gegensatz dazu verursacht die Kernfusion keine Belastung der Atmosphäre mit Folgen wie «Treibhaus-Effekt» oder saurem Regen. Allerdings beruht die Kernfusion auf einem Prozess, der ein gewisses Mass an Radioaktivität erzeugt. Durch sorgfältige Auswahl der Materialien, die zum Bau des Reaktors verwendet werden sowie durch Entwicklung neuer Materialien mit geringer Aktivierung kann jedoch die Lagerungszeit von radioaktiven Bauteilen auf weniger als 100 Jahre begrenzt werden. Eine Langzeitlagerung von radioaktiven Abfallprodukten ist somit nicht erforderlich. Sogar ein Zwischenfall, bei dem Tritium freigesetzt wird, hat nur sehr begrenzte, rasch abklingende Folgen auf die unmittelbare Umgebung.

Die Entwicklung der kontrollierten Kernfusion stellt eine neue Energiequelle mit nahezu unerschöpflichem Brennstoffvorrat in Aussicht; eine Energiequelle mit minimaler Belastung der Umwelt unter Verwendung von Reaktoren, die vom Prinzip her sicher sind, da eine Betriebsstörung zum sofortigen Abbruch der Reaktionen führt. Wenn der gegenwärtige Fortschritt in der Fusionsforschung aufrechterhalten werden kann, steht uns für die Zukunft eine umweltfreundliche Energiequelle zur Verfügung, die in der Lage sein sollte, das Energieproblem weltweit zu lösen.

Quelle: Pressemitteilung CRPP, 8. Nov. 1991 (leicht gekürzt)

eben vorsichtiger geworden (wobei 50 Jahre genügend zeitliche Sicherheit bieten, um dann nicht mehr daran erinnert werden zu können).

Die Meldung

Immerhin vermeidet es das Communiqué selbst, ohne Vorbehalte von der sauberen und unerschöpflichen Energiequelle zu sprechen, die manche Journalisten voraussehen. Die Wissenschaftler haben schliesslich Kenntnis von all den Studien über Komplexität, Kosten und Gefährdungspotential von Fusionsreaktoren bzw. -kraftwerken, wie man sie sich aus heutiger Sicht vorstellt.

Zwar hat nach wie vor Gültigkeit, was ein ehemaliger Direktor des Jet vor gut zehn Jahren sagte: «Über eine Energiequelle, die es noch gar nicht gibt, kann man auch keine Aussagen bezüglich Wirtschaftlichkeit und Sicherheit treffen.»

Doch stimmen alle Studien darin überein, dass solche Anlagen ungleich komplexer und teurer wären als heutige Kernspaltungs-Kraftwerke, und dass ihr Gefährdungspotential vergleichbar hoch wäre: Der Fusionsbrennstoff Tritium, ein Betastrahler, könnte schon durch minime Lecks in die Umwelt gelangen, wo er als Wasserstoffisotop über das Wasser in den biologischen Kreislauf, also auch in die Nahrungskette eindränge. Ausserdem würden laufend grosse Teile einer Fusionsanlage radioaktiv aktiviert und damit zu Atommüll. Und nicht zuletzt: Gewiss ist der Fusionsbrennstoff Deuterium in den Weltmeeren in praktisch unerschöpflichen Mengen vorhanden, doch könnten sich die Supraleiter, aus denen die Magnetspulen von Kraftwerk-Tokamaks aufgebaut werden müssen, als Materialengpass erweisen.

Man kann es drehen und wenden wie man will: Noch ist man gut beraten, «die Fusion» nicht der Energieforschung, sondern der Plasmaphysik zuzuordnen. Dass einige Journalisten dies anders gesehen haben, liegt aber nicht nur an ihrer Fehlinterpretation der Jet-Mitteilung. Gewisse Formulierungen darin vermögen jemanden, der in Sachen Fusionsforschung und Plasmaphysik nicht sattelfest ist, sehr wohl dazu zu verführen.

Auch wenn die Energiequelle Kernfusion noch im Plasmanebel der Zukunft anzusiedeln ist: Mehr – oft sehr viel mehr – öffentliches Geld wird für noch weniger Trächtiges ausgegeben. Immerhin hat die Plasmaforschung bereits nützliche Nebenergebnisse erbracht, etwa in der Hochvakuumtechnik zur Herstellung von Halbleiter-Bauelementen oder beim Bau supraleitender Magnete für die medizinische Kernspin-Tomographie.