

WAS IST VON DEN SOGENANTEN KLEINEN MODULAREN REAKTOREN (SMR) ZU HALTEN?

Dieter Kuhn, Experimentalphysiker UZH, Stiftungsrat SES

Immer wieder tauchen kleine modulare Reaktoren¹ als angebliche Lösung unserer Klimaprobleme auf: Die Firma Westinghouse stützt sich auf eine bereits jetzt weit verbreitete Technologie, während eine Stiftung von Bill Gates einen Bautyp mit flüssigem Natrium anstrebt.

Reaktoren mit *geringer elektrischer Leistung* und *modularer Zusammensetzung* können bis in die Anfangsphase der Entwicklung von Kernreaktoren, also die 1950er Jahre, zurückverfolgt werden. Sowohl als Antrieb für U-Boote und Schiffe als auch als kommerzielle Reaktoren zur Stromproduktion wurden schon früh Reaktoren mit geringer Leistung entwickelt und eingesetzt. Dabei wurden neben wassergekühlten Reaktoren auch andere Reaktortypen untersucht. Bis heute haben diese Reaktoren jedoch ausserhalb militärischer Nutzungen, z.B. als U-Boot-Antriebe, keine breite Einführung in kommerzielle Anwendungen gefunden.

Trotz der seit langem praktizierten Verwendung des Begriffs SMR gibt es bis heute keine international einheitliche Definition. Meist bezieht man sich auf die Leistungsgrösse eines SMR. Oft wird auch zwischen wassergekühlten und sonstigen (nicht-wassergekühlten) Reaktoren unterschieden.

Auch der Begriff der *Modularität* wird sehr verschieden verwendet. Meist versteht man darunter die Errichtung mehrerer Reaktor-Module an einem Standort oder die Möglichkeit einer standardisierten, industriellen Herstellung einzelner Reaktormodule.

Oft werden SMR so definiert:

SMR („Small Modular Reactors“) sind Reaktoren, bei denen ein einzelner Reaktor eine elektrische Leistung von weniger als 300 MWe (oder eine thermische Leistung von weniger als 1000 MWth) aufweist. Dabei kann es sich sowohl um wassergekühlte als auch um sonstige (nicht-wassergekühlte) Reaktorkonzepte handeln. Damit ist zwar «small» definiert, nicht aber «modular».

SMR-Konzepte unterliegen der ständigen Weiterentwicklung. Entsprechend einer Gruppierung der IAEA werden SMR- Konzepte

- den wassergekühlten Reaktoren,
 - den Hochtemperaturreaktoren (HTR),
 - den Reaktoren mit einem schnellen Neutronenspektrum,
 - den Salzschnmelzereaktoren (MSR) sowie
 - den Mikroreaktoren (MR)
- zugeordnet.

¹ <https://www.nuklearforum.ch/de/news/usa-westinghouse-electric-stellt-neuen-smr-vor>



Schweizerische
Energie-Stiftung
Fondation Suisse
de l'Énergie

Sihlquai 67
8005 Zürich
Tel. 044 275 21 21

info@energiestiftung.ch
PC-Konto 80-3230-3

Wassergekühlte Reaktoren stellen heute weltweit die weitaus grösste Anzahl der in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke. Damit stehen eine umfangreiche betriebliche Erfahrung sowie eine breit ausgebaute Infrastruktur zur Verfügung. Die meisten der aktuell verfolgten bzw. weit fortgeschrittenen SMR-Konzepte sind den Leichtwasserreaktoren zuzuordnen.

Als ein seegestütztes Konzept wurde mit dem KLT-40S im Jahr 2020 eine erste Anlage in Betrieb genommen. Das Kernkraftwerk «Akademik Lomonossow» ist ein russisches schwimmendes Kernkraftwerk. Es handelt sich um den Prototyp einer mobilen Kernkraftwerksart mit zwei identischen Reaktoren von je einer elektrischen Bruttoleistung von 35 MW und einer Nettoleistung von 32 MW. Beide Reaktoren besitzen jeweils eine thermische Leistung von 150 MW.

Nicht-wassergekühlte SMR-Konzepte beinhalten grundsätzliche Neuerungen gegenüber heutigen Kernkraftwerken. Beispielsweise sollen durch höhere Betriebstemperaturen höhere Wirkungsgrade erzielt werden. Oder es sollen andere Anwendungsfelder, z.B. die Bereitstellung von Hochtemperatur-Prozesswärme, möglich werden. Viele dieser Konzepte zielen auf einen sogenannten geschlossenen Brennstoffkreislauf ab, mit damit verbundenen hohen technologischen Risiken im Bereich der Brennstoffentwicklung und der Wiederaufarbeitungstechnologien. Wegen der deutlich geringeren Betriebserfahrung (nur Prototyp- und Demonstrationsreaktoren) und dem geplanten Einsatz neuartiger technologischer Lösungen und neuer Materialien ist mit deutlich längeren Entwicklungszeiten und höheren technologischen Entwicklungsrisiken gegenüber wassergekühlten SMR-Konzepten zu rechnen.

Überlegungen zum Schluss: Welches integrale Sicherheitsniveau wird von SMR-Konzepten gefordert?

Da die heutigen Regelwerke typischerweise für Leichtwasserreaktoren unterschiedlicher Bauarten entwickelt wurden, besteht für Nicht-Leichtwasser- Reaktorkonzepte ein deutlich grösserer Regulierungsbedarf als für neue Leichtwasser- Reaktorkonzepte. Ausser um die Fragen der Auslegung und des sicheren Betriebs des Kraftwerks geht es auch um die Herstellung, die Handhabung und den Transport von *Brennstoffen*, die Handhabung anderer *Materialien* sowie von *abgebranntem Brennstoff* und nuklearen *Abfällen*. Zudem erfordern die Herstellung und der Zusammenbau von modularen Systemen gegebenenfalls zusätzliche Regelungen.

Wenn von einem SMR-Design behauptet wird, dass aufgrund passiver Sicherheit Unfälle mit schwerwiegenden Folgen ausserhalb des Anlagengeländes ausgeschlossen werden können, könnte auch eine Deckungsvorsorge vom Betreiber verlangt werden, die alle Schäden in voller Höhe abdeckt.

Für Leichtwasser-Reaktorkonzepte sind Containment-Aspekte durch definierte Barrieren und Anforderungen an die Rückhaltung beschreibbar. Bei Nicht-Leichtwasser-Reaktorkonzepten sind andersartige Containment-Funktionen oder Rückhalte-mechanismen in den Konzepten vorgesehen, für die geeignete regulatorische Anforderungen erst noch definiert werden müssen.

Teilweise sollen in SMR neuartige Technologien eingesetzt werden, für die eine entsprechende Betriebserfahrung kaum oder gar nicht vorliegt. Für diese sind vielfach noch geeignete Nachweisverfahren zu entwickeln und zu validieren.

Vor allem in Bereich der Entwicklung und des Einsatzes neuartiger Brennstoffe, zum Teil auch bei der Entwicklung neuartiger Strukturmaterialien, sehen Genehmigungsbehörden die Notwendigkeit für angemessene Forschungs- und Entwicklungsprogramme und umfassende Nachweise zur Qualifizierung der Brennstoffe bzw. Materialien. Für diese Entwicklung sind geeignete Forschungsreaktoren erforderlich, in denen die Brennstoffe bzw. Materialien unter repräsentativen Bedingungen getestet werden können. Damit ergibt sich ein erheblicher Zeitbedarf in der Größenordnung von mindestens mehreren Jahren bis hin zu Jahrzehnten.

Der langen Rede kurzer Sinn: SMR sind nicht das Ei des Columbus, im Gegenteil. Je stärker sich ein neues Konzept von bisherigen Anlagen unterscheidet, umso länger dürfte es dauern, bis ein SMR die Baureife erreicht. Das Reaktorschiff «Akademik Lomossow» beispielsweise stützt auf «bekannte Technik» ab, denn der gleiche Reaktortyp wird in russischen atomgetriebenen Eisbrechern und im russischen atomgetriebenen Frachter «Sevmorput» bereits eingesetzt. Dennoch dauerte es vom Baubeginn im April 2007 bis zur Inbetriebnahme im Mai 2020 etwa 13 Jahre! Und das, obwohl der Reaktortyp bekannt und erprobt war...