

Small Modular Reactors (SMRs): Klimaretter oder Rettungsanker der untergehenden Atomindustrie?

Autorin: Karin Wurzbacher, Januar 2022

Kleine modulare Atom-Reaktoren

Sogenannte SMRs können alles Mögliche sein: verkleinerte Versionen von bestehenden Atomkraftwerken (AKW) wie Leichtwasserreaktoren, bis hin zu völlig neuen Entwürfen, für die es bis jetzt noch keine oder keine ausreichenden Erfahrungen gibt. Unter SMRs subsummiert man im Allgemeinen Reaktoren mit einer elektrischen Leistung kleiner als 300 MWe und einer thermischen Leistung kleiner als 1.000 MWth. Eine allgemeingültige Definition für Reaktoren oder Konzepte, die unter SMRs verstanden werden, gibt es nicht. Als „modular“ werden die Minireaktoren bezeichnet, weil die einzelnen standardisierten Module, so die Idee, zentral in Serie hergestellt und am jeweiligen Einsatzort relativ schnell montiert werden können, was im Falle einer Massenproduktion kürzere Bauzeiten und geringere Kosten bedeuten würde. Sie sollen vielfältig eingesetzt werden, z.B. für die Elektrifizierung entlegener Orte, für militärische Operationen, als Ersatz für Kohlekraftwerke, als Heizkraftwerke, als Schiffsantriebe, in Kombination mit Erneuerbaren Energien, in Meerwasserentsalzungsanlagen, sogar auf dem Mond.

Das Öko-Institut in Darmstadt hat in einem Gutachten im Auftrag des BASE (Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung) insgesamt 136 SMR-Konzepte identifiziert /1/. Die Autoren haben die Konzepte eingeteilt in „wassergekühlte Konzepte“ und „nicht-wassergekühlte Konzepte“. Zu den „nicht-wassergekühlten Konzepten“ zählen Hochtemperaturreaktor-Konzepte, Konzepte mit schnellem Neutronenspektrum, Salzschmelzreaktoren, also Konzepte ohne Proliferationsresistenz (Vermeidung der Verbreitung von waffenfähigem Material). Und dann sind da noch Mikroreaktoren mit einer elektrischen Leistung bis 10 MWe, die insbesondere im militärischen Bereich auf Interesse stoßen.

Sicher, preiswert, flexibel, klimaneutral?

Aufgrund explodierender Kosten und extrem langer Bauzeiten von neu zu bauenden AKWs und aufgrund gleichzeitig sinkender Kosten von erneuerbaren Energien steht die Atomindustrie unter Druck. Seit langem ist bekannt, dass die Uranreserven schrumpfen. Für eine Renaissance der Atomkraft fehlt der nötige Uran-Brennstoff. Die Atomindustrie setzt deshalb verstärkt auf kleine AKWs und auch auf Thorium anstelle von Uran. Thorium kommt in der Erdkruste häufiger vor als Uran, ist aber kein Spaltstoff. Unter Neutronenbeschuss muss es erst in spaltbares Material (U-233) verwandelt werden.

Laut Internationaler Atomenergie-Organisation (IAEO) könnten SMR-Anlagen als „zuverlässige und erschwingliche Energiequelle“ helfen, Treibhausgasemissionen zu reduzieren. /2/ „Die einzigartigen Eigenschaften von SMRs in Bezug auf Effizienz, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit können sie in die Lage versetzen, eine Schlüsselrolle bei der sauberen Energiewende zu

spielen.“ Weltweit würden gemäß IAEO derzeit 84 solcher Reaktoren in 18 Ländern in der Entwicklung oder im Bau sein. Genannt werden vor allem die USA, Kanada, Großbritannien,

Frankreich, Russland, China und Japan. Diese Staaten wollen SMRs zukünftig als „emissionsarme Übergangslösung zum Erreichen ihrer Klimaschutzziele“ betreiben.

Halten die propagierten „einzigartigen Eigenschaften“ der SMRs einer Überprüfung stand?

1. Die Mini-AKW's sollen so sicher zu betreiben sein, dass im Falle eines Unfalls keine Evakuierung notwendig ist.

Aber: Zwar ist die Gesamtfreisetzung einer einzigen Anlage im Falle eines Unfalls gering, mit der hohen Anzahl der SMRs, die für die benötigte elektrische Leistung gebaut werden müssten, erhöht sich jedoch das Risiko. Die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls steigt mit der Anzahl der SMRs. Auch der Objektschutz wird problematischer. Kann und sollte die Energiewende wirklich so vollzogen werden?

2. SMRs sind angeblich so flexibel, dass sie je nach Stromnachfrage schnell zu- oder abgeschaltet werden können.

Aber: Das gilt offensichtlich nur, wenn andere Energieformen, wie z.B. Erneuerbare Energien, in die Konzepte mit eingeplant werden, denn Atomkraftwerke sind grundsätzlich nicht flexibel zu betreiben.

3. Auch Rückbau und Entsorgung würden kein Problem darstellen.

Aber: Die Ewigkeitslasten aus dem Uranabbau und die bislang ungelöste Endlagerung der anfallenden hochradioaktiven Abfälle werden gern verschwiegen.

4. SMRs sollen billiger und sicherer Strom erzeugen als die bestehenden AKW's.

Aber: Kostenreduktion erreicht man entweder durch Objekt-Vergrößerung oder durch Erhöhung der Stückzahlen. Die Verkleinerung von AKW's wird die Stromerzeugung eher verteuern. Helfen würden nur große Stückzahlen sowie die Reduktion von Sicherheitseinrichtungen. Hohe Stückzahlen sind kaum zu erwarten. Die neuen Unternehmen und die traditionellen AKW-Bauer kämpfen um den gleichen Markt. Die Preise für Strom aus Erneuerbaren Energien sind zudem unschlagbar niedrig und können von keiner anderen Erzeugungsart erreicht werden.

5. Last but not least: Sie sollen das Klima retten, da sie im Betrieb, allerdings nur im Betrieb, kein CO₂ ausstoßen.

Aber: Bei einer Gesamtbetrachtung mit allen Vorketten und der Atommüll-Entsorgung lässt sich nicht belegen, dass SMRs als klimaneutral gelten können. Um gegen den Klimawandel etwas ausrichten zu können, müssten zudem zehntausende solcher Mini-AKW's gebaut werden.

Altbekannte Konzepte

Zur Bestätigung der Machbarkeit wird gern darauf verwiesen, dass Russland bereits zwei Mini- AKW's (Gesamtleistung 70 MWe) an Bord eines Eisbrechers nach Sibirien gebracht hat, um dort eine abgelegene Gegend mit Strom zu versorgen. Die Atommacht Russland ist, wie andere Atommächte auch, im Besitz atomar betriebener U-Boote. Aufgrund ihres Einsatzzwecks müssen U-Boot-Reaktoren (klassische Druckwasserreaktoren geringer Leistung) sehr kompakt sein. Das Reaktorkonzept an sich ist nicht neu.

Auch in den USA bedient man sich der heutigen Reaktorkonzepte. Der Bau eines 600 MWe AKWs aus insgesamt 12 Mini-Leichtwasserreaktoren mit einer Leistung von je 50 MWe wurde bereits zertifiziert (NuScale Power). Auch hier: Das Reaktor-Konzept ist nicht neu. Es handelt sich um konventionelle Leichtwasser-Reaktortechnologie. Neu ist nur eine Idee von NuScale, einen Reaktor (Zusammenschluss von mehreren Mini-AKW) mit einer Gesamtleistung von 60 MWe in einem unterirdischen kühlenden Wasserbecken zu installieren, um eine Katastrophe bei Ausfall der Sicherheitssysteme zu verhindern.

Nicht-wassergekühlte SMR-Konzepte

Die verfolgten vielfältigen Konzepte sind zum Teil ein alter Hut, zum Teil ganz neu, zum Teil stehen sie nur auf dem Papier. Für angeblich innovative Konzepte, wie Salzschmelze- oder helium- bzw. natriumgekühlte Reaktoren, gehen die Ideen und Entwürfe bis auf die 1950er Jahre zurück.

Gravierende Probleme sind bereits in der Frühzeit aufgetreten. Auch Reaktortypen, für die es noch keine industrielle Erfahrung gibt, werden diskutiert (USA) oder entwickelt (China). Praxistauglich werden diese Typen möglicherweise erst in etwa 20 Jahren sein, was zur Rettung des Klimas zu spät kommen würde. Neu sind kleine thermische Neutronenreaktoren als auch schnelle Neutronenreaktoren. Genannt werden zudem Konzepte mit geschlossenem Brennstoffkreislauf, oder Konzepte, die Atommüll als Brennstoff nutzen, oder Konzepte, die mit passiven Sicherheitssystemen ausgestattet sind und ohne Strom und Personal funktionieren würden. Einige der nicht wassergekühlten Konzepte setzen höhere Urananreicherungen ein, nutzen Plutoniumbrennstoff oder die Wiederaufarbeitungstechnologie. Die weltweite Verbreitung dieser Anlagen, noch dazu in hoher Stückzahl, würde die Proliferationsrisiken deutlich steigern.

Schnelle Neutronenreaktoren: Damit reagierte die Atomindustrie auf die Verknappung der Ressource Uran. Die Idee ist, den Kernbrennstoff mittels schneller Neutronen besser auszunützen. Statt Wasser dient Natrium als Kühlmittel. Der Reaktorkern besitzt eine innere Spalt- und eine äußere Brutzone. So ergibt sich die Möglichkeit, Plutonium zu erbrüten. Ein bekanntes Problem bei natriumgekühlten Reaktoren besteht darin, dass Natrium in Kontakt mit Wasser heftig reagiert und bei Kontakt mit Sauerstoff zu brennen beginnt. Der natriumgekühlte Schnelle Brüter in Kalkar ging nie in Betrieb und endete als Freizeitpark /3/. In den USA ist ein schneller natriumgekühlter Reaktor geplant, gekoppelt mit einem flexiblen Wärmespeicher, der Wärme aufnehmen und bei Bedarf wieder abgeben könne. (TerraPower).

Hochtemperaturreaktoren: Diesen Reaktortyp zeichnen hohe Temperaturen aus. Es gilt: Je höher die Temperatur, umso höher der Wirkungsgrad. So kann auch Prozesswärme bereitgestellt werden. Der Brennstoff und die Spalt- und Brutprodukte sind in Graphit eingeschlossen. In heliumgekühlten Kugelhaufenreaktoren, wie dem THTR (Thorium-Hochtemperatur-Reaktor) in Hamm Uentrop und dem Testreaktor AVR in Jülich gab es ständig beschädigte Brennstoffkugeln /4/. In den späten 1980er Jahren versuchte schon die Fa. Siemens einen kleinen Hochtemperaturreaktor (HTR-Modul) mit einer thermischen Leistung von 200 MWth vergeblich auf den Markt zu bringen. In einem standortunabhängigen Genehmigungsverfahren versuchte sie dafür eine sogenannte „Typen- oder Bauartgenehmigung“ zu erlangen. Geblieben von diesen Vorhaben ist der stillgelegte Versuchsreaktor AVR in Jülich und sein Atommüll, für dessen Entsorgung noch nicht einmal ein genehmigtes Zwischenlager zur Verfügung steht. Derzeit finden in den USA und China Entwicklungen zu HTR-Mikroreaktoren statt.

Salzschmelzereaktoren: Das Kühlmittel ist eine Salzschmelze. Die Folge: Bei Kontakt mit Salzschmelze ist die Materialbeanspruchung hoch. Salzschmelze kann einen Reaktorkern mit festen Brennelementen kühlen. Wenn die Salzschmelze zu heiß wird, schaltet sich der Reaktor ab. In der Salzschmelze befinden sich in gelöster Form der Brennstoff sowie Spalt- und Brutprodukte. Der gesamte Reaktorinhalt (Brennstoff, Kühlflüssigkeit, Spaltprodukte) zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf zwischen Reaktorgefäß und Wärmetauscher. Über einen weiteren Kreislauf wird die Wärme zum Dampferzeuger außerhalb des Containments geführt. Spaltprodukte können im laufenden Betrieb entfernt werden.

Hier dockt auch die Idee an, die abgetrennten Spaltprodukte durch ein P&T-Verfahren (Partitionierung und Transmutation) weniger schädlich zu machen /5/.

Der Reaktortyp kann zudem als Brutreaktor und mit permanenter Wiederaufarbeitung betrieben werden. Atomwaffenfähige Spaltstoffe können so gewonnen werden /6/. Es gibt drei unterschiedliche Konstruktionsprinzipien: Single Fluid (nur ein Flüssigsalz-Kreislauf), Two Fluid (zwei Kreisläufe mit Flüssigsalz) und Dual Fluid (zwei Kreisläufe mit unterschiedlichen Flüssigkeiten) /7/. Allerdings: Bis heute wurden, soweit bekannt, lediglich zwei kleinere Forschungsreaktoren gebaut.

Terrapower will einen 345 MW Flüssigsalzreaktor bauen. Da ein externer Wasserkreislauf den Generator antreiben soll, besitzt er die Merkmale eines Dual-Fluid-Reaktors. Die Anlage soll ein Kohlekraftwerk ersetzen und so ausgelegt werden, dass überschüssige Energie aus Wind- und Solaranlagen zwischengespeichert werden kann. Das soll die Gesamtleistung auf 500 MWe steigern. In China, am Rand der Wüste Gobi, soll in Kürze ein Testreaktor (Thorium- Flüssigsalzreaktor) mit einer Leistung von 2 MWe in Betrieb gehen. Das Projekt wird von Bill Gates (Terrapower) unterstützt. Mit einem funktionierenden Leistungsreaktor ist frühestens in 2030 zu rechnen. Terrapower verfolgt seit 2006 auch den Bau eines sogenannten Laufwellenreaktors TWR, /8/.

Mikroreaktoren

Die Entwicklung von Mikroreaktoren findet hauptsächlich in den USA und China statt. Mikroreaktoren sind gemäß IAEA SMR-Konzepte mit einer elektrischen Leistung von weniger als 10 MWe. Sie haben den Vorteil, dass sie ortsungebunden, flexibel und mobil einsetzbar sind. Da sie kompakt gebaut sind, können sie bequem (Straße, Bahn, Flug) transportiert werden. In der Vergangenheit kamen Mikroreaktoren im Wesentlichen im militärischen Bereich, in U-Booten und Schiffen, zum Einsatz. Im kommerziellen Bereich spielten sie bisher keine Rolle. Allenfalls in Nischen, z.B. als Ersatz für Diesel-Generatoren, könnten sie an Bedeutung gewinnen. Der niedrige Leistungsbereich der Mikroreaktoren ermöglicht passive Kühlsysteme. Die Mikroreaktoren laufen einige Jahre auf Vollast, dann muss der Reaktorblock ausgetauscht werden (Westinghouse). Der Einsatz im militärischen Bereich, wie z.B. zur Versorgung der eigenen Truppen in Einsatzgebieten (auch in Europa), ist nicht mehr auszuschließen. Grundsätzlich kommen die Konzepte aller Reaktortypen dafür in Frage.

Das MMR-Konzept der Firma UNSC greift auf das HTR-Konzept zurück. Der Brennstoff kann ähnlich wie im HTR in TRISO-Partikeln vorliegen (TRISO-Partikel bestehen aus einem runden Kern aus 20 % angereichertem Uran, umgeben von mehreren Schichten zur Aufnahme der Spaltprodukte.). Das Kühlmittel ist Helium. Die Betriebsdauer des Reaktorkerns beträgt 20 Jahre und er darf in dieser Zeit nicht geöffnet werden.

Die Firma Urenco entwickelt ein U-Battery-Konzept, das sich ebenfalls am HTR orientiert. Die TRISO-Partikel sind dazu in einem Graphitzylinder eingebettet. Das Kühlmittel ist auch hier Helium.

Für den Typ Aurora Powerhouse wurde 2020 in den USA ein Genehmigungsantrag gestellt. Es handelt sich um einen schnellen Brüter mit metallischem Brennstoff und passiver Kühlung.

In der kritischen Gesamtbewertung des Öko-Instituts heißt es: „Keine der diskutierten Technologien ist derzeit und absehbar am Markt verfügbar. Gleichzeitig werden sie mit ähnlichen Versprechen wie zu den Reaktoren in den 1950er und 1960er Jahren des vergangenen Jahrhunderts angepriesen.“

Karin Wurzbacher, Januar 2022

Quellen:

/1/ Sicherheitstechnische Analyse und Risikobewertung einer Anwendung von SMR-Konzepten (Small Modular Reactors), Öko-Institut, Ch.Pistner et al., BASE-001/21, urn:nbn:de:0221-2021030826028, siehe https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/cta-deutschland/neue_reaktoren/neue-reaktoren_node.html und hier als PDF zum download:

https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/gutachten-small-modular-reactors.pdf?__blob=publicationFile&v=6

/2/ www.iaea.org

/3/ https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk_Kalkar

/4/ https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Kernkraftwerk_THTR-300

/5/ Sicherheitstechnische Analyse und Risikobewertung von Konzepten zu Partitionierungs- und Transformationsanlagen für hochradioaktive Abfälle, BOKU Wien, Dr. F.Frieß et al. BASE-002/21, URN:nbn:de:0221-2021030826033, Berlin März 2021 Siehe auch hier bei BASE:

https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/cta-deutschland/p_und_t/partitionierung-transmutation.html und hier direkt als PDF:

https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/gutachten-partitionierung-und-transmutation.pdf?__blob=publicationFile&v=7

/6/ <https://de.wikipedia.org/wiki/FI%C3%BCssigsalzreaktor>

/7/ <https://de.wikipedia.org/wiki/Dual-Fluid-Reaktor>

/8/ <https://de.wikipedia.org/wiki/Laufwellenreaktor>