

Generation IV Reaktoren

Reaktoren der Generation IV – auch als „neuartige“ Reaktorkonzepte bezeichnet – werden seit der Anfangszeit der Kernenergienutzung in den 1950er und 1960er Jahren beforscht und teilweise entwickelt. Durchgesetzt haben sich jedoch die heute gängigen Leichtwasserreaktoren. Bei den Reaktoren der Generation IV handelt es sich nicht um spezifische Designs von Reaktoren, sondern viel mehr um Technologielinien, und -konzepte. Reaktoren der Generation IV konnten sich bisher nicht am Markt etablieren.

Generationenbegriff

Der oftmals verwendete Generationenbegriff bei der Einteilung von Reaktoren ist teilweise irreführend. Das liegt daran, dass der Begriff Generationen im Sinne einer kontinuierlichen Weiterentwicklung nur für Leichtwasserreaktoren zutreffend ist. Die Leichtwasserreaktoren der Generation I waren frühe Prototypen, die Generation II kommerzielle Reaktoren und die Generation III fortschrittliche kommerzielle Reaktoren. Die Reaktoren der Generation IV sind, der Einteilung für Leichtwasserreaktoren folgend, eher frühe Prototypen der Generation I. Bei der Bezeichnung Generation IV werden als „fortschrittlich“ angesehene Technologien zusammengefasst, unabhängig vom jeweiligen technischen Entwicklungsstand. Die Reaktoren der Generation IV basieren teilweise auf Konzepten mit grundlegend anderen physikalischen Prinzipien, aber erreichen in der technischen Entwicklung bzw. Reife kaum den Stand von Leichtwasserreaktoren der Generation II.^{1,2}

Autoren wie Pistner et al. (2024) bezeichnen Reaktoren der Generation IV als „sogenannte neuartige Reaktorkonzepte“, da die Konzepte und kernphysikalischen Grundprinzipien seit

¹ Goldberg, S.M., Rosner R. (2011): Nuclear Reactors: Generation to Generation

² Pistner, C., et al (2024): Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte, BASE

langem bekannt sind, es aber bisher an der Umsetzung fehlte. Die Reaktoren der Generation IV oder sogenannte „neuartige“ Reaktorkonzepte unterscheiden sich von gängigen kommerziellen Leichtwasserreaktoren unter anderem in verwendeten Kernbrennstoffen, Neutronenspektrum, Temperatur, Zuführung von neuem Spalt- ggf. Brutstoffen und Abführung von gespaltenen und erbrütenden Stoffen, in der Wahl des Kühlmittels und soweit erforderlich des Moderators.³

Der internationale Forschungsverbund „Generation IV International Forum“ (GIF) hat den Generationenbegriff in der kerntechnischen Industrie mitgeprägt. Das GIF beschreibt die Generation IV als revolutionäres/innovatives Design. Die grundlegenden Versprechen und Anforderungen, welche an die Generation IV gestellt werden umfassen, inhärente Sicherheit, Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit, weniger radioaktiver Abfall und Proliferationsresistenz (Vorkehrungen gegen die militärische Nutzung).^{4, 5, 6} Der Nachweis der technischen Realisierung dieser Anforderungen ist noch immer ausständig.

Technologielinien

Technologielinien der Generation IV umfassen gemäß GIF:⁷

- Hochtemperaturreaktor (Very High Temperature Reactor, VHTR)
- Salzschnmelzereaktor (Molten Salt Reactor, MSR)
- Mit superkritischem Wasser gekühlter Reaktor (Supercritical-water-cooled Reactor, SCWR)
- Gasgekühlter Schneller⁸ Reaktor (Gas-cooled Fast Reactor, GFR)
- Natriumgekühlte Schnelle Reaktor (Sodium-cooled Fast Reactor, SFR)

³ Pistner, C., et al (2024): Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte, BASE

⁴ Generation IV International Forum (2002): A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, [gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2013-09/genivroadmap2002.pdf](https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2013-09/genivroadmap2002.pdf)

⁵ Generation IV International Forum (2022): Annual Report 2021, [gen-4.org/gif/jcms/c_203440/gif-2021-ar](https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_203440/gif-2021-ar)

⁶ Generation IV International Forum (2014): Technology Roadmap Update for Generation IV Nuclear Energy Systems, [gen-4.org/gif/jcms/c_60729/technology-roadmap-update-2013](https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_60729/technology-roadmap-update-2013)

⁷ Generation IV International Forum (2002): A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, [gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2013-09/genivroadmap2002.pdf](https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2013-09/genivroadmap2002.pdf)

⁸ „Schnell“ bezieht sich auf das vorherrschende Neutronenspektrum im Reaktor (im Gegensatz zu „thermisch“).

- Bleigekühlte Schnelle Reaktor (Lead-cooled Fast Reactor, LFR)

Die ersten Konzepte für diese Technologielinien wurden kurz nach der Entdeckung der Kernspaltung beforscht. Industriell durchgesetzt haben sich jedoch die Leichtwasserreaktoren. Bisher konnte keine der angeführten Technologielinien der Generation IV konkurrenzfähig am Markt etabliert werden.⁹

Betriebserfahrung Generation IV

Zwischen den 1950er Jahren und dem Jahr 2010 wurden weltweit rund 14 Experimental- und Demonstrationsreaktoren betrieben, die aufgrund der verwendeten Technologie der Generation IV zugeordnet werden können (Deutschland, Frankreich, USA, Sowjetunion, Japan und Großbritannien). All diese wurden abgeschaltet und werden oder wurden zurückgebaut.¹⁰

Mit Anfang 2024 gab es drei kommerziell betriebene Reaktoren, die aufgrund der verwendeten Technologie der Generation IV zugeordnet werden können. Die drei kommerziell betriebenen Reaktoren (2 in Russland, 1 in China – von Russland gebaut) sind allesamt natriumgekühlte „schnelle“ Reaktoren und entstammen der sowjetischen BN-Baulinie. Diese drei Reaktoren erfüllen die vier Versprechen der Generation IV nicht bzw. nur teilweise. Zusätzlich wurden 2024 sechs Demonstrationsreaktoren zu Forschungszwecken betrieben. Davon befinden sich vier in China, einer in Indien und einer in Russland. Ein weiterer Prototyp befindet sich in Russland in Bau.^{11, 12, 13}

⁹ Pistner, C., et al (2024): Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte, BASE

¹⁰ Pistner, C., et al (2024): Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte, BASE

¹¹ IAEA (2024): Advanced Reactor Information System (ARIS), aris.iaea.org/sites/overview.html

¹² IAEA (2024): Power Reactor Information Service, pris.iaea.org/PRIS/home.aspx

¹³ IAEA (2024): Research Reactor Database, nucleus.iaea.org/rrdb/#/home

Anspruch und Realität

Die zentralen Versprechungen (sicher, nachhaltig, wirtschaftlich, proliferationsresistent) der Generation IV können auf Basis der bisherigen Erfahrungen, keineswegs als umgesetzt bewertet werden. Exemplarisch werden einige generische Punkte dargestellt:

- Zur abschließenden Bewertung der Sicherheit der Reaktoren liegen zu wenige Daten und Informationen vor. Das oftmals vorgebrachte Argument, dass es keine schweren Unfälle wie in Leichtwasserreaktoren geben kann ist irreführend. Die Generation-IV-Technologielinien haben aufgrund ihrer Auslegung und ihrer Eigenschaften andere Unfallsequenzen als Leichtwasserreaktoren. Während Anlagen der Generation IV gewisse Sicherheitsvorteile zugeschrieben werden, verfügen sie aber auch über Nachteile im Vergleich zu üblichen Leichtwasserreaktoren der Generationen II und III/III+.^{14, 15, 16}
- Das Versprechen der Nachhaltigkeit bezieht sich zumeist auf die verbesserte Ausnutzung des Urans und/oder den sogenannten geschlossenen Brennstoffkreislauf – die auf eine verstärkte Verwendung von Plutonium und die Wiederaufarbeitung des Brennstoffs setzt. Plutonium hat auch eine Relevanz für den Bau von Kernwaffen und stellt somit eine Herausforderung für die Nicht-Weiterverbreitung dar.¹⁷
- Zurzeit sind die Reaktortypen der Generation IV ganz überwiegend Gegenstand von Forschung und Entwicklung und nicht ausgereift für die kommerzielle Erzeugung von Strom und Wärme. Die Erfahrungen in Bau und Betrieb von unterschiedlichen Generation IV Anlagen zeigen, dass die praktische Umsetzung dieser Konzepte mit vielen technischen Herausforderungen und Problemen verbunden ist, die teils noch ungelöst sind. Ob Generation IV-Reaktortypen jemals wirtschaftlich konkurrenzfähig auf dem Markt bestehen können, ist offen.¹⁸

Erstellt: 2024

¹⁴ Pistner, C., et al (2024): Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte, BASE

¹⁵ IRSN (2012): Overview of Generation IV Reactor Designs, Safety and Radiological Protection Considerations

¹⁶ Bertrand, F. et al (2021): Simplified criteria for a comparison of the accidental behaviour of Gen IV nuclear reactors and of PWRS, Nuclear Engineering and Design Volume 372, February 2021, 110962

¹⁷ Pistner, C., et al (2024): Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte, BASE

¹⁸ Pistner, C., et al (2024): Analyse und Bewertung des Entwicklungsstands, der Sicherheit und des regulatorischen Rahmens für sogenannte neuartige Reaktorkonzepte, BASE