

Small Modular Reactors

Um die Ziele des Pariser Abkommens zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zu erreichen, muss auch die CO₂-Emission in der Energieversorgung sinken. Kernkraft ist neben Wasserkraft aktuell die einzige CO₂-freie Energiequelle, die fossile Brennstoffe wie Kohle und Gas in der Grundlastversorgung ersetzen kann. Daher ist international das Interesse an technologischen Fortschritten in der Kernenergie wieder gestiegen. Eine wichtige Rolle spielen hier kleine modulare Reaktoren (SMRs), bei denen es spezifische Möglichkeiten zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs gibt. SMRs sind per Definition Kernreaktoren mit elektrischen Leistungen bis zu 300 MWe. Daneben wird auch an Mikromodular-Reaktoren (MMRs) mit einer Leistung von bis zu 10 MWe gearbeitet. Sowohl SMRs als auch MMRs befinden sich derzeit in verschiedenen Entwicklungsstadien.

Bereits seit den 1950er Jahren wurden kleine Kernreaktoren entwickelt, in der ehemaligen UdSSR sowie den USA beispielsweise für nukleare Schiffsantriebe in U-Booten und Eisbrechern. Trotzdem sind in der Vergangenheit darüber hinaus kaum SMRs zum Einsatz gekommen. In das Zentrum der medialen Aufmerksamkeit kamen sie erst wieder, als Russland das schwimmende Kraftwerk „Akademik Lomonossow“ vorstellte. Die „Akademik Lomonossow“ besteht aus zwei Reaktoren mit einer Nennleistung von je 35 MWe, welche im Mai 2020 den Regelbetrieb aufgenommen haben. Es liefert sowohl Wärme als auch Strom.

Die neuesten Entwicklungen im Bereich von SMRs werden hinsichtlich Konstruktion und Einsatzmöglichkeiten vielfach als „Game Changer of Nuclear Industry“ bezeichnet. Ihre Leistungskapazität ist im Vergleich zu konventionellen Kernkraftwerken (KKW) relativ gering. SMRs sind für Anwendungsgebiete vorgesehen, in denen beispielsweise große Reaktoren nicht lukrativ eingesetzt werden können. Das Spektrum der Möglichkeiten reicht von klassischer Stromversorgung an abgelegenen Standorten bis hin zu spezifischen Anwendungen, wie dem Betrieb von Meerwasser-Entsalzungsanlagen oder der Wärme- und Wasserstoffproduktion.

Das Design von SMRs ist wie bei konventionellen KKW sehr breit gefächert. Die meisten SMRs sind Leichtwasserreaktoren (LWR), die in ihrer grundlegenden Konstruktion aktuell bestehenden KKW ähneln, jedoch in verkleinertem Maßstab. Andere aktuelle Konzepte sind flüssigmetall-gekühlten Reaktoren (LMR), Schwerwasserreaktoren, gasgekühlte Reaktoren und Salzschmelzreaktoren.

SMRs sind kleiner als herkömmliche KKW und besitzen eine Modulbauweise, wodurch sie in Fabriken vorgefertigt werden können. Diese Module werden dann zum Einsatzort transportiert und können am Ende der Betriebszeit einfach zurückgebaut werden. Die meisten SMR-Entwürfe verwenden fortgeschrittene passive oder hybride Sicherheitstechnologien. Zusätzlich haben SMRs im Vergleich zu KKW ein deutlich geringeres nukleares Inventar.

Das Hauptmerkmal vieler SMRs ist das integrale Design. Das bedeutet, dass neben dem Kern auch die Druckhalter, Dampferzeuger sowie Steuerstabantriebe im Reaktordruckbehälter eine Einheit bilden. Eine andere Kategorie von SMRs, z. B. mobile Reaktoren wie die „Akademik Lomonossow“ (ein LWR), bestehen aus nur einer einzelnen Einheit, was eine unproblematische Verlegung an andere Standorte ermöglicht. 2023 soll in den USA mit der Herstellung des SMR „NuScale“ (60 MWe, LWR), welcher auf einem Lkw installiert werden kann, begonnen werden.

Aktuell sind mehr als 70 SMR-Designs für verschiedene Anwendungen bekannt, wobei den einzelnen Entwürfen aus Russland, China, Südkorea, Kanada, den USA und Argentinien die höchsten Einsatzaussichten zugeschrieben werden. In einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befinden sich zwei industrielle Demonstrations-SMRs in Argentinien („CAREM“, ein integraler LWR mit 25 MWe) und China („HTR-PM“, ein gasgekühlter Hochtemperaturreaktor (HTGR) mit 210 MWe). Diese sollen zwischen 2021 und 2023 ihren Betrieb aufnehmen.

Aktuell gibt es auch interessante neue Entwicklungen im Bereich der Mikromodular-Reaktoren. Wie bei SMRs gibt es auch bei MMRs verschiedene Funktionsdesigns, z. B. Heatpipes („eVinci“ mit 3,5 MWe,

USA; „MoveLuX“ mit 4 MWe, Japan), wo ein Wärmerohr den Reaktor kühlt. Daneben existieren HTGRs („U-Battery“ mit 4 MWe, UK) und flüssigmetallgekühlte schnelle Reaktoren („Aurora“ mit 1,5 MWe, USA).

Die fortschreitende Entwicklung und erste Einsatzreife von SMR erfordern neue internationale Sicherheitsnormen und Schutzmaßnahmen, da SMRs nicht wie konventionelle KKW rein ortsgebundene, aber auch keine rein bewegten Reaktoren sind. So stellt sich am Beispiel der „Akademik Lomonossow“ die Frage, ob diese rechtlich als Seeschiff oder als feste kerntechnische Anlage behandelt werden sollte. Auch die Frage, wie mit einer Vermarktung von SMRs zwischen Kernwaffenstaaten und Nicht-Kernwaffenstaaten im Sinne des Nuklearen Nichtverbreitungsvertrages umgegangen werden soll, ist offen. Somit führt die Entwicklung und der Vertrieb von SMRs zur Notwendigkeit neuer gesetzlicher Regelungen. Darüber hinaus stellt das modulare, integrierte und damit unzugängliche System der SMRs unter Berücksichtigung der Vorfertigung der Einheiten auch die Überwachung der Brennstoffströme durch die Internationale Atomenergie Organisation (IAEA) und die Überprüfung der Reaktorsicherheit vor Herausforderungen. Bei SMRs, welche sich im Design deutlich von den bereits betriebenen Kraftwerken unterscheiden, werden hier neue Lösungen gefunden werden müssen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass viele der aktuellen SMR-Konzepte durch die modulare Bauweise auf ein integrales Design setzen, welches flexible Einsatzmöglichkeiten bietet, die Aufsichtsorgane allerdings vor Herausforderungen stellt. Sicherheitstechnisch basieren die meisten SMR-Konzepte weitestgehend auf passiven und damit inhärent sicheren Systemen. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass nur eine geringe menschliche Kontrolle notwendig ist (Funktionsweise beruht z. B. auf der Schwerkraft). In Bezug auf das Designkonzept ist zu erwarten, dass auf LWR-Technologie basierende SMRs in der näheren Zukunft die größten Realisierungschancen besitzen.

Marie Charlotte Bornhöft
Dr. Evgenia Lieder