Kernreaktor Generation IV aus Kanada

geschrieben von Admin | 24. November 2021
Das kanadische Unternehmen Terrestrial Energy Inc plant den Bau eines Small Modular Reactor (SMR) auf dem Gelände des bestehenden Kernkraftwerks Darlington.

von Klaus-Dieter Humpich

Der Reaktor

Der IMSR400 ist ein Reaktor mit einer thermischen Leistung von 400 MW_{th}. Bei reiner Stromerzeugung kann er damit etwa 195 MW_{el} liefern. Brennstoff und Kühlmittel sind Fluoride (Salzschmelze) mit und ohne Uran. Das „I“ bedeutet, daß sich alle wesentlichen Komponenten (Salzschmelze, Pumpen, Regelstäbe, Wärmeübertrager etc.) in einem hermetisch verschlossenen Behälter befinden. Dieser hat ungefähr eine Höhe von 7m und einen Durchmesser von 3,6m. Er kann relativ dünnwandig sein, da er nahezu drucklos ist. Die komplette Einheit soll in einer Fabrik vorgefertigt werden und verbleibt sieben Jahre im Kraftwerk in Betrieb. Dieser „Topf“ wird in einen weiteren Behälter im Kraftwerk gestellt, der die Funktion eines Containment übernimmt. Zwei dieser Behälter befinden sich in einem unterirdischen Silo. Nach sieben Betriebsjahren – wenn der Brennstoff erschöpft ist – wird der Reaktor auf den zweiten frischen Reaktor umgeschaltet. Der erste verbleibt im Silo, bis die Strahlung entsprechend abgeklungen ist. Dann wird die radioaktive Schmelze abgepumpt und der entleerte Reaktorbehälter in ein Zwischenlager auf dem Kraftwerksgelände abgestellt. Während des siebenjährigen Betriebs wird – im Gegensatz zu heutigen Leichtwasserreaktoren – der Reaktorbehälter nicht geöffnet.

Der Reaktor ist selbstregelnd. Steigt die Temperatur an, erlischt die Kernspaltung (negativer Temperaturkoeffizient) selbsttätig. Über die eingebauten Umwälzpumpen kann die Leistung – wie bei einem Siedewasserreaktor – sehr schnell verändert werden. Wird mehr Salzschmelze durch den Graphit-Moderator gepumpt, wird entsprechend mehr Uran (Anreicherung <5%) gespalten und die Leistung steigt. Soll der Reaktor dauerhaft abgeschaltet werden, fahren Regelstäbe in den Moderator ein. Vor einer unbeabsichtigten Leistungsexkursion schützen Kapseln mit löslichen Neutronenabsorbern, die beim Schmelzen in die Salzschmelze frei gesetzt werden.

Die Nachzerfallswärme wird über den Reaktorbehälter und das „Containment“ passiv an die Umgebungsluft abgeführt. Der Reaktor wäre damit „walk away“ sicher. Der Reaktor besteht wärmetechnisch aus drei Kreisläufen: Die im Brennstoff entstandene Energie wird durch Wärmeübertrager an einen sekundären Kreislauf aus gleichem Salz, aber ohne Uran und Spaltprodukte abgegeben. Dieser überträgt die Energie an

einen tertiären Kreislauf aus „Solarsalz“ außerhalb des Reaktors. Diese etwas umständlich anmutende Anordnung garantiert, daß nur nicht radioaktive Salzschmelze den Reaktorbereich verläßt. Diese heiße Schmelze kann gespeichert werden, unmittelbar zur Dampferzeugung (konventionelle Anlagentechnik) verwendet oder als Fernwärme industriellen Prozessen zugeführt werden. Damit ergibt sich eine bisher nicht gekannte Flexibilität. Der Reaktor kann stets mit voller Leistung laufen (optimale Kosten) und die erzeugte Wärme den Anforderungen entsprechend aufgeteilt werden. Dies ermöglicht völlig neue Konzepte mit Wind- und Sonnenenergie. Ein ähnlicher Ansatz wurde bereits bei Solar-Turm-Kraftwerken probiert (daher der Name Solarsalz). Man kann das heiße Solarsalz (etwa 600°C) direkt einem Dampferzeuger zuführen oder in isolierten Tanks lagern. Wenn keine Sonne scheint, wird die gespeicherte Energie über einen konventionellen Dampfkreislauf zur Stromproduktion genutzt. Neben einer industriellen Nutzung (Heizwärme hoher Temperatur) zielt dieses Reaktorkonzept darauf ab, die immer größer werdenden Mengen an „Flatterstrom“ (Photovoltaik und Windmühlen) doch noch einer sinnvollen Verwendung zu führen zu können. Es ist daher kein Zufall, daß gerade die Großinvestoren (z. B. Berkshire Hathaway), die Milliarden Subventionen für „Erneuerbare“ abgegriffen haben, brennend an solchen Reaktorkonzepten interessiert sind, um ihre „gestrandeten Investitionen“ wieder flott zu machen. Sind die Subventionen abgelaufen, kann nur noch der Börsenpreis erzielt werden. Wie wir bereits in Deutschland sehen, reicht dieser aber meist nicht aus, um die Anlagen wirtschaftlich weiter zu betreiben. Die Sonne schickt zwar keine Rechnung, aber sie gibt auch kein Geld für die Betriebskosten.

Der Standort Darlington

Darlington liegt im Südosten von Kanada, nahe der Grenze mit den USA. Das Kernkraftwerk Darlington ging 1992–1993 in Betrieb und besteht aus vier Schwerwasser-Reaktoren vom Typ CANDU 850 mit je 878 MW_{el} Nettoleistung. Eine hervorragende kerntechnische Infrastruktur ist also vorhanden. Die kanadische Regierung beschloss deshalb auf dem Gelände den ersten SMR in Kanada bauen zu lassen. Eine Genehmigung für den Standort (Umweltschutz etc.) liegt bereits vor. Es stehen drei Reaktortypen zur Auswahl: GE Hitachi’s BWRX-300 (Siedewasserreaktor), X-energy’s Xe-100 (Helium- Hochtemperaturreaktor) und der IMSR400 (Salzschmelze). Beste Aussichten haben wahrscheinlich zwei IMSR400 (Zwillingsanlage) mit zusammen 380 MW_{el}, da sie eine rein kanadische Entwicklung sind. Kanada hofft auf bessere Exportmöglichkeiten, wenn alle Rechte kanadisch sind. Der Weltmarkt für den Ersatz alter Kohlekraftwerke in dieser Leistungsklasse ist riesig. Kanada hat traditionell Exporterfolge in Ländern, die nicht so gut mit den USA standen und gegenüber russischer Technik abgeneigt waren. Nur kauft heute kein Land mehr einen Papier-Reaktor. Es müssen Referenzkraftwerke vorgezeigt werden. Gleichwohl verzichtet die CNSC (Canadian Nuclear Safety Commission) nicht auf die jahrzehntelangen Erfahrungen in den USA und kooperiert mit der NRC (Nuclear Regulatory Commission) seit 2019 in

einem gemeinsamen Zulassungsverfahren. Der IMSR (Integral Molten Salt Reactor) ist damit der erste unkonventionelle Reaktor, der gleichzeitig gemeinsam untersucht wird.

Kerntechnik heute

Kerntechnik ist heute mehr denn je ein internationales Geschäft. Je früher man zusammen arbeitet, umso leichter geht später der Verkauf und Bau in unterschiedlichen Ländern und Kulturen. Ebenso läßt sich der enorme Kapitalbedarf besser schultern. Außerdem sind Unternehmen der Kerntechnik ausnahmslos Spezialisten mit jahrzehntelanger Erfahrung und Know How. Für „Newcommer“ ist der Einstieg in diese Welt mit ihrer ausgeprägten Sicherheitskultur nur schwer möglich.

So entwickelt Terrestrial den Graphitmoderator zusammen mit Frazer-Nash, einem britisch-australischen Ingenieurunternehmen. Frazer-Nash bringt die praktischen Erfahrungen aus mehreren Jahrzehnten mit den 14 AGRs (Advanced Gas-cooled Reactors) in GB ein. Getestet wird das Reaktorgraphit seit 2020 von der niederländischen NRG (Nuclear Research and Consultancy Group) in deren Hoch-Fluss-Reaktor in Petten.

L3Harris liefert einen Simulator für den IMSR. Er dient nicht nur für die Ausbildung der zukünftigen Betriebsmannschaft (Orchid), sondern unterstützt schon die Entwickler mit der Simulations-Software MAPPS (hoch auflösende Simulation und Visualisierung aller Komponenten). L3Harris ist ein US-Unternehmen, der Simulator wird aber in Kanada entwickelt und gebaut.

Terrestrial Energy hat das kanadische Ingenieurunternehmen Hatch (9000 Mitarbeiter) mit der Planung, Ausschreibung, Bauplanung und der Kostenschätzung beauftragt. Hatch hat bereits eine Studie über den volkswirtschaftlichen Nutzen des Projekts veröffentlicht. BWXT Canada wurde mit der Planung des Dampfkreislaufs beauftragt. Der Entwicklung des Dampferzeugers (Solarsalz / Wasser) kommt dabei eine zentrale Bedeutung für das Projekt zu. Für den späteren Betrieb wurde Ontario Power als lokaler Versorger einbezogen. Selbst mit dem deutschen Pumpenhersteller KSB sollen Pumpen für den Primärkreislauf (Salzschmelze mit Uran) des IMSR entwickelt werden.

Durch die frühe Einbeziehung von Spezialisten als Partnerunternehmen für bestimmte Baugruppen, kann nicht nur die Entwicklungszeit, sondern insbesondere auch das Genehmigungsverfahren beschleunigt werden.

Brennstoff

Insbesondere für einen etwaigen Export müssen komplett neue Safeguards (Maßnahmen zur Überwachung von Nuklearmaterial) für diese Uran-Salze entwickelt werden. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit dem CNL (Canadian Nuclear Laboratories) und der IAEA (International Atomic Energy Agency).

Für Brennstoffe in der Form von Salzschmelzen muß ein kompletter neuer Brennstoffkreislauf aufgebaut werden. Um die Sache nicht noch komplizierter zu machen, beschränkt sich Terrestrial Energy auf Uran mit einer Anreicherung von unter 5% U^{235} – also Brennstoff, wie er heute weltweit in Leichtwasserreaktoren verwendet wird. Damit kann man alle Vorstufen (Urangewinnung, Konversion und Anreicherung) bis zur Herstellung von Brennelementen komplett übernehmen. Erst mit der Herstellung der Uransalze scheiden sich die Wege. Dabei darf man auch die aufwendigen Transportketten nicht außer Acht lassen. Es ist deshalb beim IMSR auch kein Wechsel der Brennelemente vorgesehen. Der komplette „Reaktor“ soll nach sieben Betriebsjahren komplett durch einen „frischen Reaktor“ ausgetauscht werden. Man muß also nach sieben Jahren keine abgebrannten Brennelemente, sondern die ganzen „Töpfe“ mit all ihren Einbauten als „Atommüll“ zwischenlagern. Dies geschieht wohlwissend anfangs durch stehen lassen im Silo. Wenn die Strahlung auf ein handhabbares Maß abgeklungen ist, werden die „Töpfe“ in ein Zwischenlager auf dem Kraftwerksgelände abgestellt. Eine Wiederaufbereitung des Brennstoffs und eine Dekontamination der alten Reaktoren ist bis auf weiteres nicht vorgesehen. Prinzipiell ist dies möglich, aber erst sinnvoll, wenn man eine größere Anzahl verbrauchter „Reaktoren“ hat.

Partner beim Aufbau einer kompletten Kette für die Brennstoffversorgung ist Centrus Energy. Darüberhinaus gibt es auch eine Zusammenarbeit mit dem Brennstoffkonzern Cameco (Uranförderung, Reinigung, Konversion, Brennelemente für CANDU-Reaktoren etc.). Cameco möchte in den Bereich SMR diversifizieren und zusammen mit Terrestrial den Weltmarkt bedienen. Parallel gibt es eine ähnliche Zusammenarbeit mit Orano und Westinghouse für den Brennstoffkreislauf. Ziel ist es von Anfang an mit einer möglichst breiten Zulieferindustrie zu starten, um potentiellen Kunden eine unabhängige Versorgung zu ermöglichen. Die Energieversorger sind es heute gewohnt, über Systemgrenzen hinweg, Brennelemente für ihre Leichtwasserreaktoren einkaufen zu können. Versorgungssicherheit ist stets ein Killerkriterium.

Auch treten die engen Bindungen zwischen Kanada und GB wieder hervor: Das NNL (UK National Nuclear Laboratory) übernimmt viel Entwicklungsarbeit für den Brennstoff. In Bezug auf die notwendigen Tests der Brennstoffsalze greift man auf die jahrzehntelange Erfahrung in den USA zurück. Das ANL (US Department of Energy’s Argonne National Laboratory) übernimmt eine zentrale Rolle. Dies ist insbesondere für den Bau eines IMSR in den USA von ausschlaggebender Bedeutung, da bei diesem Reaktor das Brennstoffsalz der Kernbereich eines Genehmigungsverfahrens sein dürfte.

Politik

Die kanadischen Regierungen (auf Bundes- und Landesebene) stehen voll hinter dem Projekt. Es wurde nicht nur der unmittelbare Sinn der

Energiegewinnung, sondern auch der industriepolitische und volkswirtschaftliche Vorteil erkannt. Kanada will ein unabhängiges Industrieland bleiben. Kerntechnik ist eine Schlüsseltechnologie, die alle anderen „High Tech Bereiche“ (Werkstofftechnik, Automatisierung, Software, usw.) nutzt und vor sich her treibt. Sie schafft jede Menge hochqualifizierter und gut bezahlter Arbeitsplätze. Überall in der Welt liegt das Lohnniveau deutlich über dem Durchschnitt.

Kanada hat schon immer – anders als in Deutschland – auf eine große Zustimmung in der Bevölkerung geachtet. So ist es sicherlich kein Zufall, daß Terrestrial nicht nur ein Grundsatzabkommen mit der FNPA (First Nations Power Authority) abgeschlossen hat, sondern auch Mitglied geworden ist. Die FNPA ist die einzige gemeinnützige Organisation im vollständigen Besitz und unter der Kontrolle der Indianerstämme (First Nations) in Nordamerika. Längst haben die Ureinwohner erkannt, daß es wenig Sinn macht, sich nur mit ein paar Arbeitsplätzen in den Bergwerken auf ihren Gebieten abspeisen zu lassen. Sie wollen gezielt in die Stromproduktion investieren, um die Lebensumstände ihrer Stämme zu entwickeln und gut bezahlte Arbeitsplätze für ihre Kinder zu erschaffen. SMR bieten für sie eine völlig neue Chance.

Der kanadischen Regierung ist es ernst. So hat sie im Oktober Terrestrial einen Zuschuss von umgerechnet 14 Millionen Euro gegeben, damit sie über 200 zusätzliche Mitarbeiter einstellen können, die das Genehmigungsverfahren beschleunigen sollen. Dieser Betrag wird als Investition des nationalen Innovationsfonds verbucht. Es ist weiterhin Ziel, bis 2028 den ersten IMSR ans Netz zu bringen. Dabei sollte man beachten, daß die kanadische Regierung durchaus nicht alle Eier in einen Korb legt. Parallel wird an noch zwei ausgewählten SMR gearbeitet: Dem nicht so exotischen Xe-100 von X-energy’s, einem Helium-Hochtemperaturreaktor und dem nahezu baufertigen Siedewasserreaktor BWRX-300 von Hitachi. Darüberhinaus werden natürlich die CANDU-Reaktoren modernisiert und weiter entwickelt. Kanada setzt voll auf Kernkraft.

Der Beitrag erschien zuerst auf dem Blog des Autors hier