

Zeitschrift: Energie & Umwelt : das Magazin der Schweizerischen Energie-Stiftung SES
Herausgeber: Schweizerische Energie-Stiftung
Band: 2 (1983)
Heft: 1: Wiederaufbereitung

Artikel: Zweifel an dem Superprogramm für Energie : 12 Fragen zur Kernfusion
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-586025>

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: 19.04.2026

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

12 Fragen zur Kernfusion

Im Dezember 1982 wurden die ersten Erfolgsmeldungen zur Kernfusion um die Welt gesendet. Bald folgten die Dementis – so weit war man nun doch noch nicht mit dieser Technologie, die, nach dem Vorbild der Sonne – «der grösste Fusionsreaktor» – alle Energieprobleme für die Zukunft lösen sollte. Die Hitze der Sonne auf der Erde bändigen – dies gibt der Wissenschaft Probleme auf, die alle Experimente bis heute in den Schatten stellen. Jochen Becke, Hochenergiephysiker am Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, zweifelt an der Realisierbarkeit, an der Ungefährlichkeit und an der Wirtschaftlichkeit der Kernfusion. Er stellte 12 kritische Fragen, untersuchte die Argumente der Fusionsbefürworter und zeigt auf, weshalb er nicht an diese Technologie glaubt. In dieser Nummer können Sie den ersten Teil seines Artikels lesen, die Fortsetzung folgt im Heft 2/83.

Die Verschmelzung oder Fusion von Atomkernen wird weithin als letzte grosse Möglichkeit zur Energiegewinnung angesehen. Uneinigkeit herrscht allerdings über den Weg, der beschritten werden soll, um diese Energiequelle zu erschliessen.

Die einen wollen sich lieber ausschliesslich an einen extraterrestrischen Fusionsreaktor halten, nämlich die Sonne, und die zur Erde abgestrahlte Energie ökonomisch und ökologisch nutzen. Die anderen denken eher an den Bau grosser Reaktoren auf der Erde, jeder mit einer Leistung von wenigstens 3 bis 6 GW (thermisch), also rund 1 bis 2 GW (elektrisch). Das wäre etwas mehr als die Leistung eines grossen Kernkraftwerks.

Die hierzu notwendige wissenschaftliche und technische Entwicklung ähnelt in manchen Zügen der des Schnellen Brüters: Bis zur Erstellung des kommerziellen Prototyps werden wohl jeweils rund zehn Milliarden Dollar verschlungen sein, für die Fusion eher noch das Zehnfache. Beide Reaktorlinien stellen extrem komplexe und deshalb anfällige Technologien dar. Zudem ist in beiden Fällen die Frage der Wirtschaftlichkeit völlig offen.

Die Vertreter des Schnellen Brüters werden für sich in Anspruch nehmen, dass es schon einige Exemplare dieser Gattung gibt – zum Beispiel Phenix in Frankreich – und weitere im Bau sind, während bisher keine Detailentwürfe für Fusionskraftwerke existieren. Die heutige Fusionsforschung steckt noch im Experimentierstadium, wenn sie jetzt auch mit Riesenschritten vorangetrieben wird, um Reaktorbedingungen zu erproben.

Als Brennstoff für die erste Generation von Fusionskraftwerken ist ein Gemisch aus Deuterium (D) und Tritium (T) vorgesehen. Dieses Gasmisch muss bei

extrem hohen Temperaturen eine hinreichend lange Zeit eingeschlossen werden, damit die Fusion «zündet», das heisst genügend viele Fusionsreaktionen von Deuterium- mit Tritiumkernen stattfinden können: Die Temperatur muss einige 100 Millionen Grad C betragen, und das Produkt aus der Teilchendichte n und der Einschlusszeit t muss wenigstens 10^{14} cm^{-3} erreichen (Zünd-Kriterium). Das unter derart hohen Temperaturen vollständig ionisierte Gas wird Plasma genannt.

Der Tokamak stellt eine bestimmte Konfiguration des magnetischen Einschlusses dar, die Ende der fünfziger Jahre von sowjetischen Physikern vorgeschlagen wurde. Das Plasma und sein Behälter haben beim Tokamak die Form eines Torus – eines in sich geschlossenen Ringes – und bei den «Pinches» und den Spiegelmaschinen die Form eines Zylinders.

Neben dem magnetischen Einschluss gibt es das Prinzip des sogenannten Trägheitseinschlusses, wobei dem Brennstoff Pulse von sehr energiereichen Strahlen zugeführt werden (Laser-, Elektronen- oder Ionenstrahlen). Da hiermit die Explosion von Wasserstoffbomben simuliert werden kann, haben diese Forschungen eine militärische Komponente und werden in den meisten Ländern geheimgehalten.

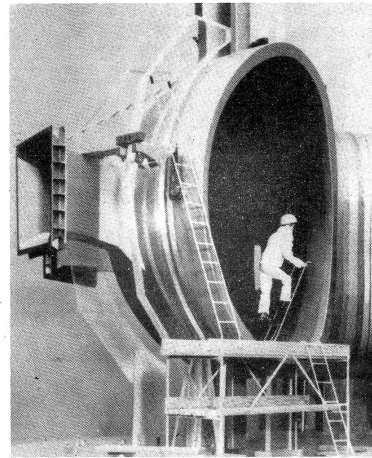
Für die Kernspaltung ist das Auftreten von radioaktiven Abfällen inhärent, das heisst prinzipiell unvermeidbar. Da dies für die Fusion nicht zutrifft, erscheint sie auf den ersten Blick viel vorteilhafter. Ein Fusionsreaktor kann auch nicht «durchgehen» – wie etwa ein Schneller Brüter. Dennoch enthält auch ein Fusionsreaktor ein sehr hohes Gefährdungspotential in Form von

● grossen Mengen aktivierter Strukturmaterialien,

● radioaktivem Tritium (10^6 bis 10^8 Ci, Halbwertszeit 12 Jahre),

● chemischer Energie des Kühlmittels (flüssiges Lithium).

Die hier skizzierten Prinzipien der Kernfusion führen auf eine Vielzahl von Problemen, von denen einige näher beleuchtet werden sollen.



1. Behauptung: Beim Fusionsreaktor wird die Strahlenbelastung gering sein. Ist sie es wirklich?

Bei der D-T-Fusion entstehen sehr energiereiche Neutronen, die in den Strukturmaterialien des Fusionsreaktors zu Strahlenschäden und zu induzierter Radioaktivität führen.

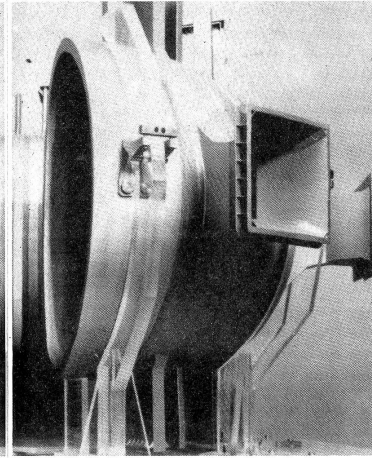
Soweit bis jetzt absehbar, werden die Wände und Strukturen wahrscheinlich aus dem Chrom-Nickel-Stahl 316 SS bestehen, der durch den Neutronenfluss hochgradig aktiviert wird. Nach zweijährigem Betrieb eines solchen Reaktors wäre die Radioaktivität seines Inventars kaum niedriger als die eines Schnellen Brüters gleicher Leistung; die Radioaktivität wäre zudem sehr langlebig.

Die verschiedenen Fusionsysteme unterscheiden sich in den verwendeten Materialien. Die langlebige Radioaktivität des Fusionsreaktors kann gesenkt werden, wenn geeignete Strukturmaterialien gewählt werden. Eine Aluminium-Legierung allerdings scheidet sicher aus, weil sie nicht hinreichend hitzebeständig ist, sich ausserdem nicht mit flüssigem Li-

thium verträgt sowie schwere Strahlenschäden erleidet.

Die Nioblegierung würde eine hohe Betriebstemperatur gestatten und wäre auch leichter zu verarbeiten als die Vanadium- und Molybdänlegierungen, doch ist sie besonders anfällig für Strahlenschäden.

Wegen der vielfältigen Anforderungen ist bisher kein Material eindeutig favorisiert. Die erste Wahl ist Stahl – wegen der reichen Erfahrungen der Stahlindustrie und den vielen vorhandenen experimentellen Daten über dieses Material. Die langlebige Radioaktivität kann noch weiter reduziert werden, wenn nicht nur die Elementzusammensetzung der Strukturmaterialien, sondern auch die



Isotopenzusammensetzung geeignet gewählt wird («isotopic tailoring»). In dieser Hinsicht wäre also ein Fusionsreaktor dem Schnellen Brüter eindeutig vorzuziehen – so scheint es.

Wie aber steht es mit den Kosten für viele Tonnen teurer Metalle, insbesondere wenn es isotopenreines Material sein soll? Die Kosten der Isotopentrennung wären nach den herkömmlichen gasdynamischen Verfahren sicher grösser als zehn Millionen Dollar pro Tonne. Wahrscheinlich würden neue, «billigere» Verfahren entwickelt werden müssen. Aber was würde deren Entwicklung kosten?

2. Welche Gefahren birgt das radioaktive Tritium?

Da Tritium in der Natur praktisch nicht vorkommt, soll es in einem – rund 1 m dicken – Lithiummantel des Fusionsreaktors erbrütet werden: Die bei der D-T-Fusion entstehenden schnellen Neutronen durchdringen die erste Wand und reagieren mit dem die Wand umhüllenden Lithiummantel.

Tritium diffundiert, wie Wasserstoff, bei hohen Temperaturen durch alle Metalle. Im sogenannten Normalbetrieb des Re-

aktors wird es auf dem Weg vom Brüten über den primären Kühlkreislauf und die Zwischenkühlung in den Dampfkreislauf gelangen und dort die Turbinen aktivieren. Ausserdem wird es durch die Wände diffundieren und schliesslich in die Luft gelangen.

Um die Diffusion des Tritium herabzusetzen, müssen wahrscheinlich besondere doppelwandige Rohre verwendet werden. Allerdings gibt es noch keine entwickelte Technik für die Herstellung und Verarbeitung solcher Rohre.

Als grösster anzunehmender Unfall ist wahrscheinlich der Bruch der Hauptleitung der Lithiumkühlung anzusehen mit anschliessendem Feuer – Lithium reagiert sehr heftig mit Wasser und Luft und auch Beton – und einer Freisetzung von Tritium.

Auch die Lagerung von ausgewechselten Maschinenteilen scheint nicht trivial zu sein. Einige dieser Teile werden stark mit Tritium kontaminiert sein und werden eben deshalb von den deutschen Lagerstätten nicht angenommen, jedenfalls nicht nach geltendem Recht.

3. Kann man überhaupt genügend Tritium erzeugen?

Ein ernstes und bisher nur unter Insidern diskutiertes Problem werfen die neuen Kerndaten für Lithium auf, die am Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) und der Kernforschungsanlage in Jülich (KFA) gemessen und in Harwell/England bestätigt wurden: Die Bruterate für Tritium ist deutlich kleiner als bisher angenommen. Sie wird für einen realistischen Lithiummantel – mit Strukturmaterialien und Löchern zur Zufuhr des Brennstoffes und der Heizleistung und zur Abfuhr der Wärme, der «Asche» (Helium) und des nicht verbrannten Brennstoffs – dem Wert 1 bedenklich nahekommen, wenn nicht gar ihn unterschreiten. Eine Bruterate = 1 besagt, dass im Mittel jeder in der D-T-Fusion verbrannte Tritiumkern für seinen eigenen Nachschub sorgt, derart, dass durch die Reaktion der Fusionsneutronen mit Lithium jeweils ein neuer Tritiumkern entsteht.

Wahrscheinlich könnte eine ausreichende Tritiumerzeugung nur dadurch sichergestellt werden, dass die Neutronen zuerst vervielfacht würden, etwa in einem Uranmantel. Das heisse aber, dass in einem D-T-Reaktor auch die bekannten Spaltprodukte der Uranspaltung und ausserdem Plutonium entstünden. Als Alternative zu Uran sind für die Neutronenvervielfachung auch Beryllium und Blei vorgeschlagen worden. Die Berylliumvorräte sind sehr begrenzt, die Verwendung von Blei wäre ebenfalls nicht problemlos, und Beryllium ist zudem äusserst giftig.

Wenn als Ausweg aus diesem Dilemma vorgeschlagen wird, dass die Fusions-

energie aus der D-D- oder D-³He-Reaktion (anstelle von D-T) gewonnen werden soll, dann darf man sich nicht darüber hinwegtäuschen, dass für diese Reaktionen noch wesentlich höhere Temperaturen und Werte von $n \cdot t$ und damit wesentlich höhere Magnetfelder nötig wären. Ob ein D-D- oder D-³He-Reaktor jemals für ein Kraftwerk geeignet wäre, ist mehr als zweifelhaft.

4. Ist die zu erwartende Standzeit eines Fusionskraftwerkes wirtschaftlich?

Auch die Kraftwerkseignung der technisch viel einfacheren D-T-Reaktoren wird bestritten. Als derzeit aussichtsreichster Kandidat gilt der Tokamak. Von allen Problemen sei hier die Frage der Standzeit der ersten Wand und der angrenzenden Strukturen herausgegriffen.

Es ist abzusehen, dass die Materialien durch den Neutronenbeschuss bereits nach einem oder zwei Jahren so spröde werden – neben weiteren Veränderungen wie «Schwellen» und «Kriechen» –, dass sie ausgewechselt werden müssen. Da sie aber hochgradig aktiviert sind, muss das Auswechseln mit Fernbedienung geschehen. Da die Konfiguration eines Tokamaks mit seinen untereinander verketteten Magnetfeldspulen kompliziert ist, käme das praktisch dem Neubau eines solchen Reaktors gleich. Und das alle ein bis zwei Jahre. Wäre das wirtschaftlich?

5. Entscheidend für Kraftwerke ist ihre Leistungsdichte. Beim Fusionsreaktor ist sie gering ...

Die Wirtschaftlichkeit wird auch von der Leistungsdichte begrenzt, die für Tokamak-Kraftwerkentwürfe nur etwa 1 bis 2% des heute in Leichtwasserreaktoren üblichen Wertes beträgt. Die Leistungsdichte ist die zeitlich gemittelte thermische Leistung pro Volumen des Reaktors. Für einen sinnvollen Vergleich wählt man im Falle des Tokamak die Summe der Volumina von Plasmagefäss, Mantel, Abschirmung und Magnetsystem und im Falle des Leichtwasserreaktors das Druckgefässvolumen. Für Kraftwerke ist die Leistungsdichte ein entscheidender Parameter – im Gegensatz etwa zur Nutzung der Sonnenergie. Schlussfolgerung in einer Veröffentlichung des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik: «Konfigurationsbedingte Probleme, niedrige Nettoleistungsdichte bei gleichzeitig hoher Systemkomplexität und aussergewöhnlich hoher Wartungsbedarf machen eine Reaktoreignung des Tokamak-Prinzips wenig wahrscheinlich.»

(Fortsetzung folgt)