

Der russische BREST – OD-300 Reaktor – Beginn einer neuen Ära?

geschrieben von Admin | 5. Juli 2021

von Dr. Klaus Dieter Humpich

Im Juni 2021 begann der Bau eines neuen Reaktors im sibirischen chemischen Kombinat Seversk. Der Ort ist nicht zufällig gewählt, sondern es handelt sich um ein grundsätzlich neues System: Ein spezieller Reaktor mit angeschlossener Wiederaufbereitung. Ziel ist ein Kernkraftwerk, dem lediglich Uran (aus abgebrannten Brennelementen) zugeführt wird und nur (endlagerfähige) Spaltprodukte abgeführt werden. Der entscheidende Punkt gegenüber herkömmlichen Reaktoren ist der Abfall Spaltprodukte. Die Problematik der Endlagerung über sehr lange Zeiträume wäre damit vom Tisch, da Spaltprodukte in weniger als 300 Jahren zerfallen sind. Die sehr langlebigen Transurane werden bei diesem Reaktor kontinuierlich „mit verbrannt“. Diese „Stromfabrik“ besteht also aus drei Einheiten: Der (neuartigen) Brennelemente-Fabrik, dem Kernreaktor und der Wiederaufbereitungsanlage. Die Brennelemente-Fabrik soll 2023 und die Wiederaufbereitung 2024 gebaut werden. Der Reaktor soll 2026 in Betrieb gehen.

Der BREST-OD-300

Das Entwicklungsziel dieses Reaktors der vierten Generation war „natürliche Sicherheit“. Das Kühlmittel ist nicht Wasser unter hohem Druck, sondern nahezu druckloses Blei. Der Reaktorkern befindet sich deshalb nicht in einem dickwandigen Druckbehälter, sondern in einem (nahezu drucklosen) Tank für flüssiges Blei. Der Schmelzpunkt von Blei liegt bei rund 330°C. Dies ergibt ein neuartiges Sicherheitsproblem, denn es muß gewährleistet sein, daß das Blei an keiner Stelle einfriert und irgendwelche Kanäle verstopft. Andererseits ist der Siedepunkt mit über 1700°C so hoch, daß sich kein Druck im Reaktorkreislauf aufbauen kann. Leckagen sind unproblematisch, da Blei weder mit Luft noch mit Wasser heftig reagiert. Blei wird praktisch auch nicht aktiviert, sodaß nur ein einfacher Kreislauf nötig ist, was Kosten spart und das System vereinfacht. Die Austrittstemperatur des Blei beträgt rund 540°C. Ist also weit von der Siedetemperatur entfernt. Hinzu kommt die große Wärmespeicherfähigkeit des Blei (spezifisch und über das Tankvolumen), die alle Lastsprünge abfedert. Ein solcher Reaktor ist in seinem (sicherheitstechnischen) Verhalten sehr gutmütig.

Blei ist ein sehr schlechter Moderator, der die Neutronen kaum abbremst. Schnelle Neutronen können zwar alles Uran, Plutonium und sogar die minoren Aktinoide spalten – das allerdings mit einer weit geringen Wahrscheinlichkeit. Als Konsequenz muß man entweder eine hohe

Anreicherung oder einen höheren Gehalt an Plutonium verwenden. In diesem Sinne sind solche Reaktoren sinnvollerweise als Nachfolger der Leichtwasserreaktoren anzusehen. Erst wenn man entsprechend viele abgebrannte Brennelemente besitzt – von „Atomkraftgegnern“ fälschlicherweise als „Atom Müll“ bezeichnet – aus denen man das Plutonium extrahieren kann, kann man sinnvollerweise mit dem Aufbau einer Flotte schneller Reaktoren beginnen. Für jede Erstbeladung muß das Plutonium von außen kommen. Läuft ein solcher Reaktor, kann er genug neues Plutonium bilden um für seinen Weiterbetrieb selbst zu sorgen. Man muß dann nur die Spaltprodukte entfernen (die nukleare Asche) und die gespaltenen Kerne durch U^{238} – ebenfalls von „Atomkraftgegnern“ als „Atom Müll“ bezeichnet – ersetzen. In diesem Sinne verfügen wir bereits heute über gigantische Energievorkommen in der Form abgebrannter Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren. Bisher war die Nutzung wegen der geringen Natururan-Preise noch unwirtschaftlich. Allerdings kommen die stets steigenden Lagerkosten für abgebrannte Brennelemente einer schnelleren Nutzung entgegen.

Da Blei ein schlechter Moderator ist, kann man die Gitterabstände im Kern vergrößern. Durch den verringerten Strömungswiderstand kann man mehr Wärme über Naturkonvektion abführen, was die Notkühlung auch nach einem Blackout (Fukushima) ermöglicht. Zu diesem Zweck sind Kamine (2 von 4 genügen) vorhanden, die die Restwärme passiv an die Umgebungsluft abführen. Selbst unter vollständigem Verlust der Wärmesenke bei voller Leistung von $700 \text{ MW}_{\text{th}}$ erreicht die Hüllrohr-Temperatur am ungünstigsten Brennstab keine 900°C . Für die Hüllen aus Stahl kein großes Problem: Ein Unglück wie in Fukushima wäre gar nicht möglich. Es könnte kein Knallgas entstehen (Reaktion der Zirconium-Hüllen mit Wasserdampf) und es wäre keine aktive Not-Kühlung nötig. Treffender kann man nicht verdeutlichen, was mit „natürliche Sicherheit“ gemeint ist.

Die Brennstäbe

Auch hier geht man neue Wege. Bei herkömmlichen Reaktoren verwendet man Urandioxid als Brennstoff in Hüllrohren aus Zirkalloy. Uranoxid ist eine (spröde) Keramik mit schlechter Wärmeleitung. Es kann bei einem Störfall passieren, daß die Brennstäbe in ihrem Zentrum bereits aufschmelzen und Spaltprodukte frei setzen, während sie ansonsten noch intakt sind. Fallen sie kurzzeitig und lokal trocken (Kühlmittelverlust-Störfall), kann die Abschreckung durch die Notkühlung fatale Konsequenzen haben (Harrisburg, Fukushima).

Bei diesem Typ verwendet man Uran-Plutonium-Nitrid als Brennstoff. Es besitzt eine um 30% größere Dichte, eine 4 bis 8 fache Wärmeleitung, gute Rückhaltung für Spaltprodukte, gute Formstabilität und geringe Reaktionen mit der Edelstahl-Hülle. Die hohe Dichte und gute Wärmeleitung führen zu geringeren Temperaturgradienten zwischen Zentrum und Umfang. Dies führt zu einer hohen Lebensdauer der Brennelemente (Brennstoffwechsel nur alle fünf Jahre) und großen Sicherheitsreserven

für Störfälle.

Der Kern besteht aus 169 Brennelementen, hat eine Höhe von lediglich 1,1m und beinhaltet rund 20 t Brennstoff. Die Brennelemente sind sechseckig, wodurch sich eine sehr dichte Packung ergibt. Sie sind rundum offen, um bei einer etwaigen Verstopfung auch Querströmung zu ermöglichen. Auf Grund der Brennstoffeigenschaften und der Konstruktion ist die Neutronenökonomie so gut, daß keine separate Brutzone erforderlich ist und trotzdem eine Konversionsrate von Eins („Selbstversorgung“) erzielt wird.

Wiederaufbereitung

Bisher wurde großtechnisch nur das PUREX-Verfahren angewendet. Dieses nass-chemische Verfahren zielt – ursprünglich aus der Rüstung kommend – auf die Rückgewinnung von möglichst reinem Uran und (insbesondere) Plutonium ab. Alles andere ist Abfall. Dieser ist wegen der minoren Aktinoide besonders langlebig und erfordert ein geologisches Tiefenlager zur Endlagerung. Bei diesem Reaktorkonzept sieht die Fragestellung gänzlich anders aus. Hier gilt es nur die Spaltprodukte – die nukleare Asche – zu entfernen. Alles andere soll und kann als Energieträger verbleiben. Die Spaltprodukte können anschließend weiterverarbeitet oder verglast werden und in Edelstahlbehälter abgefüllt werden. Wegen der relativ geringen Halbwertszeiten kann dieser Abfall je nach Gusto „tiefengelagert“ oder „ingenieurgelagert“ werden. Auf jeden Fall, zu verschwindend geringen Kosten gegenüber der Endlagerung von kompletten Brennelementen.

Der BREST-OD-300 im Allgemeinen

Der Reaktor verfügt über eine elektrische Leistung von 300 MW_{el} bei einer thermische Leistung von 700 MW_{th}. Er wäre per Definition damit noch ein SMR. Der Hersteller selbst betrachtet ihn eher als Vorläufer für einen Reaktor mit 1200 MW_{el}, der etwa Anfang der 2030er Jahre gebaut werden soll. Es ist der russische Weg der kleinen, aufeinander aufbauenden Schritte mit immer mehr gesammelten Erfahrungen, die in das jeweilige Nachfolgemodell einfließen können. In diesem Zusammenhang muß man feststellen, daß die Entwicklung bleigekühlter Reaktoren in Russland eine Jahrzehnte lange Tradition hat. Sie reicht bis auf die U-Boote der Alfa-Klasse (Bauzeitraum 1968–1975, Außerdienststellung 1983 bis 1997) zurück. Zahlreiche Probleme bezüglich Korrosion und Verschleiß konnten inzwischen gelöst werden.

Der Aufbau ähnelt klassischen Druckwasserreaktoren: In der Mitte befindet sich der Reaktor. Von ihm gehen vier Kühlkreisläufe (flüssiges Blei) ab. Jeder Kühlkreislauf versorgt zwei Dampferzeuger. Das in den beiden Dampferzeugern abgekühlte Blei wird von einer Umwälzpumpe angesaugt und dem Reaktor wieder zugeführt. Die acht Dampferzeuger produzieren etwa 1500 t/h Dampf mit einer Temperatur von über 500°C.

Auf Grund der höheren Dampftemperaturen ergeben sich bessere Wirkungsgrade und andere Anwendungsgebiete (z. B. Wasserstoffherstellung durch Hochtemperatur-Elektrolyse, Raffinerien, chemische Industrie etc.). Jeder Kühlkreislauf bildet eine separate Baugruppe mit kompletter Notkühlung, Umwälzpumpe etc. in einer eigenen „Betonkammer“. Das Ganze ist von einem Betonzylinder als Schutz gegen Einwirkungen von außen umgeben.

Anders als bei Leichtwasserreaktoren wird der Kern durch eine Lademaschine versorgt. Sie kann Brennelemente entnehmen, umsetzen und durch frische ersetzen. Verbrauchte Elemente werden im Bleitank bis zum erforderlichen Abklingen zwischen gelagert. Sie stehen also stets unter dem gleichen Schutz (Fukushima) wie der Reaktorkern. Ein Brennstoffzyklus dauert fünf Jahre (Leichtwasserreaktor 9 bis 16 Monate üblich). Sind erst einmal die üblichen Kinderkrankheiten beseitigt, kann man von einer noch besseren Verfügbarkeit als heute (etwa 90%) ausgehen. Geplant ist ein Abbrand zwischen 5,5% und 9% Schwermetall. An dieser Stelle erscheint es sinnvoll, sich die Materialströme und Abfallmengen zu verdeutlichen. Wenn dieser Reaktor das ganze Jahr voll durchläuft (Grundlast) verbraucht er etwa 270 kg Uran. Das ist gleichzeitig die Menge hochaktiver Spaltprodukte die jährlich anfällt. Geht man von einem mittleren Abbrand von 8% Schwermetall aus, sind etwa 3,5 to frische Brennelemente jährlich nötig. Das alles erinnert mehr an eine Anlage im Labormaßstab. Wollte man diese Strommenge von 2,6 TWh mit einem Offshore-Windpark erzeugen, müßte dieser mindestens 1000 MW umfassen oder bei einem Photovoltaik-Park mindestens 2000 MW. Wobei dies lediglich die gleiche Energieproduktion wäre. Da aber Wind und Sonne nur zufällig und unvorhersehbar sind (Wettervorhersage), müßten noch die zwingend erforderlichen Stromspeicher (zusätzliche Investitionen) und deren Verluste (ca. 50% für längere Ausfallzeiten) hinzugerechnet werden. Diese wenigen Zahlen machen deutlich, daß zumindest Russland nicht zurück ins Mittelalter will, ob nun „Klimakatastrophe“ oder nicht.

Sicherheit

Die vierte Generation soll noch einmal um Größenordnungen „sicherer“ sein als die derzeitige dritte Generation. Gemeint ist damit die Wahrscheinlichkeit für Unglücke, bei denen Radioaktivität das Betriebsgelände überschreitet und damit Anlieger gefährdet. Diese Reaktoren sollen so sicher sein, daß sie unmittelbar in einer Chemieranlage betrieben werden können, denn sie sind nicht gefährlicher als diese Anlagen selbst, wodurch völlig neue Anwendungen für Kernenergie möglich sind.

Da diese Kernkraftwerke mit dem „Abfall“ der bisherigen Kernkraftwerke betrieben werden können, sind sie extrem „nachhaltig“. Damit sind nicht nur die abgebrannten Brennelemente gemeint, sondern auch das „Abfall-Uran-238“ aus den Anreicherungsanlagen. Ganz nebenbei, löst sich auch die „Endlagerfrage“. Spaltprodukte sind im Vergleich zu den Aktinoiden kurzlebig. Diese Form von „Atommüll“ ist nach wenigen Jahrzehnten

weiterverarbeitbar. In ihnen sind jede Menge wertvoller Stoffe enthalten. Schon heute werden seltene Isotope aus dem Abfall der militärischen Wiederaufbereitung für z.B. medizinische Anwendungen gewonnen. Wer aber unbedingt möchte, kann sie auch weiterhin in geologischen Tiefenlagern verschwinden lassen. Nur eben zu viel geringeren Kosten.

Der Beitrag erschien zuerst auf dem Blog des Autors, hier