

Salzschmelze-Reaktoren mit Thorium: ein möglicher Beitrag zum Klimaschutz

Alternative Konzepte der Kernenergie wie der Thorium-Brennstoffzyklus und Salzschmelze-Reaktoren weisen wesentliche Vorteile gegenüber bestehenden nuklearen Technologien auf. Potenzial besteht insbesondere im Bereich der Reaktorsicherheit, bei der Entschärfung der Endlagerthematik sowie bei den Kosten. Es besteht die Chance für eine CO₂-arme, zuverlässige und günstige Energieversorgung und damit eine Alternative zum weltweiten Ausbau der heute billigsten Energie, der Kohle.



Eine Mine für seltene Erden in China: Thorium-232 kommt in der Natur rund 500-mal häufiger vor als Uran-235.

Die Nuklearenergie steht seit den Unfällen in Tschernobyl und in Fukushima vor allem im deutschsprachigen Raum verstärkt in der Kritik. Deutschland und die Schweiz haben den Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen und streben einen vollständigen Ersatz der Kernenergie durch erneuerbare Technologien wie Wind, Biomasse, Sonne und Erdwärme an. Die Herausforderungen dabei sind unter anderem eine zunehmende Volatilität des Energiesystems, begrenzte saisonale Speichermöglichkeiten, steigende Kosten sowie die Integration sehr unterschiedlich gearteter Technologien in den Energiemarkt. In Anbetracht der Unsicherheiten, welche dieser Paradigmenwechsel mit sich bringt sowie angesichts

der weltweit schnell steigenden CO₂-Emissionen lohnt sich ein Blick auf die Eigenschaften künftiger Nukleartechnologien. Im Folgenden wird auf zwei potentielle Schlüsseltechnologien eingegangen: den Salzschmelze-Reaktor sowie den Thorium-Brennstoffkreislauf als Alternative zum heutigen Uran/Plutonium. Die Kombination dieser beiden Technologien ergibt sehr attraktive Eigenschaften.

Thorium-Brennstoffkreislauf

Das schwach radioaktive Element Thorium-232 eignet sich als Alternative zu Uran und Plutonium als Reaktorbrennstoff. Es kommt in der Natur rund 500-mal häufiger vor als das heute genutzte Uran-235. Es ist weltweit abbaubar und

fällt zum Beispiel in grösseren Mengen bei der Gewinnung von seltenen Erden oder gar in der Asche von Kohlekraftwerken als Abfallprodukt an, so dass Rohstoff für viele tausend Jahre vorhanden ist.

Thorium an sich ist nicht spaltbar, weshalb im Reaktor aus Th-232 durch Neutroneneinfang und Beta-Zerfall U-233 gewonnen (erbrütet) wird, welches danach für die eigentliche Energiegewinnung gespaltet wird. Die Spaltprodukte sind ähnlich wie beim U/Pu-Zyklus und fallen mengenmässig pro Energieeinheit etwa in gleichem Mass an. Die langlebigen Transuran-Elemente, die bei der Nutzung von Uran als Ausgangsmaterial aus dem nichtspaltbaren U-238 gebildet werden, entstehen jedoch

nur spurenweise (10000-mal weniger). Sie sind es, die im Tiefenlager Einschlusszeiten von bis zu einer Million Jahren notwendig machen. Insbesondere fällt im Thorium-Brennstoffkreislauf praktisch kein Plutonium an. Die Erbrütung des Brennstoffs U-233 erfolgt im Reaktor und erlaubt eine fast vollständige Ausnutzung des Ausgangsmaterials Th-232. Die Verwendung von Thorium anstelle von Uran ist kein neues Konzept. In den Anfangszeiten der Nukleartechnologie setzte sich Uran jedoch durch, nicht zuletzt, da die waffentechnischen Nutzung im Kalten Krieg im Vordergrund stand.

Einschlusszeit: 1000 Jahre

Die Endlager-Problematik entschärft sich wesentlich, wenn langlebige Stoffe wie Plutonium ausbleiben. Die wichtigen Spaltprodukte haben Halbwertszeiten von maximal 30 Jahren. Nach 300 Jahren sind sie auf ca. 1 % der Ursprungsmenge zerfallen, resp. nach 1000 Jahren auf einen Milliardstel. Die Endlagerung ist damit vergleichbar mit derjenigen für medizinische oder industrielle radioaktive Abfälle. Im Gegensatz dazu werden heutzutage chemische Abfälle, die nicht zerfallen oder sich anderweitig abbauen, in grossen Mengen eingelagert, ohne dass um das Thema Lagerungsdauer eine öffentliche Diskussion geführt wird.

Salzschmelze-Reaktoren

Es gibt verschiedene Reaktor-konzepte mit thermischen, also abgebremsten, und schnellen Neutronen, welche

eine Nutzung von Thorium als Brennstoff erlauben. Eine vielversprechende Variante sind Salzschnmelze-Reaktoren. In diesen Reaktoren ist der Brennstoff in flüssigem Salz bei mehr als 500 ° C gelöst und zirkuliert bei Umgebungsdruck im Reaktor. Die Energie steht auf relativ hohem Temperaturniveau zur Verfügung und kann mit hohem Wirkungsgrad verstromt oder als Prozesswärme unter anderem für die Entsalzung von Meerwasser oder gar zur Synthese von Treibstoffen verwendet werden. Salzschnmelze-Reaktoren verfügen über attraktive Sicherheitsmerkmale. Der Reaktor steht nicht unter Druck. Durch die Möglichkeit der kontinuierlichen Beschickung mit Spaltmaterial befindet sich immer nur so viel Brennstoff im Salz, wie für die Aufrechterhaltung der Kettenreaktion nötig ist. So wird eine unkontrollierte Kettenreaktion von vornherein ausgeschlossen. Flüchtige Spaltprodukte, die in Fukushima zur Kontamination weiter Landstriche geführt haben, können dem Kreislauf kontinuierlich entnommen und sofort verglast werden, wodurch sie vom Reaktor räumlich getrennt werden. Das verhindert eine grosse Freisetzung bei einem Störfall und ist wohl der wesentlichste sicherheitstechnische Vorteil. Die Kernreaktion ist aufgrund des Reaktordesigns selbstregulierend, weil sich das Salz mit

höherer Temperatur ausdehnt und damit die Reaktion verlangsamt. Am tiefsten Punkt des Systems lässt sich ein Auslass realisieren, welcher durch einen aktiv gekühlten Salzpfpfropfen verschlossen wird. Im Fall eines totalen Stromausfalls schmilzt der Pfpfropfen und die Salzschnmelze läuft in Tanks mit Neutronenabsorbbern und passiver Kühlung aus, womit die Reaktion zum Erliegen kommt.

Eine interessante Eigenschaft von Salzschnmelze-Reaktoren ist die Fähigkeit der Lastregelung im Minutenbereich, so dass sie sich gut für eine Integration in zunehmend volatile Energiesysteme eignen. Reaktoren mit schnellen Neutronen bieten zudem die Möglichkeit, heutige nukleare Abfälle als Brennstoffe wiederzuverwenden und so die heutige Endlagerungsthematik zu entschärfen.

Geringere Kosten erwartet

Die Kosten lassen sich heute noch nicht zuverlässig abschätzen. Es gibt jedoch plausible Argumente, weshalb Energie aus Salzschnmelze-Reaktoren auf Thorium-Basis günstig werden wird: Die kompaktere Bauweise aufgrund des fehlenden Überdrucks (einfacheres Containment); eine einfachere Aufbereitung des Brennstoffs; die hohe thermische Effizienz aufgrund höherer Temperaturen als in heutigen Kraftwerken; die verkürzte Einschlusszeit im Endlager sowie

insgesamt geringere Risiken und einfachere Sicherheitssysteme.

Kritik

Thorium als Brennstoff wird hauptsächlich wegen der theoretischen Waffentauglichkeit des erbrüteten U-233 kritisiert. U-233 wurde tatsächlich schon in Bombenexperimenten getestet. Es ist jedoch nur mit viel Aufwand aus dem Reaktor zu gewinnen. Zudem ist es aufgrund seiner starken Radioaktivität schwierig in der Handhabung, bei unautorisierten Transporten leicht zu detektieren und weniger gut für den Einsatz in Kernwaffen geeignet als zum Beispiel Plutonium. Kein Staat mit Nuklearwaffenprogramm hat diesen Weg bisher eingeschlagen. Ebenso kritisiert wird die nach wie vor bestehende Notwendigkeit einer (wenn auch relativ kurzen) Endlagerung. Bei Salzschnmelze-Reaktoren wird bemängelt, dass diverse technologische Fragen noch wenig geklärt sind. So müssen unter anderem chemische Aufbereitungsprozesse und korrosionsbeständige Materialien erst noch entwickelt werden. Hier besteht unbestritten grosser Forschungsbedarf.

Weltweite Aktivitäten

Am Oak Ridge National Lab (ORNL) in den USA war von 1965-69 ein Salzschnmelze-Reaktor in Betrieb, wobei wesentliche Konzepte verifiziert werden konnten. Die Forschung wurde

aus politischen und personellen Gründen nicht weitergeführt. 2011 gab China bekannt, innerhalb weniger Jahre einen Salzschnmelze-Reaktor basierend auf den Konzepten des ORNL zu entwickeln und beschäftigt seither mehrere hundert Forscher am Projekt. Ebenso arbeiten verschiedene Startups aus den USA und Japan an ähnlichen Konzepten. In Deutschland fand sich in letzter Zeit der Dual Fluid Reactor des Instituts für Festkörper-Kernphysik Berlin in der Presse. Thorium als Brennstoff wird momentan in Norwegen und Indien getestet, wobei vor allem dessen Einsatz in bestehenden Reaktoren im Fokus steht.

Moderne Konzepte der Nuklearenergie haben das Potential, wesentliche Schwachpunkte bestehender Technologien zu beheben und durch günstige und umweltverträgliche Energie einen relevanten Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Insbesondere die Möglichkeit, wetterunabhängig und ohne grössere Speichersysteme Energie bereitzustellen, welche womöglich günstiger ist selbst als Energie aus Kohle, sollte ein wichtiger Antrieb zu deren Weiterentwicklung sein. Die Herausforderungen im Energie- und Klimabereich erfordern einen ideologisch unbefangenen Blick auf alle möglichen Lösungsansätze. **G**

Stephan Moser, Dipl. El. Ing. ETH
stephan.moser@alumni.ethz.ch



HTW Chur
Hochschule für Technik und Wirtschaft
University of Applied Sciences

MAS in Energiewirtschaft
Von der Energiewirtschaft für die Energiewirtschaft

Studienort: Zürich

Zweistufiges Teilzeit-Weiterbildungsstudium:

1. Stufe: **General Management (6 Module)**
2. Stufe: **Energiewirtschaft (3 Module), Energietechnik (2 Module), Energierecht (1 Modul)**

Partner:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra





Bundesamt für Energie BFE

Weitere Infos und Anmeldung:

- www.energiemaster.ch
- energiemaster@htwchur.ch
- Telefon +41 (0)81 286 24 32

STUDIERN FÜRS LEBEN

www.htwchur.ch

FHO Fachhochschule Ostschweiz