



BASE Beitrag zur Aufforderung zur Stellungnahme – Ares(2025)9547111

Kleine modulare Reaktoren – künftige Entwicklung und Nutzung in Europa

Das Bundesamt für Sicherheit der Endlagerung (BASE) ist eine nachgeordnete Behörde des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN). Es nimmt Aufsichts- und Genehmigungsfunktionen wahr und forscht in den Themenbereichen des Amtes. Das BASE verfügt über Erfahrungen und Fachkenntnisse, die für die künftige Entwicklung und Nutzung von SMR relevant sind, und möchte einen Beitrag zur Sondierung der Europäischen Kommission leisten, indem es Einblicke in die folgenden Themenbereiche gibt:

- **(1) Definition**
- **(2) Sicherheit**
- **(3) Abfallmanagement und -entsorgung**
- **(4) Transport**
- **(5) Stilllegung**
- **(6) Sicherung und Safeguards**

1. Definition

Das Fehlen einer einheitlichen Definition von SMR erschwert Versuche, neue Regulierungen zu entwickeln oder bestehende anzupassen. Außerdem untergräbt es die nukleare Sicherheit bei der Entwicklung, dem Einsatz und der Entsorgung von Abfällen aus SMR. Laut der „Europäischen Industriallianz für kleine modulare Reaktoren“ umfasst der Begriff „SMR“ sowohl Leichtwasser-SMR als auch „Advanced Modular Reactors“ (AMR), wobei letztere SMR bezeichnen, die alternative Kühlmittel wie Gas oder Salzschnmelzen verwenden.

Der Begriff „SMR“ hat sich zu einem weit verbreiteten Konzept entwickelt, das von verschiedenen Organisationen unterschiedlich interpretiert wird. Insbesondere die

Datum
04. Dezember 2025

Mein Zeichen
PB 3 - BASE - BASE71300EU#0002

Es schreibt Ihnen:

Monika Arzberger
Referatsleiterin Internationale und
Europäische Zusammenarbeit
T: +49 30 184321-6200
Monika.arzberger@base.bund.de

So erreichen Sie uns:

Postadresse:
Bundesamt
für die Sicherheit
der nuklearen Entsorgung
11513 Berlin

**Besucher-, Zustell-
und Lieferadresse:**
Wegelystraße 8
10623 Berlin

Dienstsitz Salzgitter:
Willy-Brandt-Straße 5
38226 Salzgitter

T: +49 30 184321-0
info@base.bund.de
www.base.bund.de

IAEO („advanced reactors that produce electricity of up to 300 MW(e) per module“¹), die OECD-NEA („based on advanced design concepts, offering a range of sizes – from 1 MWe to over 300 MWe – and a range of temperatures – from 285°C to more than 850°C“²), und die „Europäische Industrieallianz für kleine modulare Reaktoren“ („compact nuclear power units that generate an electrical output of 10 up to 500 MWe, and/or produce thermal power varying from 100-850°C“³) bieten jeweils unterschiedliche Definitionen. In Zukunft könnte die EU dazu beitragen, Klarheit zu schaffen, indem sie einen klaren Anwendungsbereich und eine klare strategische Ausrichtung definiert.

Zur Stärkung der nuklearen Sicherheit empfiehlt das BASE die Übernahme der Terminologie der IAEO, die „[...] SMRs as advanced reactors that produce electricity of up to 300 MW(e) per module [...]“, definiert, die außerdem „[...] have advanced engineered features, are deployable either as a single or multi-module plant, and are designed to be built in factories and shipped to utilities for installation as demand arises.“⁴

2. Sicherheit

Die Verantwortung für die nukleare Sicherheit liegt bei den Mitgliedstaaten. Die Entwicklung nationaler Regulierungen zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren muss sich stets an den höchsten verfügbaren Sicherheitsstandards orientieren und darf diese nicht beeinträchtigen.

Ebenso muss die nukleare Sicherheit oberste Priorität bei den Bemühungen um eine Vereinheitlichung der Sicherheitsanforderungen für Reaktor- und Brennstoffkonzepte und um eine Harmonisierung der Rechtsrahmen in den europäischen Ländern bleiben. Dies betrifft auch die Harmonisierung von Transportvorschriften und die Klassifizierung von Kernmaterialien. Nationale gesetzliche Anforderungen – insbesondere in Bezug auf Standortsicherheit, Einwirkung von außen, Unfallmanagement, Notfallvorsorge und Transportsicherheit – dürfen nicht umgangen oder abgeschwächt werden. Diese Arbeit sollte weiterhin von den zuständigen Aufsichts- und Genehmigungsbehörden innerhalb etablierter Harmonisierungsgremien wie der WENRA durchgeführt werden.

Eine der zentralen Herausforderungen, die im Strategic Action Plan (SAP) der „Europäischen Industrieallianz für kleine modulare Reaktoren“ identifiziert wurde, ist die Notwendigkeit, ein hohes Maß an nuklearer Sicherheit und ein strenges Risikomanagement für SMR zu gewährleisten, insbesondere angesichts ihrer potenziellen Lage in der Nähe von Ballungszentren und Industrieanlagen für nichtelektrische Anwendungen (z. B. Kraft-Wärme-Kopplung, Fernwärme). Unkonventionelle Standortansätze – darunter abgelegene Standorte, unterirdische oder schwimmende Anlagen oder der Einsatz von SMR für Schiffs- und Raumfahrtantriebe – bringen zusätzliche und in einigen Fällen beispiellose Herausforderungen für den sicheren Betrieb mit sich. Diese betreffen nicht nur technische und logistische Aspekte, sondern auch menschliche und organisatorische Faktoren sowie Szenarien für die Stilllegung, Abfallentsorgung und das Unfallmanagement. Solche Herausforderungen müssen bereits in der Designphase berücksichtigt werden.

Das Konzept der „Defence-in-Depth“ (DiD), als Grundprinzip für die Gewährleistung der Sicherheit von Kernkraftwerken, sollte als Grundlage für die Entwicklung der von der „Europäischen Industrieallianz für kleine modulare Reaktoren“ beworbenen Methodik „Safety-Safeguards-Security by Design“ dienen. Um die nationalen Behörden bei der Entwicklung von Vorschriften für die nukleare Sicherheit zu unterstützen, kann die

¹ <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>

² https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_73678/nea-small-modular-reactor-smr-dashboard

³ https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/european-industrial-alliance-small-modular-reactors-unveils-strategic-action-plan-2025-09-12_en

⁴ <https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>

Europäische Kommission einen Beitrag leisten, indem sie potenzielle Risiken, die das Sicherheitsniveau beeinträchtigen könnten, identifiziert und quantifiziert.

3. Abfallmanagement und -entsorgung

Die Abfallströme aus SMR- und AMR-Konzepten sind Gegenstand laufender Forschung. Aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums alternativer Technologien und der Unsicherheit hinsichtlich ihrer zukünftigen Realisierung können Abfallmengen und -zusammensetzungen derzeit nur geschätzt werden. Dennoch ist bereits jetzt klar, dass alle in Betracht gezogenen Technologien schwach-, mittel- und hochradioaktive Abfälle erzeugen werden.

Die vorgeschlagenen Reaktorkonzepte, die als SMR oder AMR klassifiziert sind, weisen Eigenschaften auf, die sie von derzeit betriebenen Leistungsreaktoren unterscheiden. Die Einführung neuer Kernbrennstoffzusammensetzungen, neuartiger spaltbarer Materialien (fest, flüssig, keramisch oder metallisch) und alternativer Moderator- oder Kühlmittel (wie Natrium, Blei oder Salzsäure) würde zu Abfällen mit unterschiedlich ausgeprägten physikalischen, chemischen und radiologischen Eigenschaften führen. Darüber hinaus beeinflussen Änderungen der Reaktorgröße (wie im Fall der Verkleinerung hin zu SMR), der geometrischen Anordnung des Kerns und der angrenzenden Strukturen (wie Reflektoren) sowohl die Menge als auch die Art der erzeugten Abfälle. Die potenziellen Auswirkungen auf Strahlenschutz, Transport, Zwischenlagerung und Endlagerung können noch nicht vollständig bewertet werden, da dies eine umfassende Bewertung spezifischer Reaktorkonzepte im Rahmen einer nationalen Strategie zur Abfallentsorgung und -lagerung erfordern würde.

Angesichts der zu erwartenden abfallbezogenen Herausforderungen im Zusammenhang mit SMR ist es unerlässlich, Überlegungen zur Abfallentsorgung in die Entwicklung von SMR einzubeziehen. Darüber hinaus sollten technologiespezifische Abfallstudien durch reale Experimente validiert werden, um bestehende Ungewissheiten zu verringern.

Als ersten Schritt empfiehlt das BASE, die Ergebnisse bestehender Studien und Forschungsprojekte zu berücksichtigen, die im weiteren Verlauf dieses Abschnitts vorgestellt werden.

Das BASE beteiligt sich als End-User am EURAD-II-Projekt FORSAFF. Ein kürzlich veröffentlichtes Grünbuch ([D4.2 Deliverable](#)) enthält Empfehlungen für künftige Maßnahmen im Bereich der SMR-Abfallentsorgung.

Weiterhin zeigt eine Auswahl von peer-reviewten Veröffentlichungen und Berichten über die Abfalleigenschaften von SMR- und AMR-Konzepten, dass viele Fragen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Abfallentsorgung noch ungeklärt sind. Eine vollständige Liste dieser Veröffentlichungen findet sich im Anhang dieser Stellungnahme. Zu den Schlussfolgerungen, die in den verschiedenen Veröffentlichungen weitgehend übereinstimmen, gehören die folgenden:

- Die Masse hochradioaktiver Abfälle (HAW) (pro Gigawattjahr elektrisch, GWe*Jahr) wird durch den erreichbaren Abbrand (Ausnutzung des Kernbrennstoffs) und den thermischen Wirkungsgrad des Reaktors bestimmt. (Wainwright et al. 2024; Krall et al. 2022; Kim et al. 2024; Brown et al. 2017)
- Es ist daher absehbar, dass Druckwasser-SMR im Vergleich zu herkömmlichen Druckwasserreaktoren (DWR) aufgrund der erwarteten geringeren Abbrandraten größere Mengen und Massen (pro GWe*Jahr) an HAW produzieren würden. (Žerovnik 2024; Keto et al. 2022)

- Eine erhöhte Ausnutzung des Kernbrennstoffs würde den Primärbedarf an Uran und die damit verbundenen ökologischen Auswirkungen des Uranabbaus verringern.
- Eine höhere Anreicherung von Kernbrennstoffen ist mit größeren Mengen an abgereichertem Uran verbunden, das entweder wiederverwendet (z. B. durch erneute Anreicherung als Ersatz für Natururan) oder gelagert (einschließlich Endlagerung) werden müsste.
- Die für ein Endlager erforderliche Fläche hängt auch von der Gesamtwärmeabgabe der Abfälle, der Wärmeabgabe pro Behälter und den Eigenschaften des Wirtsgesteins ab. (Wainwright et al. 2024)
- Reaktoren, bei denen Plutonium-239 anstelle von Uran-235 als spaltbares Material vorgesehen ist, erfordern den zusätzlichen Betrieb von Trennungs- und Brennstofffabrikationsanlagen. Die damit verbundenen Betriebsrisiken, Emissionen (Fievet et al. 2023) und die zusätzliche berufliche Strahlenexposition über die gesamte Dauer eines solchen P&T-Programms sind im Vergleich zur direkten Endlagerung gegenüber der Öffentlichkeit nicht leicht zu rechtfertigen. In jedem Fall sollten die Abwässer sicher mit Sorptionsmitteln aufgefangen und in stabilen Abfallformen immobilisiert werden. (Pénélope et al. 2022)
- Die Verwendung von TRISO-Kernbrennstoff in gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren würde zu einem deutlich erhöhten Volumen an hochradioaktiven Abfällen führen. (Wainwright et al. 2024)
- Die Verwendung von Reflektoren in Salzschnmelzreaktoren mit einem schnellen Neutronenspektrum führt zu einem zusätzlichen Strom mittelradioaktiver Abfälle. (Mausolff et al. 2021)
- Die Verwendung von Graphit, beispielsweise als Moderator in Salzschnmelzreaktoren mit einem thermischen Neutronenspektrum sowie in graphitmoderierten gasgekühlten Reaktoren (historisch MAGNOX im Vereinigten Königreich und UNGG in Frankreich), stellt technische Herausforderungen für die Stilllegung und Entsorgung dar. Zu diesen Herausforderungen gehören die Aktivierung von Graphit (C-14, Cl-36, H-3), nicht-haftende Kontamination und die Aufbereitung von Graphit (Arm et al. 2022; Bisplinghoff et al. 2001; Kuhne et al. 2015). Darüber hinaus beschränken sich die Erfahrungen mit der Stilllegung bislang auf wenige Projekte, wie den gasgekühlten Hochtemperaturreaktor Fort Saint Vrain und den Windscale Advanced Gas Reactor. (Bradbury & Wickham 2006)
- Die Verwendung hochreiner Materialien, die unter Neutronenbestrahlung einer geringen parasitären Aktivierung unterliegen, ist/wäre eine wichtige Voraussetzung, um die Anhäufung neuer radioaktiver Altlasten zu vermeiden (Beispiele: Anreicherung von Stickstoff-15 in Urannitrid und Aktivierung von Blei und erosionsbedingten Verunreinigungen (Franceschini 2022), Anreicherung von Chlor-37 in chloridbasierten Kühl-/Brennstoffsalzen (Riley et al. 2019), usw.).
- Natriumgekühlte schnelle Reaktoren, wie sie bereits eingesetzt werden, führten im Vergleich zum European Pressurized Reactor (EPR) zu erhöhten Mengen ($\text{m}^3/\text{GWe} \cdot \text{Jahr}$) an mittelradioaktiven Abfällen, die langlebige Nuklide enthalten. (Saturnin 2022)

Bei einer umfassenden Bewertung müssen neben den zu entsorgenden Betriebs- und Stilllegungsabfällen auch die Abfallströme aus einer möglichen Wiederaufbereitung von Kernbrennstoffen, aus Urananreicherungsanlagen und aus dem Uranbergbau berücksichtigt werden.

4. Transport

Die Europäische Union hat hohe Standards zum Schutz der Bevölkerung vor den schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung festgelegt. Dieses hohe Sicherheitsniveau darf nicht beeinträchtigt werden. Die Gewährleistung des sicheren Transports von SMR und ihren Komponenten während des Baus, des Betriebs und der Stilllegung ist von entscheidender Bedeutung. In diesem Zusammenhang sollten zum gegenwärtigen Zeitpunkt die folgenden Aspekte bewertet werden:

Bauphase

Wenn hochkompakte SMR als fertige, bereits mit Kernbrennstoff beladene Komponenten transportiert werden, muss die Transportsicherheit in einem neuen Kontext betrachtet werden. In solchen Fällen wäre die Entwicklung geeigneter und fundierter Vorschriften erforderlich, wobei das Transport Safety Standards Committee (TRANSSC) der IAEO eine Schlüsselrolle spielen würde. Das BASE fordert die Europäische Kommission auf, sich bei der IAEO dafür einzusetzen, die Entwicklung solcher Vorschriften zu initiieren und voranzutreiben.

Betrieb

Für die Betriebsphase ist zu beachten, dass der Transport von Kernbrennstoffen, die sich erheblich von den derzeitigen Brennstofftypen unterscheiden, auf der Grundlage festgelegter Sicherheits- und Sicherungsanforderungen gründlich geplant, getestet und bewertet werden muss.

Stilllegung

Die Stilllegung von SMR wird wahrscheinlich den Transport großer aktivierter oder kontaminierter Komponenten mit sich bringen. Die Durchführbarkeit solcher Transporte sollte vor der Inbetriebnahme dieser Anlagen geprüft und bewertet werden.

Aufgrund seiner geografischen Lage wird Deutschland wahrscheinlich zu einem Transitland für SMR-Transporte innerhalb Europas werden. Vor diesem Hintergrund empfehlen wir, alle oben genannten Aspekte während der Technologieentwicklungsphase und bei der Ausarbeitung neuer internationaler Sicherheitsstandards und -anforderungen zu berücksichtigen.

5. Stilllegung

Die Stilllegung und der Rückbau am Ende des Lebenszyklus von Kernkraftwerken (KKW) erfordern eine langfristige Planung. Die Bauweise der Anlage und die Auswahl der Materialien haben einen erheblichen Einfluss auf den Zeit- und Ressourcenaufwand für die Stilllegung. Neben administrativen Maßnahmen müssen komplexe technische Schritte durchgeführt werden. Die Erfahrung zeigt, dass Maßnahmen zur Optimierung des Strahlenschutzes während des Betriebs die späteren Stilllegungsaktivitäten erleichtern. Die Stilllegung erfordert einen sicheren und strategischen Ansatz sowie ausreichende finanzielle und personelle Ressourcen. Daher ist es notwendig, die Stilllegung so früh und so umfassend wie möglich zu bedenken.

Wie bei großen Kernkraftwerken muss die Stilllegung von SMR bereits bei der Standortwahl, der Planung, dem Bau, der Inbetriebnahme und dem Betrieb der Anlage berücksichtigt werden. Dazu gehören eine angemessene Dokumentation sowie die Berücksichtigung physikalischer und verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Begrenzung von Kontamination und Aktivierung. Darüber hinaus müssen sowohl der Transport der bei der Stilllegung anfallenden Abfälle, als auch der mögliche Transport vollständig abgeschalteter SMR zum Zwecke der Stilllegung berücksichtigt werden.

Der Strategic Action Plan der „Europäischen Industrieallianz für kleine modulare Reaktoren“ befasst sich mit der Stilllegung von SMR vor allem im Hinblick auf die Qualifikation von Arbeitskräften. Obwohl eine modulare Bauweise und ein hoher Standardisierungsgrad den Rückbau von SMR potenziell erleichtern könnten, zeigen die Erfahrungen mit historischen Nicht-Leichtwasserreaktoren, dass die Stilllegung im Vergleich zu Leichtwasserreaktoren komplexer und zeitaufwändiger sein kann.

Darüber hinaus wird der Einsatz von SMR in abgelegenen Regionen oder für Schiffs- oder Raumfahrtantriebe neue technische und logistische Herausforderungen für die

Stilllegung und Abfallentsorgung mit sich bringen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sollten so früh wie möglich verbindliche Sicherheitsvorschriften auf nationaler und internationaler Ebene entwickelt werden.

6. Sicherung und Safeguards

Bei der Entwicklung von SMR müssen Maßnahmen zur Sicherung und Kernmaterialüberwachung (Safeguards) frühzeitig und gründlich berücksichtigt werden. Beide Aspekte sind für die Genehmigung des Betriebs von großer Bedeutung. Um Sicherung und Nichtverbreitung zu gewährleisten, müssen Regierungsbehörden und SMR-Betreiber ein wirksames Schutzsystem einrichten, das koordinierte Maßnahmen erfordert, um den physischen Schutz von Kernmaterial und kerntechnischen Anlagen zu gewährleisten. Die Technische Arbeitsgruppe 6 „Fostering Safety, Security and Safeguards“ der „Europäischen Industrieallianz für kleine modulare Reaktoren“, wie sie im SAP vorgesehen ist, sollte darlegen, wie diese Aspekte bereits in den frühesten Designphasen integriert werden können. Die Mitgliedstaaten und die EU müssen robuste internationale Regelwerke schaffen, um die in der Strategie festgelegten Ziele zu erreichen.

Die traditionellen Sicherungsmaßnahmen für konventionelle Großreaktoren müssen sicherlich angepasst werden, um den neuen Herausforderungen der SMR-Technologie Rechnung zu tragen. Angesichts der großen Vielfalt der SMR-Designs und ihrer spezifischen Merkmale – wie modulare Bauweise, Möglichkeit der Teleoperation, Transportfähigkeit und unterschiedliche Brennstoffkreisläufe – sind spezifische Ansätze erforderlich, um Sicherung und Nichtverbreitung zu gewährleisten. Wie bei allen kerntechnischen Anlagen, ist eine robuste IT-Sicherheitsarchitektur unverzichtbar.

Darüber hinaus wirkt sich die Verwendung sowohl höherer Urananreicherungsgrade oder von Plu-toniumbrennstoffen in einigen SMR-Konzepten als auch der Einsatz von Wiederaufbereitungstechnologie negativ auf die Proliferationsresistenz aus, insbesondere in der Anfangsphase des Reaktorbetriebs. Diese Herausforderungen für die Sicherung und Nichtverbreitung müssen sorgfältig analysiert und bei künftigen Entscheidungen über den Einsatz von SMR-Technologien in Europa berücksichtigt werden.

Fazit

Insgesamt fordert das BASE die Europäische Kommission auf, Aspekte der nuklearen Sicherheit und der Abfallentsorgung zu Eckpfeilern ihrer geplanten Strategie für die Entwicklung und die Nutzung von SMR in Europa zu machen. Die Maßnahmen der Kommission sollten das Ziel verfolgen, ein Höchstmaß an Sicherheit für den Betrieb, den Transport, die Abfallentsorgung und die Stilllegung von SMR zu gewährleisten und so sicherzustellen, dass die Risiken und Kosten für die heutige und zukünftige Generationen in Europa minimiert werden. Bei der Ausarbeitung einer Strategie für die Entwicklung von SMR müssen die Grundprinzipien der Europäischen Union wie das Vorsorgeprinzip und das Verursacherprinzip berücksichtigt werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, richtet das BASE folgende Empfehlungen an die Europäische Kommission:

- Übernahme der IAEA-Definition für SMR, um konzeptionelle Klarheit zu schaffen und definitorische Hindernisse für die Entwicklung oder Anpassung von Sicherheitsregulierungen zu beseitigen;
- Sicherstellung, dass die nukleare Sicherheit bei den Bemühungen um eine Harmonisierung der Rechtsrahmen in allen europäischen Ländern oberste Priorität hat und dass nationale gesetzliche Anforderungen nicht umgangen oder abgeschwächt werden;
- Berücksichtigung des Konzepts der „Defence in Depth“ (DiD) bei der Entwicklung der „Safety-Safeguards-Security by-design“-Methodik für SMR;
- Angehen neuer Herausforderungen im Zusammenhang mit Abfällen aus SMR durch Einbeziehung von Abfallentsorgungsaspekten in die frühe Entwicklung und Konzeption von SMR;
- Verringerung von Ungewissheiten hinsichtlich der Abfallmengen und -eigenschaften durch Validierung technologiespezifischer Abfallstudien mittels realer Experimente;
- Appell an die IAEA, fundierte und angemessene Vorschriften für den Transport von SMR zu entwickeln;
- Sicherstellung, dass Herausforderungen bei der Stilllegung von SMR bereits bei der Standortwahl, der Planung, dem Bau, der Inbetriebnahme und dem Betrieb von SMR berücksichtigt werden;
- Unterstützung der Entwicklung eines wirksamen Schutzsystems, das den physischen Schutz von Kernmaterial und kerntechnischen Anlagen vor Sicherheits- und Proliferationsrisiken gewährleistet, sowohl durch die Bereitstellung von Leitlinien dazu, wie diese Aspekte bereits in den frühesten Designphasen integriert werden können, als auch durch die Unterstützung bei der Entwicklung robuster internationaler Regulierungsrahmen.

Anhang

BASE-Gutachten

Das BASE hat vier Gutachten zu den Themen SMR, alternative Reaktorkonzepte, Partitionierung und Transmutation (P&T) sowie alternative Entsorgungsoptionen in Auftrag gegeben, in denen Fragen zu Abfall- und Entsorgungsproblemen behandelt werden. Die Abschlussberichte der Gutachten und Zusammenfassungen der wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse sind auf der BASE-Website verfügbar.

Thema	Link zur Website der Berichte
Partitionierung und Transmutation (P&T)	Link 1
Alternative Entsorgungsoptionen	Link 2
Small Modular Reactors (SMR)	Link 3
Alternative Reaktorkonzepte	Link 4

Literatur

[1]	Arm et al. (2022) Arm, S. T., Hall, G. B., Lumetta, G. J. & Wells, B. E.: Plan for Developing TRISO Fuel Processing Technologies, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (Vereinigte Staaten), 2022.
-----	--

[2]	Bisplinghoff et al. (2001) Bisplinghoff, B., Lochny, M., Fachinger, J. & Brücher, H.: Radiochemical characterisation of graphite from Juelich experimental reactor (AVR), 2001.
[3]	Bradbury & Wickham (2006) Bradbury, D. & Wickham, A.: Graphite Decommissioning: Options for Graphite Treatment, Recycling, or Disposal, including a discussion of Safety-Related Issues. EPR Institute, Palo Alto, CA, 2006.
[4]	Brown et al. (2017) Brown, N. R., Worrall, A. & Todosow, M.: Impact of thermal spectrum small modular reactors on performance of once-through nuclear fuel cycles with low-enriched uranium. Annals of Nuclear Energy 101, 166–173, 2017.
[5]	Fievet et al. (2023) Fievet, B., Voiseux, C., Leblanc, C., Maro, D., Hebert, D., Solier, L. & Godinot, C.: Iodine uptake in brown seaweed exposed to radioactive liquid discharges from the reprocessing plant of ORANO La Hague. Journal of Environmental Radioactivity 256, 107045, 2023.
[6]	Franceschini (2022) Franceschini, F.: Lead Fast Reactor. Design and Waste Management Overview. Präsentation, Westinghouse Electric Company. Workshop on the Management of Spent fuel, Radioactive Waste, and Decommissioning in SMRs/Advanced Reactor Technologies, OECD-NEA: Ottawa, 07. November 2022.
[7]	García et al. (2025) García, D., Canals, I., Perri, A., Keto, P., Naumer, S., Schatz, T., Wasselin, V., Mandoki, R. & Cordier, B.: Guidance on SMR implementation and deployment needs from the back end of the fuel cycle perspective; an overall vision from the 3 colleges. Final version as of 31.07.2025 of deliverable D4.2 of the European Partnership EURAD-2. EC Grant agreement n°:101177718, 30. September 2025.
[8]	Keto et al. (2022) Keto, P., Juutilainen, P., Schatz, T., Naumer, S. & Häkkinen, S.: Waste Management of Small Modular Nuclear Reactors in Finland, 2022.
[9]	Kim et al. (2024) Kim, T. K., Boing, L. & Dixon, B.: Nuclear waste attributes of near-term deployable small modular reactors. Nuclear Engineering and Technology 56(3), 1100–1107, DOI 10.1016/j.net.2024.01.046, 2024.
[10]	Krall et al. (2022) Krall, L. M., Macfarlane, A. M. & Ewing, R. C.: Nuclear waste from small modular reactors. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 119(23), e2111833119, DOI 10.1073/pnas.2111833119, 2022.
[11]	Kuhne et al. (2015) Kuhne, L., Rizzato, C., Baginski, K., Trigubowitsch, N., Petrova, E., Vulpius, D., Nabbi, R., Neumann, A., Steinmetz, H.-J. & Lensa, W. von: Disposal of irradiated graphite (CarboDISP). Final report, 2015.
[12]	Mausolff et al. (2021) Mausolff, Z., DeHart, M. & Goluoglu, S.: Design and assessment of a molten chloride fast reactor. Nuclear Engineering and Design 379, 111181, 2021.

[13]	Pénélope et al. (2022) Pénélope, R., Campayo, L., Fournier, M., Gossard, A. & Grandjean, A.: Solid sorbents for gaseous iodine capture and their conversion into stable waste forms. Journal of Nuclear Materials 563, 153635, 2022.
[14]	Riley et al. (2019) Riley, B. J., McFarlane, J., DelCul, G. D., Vienna, J. D., Contescu, C. I. & Forsberg, C. W.: Molten salt reactor waste and effluent management strategies: A review. Nuclear Engineering and Design 345, 94–109, 2019.
[15]	Saturnin (2022) Saturnin, A.: SMR/AMR: what impact on radioactive waste? Principles and analysis methodology proposal. Präsentation, CEA. Workshop on the Management of Spent fuel, Radioactive Waste, and Decommissioning in SMRs/Advanced Reactor Technologies, OECD-NEA: Ottawa, 08. November 2022.
[16]	Wainwright et al. (2024) Wainwright, H. M., Christiaen, C., Atz, M., Tchakerian, J. S., Yu, J., Ridley, G. K. & Shirvan, K.: A multidisciplinary framework from reactors to repositories for evaluating spent nuclear fuel from advanced reactors. Scientific Reports 14(1), 26904, DOI 10.1038/s41598-024-77255-3, 2024.
[17]	Žerovnik (2024) Žerovnik, G.: Characterisation of spent LWR fuel with SMR-relevant initial compositions and operational conditions. Präsentation, Federal Office for the Safety of Nuclear Waste Management (BASE), IAEA: Vienna, 21. Oktober 2024.