

GENERATION IV REACTOR CONCEPTS RESEARCH & DEVELOPMENT FOR PRIMARY PUMPS

David Lauer

KSB SE & Co. KGaA

Johann-Klein-Str. 9, 67227 Frankenthal (Germany)

David.Lauer@ksb.com

ABSTRACT

Mit unserem Vortrag möchten wir über das aktuelle Marktgeschehen im Bereich Generation IV Reaktoren, mit Fokus auf Molten-Salt-Reaktoren (MSR), berichten. Zudem einen Überblick geben über die derzeitigen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte (F&E) bei KSB im Bereich der Hochtemperaturanwendungen. Neben den vollständig eigenfinanzierten Programmen arbeiten wir ebenfalls mit wissenschaftlichen Partnern an Förderprojekten des Bundes.

Im Rahmen der Beschreibung zu unseren Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, berichten wir über derzeitige Herausforderungen, deren Zielsetzung und über die Herangehensweise zur Lösung der neuen Aufgaben.

Abschließende Worte bekräftigen die Relevanz unseres Engagements als ein wichtiger Beitrag zur Entwicklung zukünftiger Energiesysteme. Auch wird dargestellt, dass diese Arbeiten – für KSB als führender und innovativer Hersteller hydraulischer Komponenten – eine bedeutende Rolle spielen im Rahmen der Langfristplanung.

EINLEITUNG

Heute und in absehbarer Zukunft tragen Kernkraftwerke weltweit zur Versorgung mit elektrischer Energie bei – die aktuellen geopolitischen Geschehnisse zeigen die Wichtigkeit unabhängiger Energieversorgung und verstärken den Wunsch vieler Länder sich diesbezüglich zu „entflechten“.

Im Gegensatz zum enormen Brennstoffbedarf fossiler Kraftwerke werden beim Betrieb von Kernkraftwerken vergleichsweise geringe Mengen an Brennstoff benötigt. Eine Bevorratung für mehrere Perioden kann mit geringem Platzbedarf gesichert werden. [1] Auch ist der Brennstoff vergleichsweise günstig und verursacht bei der Energieumwandlung kein klimaschädliches CO₂.

Gegenüber den ebenfalls quasi rohstoffunabhängigen erneuerbaren Energiequellen besteht allerdings ein großes Plus, Kernkraftwerke sind grundlastfähig und stellen somit planbar und dauerhaft Energie bereit. Die Volatilität der meisten erneuerbaren Energiequellen ist dabei ein entscheidender Nachteil und dadurch für heutige Industriegesellschaften weniger geeignet. [2]

In vielen europäischen Nachbarländern (wie z.B. Frankreich, Polen, England, etc.) – aber auch darüber hinaus – findet seit einiger Zeit ein Umdenken bezüglich der Kerntechnik statt und so werden – bereits heute – konkrete Neubauvorhaben geplant und forciert. [3]

Derzeitige Marktentwicklungen fokussieren, neben der Implementierung der bereits heute kommerziell genutzten Großanlagen der Generation III bzw. Generation III+, auf Weiterentwicklung von Reaktorkonzepten der Generation IV und deren mittel- bis langfristigen Kommerzialisierung. [4]

Begründet aus der Zusammenarbeit mit verschiedenen Anlagenplanern und unserer Bewertung des aktuellen Marktgeschehens bekommen Pumpen für Hochtemperaturanwendungen zukünftig eine hohe Relevanz. Vor allem da es, neben den Entwicklungen rund um das Thema Generation IV Reaktoren,

ebenso eine erhöhte Nachfrage im Rahmen genereller industrieller Entwicklungen bzw. Anwendungen, wie beispielsweise der Bereitstellung hocheffizienter Wärme- bzw. Energiespeicher, zur Ergänzung erneuerbarer Energiebereitstellung, sowie Prozesswärme, dem Betrieb chemischer Reaktoren oder innovativer Solarkraftwerke.

Als führender und innovativer Hersteller hydraulischer Komponenten hat die KSB den wachsenden Bedarf erkannt und in diesem Zusammenhang einige Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Schließung vorhandener Wissenslücken im Bereich der Hochtemperaturanwendung und Materialwechselwirkungen ins Leben gerufen.

GENERATION IV – REAKTORKONZEPTE

Kernreaktoren gelten international als ein wichtiger Baustein im Kampf gegen den „Klimawandel“, auch die EU hat dies mit der Einordnung als nachhaltige Technologie bestätigt. [5]

Dabei bekommt die neueste Reaktorgeneration – die Generation IV – eine besondere Bedeutung. Eine Übersicht über die zeitliche Einordnung verschiedener Reaktorgenerationen ist Figure 1 zu entnehmen. Die Implementierung von Generation IV Reaktoren wird dabei für die Jahre nach 2030 realistisch.

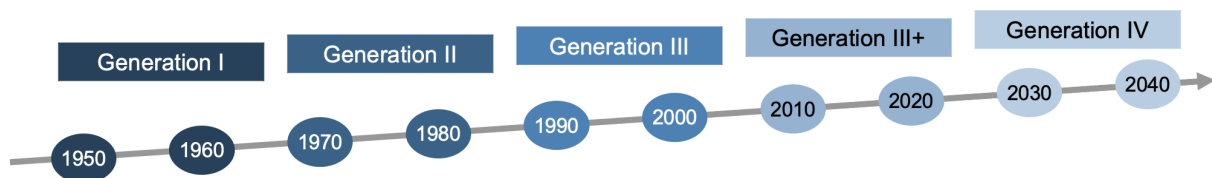


Figure 1: Reaktor-Generationen mit zeitlicher Einordnung [6]

Dem Generationswechsel kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Reaktoren der Generation IV haben neben den Vorteilen, hoher Wirtschaftlichkeit, reduzierter radioaktiver Abfallmengen, teilweise mit der Möglichkeit radioaktiven Abfall heutiger Kernkraftwerke zu „verbrennen“ und somit deren noch vorhandene Energie weiter auszunutzen, und ihrer Proliferationsresistenz vor allem eine deutlich erhöhte Reaktorsicherheit gegenüber allen bis dato in Leistungsreaktoren eingesetzten Konzepten (Generation I, II, III und III+).

Im Unterschied zur Konzeption heutiger kommerzieller Leistungsreaktoren haben die Konzepte der Generation IV häufig besondere Eigenschaften im Primärkreis gemeinsam, wie beispielsweise:

- Hohe Temperaturen: 650 – 1.000 °C
- Unkonventionelle Primärmedien (z.B. Flüssigsalz oder Metallschmelzen)

Die hohe Betriebstemperatur sowie die Eigenschaften, des zur Anwendung kommenden, Primärkreismedium stellen hohe Anforderungen an die Konstruktion des Primärkreises und seiner Komponenten.

Durch die stets fortschreitende Planung der Anlagenbauer bekommt die Auslegung und Konstruktion einzelner Primärkreisbauteile eine bedeutende Rolle – die Primärkreispumpen können dabei als Schlüsselkomponente betrachtet werden.

Primärkreispumpen haben bei Reaktorkonzepten der Generation IV ebenfalls sicherheitsrelevante Funktionen, ähnlich zu den heute betriebenen bzw. verfügbaren Leistungsreaktoren und werden dementsprechend sicherheitstechnisch klassifiziert, welche wie folgt beschrieben werden können:

- Integrität:
Bestandteil der Druckhülle des Primärkreises (Barriere-Funktion)
- Betriebssicherheit:
Relevant für ungestörten Dauerbetrieb und somit wichtig zur Vermeidung anomaler Betriebszustände der Gesamtanlage

Eine Übersicht über Generation IV Reaktorkonzepte gibt Table 1.

Table 1: Übersicht von Generation IV Konzepten [7]

Generation IV Reactor-Type	Temperature	Primary Coolant
Very High Temperature Reactor (VHTR)	> 1.000°C	Helium (gas)
Gas-cooled Fast Reactor (GFR)	> 850 °C	Helium (gas)
<i>Molten Salt Reactor (MSR)</i>	< 800 °C	<i>Salt (liquid)</i>
Supercritical Water-cooled Reactor (SCWR)	> 374°C	Water (gas)
Sodium-cooled Fast Reactor (SFR)	< 500°C	Sodium (liquid)
Lead-cooled Fast Reactor (LFR)	< 560°C	Lead-Bismuth (liquid)

Dabei erscheinen die MSR Reaktorkonzepte mit einer mittelfristigen Implementierung als besonders vielversprechend, worauf die KSB ihre F&E Aktivitäten fokussiert hat.

HERAUSFORDERUNGEN

Die Anforderungen an die Neukonstruktion von Generation IV Pumpen unterscheidet sich wesentlich zu den heute verfügbaren Konstruktionen von Primärkreispumpen. Die hohen Temperaturen und die Korrosivität der Primärkreismedien begründen die wesentlichen Herausforderungen, wie beispielsweise:

- Auswahl geeigneter Pumpenwerkstoffe
- Lagerung der Pumpenwelle
- Statische und dynamische Abdichtung
- Hydraulisches Verhalten bei verschiedenen Medien
- Auslegung der Dauerfestigkeit

Darüber hinaus sind Themen bezüglich der Konstruktion und Betriebs eines Pumpenaggregats, üblicherweise bestehend aus der eigentlichen Pumpe, einer Kupplung, eines Antriebs sowie notwendiger Hilfssysteme, von Bedeutung, wie beispielsweise:

- Integrierte Wärmesperre – Isolation von Komponenten gegenüber hoher Temperatur
- Abschirmkonzepte – Schutz von Komponenten gegenüber ionisierender Strahlung
- Anwendung (nuklearer) Regelwerke, inklusive Nachweisführung
- Wartungs- und Reparaturkonzepte

Diese Herausforderungen versuchen wir uns durch unsere strategische Ausrichtung in Bezug auf unsere F&E Aktivitäten zu stellen.

LÖSUNGSANSATZ

Wie bereits zuvor erwähnt hat KSB entschieden sich strategisch auf das Thema Hochtemperaturanwendungen im Nuklearbereich zu fokussieren und dies mit verstärkter F&E Tätigkeiten zu adressieren.

Um die zukünftigen Herausforderungen zu meistern stützen sich unsere F&E Aktivitäten auf 3 Säulen:

- Eigenmittelfinanzierte Projekte
- Förderprojekte im Bereich Hochtemperatur
- Zusammenarbeit mit Anlagenplanern

In den verschiedenen Projekten werden theoretische und praxisnahe Fragestellungen untersucht und diese Ergebnisse fließen direkt in die Konzeptionierung unserer Komponenten ein, dabei im Fokus:

- Materialwechselwirkungen mit Fördermedien
- Hydraulisches Verhalten durch Fördermedien
- Einfluss höchster Temperaturen

Langjährige Erfahrungen der KSB im Bereich hydraulischer Komponenten in den unterschiedlichsten Anwendungen ermöglicht es bereits vorhandenes Know-How in aktuelle Fragestellungen einfließen zu lassen und bildet somit einen weiteren wichtigen Baustein zur Erarbeitung von Lösungsansätzen.

Bei Neukonstruktionen bzw. Produktentwicklungen, vor allem im Nuklearbereich, sind stets verschiedene Aspekte zu berücksichtigen:

- Vorhandene Erfahrungen ähnlicher Komponenten und Anwendungen
- Entwicklung auf etablierter und zuverlässiger Technologie
- Analyse des vorhandenen KSB Produktportfolios
- Fragestellungen in Bezug auf eine geeignete Fertigung
- Anforderungen aus Regelwerken, im speziellen nuklearer Regelwerke
- Umsetzbarkeit der Qualitätsanforderungen

Exemplarisch kann der Produktentwicklungsprozess gemäß Figure 2 dargestellt werden.

Generelle Vorgehensweise (exemplarisch)

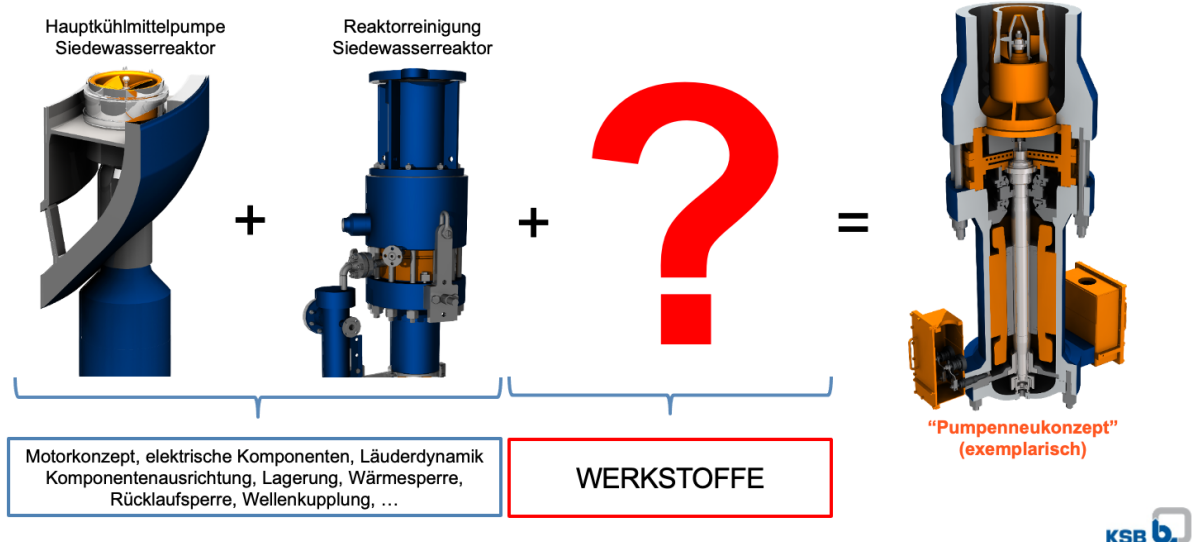


Figure 2: Exemplarische Darstellung zur Entwicklung von Neukonstruktionen

Die beschriebene Vorgehensweise hat das Ziel mit einer spezifischen und anforderungsgerechten Konstruktion eine optimale Einbindung der Komponente in das Kraftwerkskonzept zu gewährleisten.

FAZIT

Generation IV Reaktorkonzepte bilden einen wichtigen Baustein für die zukünftige CO₂-freie Energiebereitstellung. Diese Weiterentwicklung ist in Bezug auf die Reaktorsicherheit revolutionär – die inhärente Sicherheit dieser Konzepte verspricht die Vermeidung schwerer Störfälle mit Radioaktivitätsfreisetzung an die Umwelt.

Aktuelle Entwicklungen und der Plan zur mittelfristigen Realisierung von MSR-Anlagen lenken den Fokus auf Konstruktion und Fertigung benötigter Komponenten. Dabei sind Pumpen als Schlüsselkomponente einzuordnen. Einerseits von besonderer Bedeutung als Komponente des Primärkreises ist die damit einhergehende sicherheitsrelevante Barrierfunktion. Andererseits leisten Primärkreispumpen einen wichtigen Beitrag zum sicheren und ungestörten Reaktorbetrieb.

Ein Grund für KSB unsere Anstrengungen im Bereich F&E zu bündeln und das Thema hydraulische Komponenten für Hochtemperaturanwendungen zu bündeln und damit zukunftsorientiert zu investieren mit dem Ziel frühzeitige Marktreife zu erreichen.

REFERENCES

- [1] https://www.kernenergie.ch/de/rohstoff-uran-_content---1--1085.html
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Grundlastfähigkeit>
- [3] <https://www.world-nuclear-news.org>
- [4] <https://www.terrestrialenergy.com/2021/11/19/terrestrial-energy-launches-390-mw-molten-salt-nuclear-reactor-design/>
- [5] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_711
- [6] https://de.wikipedia.org/wiki/Generation_IV_International_Forum#/media/Datei:GenIVRoadmap-en.svg
- [7] https://de.wikipedia.org/wiki/Generation_IV_International_Forum Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.