Gäbe es keinen „Atommüll“, wäre die bunte Welt der Kernkraftgegner um einen wichtigen Punkt ärmer. Denn die Kernkraftgegner wollen partout nicht auf diesen identitätsstiftenden „Green Blob“ verzichten. Aber es gibt eine Lösung, keine Wunschvorstellung, sondern ein real existierendes Kernkraftwerk, das etwas kann, wozu kein Windrad in der Lage ist: Aus nuklearen Abfällen Strom gewinnen. Dominic Wipplinger und Rainer Klute stellen diese umweltfreundliche Technik vor.

Strom aus Atommüll: Schneller Reaktor BN-800 im kommerziellen Leistungsbetrieb

Foto: Rosatom

Seit dem 31. Oktober 2016 und damit gut einem Monat läuft Block 4 des russischen Kernkraftwerks Beloyarsk im kommerziellen Leistungsbetrieb. Es handelt sich um einen sogenannten Schnellen Reaktor vom Typ BN-800 mit einigen Eigenschaften, die ihn vom Gros der sonst üblichen Leichtwasserreaktoren abheben. Für das amerikanische Kraftwerkstechnikfachmagazins „POWER Magazine“ waren diese Besonderheiten jüngst Grund genug, der noch jungen Anlage die Auszeichnung „Top Plant“ zu verleihen.

Ein wesentlicher Punkt, der zu dieser Entscheidung führte, ist die Fähigkeit des BN-800, nicht nur Uran, sondern auch Plutonium und die übrigen Transurane als Brennstoff zu nutzen. Diese hochradioaktiven und langlebigen Stoffe fallen beim Betrieb üblicher Kernreaktoren als Atommüll an und lassen sich dort nicht weiter verwerten. Allerdings enthalten diese Abfälle noch 96 Prozent der ursprünglich im Kernbrennstoff steckenden Energie, also fast alles. Schnelle Reaktoren wie der BN-800 sind in der Lage, diese Energie freizusetzen und Strom daraus zu gewinnen. Die bessere Brennstoffausnutzung führt zu viel weniger Reststoffen, die außerdem erheblich geringere Halbwertszeiten aufweisen und somit viel schneller abklingen.

Russland will die Abfälle herkömmlicher Leichtwasserreaktoren reyclen und das Atommüllproblem innerhalb der nächsten Jahrzehnte mit Hilfe Schneller Reaktoren lösen. Fachleute nennen das Atommüll-Recycling auch das »Schließen des Brennstoffkreislaufs«. Der BN-800 ist für Russland ein wichtiger Meilenstein auf diesem Weg. Er zeigt, dass das Verfahren funktioniert – und zwar nicht nur im Labor oder mit einem Forschungsreaktor, sondern in einer industriellen Großanlage im kommerziellen Leistungsbetrieb mit einer planbaren und zuverlässigen Einspeisung

von 800 Megawatt in das Stromnetz der Oblast Swerdlowsk.

Geschlossener Brennstoffkreislauf mit thermischen Reaktoren und Schnellen Brütern. Quelle: Deutsche Nucleopedia

Von Beloyarsk 4 versprechen sich die russischen Reaktorbauer wichtige Betriebserfahrungen für den Nachfolger des BN-800: Der BN-1200 soll eine um 50 Prozent höhere Leistung bringen, zugleich aber einfacher und preiswerter als der BN-800 sein und weiter gesteigerte Sicherheit bieten. Der erste der BN-1200-Reaktoren soll ebenfalls am Standort Beloyarsk entstehen; eine Entscheidung darüber wird 2019 erwartet und hängt von den Ergebnissen des BN-800 ab.



Storchmann Medien

Der Reaktorkern des BN-800 wird nicht mit Wasser gekühlt, sondern mit flüssigem Natrium. Anders als in gewöhnlichen Kernkraftwerken gibt es keinen Moderator, der die bei der Kernspaltung freiwerdenden Neutronen abbremst. Der BN-800 arbeitet mit schnellen, energiereichen Neutronen – daher die Bezeichnung »Schneller« Reaktor. Zwar sind weltweit eine ganze Reihe Schneller Reaktoren in Betrieb, doch ist Beloyarsk 4 nach Stilllegung des französischen Superphénix 1997 der leistungsstärkste und zusammen mit seinem Vorläufer BN-600 der einzige kommerziell betriebene Kernkraftwerksblock mit einem derartigen Reaktor. Der BN-600 steht als Block 3 ebenfalls im Kernkraftwerk Beloyarsk und ist bereits seit 1980 in Betrieb.

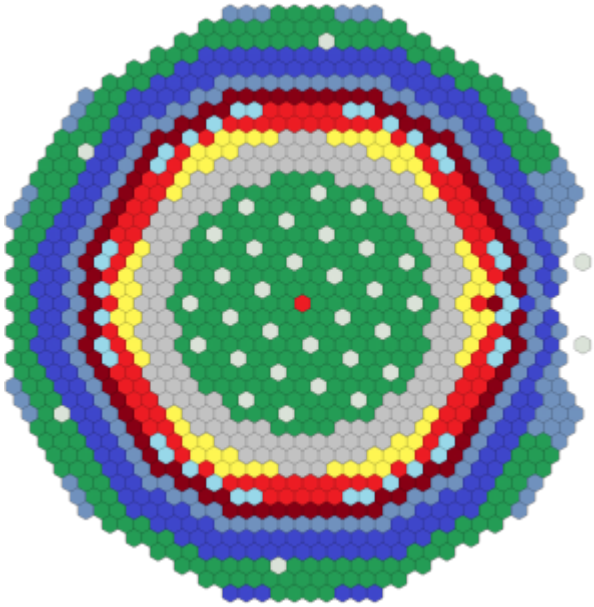
Der BN-800 nutzt im Gegensatz zu den meisten gewöhnlichen Kernkraftwerken kein angereichertes Uran als Brennstoff, sondern Plutonium-Uran Mischoxid (MOX). In seiner gegenwärtigen Kernkonfiguration kommen Plutonium aus ehemaligen sowjetischen Kernwaffen sowie abgereichertes Uran zum Einsatz, das als Abfallprodukt bei Anreicherung und Wiederaufarbeitung anfällt. Damit soll der BN-800 den russisch-amerikanischen Abrüstungsvertrag (START) erfüllen, der auf beiden Seiten die Vernichtung von 34 Tonnen waffenfähigen Plutoniums vorsieht. Allerdings setzte Russland Anfang Oktober 2016 den START-Vertrag einseitig aus. Präsident Putin warf den USA vor, ihren Verpflichtungen nicht nachzukommen, da das Land die Herstellung von Plutonium-Uran Brennstoff aufgegeben habe.

Wie es mit der Vernichtung des Waffenplutoniums in Russland weitergeht, ist noch unklar. Sie sollte sich eigentlich über die nächsten Jahre erstrecken. Jedenfalls kann der BN-800 wie erwähnt auch Plutonium aus den gebrauchten Brennelementen gewöhnlicher Kernkraftwerke als Brennstoff nutzen.

Effektive Plutonium-Verwertung

Als Schneller Reaktor kann der BN-800 Plutonium effektiver verwerten als ein gewöhnliches Kernkraftwerk mit thermischem Leichtwasserreaktor, in welchem die bei der Kernspaltung entstehenden Neutronen durch das auch als Moderator dienende Kühlwasser abgebremst werden. Beim Einsatz von Plutonium als Brennstoff in einem thermischen Reaktor wird nur ein Teil der Plutonium-239-Kerne gespalten. Ein anderer Teil wandelt sich durch Neutroneneinfang in Isotope wie beispielsweise Plutonium-240 oder Plutonium-242 um. Da Isotope mit gerader Massenzahl im thermischen Neutronenspektrum schlecht spaltbar sind, nimmt ihr Anteil immer weiter zu, bis sich das Plutonium nicht mehr für den Einsatz in thermischen Reaktoren eignet.

Schnelle Neutronen hingegen neigen eher als thermische Neutronen dazu, Plutoniumkerne zu spalten, statt von ihnen absorbiert zu werden. Vor allem aber können sie auch die im thermischen Spektrum schlecht spaltbaren Isotope zerlegen. In einem Brennstoffkreislauf mit thermischen und Schnellen Reaktoren lässt sich das Plutonium daher vollständig verwerten. Die Plutoniumqualität verschlechtert sich im Schnellen Reaktor nicht weiter, sondern verbessert sich sogar. Im Idealfall kann man auf diese Weise das gesamte anfallende Plutonium verwerten, sodass am Ende kein Plutonium übrigbleibt, das endgelagert werden müsste.



Quelle: Deutsche Nucleopedia

Kartogramm des BN-800-Reaktorkerns (Brenner mit Equilibrium-Brennstoffkreis) von innen nach außen:

Der BN-800 kann aber nicht nur vorhandenes Plutonium als Brennstoff nutzen, sondern auch neues Plutonium aus Uran-238 erbrüten. Natururan besteht fast vollständig aus Uran-238, genauer: zu 99,3 Prozent. Es ist ein Uran-Isotop, das von thermischen Neutronen nicht gespalten werden kann und daher in herkömmlichen Reaktoren fast nutzlos ist. Durch Neutroneneinfang wandelt sich ein Uran-238-Atom jedoch in ein gut spaltbares Plutonium-239-Atom um; man spricht von »Brüten«. Dieser Prozess ist an sich nichts Außergewöhnliches, findet in jedem normalen Kernreaktor statt und trägt durch die Spaltung der Plutonium-239-Kerne auch dort mit einem gewissen Anteil zur Gesamtleistung bei.

Gegenwärtig ist der Kern des BN-800 für die Vernichtung des Waffenplutonium ausgelegt; er arbeitet als »Schneller Brenner«. In einer anderen Kernkonfiguration kann er aber auch mehr Plutonium erbrüten als er verbraucht (»Schneller Brüter«). Dadurch lässt sich letztlich das gesamte Uran-238 als Brennstoff nutzen, sodass aus einer gegebenen Menge Natururan über 100 mal mehr Energie als in konventionellen Kernkraftwerken gewonnen werden kann. Abgebrannter Brennstoff wird fast vollständig wiederverwertet, sodass als Abfall nur die mit überschaubaren Halbwertszeiten von weniger als 100 Jahren radioaktiven Spaltprodukte sowie geringe Mengen an Transuranen zurückbleiben. Hier dürften in Russland künftig

auch bleigekühlte Schnelle Reaktoren wie der BREST-300 eine Rolle spielen.

Höhere Temperaturen ermöglichen höhere Effizienz

Auch sonst bietet der BN-800 einige technische Besonderheiten und Vorteile gegenüber gewöhnlichen Kernkraftwerken. Durch die Verwendung von flüssigem Natrium als Kühlmittel erreicht er Dampftemperaturen von 490 °C. Zum Vergleich: Konventionelle Kernkraftwerke kommen auf Dampftemperaturen um 280 °C. Die höhere Temperatur ermöglicht eine kompaktere und effizientere Heißdampfturbine. Die thermodynamische Nettoeffizienz des Kraftwerks liegt bei fast 40 Prozent, während sie bei gewöhnlichen KKW oft nur rund 30 Prozent beträgt. Trotz der hohen Temperatur wird der Primärkreis des Reaktors nicht unter erhöhtem Druck betrieben, da Natrium auch bei Normaldruck erst bei etwa 900 °C siedet. Der Primärkreis des BN-800 ist mit primären Umwälzpumpen und Wärmetauschern vollständig in einem natriumgekühlten Reaktorkessel untergebracht, der sich wiederum in einem Sicherheitsbehälter befindet. Ein Kühlmittelverluststörfall im Primärkreis ist dadurch einfach zu beherrschen und gleichzeitig sehr unwahrscheinlich.

Da Natrium und Wasser chemisch unter starker Wärmefreisetzung heftig miteinander reagieren, wird, wie bei natriumgekühlten Reaktoren üblich, zwischen dem Primärkreislauf und dem Wasser-/Dampfkreislauf ein weiterer, nicht radioaktiver Natriumkreislauf eingesetzt. Dies verhindert, dass bei einer Dampferzeugerleckage radioaktives Natrium freigesetzt wird.

Schnelle Reaktoren: die Zukunft der Kernenergie

Mit dem BN-800 im kommerziellen Leistungsbetrieb stellt Russland seine Technologieführerschaft bei Schnellen Reaktoren eindrucksvoll unter Beweis. Dennoch arbeiten auch in anderen Teilen der Welt Staaten und Unternehmen an fortschrittlichen Reaktorkonzepten, die den hochaktiven, langlebigen Atommüll beseitigen und zugleich die Reichweite des Brennstoffs Uran um Jahrtausende verlängern, von Thorium als alternativem Kernbrennstoff ganz zu schweigen.

Speziell natriumgekühlte Schnelle Reaktoren sind in China und Indien von strategischer Bedeutung. Indien wartet auf den Abschluss des Genehmigungsverfahren zur Inbetriebnahme des Prototype Fast Breeder Reactors

(PFBR) im Kernkraftwerk Kalpakkam. Ein Prototyp zwar, aber mit einer elektrischen Leistung von immerhin 500 Megawatt. Frankreich arbeitet am 600-MW-Demonstrationsreaktor ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration); eine Entscheidung über den Bau der Anlage soll 2019 fallen. Japan hat sich ASTRID wegen Problemen mit dem eigenen Schnellen Brüter Monju angeschlossen. Technisch besonders interessant ist der PRISM (Power Reactor Innovative Small Module) von GE Hitachi Nuclear Energy, da er metallische Brennelemente verwendet, die sich in einem besonders einfachen und kostengünstigen Verfahren, dem Pyroprozess, aufbereiten und per Stangengießverfahren herstellen lassen. Der Reaktor selbst ist fertig entwickelt und wartet auf einen ersten Kunden, möglicherweise Großbritannien, wo über 100 Tonnen Waffenplutonium zu entsorgen sind.

Schnelle Reaktoren sind die Zukunft der Kernenergie.

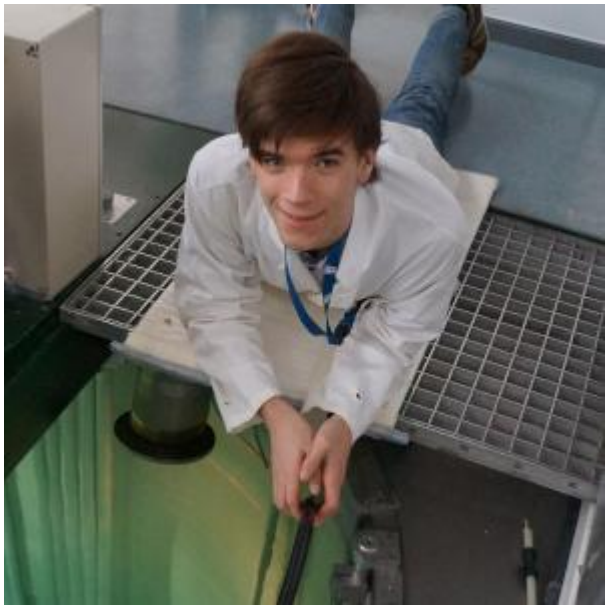
Mehr zum BN-800:

- Schneller Reaktor BN-800 wird erstmals angefahren, Rainer Klute und Dominic Wipplinger, Nuklearia, 2013-12-30
- Mit »BN-800« markierte Artikel in der Zotero-Bibliothek der Nuklearia

Mehr zum Atommüll:

- Themenseite »Wohin mit dem Atommüll?«, Nuklearia

Von Dominic Wipplinger und Rainer Klute



Dominic Wipplinger studiert Elektrotechnik ist in der Österreichischen Kerntechnischen Gesellschaft und in der Nuklearia aktiv. Er hat bereits in etlichen Kernkraftwerken als Messtechniker gearbeitet.



Rainer Klute ist Diplom-Informatiker, Nebenfach-Physiker und Vorsitzender des Nuklearia e. V. Seine Berufung zur Kernenergie erfuhr er 2011, als durch Erdbeben und Tsunami in Japan und das nachfolgende Reaktorunglück im Kernkraftwerk Fukushima-Daiichi auch einer seiner Söhne betroffen war.

Leseempfehlung Ruhrkultour:

Werbung

