

Wege aus dem Endlager-Dilemma

Ein Referenzprogramm zur technologieoffenen Prüfung alternativer Strategien in Deutschland

Christof von Branconi

5. Juni 2026

Warum sprechen wir von einem Endlager-Dilemma?

Von einem Endlager-Dilemma zu sprechen ist keine Zuspitzung, sondern beschreibt eine reale Spannung im deutschen Entsorgungssystem. Auf der einen Seite ist der Grundpfad rechtlich und politisch klar: Deutschland verfolgt die sichere Zwischenlagerung der hochradioaktiven Abfälle und bestrahlten Brennelemente, ihre spätere Konditionierung und Verpackung sowie die Endlagerung in einem noch zu bestimmenden tiefengeologischen Endlager in Deutschland. Das aktualisierte Nationale Entsorgungsprogramm hat diesen Grundpfad festgelegt.

Auf der anderen Seite ist die praktische Zeitschiene dieses Weges heute erkennbar länger, komplexer und unsicherer, als es die politische Debatte lange suggeriert hat. Genau aus dieser Kombination von **klarer Rechtslage** und **offener Realisierungsdauer** entsteht das Dilemma.

Der erste Kern des Dilemmas ist die **Zeitfrage**. Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) formuliert inzwischen als Ziel, den Standortauswahlprozess so zu optimieren, dass ein Standort **idealerweise bis 2050** festgelegt werden kann. Die BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) zieht die Zeitschiene noch konkreter auf: Der Standort des Endlagers werde **frühestens in den 2040er Jahren** bekannt sein; anschließend würden Bau des Endlagers und die Einlagerung aller Behälter **mehrere Jahrzehnte** in Anspruch nehmen. Das bedeutet praktisch: Deutschland befindet sich längst nicht mehr in einer kurzen Übergangsphase bis zur Endlagerung, sondern in einer **langen Periode verlängerter Zwischenlagerung**, deren technische, regulatorische und politische Anforderungen eine eigene strategische Qualität haben. Die bisher genehmigten und ursprünglich zugrunde gelegten **40 Jahre** Zwischenlagerung reichen dafür nach Einschätzung der BGZ nicht aus.

Der zweite Kern des Dilemmas ist die **Mengendimension**. Ende 2023 waren in Deutschland insgesamt rund **16.711 Mg HM¹** bestrahlter Brennstoff aus Leistungsreaktoren angefallen. Davon befanden sich rund **10.038 Mg HM** noch in Deutschland – in Brennelementbecken, dezentralen Trockenlagern und zentralen Lagern. Hinzu kommen die hochradioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung, die ebenfalls langfristig entsorgt werden müssen. Diese Größenordnung macht deutlich: Es geht nicht um ein randständiges Entsorgungsproblem, sondern um eine auf Generationen angelegte Infrastruktur- und Sicherheitsaufgabe. Diese Aufgabe wird dadurch verschärft, dass Deutschland für bereits im Inland gelagerten Brennstoff grundsätzlich **keine Ausfuhr genehmigung** mehr vorsieht und dass seit dem **1. Juli 2005** die Abgabe bestrahlter Brennelemente aus der gewerblichen Elektrizitätserzeugung zur Wiederaufarbeitung verboten ist. Damit sind die Mengen nicht nur groß, sondern ihr Verbleib ist auch rechtlich weitgehend an den deutschen Pfad gebunden.

Der dritte Kern des Dilemmas ist die **Asymmetrie zwischen Pfadfestlegung und Pfadprüfung**. Der heute definierte Entsorgungspfad ist institutionell stark verankert, aber seine langfristigen Annahmen stehen unter wachsendem Druck: verlängerte Zwischenlagerung, spätere Verpackungs- und Transportfragen, Langzeitintegrität von Behältern, Requalifikation, Repackaging, Wissenssicherung und Kostenentwicklung.

Gleichzeitig gibt es aus Wissenschaft, Technikbewertung, Politik und internationalem Vergleich eine zunehmende Zahl von Stimmen, die auf prüfwerte Ergänzungen oder Alternativpfade hinweisen – etwa auf selektive Wiederaufarbeitung, Endlager-relevante Vorbehandlung, spätere Transmutation oder neue Systemarchitekturen. Entscheidend ist: Diese Hinweise begründen noch **keinen Technologiesprung**. Aber sie begründen sehr wohl, dass der heutige Pfad nicht mehr als die **einzig denkbare** Zukunft behandelt werden kann, ohne wenigstens geordnet zu prüfen, ob spätere Korrekturen sinnvoll sein könnten. Gerade diese Prüfung fehlt bisher in einer gemeinsamen, belastbaren deutschen Bewertungslogik.

Das Dilemma ist deshalb gerade **nicht**: Entweder man hält am Endlager fest oder man entscheidet sich sofort für Wiederaufarbeitung, Transmutation oder neue Reaktorsysteme. Ein solches Gegenüber wäre sachlich falsch. Das eigentliche Dilemma lautet vielmehr: Deutschland hat einen rechtlich klaren, aber zeitlich stark gestreckten und ökonomisch langfristig offenen Referenzpfad, ohne bislang einen ebenso klaren **Prüfpfad** für mögliche spätere Korrekturen aufgebaut zu haben. Solange diese zweite Spur fehlt, wird jede Diskussion entweder als implizite Infragestellung des Endlagers verstanden oder umgekehrt jede technologieoffene Frage vorschnell als politischer Wiedereinstieg in die Kernenergie gelesen. Genau diese Blockade macht den Begriff „Endlager-Dilemma“ treffend.

Hinzu kommt eine vierte Dimension: die **wirtschaftliche Langfristverantwortung**. Der KENFO² verwaltet die von den Kernkraftwerksbetreibern übertragenen Mittel zur Finanzierung der Zwischen- und Endlagerung in Höhe von rund **24,1 Milliarden Euro**. Zugleich sind bereits rund **4,5 Milliarden Euro** an Entsorgungskosten ausgezahlt worden. Der Fonds ist damit kein Zeichen akuter finanzieller Krise, aber sehr wohl ein Hinweis auf einen **endlichen Finanzierungskorridor**. Je länger Zwischenlagerung, Standortsuche, Endlagerbau und Einlagerung dauern, desto wichtiger wird die Frage, ob der eingeschlagene Pfad auf lange Sicht tatsächlich der wirtschaftlich robusteste bleibt oder ob einzelne Korrekturen – etwa bessere Inventarsegmentierung,

¹ Mg HM Megagramm (Tonne) Schwermetall

² staatlicher Fonds für die Finanzierung der nuklearen Zwischen- und Endlagerung

Vorbehandlung, Repackaging-Strategien oder andere Entsorgungsarchitekturen – spätere Lasten mindern könnten. Auch hier gilt: Daraus folgt nicht automatisch, dass Alternativen besser sind. Aber daraus folgt, dass ihre **Nicht-Prüfung** mit zunehmender Zeit immer schwerer zu rechtfertigen ist.

Eine fünfte Dimension ergibt sich aus dem **europäischen Umfeld**. Selbst wenn Deutschland am Atomausstieg festhält, bewegt sich der europäische Technologie- und Regulierungsraum weiter. Die Europäische Kommission hat im März 2026 eine Strategie vorgelegt, um die ersten europäischen **Small Modular Reactor-(SMR) und Advanced Modular Reactor- (AMR) Projekte**³ bereits in den frühen 2030er Jahren voranzubringen. Das bedeutet nicht, dass Deutschland diesen Weg politisch übernehmen sollte. Es bedeutet aber, dass Deutschland die technische und regulatorische Entwicklung im europäischen Umfeld kennen und bewerten muss, wenn es später eigenständig entscheiden will, welche Optionen beobachtet, vorbereitet oder verworfen werden sollten. Ohne ein eigenes Referenz- und Prüfprogramm droht Deutschland daher, in einer Lage langer nationaler Entsorgungszeiträume und wachsender europäischer Dynamik eher **reaktiv** als **gestaltend** zu handeln.

Deshalb sollte das Dilemma nicht mit einer vorschnellen Richtungsentscheidung beantwortet werden, sondern mit einem Referenzprogramm. Dieses würde den bestehenden deutschen Pfad als Benchmark absichern und zugleich einen geordneten Prüfpfad für wenige ernsthaft zu prüfende Alternativen schaffen.

Welche neutralen Aussagen und Empfehlungen unterstreichen diese Herausforderungen?

Die stärksten neutralen Aussagen, die die Notwendigkeit eines Referenzprogramms unterstreichen, stammen aus drei Quellen: der **ARTEMIS⁴-Mission Deutschland 2019**, dem **ARTEMIS-Follow-up Deutschland 2022** und dem **OECD/NEA⁵ Summary Report 2025 on Extended Storage and Transportation**. Diese drei Quellen haben besonderes Gewicht, weil sie gerade **nicht** als politische Positionspapiere formuliert sind. Sie argumentieren weder für noch gegen einen Technologiesprung, sondern beschreiben aus externer, fachlich-institutioneller Sicht, wo die deutsche Entsorgungsstrategie bereits heute an Grenzen stößt und welche zusätzlichen Anforderungen aus verlängerten Zeiträumen und neuen technischen Entwicklungen entstehen. Zusammengefasst begründen sie sehr klar, warum Deutschland nicht nur den bestehenden Pfad weiter administrieren, sondern ein **geordnetes Referenzprogramm** für mögliche spätere Korrekturen aufsetzen sollte.

Die **ARTEMIS-Mission Deutschland 2019** ist dafür die wichtigste Ausgangsdiagnose. Sie bescheinigt Deutschland zwar grundsätzlich ein tragfähiges System, identifiziert aber genau die Schwächen, die für ein Referenzprogramm zentral sind. Die Bundesregierung solle einen Prozess schaffen, um den Fortschritt des Gesamtprogramms regelmäßig zu überwachen – einschließlich **Kosten, Zeitplänen und Interdependenzen zwischen Projekten**. Ebenso solle das Inventar

³ **SMR** = kleine, modulare Reaktoren, häufig auf bekannter Reaktortechnik aufbauend.

AMR = fortgeschrittene, modulare Reaktoren mit stärker innovativen Reaktorkonzepten

⁴ Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Fuel Management, Decommissioning and Remediation, auf Deutsch sinngemäß: Integrierter Überprüfungsdienst für die Entsorgung radioaktiver Abfälle und abgebrannter Brennelemente sowie für Stilllegung und Sanierung.

⁵ OECD/NEA = Kernenergieagentur der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung).

stärker genutzt werden, um **Veränderungen im Zeitverlauf und Abfallminimierung** sichtbar zu machen. Hinzu kommen Empfehlungen zu mehr Flexibilität bei Logistik- und Zwischenlagerstrukturen, zu Back-up-Lösungen für Reparatur und Entladung beschädigter Behälter, zur Laufzeitkonsistenz neuer Lager mit dem realistischen Zeitbedarf bis zur Verfügbarkeit des HLW⁶-Endlagers sowie zu einer konsistenten, risikobasierten Aktualisierung der **Gesamtkosten** des Nationalen Programms. Schließlich wird auch eine bessere Koordination von Forschung, Entwicklung und Demonstration für spent fuel und radioactive waste management empfohlen. ARTEMIS 2019 sagt damit noch nicht: Deutschland braucht ein Alternativenprogramm. Aber der Bericht sagt sehr klar: Deutschland braucht ein **besser gesteuertes, transparenteres und stärker integriertes Entsorgungsprogramm**. Genau an dieser Stelle setzt ein Referenzprogramm an.

Das **ARTEMIS-Follow-up 2022** ist deshalb so wichtig, weil es zeigt, was sich verbessert hat – und was eben **nicht**. Positiv vermerkt wurden Fortschritte beim Monitoring des Gesamtprogramms, bei Berichten und kurzfristigen Zwischenzielen. Gleichzeitig blieben vier besonders wichtige Punkte offen:

- erstens die Frage, ob die geologischen Anforderungen für **NHGW** andere sind als für **HLW** und wie dies in der Logik der Standortauswahl berücksichtigt werden muss;
- zweitens die stärkere Nutzung des Inventars zur **Fortschritts- und Abfallminimierungskontrolle**;
- drittens eine konsistente Aktualisierung der **Kostenabschätzung** des nationalen Entsorgungsprogramms; und
- viertens eine systematische **Risiko- und Unsicherheitsanalyse** für die Kosten der öffentlichen Programmbestandteile.

Damit bestätigt der Follow-up-Bericht im Grunde die Ausgangsthese des Referenzprogramms: Deutschland ist organisatorisch lernfähig, aber die wichtigsten offenen Punkte liegen weiterhin bei **Kosten, Unsicherheit, Inventarlogik und inneren Schnittstellen** des Referenzpfades. Das ist gerade kein Argument gegen den heutigen Pfad, aber ein starkes Argument gegen seine bloße Fortschreibung ohne zusätzliche strategische Prüfung.

Der **OECD/NEA Summary Report 2025 on Extended Storage and Transportation** erweitert diese deutsche Diagnose in eine breitere strategische Perspektive. Sein Mehrwert liegt vor allem darin, dass er verlängerte Zwischenlagerung nicht mehr nur als technische Brückenfunktion, sondern als **strategische Schnittstelle** versteht. Für Deutschland wird dort ausdrücklich festgehalten, dass die Storage Licences auf **40 Jahre** begrenzt sind, die Endlagerentwicklung aber **bis zu 100 Jahre** dauern kann; die Standortfestlegung werde erst für die späten 2040er Jahre erwartet, sodass Verlängerungen erforderlich werden.

Darüber hinaus hebt der Bericht Themen hervor, die in ARTEMIS nur am Rand oder noch nicht systematisch behandelt sind: eine **Whole-systems analysis**, also die Betrachtung des Gesamtsystems vom Inventar über Storage, Transport und Repackaging bis hin zum Disposal; die Frage der **Transportfähigkeit nach langer Lagerung**; die Bedeutung von **Repackaging**; die Notwendigkeit einer flexiblen und anpassungsfähigen Regulierungsarchitektur; die

⁶ High-Level Waste = hochradioaktiver Abfall

Berücksichtigung von **Klimafolgen**; den Bedarf an generationenübergreifendem Wissensmanagement; und die zusätzlichen Herausforderungen durch **neue Brennstoffe, SMR und Generation-IV-Reaktoren**. Die OECD/NEA macht damit sichtbar, dass verlängerte **Zwischenlagerung selbst zu einer strategischen Kategorie** wird – nicht nur zu einer verlängerten Betriebsphase.

Genau aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich, warum die Aufgabenstellung **nicht im Rahmen der normalen Forschungsarbeiten von BASE, BGZ oder Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE)** bewältigt werden kann. **BASE** ist eine Aufsichts-, Genehmigungs- und Fachbehörde. Die eigene Forschungsagenda ist ausdrücklich auf Themen ausgerichtet, die für die **amtlichen Aufgaben** relevant sind; die Priorisierung der Forschung orientiert sich an der Nähe zum gesetzlichen Auftrag, an regulatorischer Relevanz und an der Unterstützung konkreter Entscheidungen oder Instrumente.

BASE behandelt dabei selbstverständlich wichtige Zukunftsthemen, etwa verlängerte Zwischenlagerung, Handhabung und Konditionierung nach der Zwischenlagerung, alternative Reaktorkonzepte, Partitionierung und Transmutation⁷ (P&T) und internationale Entwicklungen. Aber all dies geschieht aus Sicht einer **Regulierungs- und Sicherheitsbehörde**, nicht als unabhängige vergleichende Strategiebewertung des Gesamtsystems. BASEs Auftrag ist es, wissenschaftlich fundierte Entscheidungen innerhalb des bestehenden Aufgabenrahmens zu ermöglichen – nicht, Referenzpfad und Alternativpfade in einem offenen politischen Bewertungsprogramm gegeneinander abzuwägen.

BGZ ist noch enger gebunden. Ihr Forschungsprogramm ist ausdrücklich darauf gerichtet, die **sichere verlängerte Zwischenlagerung** nachzuweisen. Der Fokus liegt auf Behältern, Dichtungen, Inventaren, Gebäuden, Alterungsmanagement, Monitoring, Genehmigungs- und Nachweisfragen. BGZ macht selbst deutlich, dass die bisherigen 40 Jahre nicht ausreichen werden, und entwickelt dafür ein forschungsbasiertes Sicherheitsprogramm. Das ist für Deutschland unverzichtbar. Aber BGZ bearbeitet dabei gerade **nicht** die strategische Kernfrage, ob Deutschland neben dem Referenzpfad auch selektive Wiederaufarbeitung, Endlager-relevante Vorbehandlung, P&T oder alternative Entsorgungsarchitekturen systematisch prüfen sollte. BGZ forscht aus Sicht des **sicheren Betriebs und Nachweises** – nicht aus Sicht einer übergeordneten Alternativenbewertung.

BGE schließlich ist gesetzlich der **Implementierer** des bestehenden Endlagerpfades. Zu ihren Aufgaben gehören die Standortsuche für das HLW-Endlager, die vorläufigen Sicherheitsuntersuchungen, der Bau und Betrieb der Endlager sowie Asse II, Konrad und Morsleben. BGE ist damit unverzichtbar für die Realisierung des Referenzpfades, aber gerade deshalb nicht die richtige Institution, um eine technologieoffene, vergleichende Prüfung möglicher Pfadkorrekturen zu tragen. Ihre Aufgabe ist Umsetzung, nicht neutrale Alternativenmoderation.

Was also fehlt, ist kein weiteres Fachprogramm in den bestehenden institutionellen Rollen, sondern eine **zusätzliche Prüfschicht**, die über diese Rollen hinausgeht.

Ein Referenzprogramm müsste:

- Erstens **vergleichende Strategiebewertung** leisten: direkte Entsorgung, offene Langfristlagerung, selektive Wiederaufarbeitung, Endlager-relevante Vorbehandlung, P&T,

⁷ Transmutation = Umwandlung langlebiger radioaktiver Isotope in kürzerlebige oder weniger problematische Stoffe.

alternative Endlagerarchitekturen und internationale Kooperationspfade wären in einem gemeinsamen Raster zu bewerten.

- Zweitens müsste es eine **ökonomische und realoptionenbezogene Perspektive** einführen: nicht nur Sicherheitsnachweise, sondern Vollkosten, Unsicherheiten, Infrastrukturbedarf, KENFO-relevante Langfristkosten und potenzielle Entlastungseffekte.
- Drittens müsste das Inventar viel stärker **segmentiert** und als Entscheidungsinstrument genutzt werden.
- Viertens bräuchte es einen **Rechts-Scan**, der sichtbar macht, was im geltenden Recht sofort prüfbar ist, wo Genehmigungen ausreichen und an welchen Punkten spätere gesetzliche Änderungen nötig wären. Und
- Fünftens müsste Deutschland stärker klären, ob spätere Optionen eher **national, europäisch oder multinational** gedacht werden sollten.

Die neutralen Berichte von ARTEMIS und OECD/NEA sprechen damit in dieselbe Richtung. ARTEMIS 2019 und 2022 zeigen, dass der bestehende deutsche Pfad bereits heute Steuerungs-, Kosten-, Inventar- und Schnittstellenprobleme enthält, die über bloße Routineverwaltung hinausgehen. Der OECD/NEA-Report zeigt, dass verlängerte Zwischenlagerung und spätere Transport- und Repackagingfragen eine eigene strategische Dimension erhalten und dass neue technische Entwicklungen zusätzliche Systemanforderungen erzeugen. BASE, BGZ und BGE sind für ihre jeweiligen Aufgaben unverzichtbar – aber gerade ihre institutionelle Spezialisierung macht deutlich, dass die übergreifende, technologieoffene und systemvergleichende Aufgabenstellung **nicht einfach im Rahmen ihrer normalen Forschung und ihres normalen Vollzugs** mit erledigt werden kann. Genau dafür braucht Deutschland ein eigenständiges Referenzprogramm.

Welche Fragen stellen sich also?

Wenn man die bisherige Lageanalyse ernst nimmt, folgen daraus nicht sofort politische Richtungsentscheidungen, wohl aber fünf Leitfragen, die Deutschland jetzt systematisch bearbeiten sollte.

Die erste Frage lautet: Ist der geltende deutsche Referenzpfad – verlängerte Zwischenlagerung, spätere Konditionierung und Verpackung sowie geologische Endlagerung in Deutschland – fachlich weiterhin tragfähig, wenn sich die Zeithorizonte der Endlagersuche deutlich verlängern? Der Referenzpfad ist rechtlich gesetzt und institutionell vorhanden. Das Nationale Entsorgungsprogramm bestätigt ihn, und das Standortauswahlgesetz ordnet die Suche nach einem Endlagerstandort in Deutschland. Aber diese Festlegung beantwortet noch nicht die Frage, ob derselbe Pfad unter deutlich längeren Zeitannahmen unverändert tragfähig bleibt. Denn verlängerte Zwischenlagerung ist nicht einfach mehr vom Gleichen. Sie verändert die Anforderungen an Behälterintegrität, Alterungsmanagement, Transportfähigkeit, Repackaging, Dokumentation, Wissenssicherung und spätere Endlagerlogistik. Genau das hatten bereits die ARTEMIS-Berichte für Deutschland und später der OECD/NEA-Report zu Extended Storage and Transportation sichtbar gemacht: Nicht der Endlagerpfad als solcher wird dadurch hinfällig, wohl aber die Annahme, man könne ihn ohne zusätzliche strategische Prüfung einfach linear fortschreiben.

Die zweite Frage lautet: Reicht es aus, den deutschen Pfad nur technisch fortzuschreiben, oder muss parallel geprüft werden, ob bestimmte Alternativen das spätere Endlagerinventar und damit den Entsorgungsaufwand verringern könnten?

Das ist keine ideologische, sondern eine fachlich naheliegende Frage. Mehrere Dokumente deuten in diese Richtung, wenn auch mit unterschiedlicher Intensität. WePlanet verschiebt die Perspektive stark in Richtung Ressourcensicht. Das TUM-Weißbuch fordert, abgebrannte Brennelemente als Ressource zu behandeln und Transmutationsoptionen vorzubereiten. Die SPRIND-Studie beschreibt mit ADS/START erstmals einen deutschen Fall, bei dem eine technologieoffene Alternativroute systematisch als prüffähig modelliert wird. Die OECD/NEA-Back-End-Studien zeigen darüber hinaus, dass sich offene, teilgeschlossene und stärker geschlossene Kreisläufe hinsichtlich Volumen, Wärmeentwicklung, Natururanbedarf und Radiotoxizität des Restinventars deutlich unterscheiden können.

Daraus folgt noch nicht, dass Deutschland jetzt auf Wiederaufarbeitung, P&T oder neue Reaktorsysteme umschwenken sollte. Aber es folgt sehr wohl, dass die **Nicht-Prüfung** solcher Optionen mit wachsender Zeit schwerer zu rechtfertigen ist. Genau deshalb braucht es einen Prüfpfad, der Alternativen geordnet, phasenweise und referenzgebunden bewertet, statt sie entweder politisch zu überhöhen oder vorschnell auszuschließen.

Die dritte Frage lautet: Ist Deutschland wirtschaftlich überhaupt in der Lage, über Jahrzehnte nur auf den bestehenden Pfad zu setzen, ohne alternative Kosten- und Entlastungspfade wenigstens geordnet zu prüfen? Auch diese Frage verlangt keine Vorfestlegung auf einen anderen Pfad, sondern zunächst ein **belastbares Bewertungsraster**. Der KENFO verwaltet die zur Finanzierung von Zwischen- und Endlagerung übertragenen Mittel; zugleich beruhen Langfristprojektionen zwangsläufig auf Unsicherheiten bei Zeitachsen, Inflationsentwicklung, Kapitalmarktrenditen und den tatsächlichen Kosten des Entsorgungsprogramms.

Schon ARTEMIS 2019 und 2022 hatten auf die unzureichende Konsistenz der Kostenfortschreibung und die fehlende Risiko- und Unsicherheitsanalyse hingewiesen. Der Punkt ist deshalb nicht, dass Deutschland heute schon beweisen könnte, eine Alternativroute sei billiger als der Referenzpfad. Der Punkt ist, dass ein endlicher Finanzierungskorridor und wachsende Unsicherheiten es ökonomisch vernünftig machen, mögliche Kosten- und Entlastungspfade systematisch zu prüfen. Ein Referenzprogramm würde genau dies leisten: nicht die sofortige Suche nach „dem billigsten Pfad“, sondern einen strukturierten Vergleich von Vollkosten, Infrastrukturbedarf, Unsicherheit, Reversibilität und möglichen Entlastungseffekten für spätere Endlagerung.

Die vierte Frage lautet: Ist es unter den aktuellen politischen und technologischen Entwicklungen in Europa klug, in Deutschland auf eine bloß defensive Beobachterrolle zu setzen? Selbst wenn Deutschland politisch beim Atomausstieg bleibt, verschiebt sich der europäische Rahmen. Die Europäische Kommission verfolgt inzwischen aktiv das Ziel, die ersten europäischen SMR- und AMR-Projekte in den frühen 2030er Jahren zu ermöglichen. Parallel dazu werden in anderen Ländern Fragen von Wiederaufarbeitung, erweiterten Zwischenlagerstrategien, P&T und neuen Brennstoffen weiterbearbeitet.

Deutschland muss daraus nicht automatisch eine eigene Nuklearstrategie ableiten. Aber Deutschland sollte die regulatorischen, technischen und ökonomischen Entwicklungen kennen, um später nicht nur reagieren zu können. Ohne ein eigenes Arbeits- und Bewertungsprogramm würde die Bundesrepublik in einer Lage langer nationaler Zeithorizonte und wachsender

europäischer Dynamik eher **reaktiv** als **gestaltend** handeln. Das Referenzprogramm ist daher auch ein Instrument strategischer Souveränität: Es schafft die Fähigkeit, Entwicklungen in Europa und international nicht nur zu beobachten, sondern im Hinblick auf ihre Relevanz für den deutschen Entsorgungspfad einzuordnen.

Die fünfte und vielleicht entscheidende Frage lautet: Lässt sich über mögliche Korrekturen des deutschen Weges überhaupt sinnvoll entscheiden, solange keine gemeinsame Prüflogik existiert, die Referenzpfad, Alternativpfade, Technologiereife, Kosten, Endlagerbezug und Rechtsrahmen in einem einheitlichen Raster zusammenführt?

Hier liegt die eigentliche methodische Lücke. Deutschland hat heute einen rechtlich definierten Grundpfad, aber kein ebenso belastbares Verfahren, um mögliche spätere Korrekturen oder Ergänzungen zu bewerten. Gerade dadurch laufen Debatten schnell auseinander: Die einen sehen im Status quo die einzig realistische Linie, die anderen verweisen auf neue Technologien oder Ressourcenaspekte. Beides bleibt unbefriedigend, solange kein gemeinsamer Bewertungsmaßstab existiert.

Aus diesen Leitfragen ergibt sich daher, warum die Erarbeitung des Referenzprogramms **jetzt** erforderlich ist. Deutschland hat einen institutionell verankerten Referenzpfad, aber dieser Referenzpfad beantwortet nicht automatisch die Frage, ob und unter welchen Bedingungen spätere Kurskorrekturen sinnvoll sein könnten. Das Standortauswahlgesetz und das Nationale Entsorgungsprogramm liefern die offizielle Grundstruktur.

Was fehlt, ist ein ebenso belastbarer **Prüfpfad** für Alternativen – nicht politisch sprunghaft, sondern gestuft, technologieoffen und ergebnisoffen. Gerade hierin liegt die angemessene Übersetzung der heute vorliegenden, teils einseitigen politischen Wünsche und technischen Ideen in ein der Problemstellung entsprechendes Programm.

Ein Referenzprogramm ist deshalb weder ein Gegenprogramm zum geltenden Recht noch der Einstieg in einen voreiligen Technologiesprung. Es ist der methodisch notwendige Schritt, um den deutschen Weg abzusichern und zugleich belastbar zu klären, ob spätere Korrekturen geboten, vertretbar oder eben nicht überzeugend sind.

Das Referenzprogramm: Referenzpfad absichern, Alternativen geordnet prüfen

Das Referenzprogramm ist kein Gegenentwurf zum bestehenden deutschen Pfad, sondern dessen notwendige Ergänzung. Es soll den Referenzpfad als Benchmark sichern und parallel einen geordneten Prüfpfad für mögliche spätere Korrekturen schaffen. Daraus folgt weder ein vorschneller Technologiesprung noch ein bloßes Weiter-so, sondern ein strukturiertes, phasenweises Arbeitsprogramm.

Phase 1: Referenzrahmen, Inventar, Bewertungsgrundlage, No-regret-Optionen

Phase 1 ist der methodische Sockel des gesamten Programms. Ohne diese Phase würde jede Alternativenprüfung entweder auf Wunschbildern oder auf unsauberen Vergleichen beruhen. Der erste Schritt ist deshalb die klare Definition des **Referenzszenarios**: verlängerte Zwischenlagerung, spätere Konditionierung und Verpackung, geologische Endlagerung und keine Veränderung der Brennstoffbehandlung. Dieses Referenzszenario ist kein politischer Endpunkt, sondern der Maßstab, gegen den alle Alternativen geprüft werden. Genau diese

referenzgebundene Logik ist auch mit den Grundprinzipien vereinbar, die ARTEMIS 2019 dem deutschen Nationalprogramm bescheinigt: faktengestützte Entscheidungen, Berücksichtigung von Interdependenzen, Begrenzung von Aktivität und Volumen, sichere Entsorgung und Verantwortung im nationalen Rahmen.

Der zweite Kern von Phase 1 ist die **Inventar- und Stoffstromanalyse**. Hier geht es nicht nur um Mengen, sondern um Entscheidungsfähigkeit. Das Inventar muss so zerlegt werden, dass spätere Alternativen überhaupt vergleichbar werden: abgebrannte Brennelemente nach Typ, Abbrand, Zustand und Lagerform, verglaste Abfälle, Sonderinventare, Transportierbarkeit und potenzielle Eignung für alternative Behandlungspfade. Schon ARTEMIS 2019 hatte bemängelt, dass das Inventar stärker genutzt werden sollte, um Veränderungen im Zeitverlauf und Abfallminimierung sichtbar zu machen. Daraus folgt heute: Das Inventar ist nicht nur Bestandsaufnahme, sondern die Grundlage für jede spätere Aussage zu Recycling, Vorbehandlung oder P&T.

Drittens braucht Phase 1 eine verbindliche **Bewertungsmatrix**. Sie muss technische, wirtschaftliche, sicherheitsbezogene und rechtliche Kriterien in einem Raster zusammenführen: Vollkosten, Reifegrad, Zeit bis Einsatzfähigkeit, Effekte auf Wärmeentwicklung, Volumen und Langzeittoxizität, zusätzliche Infrastrukturbedarfe, Safeguards- und Proliferationsfragen, regulatorische Umsetzbarkeit, Reversibilität und Endlager-relevanter Mehrwert. Der OECD/NEA-Bericht macht deutlich, dass gerade bei verlängerten Zeithorizonten wirtschaftliche Modellierung, Stakeholder-Vertrauen, Wissensmanagement und regulatorische Entwicklung Teil einer „holistic decision making“-Logik sein müssen. Diese breitere Logik muss in der Bewertungsmatrix bereits angelegt werden.

Schließlich müssen in Phase 1 **No-regret-Maßnahmen** bestimmt werden. Dazu zählen bessere Inventarcharakterisierung, Behälter-Monitoring, Standardisierung von Daten und Schnittstellen, Repackaging-Vorbereitung und Wissenssicherung. BASE und BGZ zeigen beide, dass verlängerte Zwischenlagerung und spätere Transporte schon heute technische und regulatorische Anschlussarbeiten verlangen. Das Referenzprogramm muss diese Fragen deshalb nicht erst am Ende, sondern von Anfang an mitführen. Am Ende von Phase 1 steht ein Referenzbericht mit Bewertungsrahmen und eine Shortlist von 3 bis 5 alternativen Optionen, die überhaupt vertieft zu prüfen sind.

Phase 2: Realistische Alternativpfade

Phase 2 ist der eigentliche Kern der technologieoffenen Alternativenprüfung. Hier werden nur diejenigen Optionen betrachtet, die **mittelfristig plausibel** erscheinen und noch keinen vollständigen Systemwechsel verlangen. Die erste und vielleicht wichtigste Option ist die **offene Langfristlagerung mit späterem Decision Gate**. Der OECD/NEA-Report macht deutlich, dass extended storage und transportation kritische Verknüpfungen zwischen heutiger Praxis und späterer Disposal-Lösung sind. Längere Zeiträume erfordern die Kompatibilität mit zukünftigen Prozessen wie Repackaging, Reprocessing und final disposal; zudem müssen Transportfähigkeit, Materialalterung, Informationssicherung und stabile politische Rahmen mitgedacht werden. Für Deutschland heißt das: Verlängerte Zwischenlagerung darf nicht nur als Überbrückung, sondern muss als echte strategische Entscheidungsoption bewertet werden.

Die zweite Prüfroute ist die **P&T-Vormachbarkeit**. Hier geht es nicht primär um Energienutzung, sondern um die **Verkürzung der Reststrahldauer** bzw. die Verringerung der Langzeitlast des

Restinventars. Zu fragen ist, welche Teilinventare für P&T grundsätzlich adressierbar wären, welche Prozessketten – etwa wässrige Trennverfahren, pyrochemische Schritte, Bestrahlung in ADS⁸ oder schnellen Systemen – nötig wären und welche Endlager-relevanten Effekte auf Wärmeentwicklung und Langzeittoxizität realistisch erreichbar sind. BASE selbst behandelt P&T ausdrücklich als beobachtete und wissenschaftlich zu bewertende Alternative; die OECD/NEA hebt hervor, dass die gesamte Kette von neuen Brennstoffen bis zum Back End systemisch mitgedacht werden muss.

Die dritte Prüfroute ist die **selektive Wiederaufarbeitung bzw. das begrenzte Recycling**. Hier steht die sinnvolle Nutzung von **Restenergie** im Vordergrund. Die Frage ist nicht „Wiederaufarbeitung ja oder nein?“, sondern viel präziser: Welche Teilinventare wären überhaupt geeignet? Welche Stoffströme könnten in einen Recyclingpfad gehen? Welche Effekte auf Endlagerwärme, Volumen und Einlagerungslogistik wären denkbar? Welche zusätzlichen Sekundärabfälle, Safeguards-Anforderungen⁹ und Brennstoffherstellungsfragen entstehen? Es sollte hier klar formuliert werden, dass nicht ein geschlossener deutscher Kreislauf das Ausgangsszenario ist, sondern eine **selektive, differenzierte Prüfung** von Teilinventaren und Kooperationsoptionen. Zusätzlich sollte Phase 2 **alternative Entsorgungsarchitekturen** – etwa tiefe Bohrlöcher oder hybride Ansätze – nicht als politische Zielbilder, sondern als Benchmark untersuchen. Parallel dazu müssen grobe Infrastruktur-, Zeit- und Kostenpfade modelliert werden. Und schon in dieser Phase muss ein **Rechts-Scan** mitlaufen: Welche Optionen sind unter geltendem Recht analysierbar, welche genehmigungsfähig und welche materiell gesetzlich blockiert? Das Ergebnis der Phase ist kein neuer Pfad, sondern eine belastbare Ampelbewertung: weiter vertiefen, nur beobachten oder vorerst nicht weiterverfolgen.

Phase 3: Fortgeschrittene Technologiepfade

Phase 3 betrifft nur solche Optionen, die über einen mittelfristig realistischen Alternativpfad hinausgehen und einen tieferen Technologie- oder Systemwechsel verlangen, etwa ADS, Mehrfachrecycling in schnellen Reaktoren oder bestimmte SMR-/AMR-bezogene Pfade.

Technologisch ist zu unterscheiden zwischen Pfaden, die eher einen zusätzlichen Verfahrensschritt bedeuten, und solchen, die einen **vollständigen neuen Reaktor-, Brennstoff- und Regulierungsverbund** erfordern. ADS- oder P&T-Demonstrationspfade können als Vorentwicklungsoptionen erscheinen, während Mehrfachrecycling in schnellen Reaktoren oder die Nutzung bestimmter SMR-/AMR-Systeme einen umfangreicheren Systemwechsel verlangen. Der OECD/NEA-Report betont, dass neuartige Brennstoffe spezialisierte Lager-, Transport- und Entsorgungslösungen erfordern und dass die gesamte Abfall- und Brennstoffkette parallel zum Reaktordesign entwickelt werden muss, um spätere Back-End-Probleme nicht erst nachträglich zu erzeugen.

Bei **P&T** wäre zu unterscheiden zwischen der Trennung langlebiger Aktiniden und ihrer späteren Transmutation in ADS oder schnellen Reaktoren. Bei **ADS** wäre zu fragen, ob Deutschland allenfalls an einer Vorentwicklungs- oder Demonstrationsroute beteiligt sein könnte, etwa auf Basis pyrochemischer Aufarbeitung und Verglasung, ohne sofort einen nationalen Vollausbau zu

⁸ ADS = beschleunigergetriebenes, unterkritisches Reaktorsystem zur Nutzung bzw. Transmutation bestimmter Bestandteile abgebrannter Kernbrennstoffe.

⁹ Anforderungen aus den nuklearen Sicherheitsmaßnahmen, insbesondere zur Kontrolle und Bilanzierung spaltbaren Materials

verlangen. Bei **Mehrfachrecycling** wäre zu prüfen, ob ein deutscher Alleingang realistisch oder eine europäische Servicekette wesentlich plausibler wäre. Und bei **SMR-/AMR-Pfaden** wäre zu klären, ob Deutschland sie überhaupt als Entsorgungs- oder Recyclingkomponente und nicht nur als Energieoption betrachten würde. Phase 3 soll gerade diese Unterschiede sichtbar machen und in **Go/No-Go-Kriterien** übersetzen: Welche Reife müsste bis wann erreicht sein, welche Kosten wären vertretbar und welche Vorbereitungen wären heute sinnvoll, ohne den Referenzpfad zu gefährden?

Rechtlich ist diese Phase zugleich der Punkt, an dem zu unterscheiden ist zwischen Forschung, Vorentwicklung, Demonstration und echter Pfadöffnung. Genau hier muss daher geprüft werden, ob Genehmigungsrecht ausreicht oder gesetzliche Öffnungsschritte nötig wären. Phase 3 ist also die Schwelle zwischen geordneter Alternativenprüfung und politischer Vorentscheidung – und gerade deshalb muss sie streng an Reifegrad, Systemwechselbedarf und internationale Anschlussfähigkeit gebunden sein.

Phase 4: Priorisierung, Roadmap, institutionelle Verankerung

Phase 4 ist die Phase, in der die fachlichen Ergebnisse in politisch nutzbare Entscheidungen übersetzt werden. Erst hier wird aus den vorangegangenen Analysen eine Roadmap. Dabei ist entscheidend: Diese Phase ist **nicht** der Startpunkt des Programms, sondern sein Abschluss. Die politischen Debatten über Wiederaufarbeitung, Transmutation, SMR oder alternative Entsorgungsarchitekturen sind real; sie dürfen aber nur dann in Handlungsempfehlungen übersetzt werden, wenn die fachlichen Decision Gates aus den Phasen 1 bis 3 durchlaufen wurden. Gerade dadurch unterscheidet sich das Referenzprogramm von spontanen politischen Positionspapieren.

Inhaltlich sollte diese Phase alle geprüften Pfade in drei Klassen ordnen.

- **Klasse A** umfasst Optionen, die jetzt aktiv vorbereitet werden sollten – etwa robuste No-regret-Maßnahmen, weiterzuentwickelnde Monitoring- und Repackaging-Kompetenzen, Inventarsegmentierung, internationale Vergleichs- und Beobachtungsstrukturen oder einzelne vertiefungswürdige Alternativen.
- **Klasse B** umfasst Optionen mit erkennbarem Potenzial, aber noch zu großen Unsicherheiten – etwa P&T-/ADS-bezogene Kooperationspfade, bestimmte Recyclingrouten oder alternative Entsorgungsarchitekturen.
- **Klasse C** schließlich umfasst Fernoptionen ohne tragfähigen Nutzen in absehbarer Zeit oder mit disproportionalen Systemwechselbedarf. Diese Einteilung soll keine ideologische Grenzziehung sein, sondern das Ergebnis eines gestuften Prüfprozesses.

Ein zweiter zentraler Baustein von Phase 4 ist die **zeitlich gestufte Roadmap**. Sinnvoll erscheint eine Dreiteilung:

- **0–5 Jahre** für Analyse, Inventar, Monitoring, Standardisierung, internationale Kooperation und No-regret-Maßnahmen;
- **5–15 Jahre** für Pilotierungen, Vorentwicklung und gegebenenfalls den Eintritt in Demonstrations- oder Serviceketten;
- **15+ Jahre** für spätere Pfadentscheidungen auf Basis gereifter Technologie. Dadurch wird deutlich: Das Referenzprogramm selbst ist ein kurz- bis mittelfristiger Bewertungsprozess, seine Wirkungen reichen aber in einen deutlich längeren strategischen Horizont hinein.

Schließlich muss Phase 4 die institutionellen und rechtlichen Konsequenzen benennen. Es muss klar sein, wer künftig bewertet, wer wissenschaftlich begleitet, wer internationale Entwicklungen beobachtet, wer ökonomische Modellierungen führt und wer Rechts- und Governancefragen weiterbearbeitet. Nur für diejenigen Optionen, die die fachlichen Prüfphasen überstehen, sollten konkrete Rechtsänderungen vorbereitet werden – etwa mit Blick auf das Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (AtG), das Nationale Entsorgungsprogramm (NaPro), das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (StandAG), Genehmigungsarchitektur für Demonstratoren sowie Safeguards- und Nichtverbreitungsfragen. Das Ergebnis von Phase 4 ist somit ein **entscheidungsfähiges Prioritätenpapier**, keine abstrakte Studie.

Querschnittsmodule: Recht, Kosten, Decision Gates

Das Referenzprogramm funktioniert nur, wenn drei Querschnittslogiken über alle Phasen mitlaufen. Die erste ist die **rechtliche Anschlussfähigkeit**. Für jede Option muss von Anfang an geklärt werden, ob sie unter geltendem Recht lediglich analysierbar, auch genehmigungsfähig oder materiell gesetzlich gesperrt ist. Gerade bei selektiver Wiederaufarbeitung, P&T, ADS oder neuen Systempfaden ist entscheidend, zwischen reiner Prüfbarkeit und echter Vorentwicklungsfähigkeit zu unterscheiden. Diese rechtliche Prüfschicht verhindert, dass das Programm entweder unrealistisch wird oder sich zu früh selbst blockiert.

Die zweite Querschnittslogik betrifft **Kosten, Unsicherheit und Realoptionen**. Schon ARTEMIS 2019 und 2022 haben deutlich gemacht, dass die konsistente Kostenfortschreibung und Risikoanalyse des bestehenden Pfads unzureichend sind. Ein Referenzprogramm muss deshalb Referenzpfad und Alternativen von Anfang an in derselben Vollkosten- und Unsicherheitslogik betrachten. Dabei geht es nicht nur um Business Cases, sondern um robuste Entscheidungsfähigkeit unter langen Zeithorizonten. Genau das meint die Realoptionen-Logik: heute nichts voreilig festlegen, aber Optionen so vorbereiten, dass spätere Entscheidungen nicht verbaut werden.

Die dritte Querschnittslogik ist das **Inventar als Entscheidungsinstrument**. Weder Kosten- noch Alternativenbewertung funktionieren sinnvoll, wenn das Inventar nicht ausreichend segmentiert ist. Nicht „das Inventar“ insgesamt steht zur Debatte, sondern unterschiedliche Inventargruppen mit unterschiedlicher Eignung für Monitoring, Repackaging, Transport, Recycling oder Transmutation. Daran schließen sich die **Decision Gates** an: Nach jeder Phase muss entschieden werden, welche Pfade vertieft, welche beobachtet und welche beendet werden. Nur dadurch bleibt das Programm diszipliniert und politisch glaubwürdig.

Das Referenzprogramm in einem Satz

Deutschland sichert den Referenzpfad technisch ab, öffnet aber den Bewertungsraum für wenige, ernsthaft prüfwerte Alternativen und ordnet diese in einem vierphasigen, rechtlich und wirtschaftlich mitgeführten Entscheidungsprogramm.

Das Referenzprogramm ist der Versuch, zwischen zwei Fehlentwicklungen einen belastbaren Mittelweg zu finden. **Die erste Fehlentwicklung** wäre, den bestehenden deutschen Pfad einfach weiter zu administrieren, obwohl sich Zeithorizonte, Kosten- und Unsicherheitslagen, verlängerte Zwischenlagerung und internationale Technologieentwicklungen sichtbar verändern. **Die zweite Fehlentwicklung** wäre, aus politischen oder technologischen Impulsen sofort einen

Systemwechsel abzuleiten. Das Referenzprogramm vermeidet beides: Es sichert den Referenzpfad als Benchmark und Prüfanke, öffnet aber den Bewertungsraum für wenige ernsthaft prüfwerte Alternativen.

Sein besonderer Wert liegt darin, dass es zwei derzeit oft getrennte Debatten zusammenführt: erstens die Frage nach der **sicheren verlängerten Zwischenlagerung und späteren Endlagerung** und zweitens die Frage, ob einzelne Inventare oder Technologien künftig eine **Verringerung der Langzeitlast durch P&T** oder eine **sinnvolle Nutzung von Restenergie** ermöglichen könnten. Diese beiden Richtungen werden nicht vermischt, sondern in einem gestuften Programm auf ihre technische, ökonomische, rechtliche und politische Anschlussfähigkeit geprüft. Genau dadurch wird Technologieoffenheit mit Sicherheits- und Entsorgungsprimat verbunden.

Die zentrale Botschaft ist deshalb: **Nicht die Vorentscheidung für eine neue Route ist jetzt erforderlich, sondern die Schaffung eines geordneten Referenzprogramms, mit dem über mögliche Korrekturen des eingeschlagenen deutschen Weges überhaupt erst belastbar entschieden werden kann.**

Ein unabhängiges, plural besetztes Prüf- und Bewertungsprojekt

Die organisatorische Gestaltung des Referenzprogramms ist eine zentrale Voraussetzung für die Akzeptanz seiner Ergebnisse. Es sollte weder als klassisches Fachgutachten einer einzelnen Institution noch als Lagerprojekt angelegt werden, sondern als plural besetztes Prüf- und Bewertungsprojekt. Entscheidend sind sichtbare Fairness, Rollentrennung und methodische Nachvollziehbarkeit.

Aus dieser Überlegung folgen fünf Grundprinzipien.

- Erstens braucht das Referenzprogramm eine **klare Trennung der Rollen**. Wissenschaftliche Kernarbeit, institutionelle Aufsicht über das Verfahren, kritische Gegenprüfung und gesellschaftliche Einbindung sollten organisatorisch getrennt sein. Wenn dieselben Akteure zugleich Optionen entwickeln, bewerten und politisch vertreten, sinkt die Glaubwürdigkeit sofort.
- Zweitens muss das Programm **plural, aber nicht beliebig** besetzt sein. Akzeptanz entsteht nicht durch das Prinzip „alle dürfen alles“, sondern durch eine nachvollziehbare Mischung aus technisch-wissenschaftlicher Kompetenz, regulatorischer Erfahrung, ökonomischer Expertise, rechtswissenschaftlicher Kompetenz und gesellschaftlicher Verankerung.
- Drittens darf keine institutionelle Perspektive das Verfahren dominieren. Weder eine reine Behörden-, noch eine reine Betreiber-, noch eine reine Anti-Atom-Perspektive würde ausreichen.
- Viertens sollten **Minderheitenvoten** ausdrücklich zugelassen werden. Gerade in Deutschland steigt die Glaubwürdigkeit eines Verfahrens oft nicht dadurch, dass alle zustimmen, sondern dadurch, dass abweichende Positionen sichtbar, geordnet und fair dokumentiert werden können.
- Fünftens braucht das Projekt **maximale Transparenz**: Auftrag, Bewertungsmaßstäbe, Annahmen, Datenbasis und Zwischenergebnisse müssen nachvollziehbar offenliegen.

Bestehende fachtechnische Beratungsgremien wie die Entsorgungskommission (ESK) bleiben dabei wichtig. Sie erfüllen eine zentrale Funktion bei der fachlichen Beratung zu Fragen der nuklearen Entsorgung, sind aber nicht als plural besetztes, strategisch vergleichendes Prüf- und Bewertungsforum für mögliche Pfadkorrekturen angelegt. Genau diese zusätzliche Funktion müsste das Referenzprogramm übernehmen.

Auf dieser Grundlage empfiehlt sich eine Organisation in **fünf miteinander verzahnten, aber funktional getrennten Gremien**:

Die erste Ebene ist eine **Steuerungsgruppe** von etwa fünf Personen. Ihre Aufgabe wäre gerade nicht die Erarbeitung der Fachgutachten, sondern die Verantwortung für das Verfahren. Sie sollte das Mandat präzisieren, Bewertungsmaßstäbe freigeben, Interessenkonflikte kontrollieren, Anhörungen strukturieren, Zwischenergebnisse abnehmen und den Abschlussbericht freigeben. Für dieses Gremium braucht es keine Kernenergiebefürworter oder -gegner als Leitfiguren, sondern Personen mit hoher institutioneller Vertrauenswürdigkeit, Erfahrung in Wissenschafts-, Regulierungs- oder Infrastrukturgovernance, in Verwaltungs- und Regulierungsrecht, in Langfristfinanzierung und in Beteiligungs- bzw. Konfliktfragen. Gerade der Vorsitz sollte aus einer Rolle kommen, die nicht bereits eindeutig mit einem nuklearpolitischen Lager identifiziert wird.

Die zweite Ebene ist das **wissenschaftliche Kernkonsortium**. Hier findet die eigentliche inhaltliche Arbeit statt. Es sollte interdisziplinär zusammengesetzt sein und mindestens folgende Profile umfassen: Zwischenlagerung, Behälter und Alterungsmanagement; Endlagerung und Entsorgungsarchitektur; Brennstoffkreislauf, Wiederaufarbeitung und Recycling; Partitionierung, Transmutation, ADS und innovative Pfade; Sicherheitsanalyse, Safeguards und Nichtverbreitung; Ökonomie und Langfristfinanzierung; Recht und Regulierungsarchitektur; sowie Sozialwissenschaft, Governance und Akzeptanz. Diese Breite ist nicht schmückendes Beiwerk, sondern Voraussetzung dafür, dass das Referenzprogramm nicht entweder in einer rein kerntechnischen oder in einer rein verfahrenspolitischen Sichtweise stecken bleibt. Ein Akzeptanzfehler wäre es insbesondere, das Kernkonsortium nur mit natur- und ingenieurwissenschaftlichen Profilen zu besetzen. Für Deutschland muss gerade die Verbindung von Technik, Recht, Ökonomie und gesellschaftlicher Einbettung sichtbar sein.

Die dritte Ebene ist ein **kritischer Review-Beirat**. Dieses Gremium ist fast ebenso wichtig wie das Kernkonsortium selbst, weil es die Glaubwürdigkeit des Verfahrens absichert. Es erarbeitet die Ergebnisse nicht, sondern prüft sie systematisch: die methodische Konsistenz, die Auswahl der Annahmen, die Sensitivitäten, die Vollständigkeit der Alternativen, die Belastbarkeit der Bewertungsmatrix und die Schlüssigkeit der Schlussfolgerungen. In diesem Review-Beirat sollten bewusst auch Personen vertreten sein, die eine skeptische Umwelt- oder Risikoperspektive einbringen, die strikt auf die Sicherung der geologischen Entsorgung achten oder die sich mit Technikfolgenabschätzung, Risikoökonomie und Verfahrensgerechtigkeit beschäftigen. Dieses Gremium sollte ausdrücklich das Recht haben, Minderheitenhinweise oder abweichende Bewertungen im Anhang der Berichte zu dokumentieren. Gerade dadurch wird das Verfahren robuster.

Die vierte Ebene ist ein **gesellschaftliches Begleitforum**. Dieses Forum sollte beratend, nicht entscheidend sein. Es geht hier nicht um technische Letztbewertung, sondern um gesellschaftliche Resonanz, Legitimität und Verständlichkeit. Sinnvoll wären Sitze für Kommunen und Landkreise mit Zwischenlagerbezug, Bürgerinitiativen und zivilgesellschaftliche Kritiker, Umweltverbände, Gewerkschaften bzw. Beschäftigtenperspektiven, energieintensive Industrie,

Wissenschaftskommunikation und Beteiligungspraxis sowie eine junge bzw. intergenerationelle Perspektive. Das Begleitforum sollte Leitfragen und Bewertungsmaßstäbe kommentieren, Rückmeldungen zu Fairness, Zumutbarkeit und Reversibilität geben und auf wahrgenommene blinde Flecken hinweisen. Es soll nicht die Facharbeit ersetzen, aber es soll verhindern, dass die Facharbeit an der gesellschaftlichen Wirklichkeit vorbeiläuft.

Die fünfte Ebene sind internationale Peer Reviewer. Gerade für Deutschland kann diese Rolle besonders hilfreich sein, weil sie nationale Frontstellungen relativiert. Sinnvoll wären drei bis vier Personen: eine mit Erfahrung aus einem fortgeschrittenen Endlagerprogramm, etwa Finnland, Schweden oder der Schweiz; eine mit Erfahrung aus einem Land mit Wiederaufarbeitungs- oder Recyclingpfad, etwa Frankreich; eine mit Erfahrung zu P&T oder anderen fortgeschrittenen Technologiepfaden; und optional eine Person mit regulatorischem bzw. sicherheitsbehördlichem Hintergrund. Ihre Aufgabe wäre die Prüfung der vier Phasenberichte, die Plausibilisierung internationaler Vergleiche und die Warnung vor „deutschen Sonderblindheiten“. Für ein technologieoffenes Referenzprogramm ist genau diese Außenperspektive wertvoll.

In der Summe ergibt sich daraus eine plausible Projektgröße von etwa **25 bis 32 Personen**, je nachdem, ob das Modell eher schlank oder breiter aufgestellt wird. Wichtiger als die genaue Zahl ist allerdings die innere Logik der Struktur: **Steuerung unabhängig, Kernarbeit interdisziplinär, Review kritisch, Begleitforum gesellschaftsnah, internationale Reviewer als externe Nüchternheitsinstanz.** Diese Formel ist für Deutschland besonders glaubwürdig, weil sie nicht den Versuch unternimmt, Einigkeit zu inszenieren, sondern sichtbar macht, dass unterschiedliche Perspektiven strukturiert bearbeitet und kontrolliert werden.

Zusätzlich zu dieser Gremienstruktur braucht das Projekt einige **Verfahrensregeln**, die die Akzeptanz deutlich erhöhen würden. Dazu gehören eine Offenlegungspflicht für institutionelle Bindungen, frühere Positionierungen, laufende oder frühere Projektfinanzierungen und beratende Tätigkeiten; eine Begrenzung institutioneller Dominanz, etwa durch nicht mehr als einen Sitz pro Institution im Kernkonsortium; das ausdrückliche Recht auf Minderheitenvoten; eine veröffentlichte Bewertungsmatrix vor Beginn der Hauptarbeit; öffentliche Zwischenanhörungen nach mindestens Phase 1 und Phase 2; und vor allem die Trennung von **Auftraggeber** und **Ergebnisverantwortung**. Das Ministerium oder die politische Auftraggeberseite sollte den Auftrag definieren, aber nicht die Ergebnisformulierung dominieren.

Daraus ergibt sich auch die Frage nach dem geeigneten **Auftraggebermodell**. Am überzeugendsten wäre aus meiner Sicht ein Modell, bei dem das **BMUKN als offizieller Auftraggeber** auftritt, weil dort die politische und programmatische Zuständigkeit für das Nationale Entsorgungsprogramm liegt. Gleichzeitig sollte die operative Arbeit in einer **unabhängigen Projektorganisation bzw. Geschäftsstelle** gebündelt werden, die von einem plural besetzten Gremium gesteuert wird. **BASE** sollte eng eingebunden sein, weil dort Fachnähe, Forschungs- und Regulierungswissen vorhanden sind, aber **BASE** sollte nicht alleiniger Träger des Projekts sein, um Rollenüberlagerungen zu vermeiden. **BGZ, BGE und KENFO** sollten wichtige Fach- und Anhörungsrollen spielen, aber ebenfalls nicht die Projektführerschaft übernehmen. Politisch besonders klug wäre daher die Formel: „**Im Auftrag des BMUKN, wissenschaftlich koordiniert durch eine unabhängige Projektstelle, fachlich begleitet durch BASE und einen plural besetzten externen Beirat.**“

Die frühere Endlagerkommission zeigt zudem, dass Deutschland bei Fragen hochradioaktiver Abfälle bereits einmal einen breiter angelegten politischen und gesellschaftlichen

Verständigungsprozess organisiert hat. Das hier vorgeschlagene Referenzprogramm würde daran nicht inhaltlich anknüpfen, wohl aber an die Einsicht, dass komplexe Langfristfragen mehr brauchen als die Perspektive einzelner Vollzugs- oder Fachinstitutionen.

So organisiert hätte das Referenzprogramm vier entscheidende Vorteile.

- Erstens hätte es **klare politische Legitimation**, ohne als Ministerialpapier wahrgenommen zu werden.
- Zweitens hätte es **fachliche Nähe zur realen Entsorgungsarchitektur**, ohne von einem Vollzugsakteur dominiert zu werden.
- Drittens würde es die Chance auf **breitere gesellschaftliche Anerkennung** erhöhen, weil unterschiedliche Perspektiven nicht nur angehört, sondern strukturell eingebunden würden. Und
- viertens würde die Organisation sichtbar machen, dass es hier nicht um einen verkappten Wiedereinstieg in die Kernenergie und auch nicht um eine bloße Absicherung des Status quo geht, sondern um ein **unabhängiges Referenzprojekt zur vergleichenden Prüfung langfristiger Entsorgungs- und Behandlungsoptionen für hochradioaktive Abfälle und abgebrannte Kernbrennstoffe**.

Die organisatorische Quintessenz lautet daher: Das Referenzprogramm sollte **nicht als Lagerprojekt**, sondern als **plural kontrolliertes Prüf- und Bewertungsprojekt** angelegt werden. Nicht Einigkeit ist zu organisieren, sondern ein Verfahren, dessen Ergebnis auch dann als fair und belastbar anerkannt werden kann, wenn nicht alle Beteiligten dieselbe Schlussfolgerung ziehen.

Empfohlenes Finanzierungsmodell: öffentlich, gestuft, ergänzungsfähig

Für ein Referenzprogramm dieser Art ist die Frage der Finanzierung nicht nur eine Haushaltsfrage, sondern eine Frage der **Glaubwürdigkeit**. Ein technologieoffenes Prüf- und Bewertungsprojekt kann in Deutschland nur dann breite Akzeptanz gewinnen, wenn seine Finanzierung so gestaltet ist, dass weder der Eindruck eines industriegetriebenen Projekts noch der Eindruck eines bloß ministeriell vorgeprägten Ergebnisses entsteht. Deshalb spricht vieles für ein **dreistufiges Finanzierungsmodell**, das auf einer **öffentlichen Grundfinanzierung des Bundes** aufbaut, durch **projektbezogene Fördermodule** ergänzt wird und bei Bedarf eine **europäische Kofinanzierung** für internationale Vergleichs- und Technologiebausteine hinzuzieht.

Die erste und wichtigste Säule sollte eine öffentliche Grundfinanzierung über BMUKN¹⁰, BASE und den REFOPLAN¹¹ sein. Das ist sowohl fachlich als auch institutionell die überzeugendste Lösung. Das BMUKN unterhält eine eigene Ressortforschung im Bereich nukleare Sicherheit und Strahlenschutz; die Ressortforschungspläne 2025 und 2026 decken ausdrücklich die Breite der für die Aufgabenerfüllung nötigen Forschungsaktivitäten ab, darunter Sicherheit und Sicherung kerntechnischer Anlagen, Kernbrennstofftransporte und nukleare Ver- und Entsorgung.

BASE ist in diese Forschungslogik eng eingebunden und verfügt zugleich über die Fachnähe zu Transport, Zwischenlagerung, Endlagerung und Genehmigungsfragen. Gerade für das Kernprojekt des Referenzprogramms – also Referenzrahmen, Inventar- und Bewertungslogik,

¹⁰ Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit

¹¹ jährlicher Ressortforschungsplan des Ministeriums

Alternativenvergleich, Rechts- und Kostenraster – ist diese Bundesfinanzierung die glaubwürdigste Variante. Sie hält das Projekt im öffentlichen Verantwortungsraum, ohne es zu einem reinen Behördenprodukt zu machen.

Die zweite Säule sollte eine ergänzende projektbezogene BMUKN-Förderung sein. Das BMUKN führt ein eigenes Projektförderprogramm für die Sicherheitsforschung für kerntechnische Anlagen. Dort werden ausdrücklich Projekte zur verlängerten Zwischenlagerung und Behandlung hochradioaktiver Abfälle, zur Endlagerungsforschung und zu Querschnittsfragen gefördert. Genau diese Themen decken wichtige Vertiefungsmodule des Referenzprogramms ab. Praktisch wäre daher sinnvoll, die Grundarchitektur des Projekts aus REFOPLAN-/BMUKN-/BASE-Mitteln zu finanzieren und einzelne Vertiefungsmodule – etwa zu Repackaging, alternativen Entsorgungsarchitekturen, Inventarsegmentierung, Kosten- und Unsicherheitsmodellierung oder P&T-Vormachbarkeit – über projektbezogene Sicherheitsforschung nachzuschärfen. Das hätte den Vorteil, dass das Referenzprojekt nicht als monolithischer Großauftrag angelegt werden müsste, sondern als modularer Prozess mit einem öffentlichen Kern und ergänzenden Fachbausteinen.

Die dritte Säule wäre eine europäische Ergänzung über Euratom. Das ist nicht für die Grundfinanzierung nötig, aber besonders sinnvoll, wenn das Referenzprogramm ausdrücklich internationale Benchmarks, europäische Kooperationspfade oder fortgeschrittene Technologieoptionen einbeziehen soll. Die Europäische Kommission beschreibt das Euratom Research and Training Programme ausdrücklich als Instrument zur Förderung von Forschung in den Bereichen nuclear safety, radioactive waste and spent fuel management. Seit Ende 2025 ist das Euratom-Programm 2026–2027 als Verlängerung des Vorgängerprogramms in Kraft; parallel hat die Kommission bereits die nächste Programmperiode 2028–2032 vorgeschlagen, in der ausdrücklich auch die Entwicklung sicherer Lösungen für das Management von radioaktivem Abfall und spent fuel betont wird. Für das Referenzprogramm wäre Euratom daher besonders dann sinnvoll, wenn europäische Vergleichsarbeiten, internationale Serviceketten, Kooperationsmodelle oder technologiebezogene Deep Dives – etwa zu P&T, ADS oder innovativen Brennstoffzyklen – vertieft werden sollen.

Bewusst nicht empfohlen als primärer Geldgeber ist der **KENFO**. Der Fonds ist fachlich wichtig und sollte eng eingebunden werden, aber nicht als Hauptfinanzierer. Der Grund liegt in seinem gesetzlichen Zweck. Der KENFO ist eine öffentlich-rechtliche Stiftung des Bundes, deren Zweck es ist, die Finanzierung der Zwischen- und Endlagerung des radioaktiven Abfalls aus der gewerblichen Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung in Deutschland sicherzustellen; die Mittel des Fonds dürfen nur zur Erfüllung dieses Zwecks verwendet werden. Zudem erstattet der Fonds dem Bund bereits heute erhebliche Beträge für die laufenden Entsorgungsaufgaben. Damit ist KENFO ein zentraler finanzierungsökonomischer Stakeholder, aber gerade deshalb nicht der ideale primäre Förderer eines offenen strategischen Referenzprojekts. Seine Stärke liegt eher in der Rolle eines Fach-, Daten- und Anhörungspartners für Langfristkosten, Unsicherheiten und Kapitalbindung als in der Rolle eines Hauptgeldgebers.

Politisch zugespitzt lautet die Empfehlung deshalb: Das Referenzprojekt sollte primär aus der öffentlichen Forschungs- und Fachmittelstruktur des Bundes finanziert werden, vorzugsweise über BMUKN, BASE und den REFOPLAN; ergänzt werden sollte dies durch projektbezogene Sicherheitsforschungsmittel und – für internationale Vertiefungen – gegebenenfalls durch eine Euratom-Komponente. KENFO sollte wegen seines gesetzlichen Entsorgungszwecks und seiner Rolle als Finanzierungsfonds eher als fachlicher Partner denn als primärer Geldgeber

eingebunden werden.

Diese Architektur hat drei Vorteile.

- Unabhängigkeit und gesellschaftliche Glaubwürdigkeit
- amtliche und fachliche Anschlussfähigkeit
- praktische Finanzierbarkeit durch bestehende Förderlogiken

Zusammengefasst lässt sich die Finanzierungsbotschaft deshalb einfach formulieren: **Öffentliche Grundfinanzierung zuerst, projektbezogene Vertiefung zweitens, europäische Ergänzung drittens – und KENFO als wichtiger, aber nicht federführender Finanzierungspartner.** Genau so bleibt das Referenzprogramm glaubwürdig, anschlussfähig und praktisch realisierbar.

Die Quintessenz

Ein technologie- und ergebnisoffenes Referenzprogramm ist kein Gegenentwurf zum Endlager, sondern ein perspektiven-schaffender Weg, den deutschen Entsorgungspfad belastbarer, lernfähiger und entscheidungsfähiger zu machen.

Die Quintessenz der bisherigen Analyse lautet: Deutschland braucht heute weder eine vorschnelle Abkehr vom bestehenden Entsorgungspfad noch ein bloßes Verharren im Status quo. Der rechtliche Grundpfad ist vorhanden: verlängerte Zwischenlagerung, spätere Konditionierung und Verpackung sowie geologische Endlagerung in Deutschland. Das Problem liegt also nicht in fehlender Richtung, sondern in der wachsenden Diskrepanz zwischen **formal festgelegtem Pfad** und **realen Langfristanforderungen**. Die Standortsuche dauert länger als ursprünglich unterstellt, die Zwischenlagerung wird faktisch zur Langfristaufgabe, Kosten- und Unsicherheitsfragen bleiben offen, und zugleich wachsen die technischen und politischen Impulse, bestimmte Alternativen zumindest ernsthaft zu prüfen.

Genau darin besteht das Endlager-Dilemma: Nicht darin, dass Deutschland kein Ziel hätte, sondern darin, dass der heutige Pfad unter verlängerten Zeitachsen immer mehr strategische Folgefragen erzeugt, ohne dass für diese Fragen bereits ein ebenso strukturierter Prüfpfad existiert. Internationale Fachberichte wie Artemis 2019 zeigen, dass der bestehende deutsche Pfad bereits heute an Steuerungs-, Inventar-, Kosten- und Schnittstellenfragen arbeitet, die unter verlängerten Zeitachsen strategisches Gewicht gewinnen.. Aber daraus folgt sehr wohl, dass die bloße Fortschreibung des Referenzpfads ohne zusätzliche strategische Prüfung nicht mehr überzeugt.

Ein perspektiven-reicher Weg aus diesem Dilemma besteht deshalb darin, **den Referenzpfad abzusichern und zugleich den Bewertungsraum für wenige ernsthaft prüfwerte Alternativen zu öffnen.** Genau das leistet das vorgeschlagene Referenzprogramm. Es schafft zunächst einen gemeinsamen Referenzrahmen, segmentiert das Inventar und definiert eine belastbare Bewertungsmatrix. Es prüft dann die realistischeren Alternativpfade mit mittlerem Umstellungsgrad – etwa offene Langfristlagerung, selektive Wiederaufarbeitung oder Endlager-relevante Vorbehandlung – und trennt sie von fortgeschrittenen Technologiepfaden wie Partitionierung und Transmutation, ADS oder Mehrfachrecycling, die erst später und nur unter klaren Reife- und Anschlussbedingungen vertieft werden dürfen. Dadurch wird Technologieoffenheit nicht mit Technikgläubigkeit verwechselt, sondern in ein gestuftes, überprüfbares Verfahren übersetzt.

Der besondere Mehrwert dieses Ansatzes liegt darin, dass er unterschiedliche Perspektiven **nicht gegeneinander ausspielt**, sondern geordnet zusammenführt. Die Perspektive der **Sicherheits- und Entsorgungslogik** bleibt zentral: Kein Alternativpfad darf so behandelt werden, als verschwände damit das Endlagerproblem. Zugleich wird die Perspektive der **Verkürzung der Reststrahldauer und der Langzeitlast** über Partitionierung und Transmutation ernst genommen, ohne daraus vorschnell eine neue nationale Großstrategie abzuleiten. Ebenso wird die Perspektive der **Restenergienutzung** über selektive Wiederaufarbeitung und Recycling aufgenommen, aber nicht als politische Wunschformel, sondern als technologisch, wirtschaftlich und rechtlich zu prüfende Option. Hinzu kommen die Perspektiven von Kosten, Unsicherheit, Safeguards, Recht, Governance und gesellschaftlicher Akzeptanz. Gerade diese Vielperspektivität macht den vorgeschlagenen Weg belastbarer als eine eindimensionale Fortschreibung oder eine eindimensionale Technikhypothese.

Entscheidend ist dabei auch die organisatorische und politische Form. Das Referenzprogramm soll kein Lagerprojekt sein – weder ein verkappter Wiedereinstieg in neue Nuklearpfade noch ein bloßes Verteidigungspapier des Status quo. Es sollte als **plural besetztes Prüf- und Bewertungsprojekt** organisiert werden, mit klarer Trennung von Verfahrenssteuerung, wissenschaftlicher Kernarbeit, kritischer Gegenprüfung, gesellschaftlicher Einbindung und internationalem Peer Review. So wird nicht Einigkeit erzwungen, sondern ein Verfahren aufgebaut, dessen Ergebnisse auch dann als fair und belastbar anerkannt werden können, wenn nicht alle Beteiligten dieselbe Schlussfolgerung ziehen. Gerade in Deutschland ist das für die spätere politische Tragfähigkeit der Ergebnisse entscheidend.

Auch ökonomisch ist dieser Weg plausibel. Ein Referenzprogramm verspricht nicht, schon heute zu wissen, welche Alternative billiger oder besser ist. Es schafft aber die Voraussetzung, um Referenzpfad und Alternativen in derselben Vollkosten-, Unsicherheits- und Realloptionenlogik zu betrachten. Das ist unter den Bedingungen langer Zeithorizonte und eines endlichen Finanzierungskorridors vernünftiger als entweder kostenträchtige Großoptionen vorschnell vorzubereiten oder mögliche Entlastungspfade gar nicht erst zu prüfen. Gerade dadurch verbindet der Vorschlag technische Vorsorge mit wirtschaftlicher Nüchternheit.

Die Quintessenz lautet deshalb: **Ein technologie- und ergebnisoffenes Referenzprogramm ist kein Gegenentwurf zum Endlager, sondern ein perspektiven-schaffender Weg, den deutschen Entsorgungspfad belastbarer, lernfähiger und entscheidungsfähiger zu machen.** Es ersetzt die Endlagerung nicht, es relativiert sie nicht und es verzögert sie nicht. Im Gegenteil: Es schafft den Rahmen, in dem der bestehende Pfad gesichert und gleichzeitig systematisch geprüft werden kann, ob und wo spätere Korrekturen fachlich, wirtschaftlich, rechtlich und politisch sinnvoll wären. Genau das ist der sachgerechte Weg aus dem Endlager-Dilemma.

Hinweis: Dieses Dokument wurde unter Nutzung KI-gestützter Hilfsmittel erstellt bzw. überarbeitet. Für die inhaltliche Prüfung, Einordnung und abschließende Verantwortung zeichnet allein der Autor verantwortlich.

Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bedeutung |
|------------------|--|
| ADS | Accelerator-Driven System / beschleunigergetriebenes System |
| ADS/START | beschleunigergetriebener Transmutationspfad bzw. in der SPRIND-Studie betrachtetes ADS-Konzept |
| AMR | Advanced Modular Reactor |
| ARTEMIS | Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Fuel Management, Decommissioning and Remediation |
| AtG | Atomgesetz |
| BASE | Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung |
| BGE | Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH |
| BGZ | BGZ Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH |
| BMUKN | Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit |
| EU | Europäische Union |
| Gen-IV | Generation IV |
| HLW | High Level Waste / hochradioaktive Abfälle |
| HM | Heavy Metal / Schwermetall (bezogen auf Kernbrennstoffmassen) |
| KENFO | Fonds zur Finanzierung der kerntechnischen Entsorgung |
| Mg HM | Megagramm Schwermetall |
| NaPro | Nationales Entsorgungsprogramm |
| NHGW | nennenswerte Wärmeentwicklung erzeugende radioaktive Abfälle |
| OECD/NEA | Organisation for Economic Co-operation and Development / Nuclear Energy Agency |
| P&T | Partitionierung und Transmutation |
| REFOPLAN | Ressortforschungsplan |
| SMR | Small Modular Reactor |
| SPRIND | Bundesagentur für Sprunginnovationen |
| StandAG | Standortauswahlgesetz |
| TRISO | TRI-structural ISOtropic fuel particle / TRISO-Brennstoffpartikel |
| TUM | Technische Universität München |

Literaturverzeichnis

Internationale Fach- und Reviewberichte

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2019): *ARTEMIS Review of Germany. Initial Mission Report*. Wien: International Atomic Energy Agency.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2022): *ARTEMIS Follow-up Report Germany*. Wien: International Atomic Energy Agency.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2024): *Advances in Small Modular Reactor Developments. 2024 Edition*. Wien: International Atomic Energy Agency.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2025): *Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors*. Wien: International Atomic Energy Agency.
- OECD Nuclear Energy Agency (NEA) (2021): *Strategies and Considerations for the Back End of the Fuel Cycle*. Paris: OECD Publishing. NEA No. 7469.
- OECD Nuclear Energy Agency (NEA) (2024): *Unlocking the Hidden Value of Nuclear Fuel*. Paris: OECD Nuclear Energy Agency.
- OECD Nuclear Energy Agency (NEA) (2025): *Summary Report of the 16th Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation*. Paris: OECD Nuclear Energy Agency.
- OECD Nuclear Energy Agency (NEA) (2026): *Extended Storage and Transportation of Spent Fuel and Radioactive Waste from Current and Future Reactor Technologies: Summary of the Workshop*. Paris: OECD Publishing.

Studien, Weißbücher und Positionspapiere

- Paul, Stephan et al. (Hrsg.) (2025): *Novel Nuclear Technologies – Towards a Greenhouse Gas-Free Basic Energy Supply*. München: TUM University Press. DOI: 10.14459/2025md1766743.
- SPRIND / Transmutex (2025): *Umsetzungsstudie über eine beschleunigergetriebene Neutronenquelle am Standort eines ehemaligen Kernkraftwerks zwecks Produktion von Krebsmedikamenten, Fernwärme und geothermischer Energie sowie zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle*. Leipzig / Berlin: Bundesagentur für Sprunginnovationen (SPRIND).
- WePlanet (2024): *What a Waste: German Nuclear Waste as a Resource*. WePlanet. Hauptautor: Mark Lynas.
- CSU-Landesgruppe im Deutschen Bundestag (2026): *Kraftvoll aus der Krise. Wir machen Deutschland besser*. Beschluss der Winterklausur in Kloster Seeon, 6.–8. Januar 2026.

Deutsche Behörden-, Programm- und Forschungsdokumente

- BASE – Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (2025): *Research Agenda 2025–2028*. Berlin.
- BGZ – Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (2025): *Das Forschungsprogramm der BGZ*. Peine. Stand Juni 2025, veröffentlicht im November 2025.

Ergänzend herangezogene Vergleichs- und Kontextdokumente

- International Atomic Energy Agency (IAEA) (2023): *ARTEMIS Mission to Belgium*. Wien: International Atomic Energy Agency.
- Europäische Kommission (2026): *Euratom Research and Training Work Programme 2026–2027*. Brüssel.