



**WELT+** KERNENERGIE

## Der perfekte Kernreaktor

Stand: 19:50 Uhr | Lesedauer: 8 Minuten



Von **Norbert Lossau**  
Chefkorrespondent Wissenschaft

Ein Forscherteam hat sich einen Reaktortyp patentieren lassen, der Atommüll aus Kernkraftwerken entsorgen kann. Er macht ihn zu Strom und Wasserstoff. Damit nicht genug: Mit ihm wären die zwei wichtigsten Argumente gegen den Betrieb von Kernkraftwerken obsolet.

**A**uch wenn in Deutschland das letzte Kernkraftwerk abgeschaltet ist, wird uns eine Frage noch lange beschäftigen: Was soll mit den radioaktiven Abfällen geschehen, die sich derzeit in diversen Zwischenlagern befinden?

Die Suche nach einem Endlager-Standort, an dem das strahlende Andenken der Kernenergie-Ära für Millionen von Jahren sicher verwahrt werden kann, hat gerade erst begonnen. 2020 sollen in einem ersten Schritt jene Regionen Deutschland benannt werden, die sich aus geophysikalischen Gründen grundsätzlich nicht für ein Atommüll-Endlager eignen.

Experten rechnen damit, dass dann immer noch ungefähr die Hälfte der Landesfläche übrig bleibt, deren Untergrund man im nächsten Schritt genauer analysieren wird. Mit Widerstand der Bevölkerung dürfte wohl in jeder Region zu rechnen sein, die im Laufe des Auswahlprozesses in die engere Standortwahl kommt.

Klingt es da nicht wie eine frohe Botschaft, wenn Physiker vom Berliner Institut für Festkörper-Kernphysik (<https://festkoerper-kernphysik.de/>) die Möglichkeit aufzeigen, diesen Atommüll in einem speziellen Reaktor zu entsorgen, so dass auf ein Endlager verzichtet werden könnte? Ja, es handelt sich um eine Anlage, in der mit Radioaktivität umgegangen, Atomkerne gepalten und dabei auch Energie erzeugt wird. Es wäre also ein Kernkraftwerk – und die wollen wir ja in Deutschland nicht mehr betreiben. Oder könnte es unter diesen Umständen eine Ausnahme geben?

Der an der Entwicklung des sogenannten Dual Fluid Reaktor (<https://dual-fluid-reaktor.de/>)s (DFR) beteiligte Physiker Götz Ruprecht betont, dass dieser intrinsisch sicher sei. Ein Unglück wie in Tschernobyl oder Fukushima sei unter allen Umständen unmöglich. Wenn das stimmt, dann wären die zwei wichtigsten Argumente gegen den Betrieb von Kernkraftwerken obsolet: die drohende Gefahr eines GAU und das Endlagerproblem.

Auf der anderen Seite gibt es ein gewichtiges Argument für Kernenergie. Reaktoren geben kein Kohlendioxid in die Atmosphäre ab. Sie sind klimaneutral. Angesichts drohender Klimaszenarien mit langanhaltenden Dürreperioden, häufigen Starkstürmen, schmelzenden Gletschern und ansteigenden Meeresspiegeln wird immer häufiger die Frage nach dem kleineren Übel gestellt. In der New York Times erklärten im April 2019 Professor Joshua Goldstein von der American University, der schwedische Ingenieur Staffan Qvist und der Harvard-Psychologe Steven Pinker in einem gemeinsamen Beitrag, warum sie den Klimawandel für die größere Herausforderung und die Kernenergie für das „neue Grün“ halten.

Tatsächlich gibt es in den USA bereits Dutzende Start-Ups, die Kernkraftwerke der sogenannten vierten Generation entwickeln. Mit von der Partie ist sogar Bill Gates mit seinem Unternehmen TerraPower. Auch in der EU wird die Entwicklung neuer Reaktortypen gefördert. Sie alle zeichnen sich insbesondere durch ein wichtiges Merkmal aus: sie sollen intrinsisch sicher sein, also unter keinen Umständen Radioaktivität in die Umwelt freisetzen.

„Das Hauptproblem von Reaktoren der vierten Generation, sofern sie mit festen Brennelementen arbeiten, ist mangelnde Konkurrenzfähigkeit mit fossilen Kraftwerken“, erklärt der Kernphysiker Götz Ruprecht, „feste Brennelemente führen zu einem teuren Brennstoffkreislauf und aufwendigen Sicherheitsmaßnahmen.“ Effizienter sei hingegen der Betrieb eines Reaktors mit flüssigen Kernbrennstoffen.

So hat ein Team von Physikern des Instituts für Festkörper-Kernphysik, einer gemeinnützigen GmbH, in Kooperation mit kanadischen und polnischen Kollegen, das Konzept des Dual Fluid Reaktors entwickelt. Der drei Meter große Reaktorkern besteht aus einem Netzwerk von Röhren, in denen flüssiges Salz zirkuliert. In diesem heißen Salz sind die spaltbaren Kernbrennstoffe enthalten.

„Ein Vorteil dieses Reaktorprinzips besteht darin, dass sich hier gleichermaßen Natururan, angereichertes Uran, Thorium und eben auch alle abgebrannten Brennelemente besonders effizient nutzen lassen“, erklärt Ruprecht. Die abgebrannten Brennelemente sind das Hauptproblem bei der Endlagerung. Sie enthalten Plutonium und andere Aktiniden, die über Millionen Jahre hinweg strahlen. Derzeit befinden sich in Deutschland 20.000 Tonnen Atommüll in Zwischenlagern.

„Man müsste die Pellets aus den alten Brennstäben nur zermahlen, das Pulver in einem chemischen Reaktor in Salze umwandeln und diese dann in den Flüssigsalz-Kreislauf einbringen“, sagt Ruprecht. Weil der Flüssigsalz-Reaktor mit schnellen Neutronen arbeitet – es gibt keinen Moderator, der sie abbremsen würde – können hier alle schweren Nuklide geknackt, also gespalten werden.

Am Ende bleiben vergleichsweise kleine Mengen radioaktiver Isotope übrig. Die meisten von ihnen besitzen Halbwertszeiten von deutlich unter hundert Jahren. „Nach diesem Zeitraum könnten 90 Prozent der Spaltprodukte aus dem Zwischenlager entnommen werden, nach 300 Jahren der Rest“, erklärt Ruprecht.

## **Dual-Fluid-Reaktor mit Salz und Blei**

Dieser „Abfall“ enthält auch wertvolle Edelmetalle. Pro Jahr produziert der DFR 100 Kilogramm Ruthenium, 20 Kilogramm Rhodium und 60 Kilogramm Palladium und einige zehn Kilogramm Xenon. „Insgesamt haben diese Substanzen einen Marktwert von mehreren Millionen Euro“, so Ruprecht. Im laufenden Betrieb des Reaktors könnte auch das in der Medizin eingesetzte Radioisotop Mo-99 entnommen werden. Davon produziert der DFR ein knappes Kilo pro Jahr, allerdings können wegen der geringen Halbwertszeit nur wenige 100 Gramm davon bereitgestellt werden. Dies ist jedoch bereits ein Vielfaches des Weltbedarfs.

Die Berliner Wissenschaftler haben ihren Reaktor auf eine Leistung von drei Gigawatt ausgelegt. Er produziert also drei Milliarden Watt Wärme. Die Nominaltemperatur in seinem Kern soll 1000 Grad Celsius betragen. Wie wird diese Wärme abgeleitet? Bei heutigen Kernkraftwerken stehen die Brennstäbe gleichsam wie Tauchsieder im Wasserbad. Deshalb heißen sie Siedewasserreaktoren.

Die mit dem Flüssigsalz und Kernbrennstoffen gefüllten Röhren befinden sich hingegen in einem Bad aus flüssigem Blei, das die Wärme aus dem Reaktorkern abführt. Diese Anordnung war namensgebend: Der Dual-Fluid-Reaktor – also Zwei-Flüssigkeiten-Reaktor – arbeitet mit flüssigem Salz und flüssigem Blei.

Das flüssige Blei hat nicht nur eine große Wärmekapazität. Blei kann bekanntlich auch sehr gut radioaktive Strahlung absorbieren. Es trägt also zum Strahlenschutz bei. Ruprecht berichtet, dass sich selbst manche Wissenschaftler nicht vorstellen könnten, mit welchen Materialien sich 1000 Grad heißes Blei handhaben lässt. Doch dies sei kein Problem, beteuert er. Mit 15 Tonnen Siliziumkarbid und 20 Tonnen einer speziellen Molybdän-Legierungen ließe sich diese Herausforderung meistern – und das zu überschaubaren Preisen.

In einem weiteren Wärmetauscher gibt das flüssige Blei seine thermische Energie an einen Sekundärkreislauf ab. Der so erzeugte Wasserdampf kann, wie in konventionellen Kraftwerken, zum Antreiben von Turbinen genutzt werden. Denkbar ist auch, statt Wasser sogenanntes superkritisches Kohlendioxid als Wärmemedium zu verwenden. Das wäre noch effizienter.

Doch warum ist der Dual Fluid Reaktor inhärent sicher? Was passiert, wenn sich – warum auch immer – die Brennstoff-Flüssigkeit im Reaktorkern zu stark erhitzen sollte? Zum einen, so erläutert Ruprecht, dehnen sich Flüssigkeiten bei steigender Temperatur aus. Dadurch würde die Dichte des Kernbrennstoffs und damit die Leistung des Reaktors automatisch geringer.

## **Bei einem Unfall schmilzt der Stopfen**

Doch darauf allein will man sich nicht verlassen. In den Flüssigsalz-Kreislauf ist eine Schmelzsicherung eingebaut. Überschreitet die Flüssigkeit eine kritische Temperatur, schmilzt ein Stopfen in der Leitung und die gesamte Reaktorflüssigkeit läuft in mehrere Auffanggefäße, die in einem unterirdischen Bunker stehen. Die Größe der Behälter ist so konzipiert, dass in jedem von ihnen der Flüssigbrennstoff unterkritisch bleibt, es also keine Kernschmelze geben kann. Doch die Planer vom Institut für Festkörper-Kernphysik gehen davon aus, dass es zu einer solchen, gleichwohl beherrschbaren Situation niemals kommen wird.



Neben physikalisch-technischen Planungen haben die Forscher auch die wirtschaftlichen Eckdaten für den Dual Fluid Reaktor durchgerechnet. Die Kosten für den Bau eines DFR mit einer thermischen Leistung von drei Gigawatt und einer elektrischen Leistung von 1,5 Gigawatt veranschlagen die Wissenschaftler mit 1,5 Milliarden Euro, von denen 45 Prozent auf den konventionellen Kraftwerksteil entfallen. Die Produktionskosten für eine Kilowattstunde elektrischer Energie geben sie mit 0,65 Eurocent an.

Die hohen Temperaturen des DFR würden, so die Einschätzung der Wissenschaftler, neben der Erzeugung von Strom auch die Produktion von Wasserstoff ermöglichen. Bei 1000 Grad Celsius können Wassermoleküle thermisch in Sauerstoff und Wasserstoff gespalten werden.

Wasserstoff ist als ein möglicher Energieträger der Zukunft im Gespräch. Aus Wasserstoff plus Stickstoff oder Kohlendioxid lassen sich überdies andere flüssige Treibstoffe herstellen – zum Beispiel Hydrazin. Mit Hydrazin könnten Autos und Flugzeuge angetrieben werden. Die Forscher schätzen, dass die Produktion von Hydrazin 10 bis 40 Cent je Liter Benzinäquivalent kosten dürfe. DFR-Kraftwerke könnten also einen zentralen Beitrag für klimaneutrale Mobilität liefern.

Die Forscher vom Institut für Festkörper-Kernphysik haben für ihr Konzept des Dual Fluid Reaktors ein internationales Patent erhalten ([PCT/DE2012/000957 \(https://festkoerper-kernphysik.de/DFR\\_Patent.pdf\)](https://festkoerper-kernphysik.de/DFR_Patent.pdf)). Damit ist aber noch nicht gesagt, dass tatsächlich alles so funktioniert, wie es die Berliner Wissenschaftler am grünen Tisch berechnet haben. Bislang wurden keinerlei Experimente zum DFR durchgeführt, noch ist das alles Theorie.

„Eine erste Studie, die die Machbarkeit und Sicherheit des Dual Fluid Reaktors belegen könnte, dürfte mindestens vier Millionen Euro kosten“, schätzt Ruprecht, „die Entwicklung eines Teststands, mit dem sich die praktische Machbarkeit des Dual Fluid Konzepts demonstrieren ließe, würde mindestens 20 Millionen Euro erfordern.“

Doch dieses Geld haben die Forscher nicht. Und selbst wenn es keine finanzielle Hürde gäbe – in Deutschland ist der Bau eines neuen Kernkraftwerks derzeit politisch undenkbar. Auch wenn dies inhärent sicher sein sollte.

Und auf dem internationalen Parkett haben die vornehmlich deutschen DFR-Forscher durchaus mit Konkurrenz zu kämpfen. So setzt inzwischen auch TerraPower auf ein

Reaktorkonzept mit Flüssigsalz. Und Bill Gates wird es nicht an 20 Millionen für einen Demonstrator mangeln.

© Axel Springer SE. Alle Rechte vorbehalten.

---

Die WELT als ePaper: Die vollständige Ausgabe steht Ihnen bereits am Vorabend zur Verfügung – so sind Sie immer hochaktuell informiert. Weitere Informationen: <http://epaper.welt.de>

Der Kurz-Link dieses Artikels lautet: <https://www.welt.de/192349911>