

# Geboren aus Asche

 welt.de/print/die\_welt/wissen/article162760506/Geboren-aus-Asche.html

Es lief nur fünf Jahre lang: Das Flüssigsalzreaktorexperiment im Oak Ridge National Laboratory in Tennessee. Dabei hatte dieses Experiment großes Potenzial: Es sollte den Streit über die Kernkraft lösen. Ziel war die Entwicklung eines sicheren Reaktors, der nur mit Thorium arbeitet. Oak-Ridge-Direktor Alvin Weinberg hoffte, damit den Ausweg „aus dem Teufelspakt zwischen Nuklearwissenschaftlern und Gesellschaft“ zu finden. Thorium, so glaubte der Veteran des Manhattan-Projekts, liefere eine unerschöpfliche Energiequelle, ohne dass hochradioaktiver, sehr langlebiger Abfall entsteht. Doch obwohl das Flüssigsalzexperiment bewies, dass die Technologie prinzipiell funktioniert, kam in den frühen 70er-Jahren das Aus.

Doch nach den Havarien von Fukushima Daiichi wird in der Szene wieder viel über Thorium diskutiert: Da Länder wie [China](#) ihre Nuklearpläne nach dem ersten Schreck wieder vorantrieben, flammte das Interesse daran wieder auf. Sogar in Ländern, die selbst gar keine Reaktoren betreiben, wird daran gearbeitet – etwa in Norwegen. Dort werden seit 2013 im Forschungsreaktor in Halden Brennelemente aus einer Mischung von Thorium und Plutonium erprobt – für den Einsatz in europäischen Leichtwasserreaktoren.

Obwohl moderne Machbarkeits- und Sicherheitsstudien noch ausstehen, erklären ihre Befürworter, dass einfach nichts Gravierendes passieren könne. Sie betonen, so wie einst Alvin Weinberg, dass Thorium kaum für die Produktion von waffenfähigem Material taugt. Sie entwerfen das Bild von einer Welt mit Thoriumreaktoren, die keine Energieprobleme mehr kennt. Könnte Thorium also die Lösung aller Energieprobleme bringen?

Uran und Thorium unterscheiden sich stark in ihren Eigenschaften. Vom Uran gibt es ein von Natur aus spaltbares Isotop. Von Thorium nicht, abgesehen von winzigen Spuren Thorium-232. Ratan Kumar Sinha von der Indischen Atomenergiekommission verglich das Element einmal mit feuchtem Holz, das vor dem Verbrennen im Ofen getrocknet werden müsse. Thorium kann nur über einen Umweg in einem Reaktor eingesetzt werden, nämlich über einen massiven Neutronenbeschuss. So wird zunächst Protactinium-233 erbrütet, das sich dann durch Betazerfall in das spaltbare Uran-233 umwandelt.

Thorium ist ein Stoff, der Physiker zum Träumen anregt. Edward Teller beispielsweise, der Vater der Wasserstoffbombe, plante in einem 2003 posthum veröffentlichten Artikel einen im Untergrund vergrabenen Flüssigsalzreaktor, der 200 Jahre Energie liefert – ohne Wartung und ohne Risiko. Physiknobelpreisträger Carlo Rubbia rechnete vor, dass in einer Tonne Thorium so viel Energie steckt wie in 200 Tonnen Uran. Und die Vorräte der Welt reichen für viele Jahrtausende: Es kommt dreimal häufiger in der Erdkruste vor als Uran und an vielen Orten haben sich große Lagerstätten gebildet. Nachschub ist also kein Problem.

Derzeit sind vor allem Flüssigsalzreaktoren (MSR) wieder en vogue: In den [USA](#) laufen Forschungen, in Großbritannien, [Brasilien](#), der Tschechischen Republik, Japan, Russland, Kanada, [Israel](#), den Niederlanden. Die Bill-Gates-Stiftung fördert das Konzept – und China: Das Shanghai Institute of Applied Physics und das Oak Ridge National Lab schlossen im vergangenen März einen Kooperationsvertrag, um die Forschung voranzutreiben.

China sieht im MSR eine große Zukunft. In ihm liegt der Kernbrennstoff als geschmolzenes Salz vor, das gleichzeitig auch als Kühlmittel dient. Je nach Design sind es Fluoride oder Chloride oder eine Mischung. Ein Super-GAU soll unmöglich sein: unter anderem weil bei einem schweren Unfall die Betriebsmannschaft einfach die Salzschnmelze in ein Auffangreservoir unter dem Reaktor ablässt. Darin verteilt sie sich, kühlt ab, und die Kettenreaktion stoppt.

Ein anderer Vorteil: Während die üblichen Leicht- und Druckwasserreaktoren mit hohen Drücken arbeiten, um das Kühlwasser trotz Temperaturen von mehr als 300 Grad Celsius flüssig zu halten, liegt der Siedepunkt der flüssigen Salze bei rund 1800 Grad Celsius. Das ist fast dreimal so hoch wie die Arbeitstemperatur des MSR. Um die Salzschnmelze flüssig zu halten, muss also kein Druck aufgebaut werden. Das schont das Material, das dafür allerdings auf andere Art besonders stark beansprucht wird, denn Salz korrodiert Metall.

In der Testanlage in Oak Ridge fanden sich deshalb schon nach kurzer Zeit überall dort, wo Metall und Salzschnmelze miteinander in Berührung kamen, feine Brüche in den Oberflächen. Diese Brüche hätten bei längerer Betriebsdauer zum Problem werden können. In ihrer abschließenden Bewertung hofften die Forscher, das Problem durch den Zusatz von Niob im Stahl lösen zu können. Ein anderes Problem: Die Salze waren bei Weitem nicht die sicheren Langzeitspeicher, für die man sie gehalten hatte.

Als nach dem Abschalten die Temperatur sank und die Schmelze erstarrte, entwichen größere Mengen Uran-233. Das lag daran, dass bei der Hydrolyse Fluor frei wurde, das mit dem Uran zu leicht flüchtigen Verbindungen reagierte. Diese landeten im Abgassystem der Anlage. 1994 beim Rückbau gezogene Proben belegten, dass die Konzentration in den Filtern gefährlich hoch war: Es hätte einen atomaren Unfall geben können.

Auch Indien forscht an Flüssigsalzreaktoren und an einem ganzen Bündel anderer Konzepte. Der Grund: Das Land besitzt die größten bekannten Thoriumreserven der Welt und will sich an den Einsatz dieses Brennstoffs herantasten. So wird am Indira Gandhi Centre for Atomic Research in Kalpakkam der Kamini-Forschungsreaktor mit erbrütetem U-233 betrieben – als erster in der Welt, wie das indische Energieministerium erklärt. 2017 soll in Kalpakkam der Prototype Fast Breeder Reactor (PFBR) zum ersten Mal ernsthaft getestet werden. Sein Brutmantel enthält neben Uran auch etwas Thorium, allerdings zu wenig, um eine große Rolle zu spielen. Was darin an Plutonium und Thorium entsteht, soll in anderen Kernkraftwerken eingesetzt werden. Mittelfristig hoffen die Politiker, mit sieben schnellen Brütern dieses Typs Indien auf dem Weg in die Thoriumwirtschaft voranzubringen: Die Anlagen sollen das Brennmaterial für eine neue Generation von Schwerwasserreaktoren (AHWR) liefern, die mit Mischoxidbrennelementen aus Plutonium und Thorium arbeiten. Und dann ist da noch das große Forschungsziel, ein thermischer Brüter, in dem Thorium Brutstoff sein wird.

Für den Traum von der Thoriumwirtschaft ist noch ein anderes Konzept aus der Schublade geholt worden: der Kugelhaufenreaktor, den [Deutschland](#) Ende der 80er-Jahre aufgegeben hatte. Nach gescheiterten Versuchen unter anderem in [Südafrika](#) erlebt er in China eine Renaissance: 2017 soll am Standort der Shidao-Bay-Nuklearanlage ein 250-MW-Demonstrationsreaktor den Betrieb aufnehmen.

Im deutschen THTR-300 bestand der Brennstoff zu einem Zehntel aus Uran, der Rest war Thorium. 675.000 tennisballgroße, mit dem Brennstoff beladene Grafitkugeln rollten durch den Reaktor wie der Sand in einer Sanduhr. Gekühlt wurde das Ganze mit Helium, das als Edelgas keine Radioaktivität aufnehmen kann. Der THTR in Hamm-Uentrop galt als topmodern – hatte aber Schwächen. Da die Brennstoffkugeln ständig in Bewegung waren, waren die nuklearen und die sicherheitstechnischen Berechnungen sehr schwierig. So fiel zunächst nicht auf, dass der THTR sich nicht so verhielt wie geplant: Der Abrieb der Kugeln war höher als erwartet, und im Reaktorrinnen bildete sich recht viel Grafitstaub.

Der sollte einen Monat nach der Reaktorhavarie von Tschernobyl wichtig werden. Im Mai 1986 kam es zu einem Kugelstau. Um ihn aufzulösen, leitete die Betriebsmannschaft zusätzliches Helium ein. Die Kugeln lockerten sich wieder, aber der starke Heliumstrom wirbelte den Staub auf – und der gelangte in die Umwelt, weil ein Ventil versehentlich offen geblieben war. Die Staubmenge war zwar gering, aber das Renommee des THTR war dahin. Auch sonst blieb nicht viel von der Traummaschine übrig: In einer Sicherheitsreevaluierung merkte Studienautor Rainer Moormann 2008 an, dass immer noch unklar ist, warum während des Betriebs die Temperaturen im Reaktorkern unbemerkt unzulässig hoch angestiegen waren. Zudem lag die Kontamination im Kühlkreislauf um Größenordnungen über der vorausberechneten.

Umstritten sind Kugelhaufenreaktoren noch aus einem anderen Grund: Dana Powers, damals Mitglied des US-Aufsichtsgremiums ACRS für Proliferationsfragen, schrieb 2001 in einem Bericht, dass aus Kugelhaufenreaktoren durchaus waffenfähiges Material gewonnen werden könne. Einige Forscher zweifeln auch an der auch von der IAEA vertretenen Ansicht, dass das Risiko gering sei, Thorium zur Waffenherstellung zu nutzen. Stephen Ashley von der University of Cambridge erklärt, dass man den Prozess nur etwas anders steuern müsse und dass Staaten durchaus versucht sein könnten, diesen Weg zu wählen.

Derzeit ist offen, ob die schöne neue Thoriumwelt kommen wird. Die Technologie hinkt weit hinter der von Uran zurück, die Entwicklungskosten sind hoch. Die Frage ist ungeklärt, ob die Ingenieure die vielen Herausforderungen überhaupt in einem ökonomisch sinnvollen Rahmen lösen können. Eines jedoch hat die

Thoriumtechnologie bereits geschafft – sie hat den Stoff für den Thriller „Occupied“ abgegeben: Weil Norwegen die Welt mit billiger Thoriumenergie versorgen und die Ölfelder stilllegen will, schließen sich darin die EU und Russland zusammen, um das Land zu besetzen.