

AGO-Kurzstellungnahme zum Bericht:

**“Entwicklung eines Konzeptes zur  
Charakterisierung der aus der Schachtanlage  
Asse II rückzuziehenden radioaktiven Abfälle -  
Endbericht.**

ARGE Brenk-NUKEM

(Stand: 15.03.2022) “

**Arbeitsgruppe Optionen – Rückholung (AGO)**

Projekträger Karlsruhe (PTKA)

Bühler, M.; Stacheder, M.

Gutachter der Begleitgruppe Asse-II des Landkreises Wolfenbüttel

Brückner, U.

Gellermann, R.

Hoffmann, F.

Kreusch, J.

Krupp, R.

Abgestimmte Fassung vom 21.10.2022

## Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkung .....	3
1. Ziele der Charakterisierung .....	4
2. Auswirkungen des Konzeptes der Charakterisierung auf die Anlagenplanung und Standortfrage.....	7
3. Eignung der im Konzept betrachteten technischen Verfahren.....	9
3.1 Messverfahren für die zerstörungsfreie Charakterisierung.....	9
3.2 Messtechnische Ziele / Notwendigkeit von Probenahmen .....	12
4. Schnittstelle Konzeptentwicklung und konkrete Umsetzung innerhalb der Entwurfs- und Genehmigungsplanung .....	13
4.1 Klassifizierung der Abfälle .....	13
4.2 Prozessgestaltung.....	13
4.3 Behälter .....	14
4.4 Durchsatz .....	15
5. Weitere Aspekte .....	15
5.1 Fehlende Randbedingungen. Wie kann Abhilfe geschaffen werden? ...	15
5.2 Planungsgrundlagen nach ASSEKAT .....	17
5.3 Mögliche Verfahren zur Verbesserung der Charakterisierung in Zukunft .....	20
5.4 Verschiedenes.....	22
Literaturverzeichnis .....	23

## Vorbemerkung

Im Ergebnis ihres Gespräches mit der Geschäftsführung der BGE im Februar 2021 erhielt die AGO im Juli 2021 von der BGE den Zwischenbericht zur „*Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle*“ (ARGE Brenk-NUKEM; Ungeprüfter Entwurf für die AGO, Stand: 09.07.2021). In diesem Zwischenbericht wurden die zu ermittelnden Abfalleigenschaften sowie die rechtlichen und technischen Anforderungen an die Charakterisierung beschrieben. Die AGO hatte Ihre fachlichen Anmerkungen und Kritikpunkte zu diesem Zwischenbericht der BGE übermittelt und die A2B davon am 05.11.2021 unterrichtet.

Der von der BGE geprüfte Endbericht vom 15.03.2022 (BGE 2022a) wurde der AGO am 19.07.2022 zur Kommentierung zur Verfügung gestellt. In diesem Endbericht werden einige Anmerkungen und Kritikpunkte der AGO zum Zwischenbericht aufgegriffen, andere aber auch nicht berücksichtigt.

Ausgehend von den Kenntnissen zu den eingelagerten radioaktiven Abfällen werden genehmigungsrelevante Randbedingungen und Planungsgrundlagen beschrieben, technische Randbedingungen und erforderliche Messgrößen zusammengestellt, geeignete Messverfahren ausgewählt und basierend auf einer konzeptionellen Planung von Anlagenkonfigurationen und benötigtem Platzbedarf Prozessschritte der Charakterisierung entworfen.

Die vorliegende Kurzstellungnahme der AGO zu diesem Endbericht (BGE 2022a) konnte zumindest in Teilen Kenntnisse verwenden, die bei ihrer Befassung mit dem Zwischenbericht erarbeitet wurden. Wegen des aktuellen Auslaufens der Verträge der AGO-Gutachter zum Ende des Jahres 2022 musste diese Stellungnahme auf einige wesentliche Aspekte des Themas konzentriert werden. Im Mittelpunkt standen daher grundsätzliche Fragen der mit diesem Endbericht erkennbaren Vorgehensweise und Planungen der BGE zur Charakterisierung der rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II:

1. Welche Ziele sollen mittels der Charakterisierung der rückgeholten Abfälle erreicht werden?
2. Welche Auswirkungen hat das vorliegende Konzept der Charakterisierung auf die derzeit in Diskussion befindliche Frage des Standortes bzw. der Standorte der nötigen übertägigen Anlagen (insbesondere Konditionierungsanlage und Zwischenlager) in unmittelbarer Nähe der Schachtanlage?
3. Wieweit sind die im vorliegenden Konzept betrachteten technischen Verfahren geeignet, die Ziele der Charakterisierung praktisch umzusetzen?

4. Ist die vorgeschlagene technische Umsetzung das Ergebnis eines Vergleichs unterschiedlicher Möglichkeiten, um so die optimale Vorgehensweise bei der Charakterisierung zu ermitteln?
5. Wo verläuft im Endbericht die Schnittstelle zwischen Konzeptentwicklung und konkreter Umsetzung innerhalb der Entwurfs- und Genehmigungsplanung?
6. Welche Auswirkungen haben unklare, unangemessene oder fehlende Randbedingungen, und wie kann Abhilfe geschaffen werden?

Insgesamt schätzt die AGO ein, dass das mit dem Endbericht (BGE 2022a) vorliegende Konzept die relevanten Themenbereiche der Charakterisierung umfassend aufgreift und bezüglich der Ausgestaltung in folgenden Planungsschritten hinreichend offen ist, um praxistaugliche Lösungen zu entwickeln. Die aus Sicht der AGO entscheidenden Fragen auch hinsichtlich der Charakterisierung und der dafür nötigen Anlagen ergeben sich aus den Entscheidungen der BGE zur übertägigen Abfallbehandlung (z.B. Rückführung von kontaminiertem Salzgrus in das Bergwerk oder Freigabe als konventioneller Abfall), insbesondere aber der Konditionierung und Zwischenlagerung.

## **1. Ziele der Charakterisierung**

Die Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle ist ein Schlüsselement des Rückholprozesses. Durch die Charakterisierung sind sowohl Grundlagen für den sachgerechten Umgang, insbesondere die Optimierung der Strahlenschutzmaßnahmen für Beschäftigte und Personen der Bevölkerung, als auch Grundlagen für die Genehmigung der Zwischen- und Endlagerung der rückgeholt Abfälle zu ermitteln. Aus diesem Grund liegt mit dem Endbericht der ARGE Brenk-NUKEM (BGE 2022a) ein essentieller Baustein für die weiteren Planungen vor.

Die ARGE Brenk-NUKEM formuliert als Zielstellung der Charakterisierung auf Blatt 18 (BGE 2022a), dass alle relevanten Messgrößen bestimmt werden können, welche *„für die Wahl geeigneter Konditionierungsverfahren, die Puffer- und anschließende Zwischenlagerung sowie den Transport in ein Endlager und die Endlagerung notwendig sind“*. Sie leitet daraus ab, dass die zu konzipierenden Verfahren zum Nachweis der technischen und rechtlichen Anforderungen geeignet sein müssen und die Grundlage für die nachfolgende Entwurfs- und Genehmigungsplanung der Charakterisierungsanlage bilden sollen.

Die AGO hält diese Zielstellung für notwendig, da die unzureichende Deklaration der Abfälle in der Vergangenheit in erheblichem Maße zu Spekulationen und Unsicherheiten über das Gefahrenpotential der Abfälle beigetragen hat. Die Vorgehensweisen, die die Bearbeiter im Bericht GERSTMANN et al. (2002) wählen mussten, um die in der Schachanlage Asse II

befindlichen Aktivitätsinventare zu schätzen, belegen, dass für zukünftige Entscheidungen umfassende Datenerhebungen nötig sind.

Um die sehr weit gefasste Zielstellung zu präzisieren, stellt die ARGE Brenk-NUKEM im Kapitel 3 (BGE 2022a) die zu berücksichtigenden genehmigungsrechtlichen Anforderungen und Planungsgrundlagen zusammen. Im Kapitel 3.3.6 werden als Entsorgungsziele benannt:

- a. Die Beseitigung als Abfall nach Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) nach Freigabe,
- b. die Wiederverwendung bzw. -verwertung z.B. von Salzgrus als Verfüllmaterial bei der Stabilisierung der Schachanlage Asse II,
- c. die Beseitigung als radioaktiver Abfall in einem Endlager, und als Zwischenschritte
- d. Transportanforderungen,
- e. Konditionierung und
- f. Zwischenlagerung.

Die AGO begrüßt es, dass die Beseitigung rückgeholter Gebinde als Abfall nach KrWG nach Freigabe als Option mit aufgenommen wurde, obwohl sie davon ausgeht, dass diese Option während der Rückholphase nur für sehr wenige Gebinde infrage kommen wird und insbesondere freigegebener Salzgrus nur innerhalb der Schachanlage Asse II wiederverwendet wird.

Bei den Entsorgungszielen a. und b. sind im Strahlenschutzrecht klare Vorgaben zu den nachzuweisenden nuklidspezifischen Freigabewerten enthalten, und auch ggf. nötige Anforderungen an chemische und physikalische Parameter nach Abfallrecht (bei Freigabe als konventioneller Abfall) oder Bergrecht (bei untertägiger Verwertung) sind weitgehend definiert. Selbst wenn sich bis 2033 oder danach Änderungen dieser gesetzlichen Anforderungen ergeben sollten, sieht die AGO in solchen Änderungen keine Gefahr für das Vorhaben der Rückholung und einen sachgerechten Umgang mit den rückgeholten Abfällen als Ganzes.

In Ermangelung von anwendbaren Endlagerungsbedingungen wurden für die Planungen „zunächst ersatzweise“ (BGE 2022, Blatt 69) die Endlagerungsbedingungen (Annahmebedingungen) für das Endlager Konrad (EBK) als Bezug gewählt. Von der ARGE Brenk-NUKEM wird mehrfach darauf hingewiesen (z.B. Blatt 78, Blatt 87, Blatt 94), dass das Endlager für die rückzuzuholenden Abfälle noch nicht existiert und diese EBK-Kriterien „für ein Endlager im Eisenerzgestein mit Tonabdeckung ausgelegt worden sind, und somit in dieser Form nicht unbedingt auf das noch zu findende Endlager für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II zutreffen müssen“ (Blatt 78).

Die AGO kann nachvollziehen, dass hier der Versuch unternommen wird und unternommen werden musste, ein planerisches Dilemma durch ein pragmatisches Vorgehen aufzulösen. Die Problematik der ungeklärten Endlagerung bleibt aber bestehen und führt zu Unsicherheiten

hinsichtlich der Charakterisierungsanforderungen, die Fragen für die gesamte übertägige Abfallbehandlung (Konditionierung) und Zwischenlagerung zur Folge haben. Durch wiederkehrende Verweise auf ein zukünftiges Endlager „(welches aktuell noch nicht feststeht)“ (Blatt 87) werden die dringend zu klärenden Randbedingungen und Ziele der Abfallbehandlung deutlich. Hier bestehen Aufgaben, die selbst von BGE allein nicht gelöst werden können und die einen Prozess erfordern, bei dem BGE, BASE und NMU (ggf. auch BMUV) zusammenarbeiten müssen. Auf diese Konsequenz wird allerdings im Bericht nicht hingewiesen. Auch sollte hier nach Ansicht der AGO die Möglichkeit überlegt werden, ob nicht alternativ für die Behandlung der Abfälle aus der Schachanlage Asse II die Endlagerperspektive für Ton- bzw. Salzgestein in die Einlagerungsbedingungen für die Zwischenlagerung einbezogen werden sollten.

Da mit dem Bezug auf die EBK weitere planerische Weichenstellungen getroffen werden, hat dieses Konzept Auswirkungen auf:

- die Öffnung von Gebinden zur Beprobung und dabei mögliche Freisetzungen von Radioaktivität,
- die technische Ausführung der Konditionierung und die damit verbundenen Fragen der möglichen Freisetzung flüchtiger (gasförmiger) Radionuklide sowie die Haltbarkeit der Behälter über wesentlich längere Zeiten bei der Zwischenlagerung als bisher üblicherweise zugrunde gelegt wurden<sup>1</sup>,
- die (in unbestimmter Zukunft) durchzuführende abschließende Deklaration der Abfälle für die Endlagerung.

Obwohl die planerisch zugrunde gelegten Auswirkungen den strahlenschutzrechtlichen Anforderungen, insbesondere den einzuhaltenden Grenzwerten nach Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und -verordnung (StrlSchV), genügen müssen, ist es aus Sicht der AGO nötig, dass die regional verantwortlichen Teilnehmer am Begleitprozess die Reduzierung dieser radiologischen Auswirkungen auf das vernünftigerweise Machbare (ALARA-Prinzip: grundlegende Leitlinie des Strahlenschutzes, Abkürzung für „As Low As Reasonably Achievable“) einfordern. Dazu werden in den folgenden Kapiteln die nach Meinung der AGO wichtigen Sachverhalte beschrieben und bewertet.

Nach Ansicht der AGO sollte die Charakterisierung eine Separierung in verschiedene Stoffströme unter Entsorgungsgesichtspunkten ermöglichen und außerdem die frühzeitige Aussonderung von Gebinden mit Kernbrennstoff (spaltbare Stoffe) von Gebinden mit sonstigen radioaktiven Stoffen erlauben.

---

<sup>1</sup> Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle wurde bisher mit 40 Jahren konzipiert.

Ergänzend weist die AGO darauf hin, dass die Charakterisierung der Abfälle als Erblast und Generationenaufgabe zu sehen ist. Da derzeit keine Dauer angegeben werden kann, während der die Abfälle nach der Rückholung oberirdisch in Zwischenlagern gelagert werden müssen, sollten die mit der Charakterisierung zu ermittelnden Daten geeignet sein, langfristig den zeitlich veränderlichen radiologischen Zustand von Gebinden zu bewerten (Es ist aber auch zu berücksichtigen, dass die von BGE vorgesehene Konditionierung der Abfälle und die damit verbundene Verfestigung nachträgliche Bestimmungen von Parametern erheblich erschweren oder verhindern können).

Um zukünftigen Generationen die Möglichkeit zu geben selbst (nach eigenen Maßstäben) zu entscheiden, welche Option sie für die finale Beseitigung der rückgeholt Abfälle präferiert, ist es die Verantwortung der gegenwärtigen Generation, mit einer nach Stand der gegenwärtigen Technik umfassenden Charakterisierung und einer darauf basierenden Kategorisierung der Abfälle späteren Generationen eine Grundlage für ihre Entscheidungen zu liefern.

## **2. Auswirkungen des Konzeptes der Charakterisierung auf die Anlagenplanung und Standortfrage**

Im Kapitel 4.5.1 beschreibt die ARGE Brenk-NUKEM die „*Schnittstellen von Materialverarbeitung und -lagerung innerhalb der Gesamtanlage*“. Dabei wird davon ausgegangen, dass viele Messungen besondere Sicherheitsvorkehrungen (Fernhandlung, Abschirmung, Abschluss etc.) erfordern und es eine prozesstechnisch sehr starke Überschneidung mit Konditionierungsmaßnahmen für das Abfallmaterial geben wird. Als Konsequenz sieht die ARGE Brenk-NUKEM „... *eine prozess- und gebäudetechnisch gekoppelte und aufeinander abgestimmte Konditionierungs- und Charakterisierungsanlage ...*“ als effizienteste Lösung an.

Als Begründung dieses Konzeptes wird angeführt: „*Eine Trennung der Prozesse der Charakterisierung und Konditionierung würde eine ineffiziente, redundante und insbesondere sicherheitstechnisch aufwändige Übergabe zwischen den einzelnen Anlagen zur Folge haben. Die Anlagenbezeichnungen „Konditionierungsanlage“ (KA), „Charakterisierungsanlage“ (CA) und „Pufferlager“ (PL) beziehen sich somit ausschließlich auf die Abgrenzung der damit verbundenen Funktion der Abfallbehandlungsanlage, nicht auf eine strikte räumliche Trennung dieser Anlagenbestandteile.*“

Ferner ist die Puffer- bzw. Zwischenlagerung der Abfälle im selben Gesamtgebäude geplant. Die genaue Übergabeform zwischen den Verarbeitungs- und Lagerbereichen konnte durch die BGE noch nicht konkret spezifiziert werden, es ist aber von üblichen Methoden (z. B. Kran- oder Fahrzeugtransporte bzw. Rollenbahnen zwischen Behandlungsanlagen) auszugehen.

Das Konzept der ARGE Brenk-NUKEM geht daher von einer einzigen (also gesamthaften) Abfallbehandlungsanlage (ABA) aus, die einen Komplex aus Charakterisierungsanlage, Konditionierungsanlage und Pufferlager umfasst. Das Zwischenlager wird nicht als Teil der ABA gesehen, es wird aber davon ausgegangen, dass es sich (ggf.) im gleichen Gebäude oder in unmittelbarer Nähe befindet.

Anzumerken ist aus Sicht der AGO, dass hier grundlegende Ansätze für eine mögliche räumliche Zuordnung der einzelnen Charakterisierungslinien entwickelt wurden, wobei die ARGE Brenk-NUKEM allerdings, und das ist bedauerlich, Alternativen nicht betrachtet hat. Somit besteht die Gefahr einer einseitigen Festlegung durch diese Konzeption, obwohl die Autoren in Kap. 8.2 darauf z.B. hinweisen: *“Diese Darstellung ist maßstabsfrei, die optimale Anordnung und Flächenbelegung der einzelnen Bereiche ist für die gesamte Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager im Rahmen der Entwurfsplanung abzustimmen und zu ermitteln“.*

Weiter merkt die AGO an, dass dieses Konzept, obwohl es auch Asse-ferne Standorte nicht generell ausschließt, implizit die seit langem von der BGE hartnäckig verfolgte, direkt im Zusammenhang mit dem Rückholbergwerk stehende Abfallbehandlung und Zwischenlagerung ohne weitergehende Alternativenprüfung als *„effizienteste Lösung“* darstellt. Nach Meinung der AGO war ein solch weitreichender Teil der Konzeptentwicklung in der aktuellen Planungsphase nicht nötig und ist auch in seiner thesenhaften Begründung unbefriedigend. Hier spiegeln sich eher Erwartungen des Auftraggebers BGE wider, denen die Bearbeiter der ARGE Brenk-NUKEM gefolgt sind.

In der Konsequenz dieser räumlich konzentrierten Abfallbehandlungsanlage werden im Kapitel 7 des Berichtes der ARGE Brenk-NUKEM bereits konkrete bauliche Planungen vorgenommen, deren Detaillierungsgrad die AGO verwundert. Hier werden bereits Geschossvorgaben eingeplant, ohne dass klar wird, warum die Abläufe so und nicht anders ablaufen müssen.

Abgesehen von Tab. 27 (Blatt 71) sind in der gesamten Konzeptplanung keine Betrachtungen enthalten, ob und wenn ja welche Schritte der Charakterisierung bereits unter Tage erfolgen können oder ggf. aufgrund der dort (in Steinsalz) sehr geringen Hintergrundstrahlung sogar besonders zeiteffektiv auszuführen sind. Der erforderliche Flächenbedarf der Standardstation zur radiologischen Erstcharakterisierung von insgesamt 180 m<sup>2</sup> (Tab. 51, Blatt 162) sollte auch für das Rückholbergwerk (bzw. deren Infrastrukturräume) keine unmögliche Fläche darstellen.

Aus Sicht der AGO kann dieser Teil des Konzeptes (gewollt oder ungewollt) dazu führen, die derzeit noch im Begleitprozess strittigen Fragen zur übertägigen Abfallbehandlung und Zwischenlagerung durch planerische Weichenstellungen festzulegen.



### 3. Eignung der im Konzept betrachteten technischen Verfahren

#### 3.1 Messverfahren für die zerstörungsfreie Charakterisierung

Im Ergebnis der Konzeptplanungen der ARGE Brenk-NUKEM werden Messverfahren als technisch geeignet zur Charakterisierung der Abfälle beschrieben und in verschiedenen Messstationen gruppiert. Als Messobjekte werden sowohl intakte Fässer und intakte Verlorene Betonabschirmungen (VBA), als auch beschädigte, zerstörte Fässer sowie loses Material und Salzgrus betrachtet.

In der „Standardstation“ werden neben einer Massebestimmung durch Wägung radiologische Basisdaten erhoben, mit denen die Abfälle vorklassifiziert werden können. Die dazu konzipierten Verfahren sind in Tabelle 1 zusammengestellt und kurz durch die AGO kommentiert.

Tabelle 1: Geplante Messverfahren der Standardstation (nach BGE (2022a), Tab. 34)

Messverfahren	Inhalt des Verfahrens	Kommentar der AGO
Dosisleistungsmessung 1	Integrale Messung der Gammastrahlung	Sehr schnelles und robustes Messverfahren. Zur hinreichenden Charakterisierung an mehreren Stellen eines Gebindes auszuführen.
Dosisleistungsmessung 2	Integrale Messung der Neutronenstrahlung	Schnelles und prinzipiell robustes Messverfahren. Sensitivität durch Reduzierung der Hintergrundstrahlung deutlich steigerbar.
Kontaminationsmessung	Messung der Oberflächenkontamination von Gebinden	Üblicherweise getrennte Bestimmung von alpha- und Beta-Gamma-Kontamination. Bei Gebinden mit erhöhter Dosisleistung nur als Wischtest ausführbar.
Digitale Gamma-Radiografie	Durchstrahlungsmessung mit Gammastrahlen	Zeigt ein Bild der inneren Struktur von (geschlossenen) Gebinden („Durchleuchtung“)
Gammaspektrometrie	Ermittlung der Aktivität gammastrahlender Radionuklide	Praxiserprobtes Verfahren zur Charakterisierung von radioaktiven Abfällen, mit Grenzen bei Kernbrennstoffen, vor allem Pu-Isotopen, Am-241, reinen Betastrahlern (H-3, C-14, Sr-90, Pm-147) und Elektroneneinfangstrahlern (z.B. Ni-59)
Neutronenmessung 1	(Passive) Messung der Neutronen aus der Spontanspaltung	Bestimmung von Kernbrennstoff (spaltbares Material). Sehr empfindlich zur Bestimmung von Plutonium.
Neutronenmessung 2	(Aktive) Messung der Neutronen nach Bestrahlung mit externer Neutronenquelle	Sehr aufwendiges Verfahren mit methodischen Unsicherheiten zur Bestimmung von Kernbrennstoff (spaltbares Material).

In den nachgeschalteten Messstationen sieht die Konzeptplanung ebenfalls die Gammaspektrometrie sowie Neutronenmessungen als Verfahren vor. Ergänzend sollen Probenahmen (ggf. unterstützt durch Einsatz von Gamma-Kameras), weitere

Durchstrahlungsmessungen und eine zerstörungsfreie stoffliche Charakterisierung mittels Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) zum Einsatz kommen.

Die Eignung dieser Verfahren hängt von mehreren Kriterien ab. Wichtige Kriterien sind:

- die generelle Detektierbarkeit von Radionukliden bei der Messung an heterogen gefüllten Gebinden,
- die nötige Messzeit zum Erreichen der messtechnischen Ziele und damit der mögliche Durchsatz und
- der Bezug auf etablierte Standards (z.B. DIN-Normen) als Grundlage für die Akzeptanz der Verfahren in einem Genehmigungsverfahren.

Die AGO stimmt der Aussage der ARGE Brenk-NUKEM zu, dass vorzugsweise erprobte und zuverlässige Messverfahren als Standardmessverfahren verwendet werden sollten. Die erheblichen messtechnischen Herausforderungen, vor allem bei der Identifizierung von Kernbrennstoff, machen es aber nötig, die bis zum Beginn der Rückholung ggf. möglichen neuen Verfahren im Blick zu behalten und bei einem entsprechenden Stand der Technik in die Charakterisierung einzubeziehen. Dieser Aspekt ist in der Konzeptplanung der ARGE Brenk-NUKEM allerdings nicht berücksichtigt. Der AGO ist aber der Bericht der BGE zur Myonentomografie (BGE 2022b) bekannt, der richtigerweise auf die Prüfung der Anwendbarkeit eines neuen Verfahrens ausgerichtet ist. Von der AGO wurden einige Arbeiten zum Stand der Wissenschaft recherchiert (s. Kapitel 5.3, Tabelle 2). Bei der Konkretisierung der Planungen (auch der räumlichen Strukturen) sollten daher Optionen zur Ergänzung der Charakterisierungsverfahren offengehalten werden.

Durch die zerstörungsfreien Verfahren ist eine Messung aller in der Datenbank ASSEKAT aufgeführten Radionuklide weder möglich noch sinnvoll. Eine Übersicht zur Eignung der Messverfahren Gammastrahlungsspektrometrie und Neutronenmessung ist in BGE (2022a, Tab. 48) enthalten. Dort wird auch auf schätzende Verfahren hingewiesen, wie sie sowohl im Freigabeverfahren als auch zur Nachqualifizierung von Altabfällen für das Endlager Konrad unter bestimmten Rahmenbedingungen zugelassen sind. Die AGO begrüßt ausdrücklich die überblickhafte Darstellung der grundsätzlich geeigneten Messverfahren bezogen auf die ausgewählten 87 Nuklide in Tab. 48 (Blatt 135 ff), weil sich daran die Vor- und Nachteile bestimmter Messverfahren und die Notwendigkeit der Anwendung schätzender Verfahren ablesen lässt.

Für Radionuklide mit Halbwertszeiten von weniger als 3 Jahren (die keine Tochternuklide sind) werden zwischen Einlagerung und Rückholungsbeginn mindesten 18 Halbwertszeiten vergangen sein. Die Restaktivität ist damit auf weniger als  $4 \cdot 10^{-6}$  (4 Millionstel) der Anfangsaktivität abgeklungen. Für keines der Radionuklide aus der Datenbank ASSEKAT, das

die vorgenannten Kriterien erfüllt, ist eine Aktivität zu erwarten, die das Abschneidekriterium der Anlage 4 StrlSchV (Freigabewerte, Freigrenze) übersteigt oder in Bezug auf die restriktivsten Grenzwerte aus den EBK bedeutsam ist.

Kurzlebige gammastrahlende Tochternuklide wie z.B. Ba-137m, Bi-214, Pb-214, Ac-228 u.a. können generell als Stellvertreter ihrer langlebigen Vorgänger (Cs-137, Ra-226, Ra-228) zu deren Bestimmung genutzt werden. Bei anderen nicht oder nur mit geringer Empfindlichkeit messbaren Radionukliden (z.B. Ni-63, Am-241) kann eine Kombination der Gammaskopie mit dem Nuklidvektor-Verfahren (Messung von gut messbaren Schlüsselnukliden und Zurechnung von schlecht messbaren Radionukliden mittels Hochrechnungsfaktoren) genutzt werden. Diese Methode ist als Praxisverfahren auch im Rahmen von Freimessungen (Entscheidungsmessungen zur Freigabe) etabliert, setzt aber zwei Überlegungen voraus. Entscheidende Bedingung für deren Anwendung ist die Ableitung repräsentativer Nuklidvektoren aus den Nuklidverhältnissen. Erstens muss die Zuordnung zu bestimmten Entstehungsprozessen (z.B. Spaltprozesse im Reaktor; Aktivierungsprozesse durch Neutronenbestrahlung, Nutzung von Radionukliden für Laborexperimente) vorgenommen werden und zweitens dürfen keine nachträglichen chemischen Veränderungen der Abfallzusammensetzung, z.B. durch selektive Auslaugung durch Grubenwässer, stattgefunden haben können. Die AGO sieht die Nutzung dieser Nuklidvektor-Methode prinzipiell als sachgerecht an, weil sonst für eine vollständige Erfassung aller Radionuklide alle Fässer geöffnet und beprobt werden müssten.

Es geht aus der Planung in BGE (2022a) nicht hervor, ob Gebinde mit hoher Aktivität an Tritium (H-3) und Radiokohlenstoff (C-14) identifiziert und einer ggf. nötigen besonderen Konditionierung zugeführt werden sollen. Da diese beiden Radionuklide teilweise als Gas über den Luftpfad freigesetzt werden, ist ihre Überwachung in Kap. 3.3.3.5.3 (BGE 2022a) als Teil der „Überwachung der Raum- und Fortluft“ geplant. Nach Meinung der AGO sollte aber zumindest geprüft werden, ob bzw. wie diese Radionuklide in die Charakterisierung einbezogen werden können. Es muss damit gerechnet werden, dass bei der übertägigen Handhabung und Lagerung die gasförmigen Emissionen wesentlich ungehinderter in die Umgebung gelangen können als bei der Lagerung in den abgeschlossenen und wahrscheinlich äußerst gering bewetterten Einlagerungskammern. Darum wäre eine auf Gebinde bezogene Bewertung des Freisetzungspotentials von H-3 und C-14 eine wichtige Grundlage, damit sichergestellt werden kann, dass die Emissionen bei der übertägigen Behandlung nicht wesentlich höher ausfallen als bei der derzeitigen Lagerung im Bergwerk.

Die Entscheidung, welche Verfahren und Methoden einzeln oder in Kombination (z.B. Standard-Messverfahren, schätzende Verfahren, Probenahmeverfahren mit Laborauswertung usw.) zukünftig zum Einsatz kommen werden, liegt hauptsächlich bei der BGE. Die AGO weist

eindringlich darauf hin, dass insbesondere bei nicht standardisierten Messverfahren und -methoden die frühzeitige Einbindung der Genehmigungsbehörden und der Sachverständigen unnötige Zeitverluste verhindern kann.

### **3.2 Messtechnische Ziele / Notwendigkeit von Probenahmen**

Das Strahlenschutzrecht enthält eine Vielzahl von Werten für alle hier relevanten Radionuklide, aus denen heraus messtechnische Anforderungen abgeleitet werden können. Es sollte in jedem Fall vermieden werden, dass Informationsdefizite als Folge einer vereinfachten Charakterisierung zu Spekulationen über „*verborgene Radionuklide*“ und damit zu unverhältnismäßigem Aufwand einer Nachdeklaration führen. Aus diesem Grund ist es auch wichtig einzuschätzen, welche Verfahren ggf. in den kommenden 10 Jahren so weit entwickelt sein können, dass sie für eine Charakterisierung von Radionukliden und ggf. auch chemischen Stoffen zur Verfügung stehen, für die es gegenwärtig noch keine hinreichend geeigneten (und möglichst zerstörungsfreien) Verfahren gibt.

Vorteilhaft wäre es, die Freigrenzen der Anlage 4 StrlSchV als Maßstab für zu erreichende Zielwerte der Charakterisierung von Radionukliden zu nutzen. Diese Werte können allerdings bei einigen Radionukliden, wie z.B. den durch Elektroneneinfang sich umwandelnden Nukliden (Fe-55, Ni-59) und niederenergetischen Betastrahlern (H-3, C-14, Ni-63) nur mit Messverfahren erreicht werden, die eine Probenahme mit anschließender Auswertung der Proben nach Probenaufschluss erfordern. Bei den Radionukliden H-3 und C-14, die zumindest teilweise über gasförmige Verbindungen (Wasserdampf, CO<sub>2</sub>) flüchtig sind, können auch Messungen erwogen werden, die die Ausgasung von Gebinden gezielt als Nachweisbasis nutzen. Gerade solche Messungen sind nur an vorausgewählten Gebinden (oder Gebindegruppen) verhältnismäßig, bei denen eine erhöhte Aktivität dieser Radionuklide vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden kann.

Die von der Arge Brenk-NUKEM in Kap. 6.5.3.5 aufgelisteten Methoden der radiochemischen Laboranalyse an Proben stellen die bisher in der Praxis eingesetzten, betriebsbewährten Verfahren (Stand der Technik) dar. Sie ergänzen die Methoden der standardisierten Verfahren bei der radiologischen Charakterisierung der Abfälle, bei denen keine direkte Messung möglich oder technisch sinnvoll ist. Anzahl und Auswahl der Gebinde bei denen eine Probenahme durchgeführt werden soll, sind wegen der umfangreichen technischen und apparativen Vorgaben zur Sicherstellung des Strahlenschutzes (Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen) und des Aktivitätseinschlusses (z.B. Caissons, Handschuhboxen) mit großer Sorgfalt und Zweckmäßigkeit festzulegen. Darüber hinaus haben sie einen nicht unerheblichen Einfluss auf die zeitliche Abfolge bzw. den Fortgang der Charakterisierung.

## **4. Schnittstelle Konzeptentwicklung und konkrete Umsetzung innerhalb der Entwurfs- und Genehmigungsplanung**

Durch die ARGE Brenk-NUKEM wurde ein breites Spektrum von messtechnischen Möglichkeiten geprüft und bewertet. Davon ausgehend wurden praktikable Vorschläge der Umsetzung erarbeitet.

### **4.1 Klassifizierung der Abfälle**

Als Grundlage der Planung der Prozessschritte wird in Kap. 2.2.3.1 eine Klassifizierung der radioaktiven Abfälle zu Abfallklassen beschrieben. Hier wird mit der „Abfallklasse“ eine neue Begrifflichkeit eingeführt, die mit den aktuell bestehenden Begrifflichkeiten gemäß der Atomrechtlichen Entsorgungsverordnung (AtEV) und den Leitlinien der Entsorgungskommission (ESK) für die Konditionierung radioaktiver Abfälle disharmoniert<sup>2</sup>. Die AGO fragt sich, worin der Mehrwert dieser neuen Begriffsdefinition besteht, zumal fast die Hälfte (43%) der rückzuziehenden Abfälle in die Abfallklasse „Mischabfälle“ (heterogen, oder fehlende Angaben in ASSEKAT) eingruppiert wird. Lediglich die Zuordnung der Abfälle gemäß der vordefinierten neun Abfallklassen in die Kategorien brennbar, gasbildend und chemotoxisch ist zur Beurteilung des Gefährdungspotentials zweckmäßig, wird aber im Weiteren nicht fortgeführt.

### **4.2 Prozessgestaltung**

Hier ist anzuerkennen, dass die ARGE Brenk-NUKEM in Kap. 8 ihres Endberichtes versucht hat, die aus ihrer Sicht wichtigen Prozesse und ihre Abläufe darzustellen und so eine erste Zusammenstellung der Prozessschritte bei der Charakterisierung zu beschreiben. Die geplanten Prozessschritte umfassen:

1. Anlieferung und Einschleusung in die Abfallbehandlungsanlage,
2. Pufferlagerung,
3. (Vor-)Behandlung,
4. Zerstörungsfreie Messungen,
5. Auswertung der Ergebnisse und Planung weiterer Messkampagnen,
6. Probenahme sowie
7. Gesamtauswertung und Export.

Dieser Prozess wird grundsätzlich als praktikabel eingeschätzt. Obwohl für die Konzeptplanung offene Planungsteile typisch sind, weist die AGO auf folgende zu klärende Fragen hin:

---

<sup>2</sup> Definierte Begriffe laut AtEV sind Abfallart (z.B. Feste Abfälle organisch/anorganisch, Flüssige Abfälle organisch/anorganisch, Mischabfälle, Strahlenquellen und deren Unterarten) oder Kategorien der Abfälle gemäß Behandlungszustand (z.B. Rohabfall, vorbehandelter Abfall, Abfallprodukt in Innenbehälter usw.) sowie nicht zu verwechseln mit den Abfallbehälterklassen gemäß EBK (z.B. ABK I / ABK II störfallfest usw.).

1. Obwohl in den Fließbildern zum Prozessablauf (z.B. Abb. 8 oder Abb. 28) ein „Sortieren“ und „Separieren“ genannt ist, wird nicht klar, ob diese Prozessschritte nur zum Trennen der freigebbaren Abfälle von den zwischenzulagernden Abfällen erfolgen soll, oder ob weitere Sortierungen beabsichtigt sind.
2. Auch bei nur grober Kenntnis der Eigenschaften des Inventars der rückzuholenden Abfälle ist klar, dass es einerseits Gebinde geben wird, deren radioaktiver Inhalt relativ einfach ermittelt werden kann (mittels Auswertung der Fassdaten soweit erkennbar, sowie mit Gammaskopimetrie), während es aber auch andererseits Gebinde geben wird, die diesbezüglich schwieriger zu charakterisieren sind. Aus dieser Kenntnis heraus und der Notwendigkeit, den Messaufwand so zu optimieren, dass die benötigten Daten in möglichst kurzer Zeit ermittelt werden können, ergibt sich, dass ein gestuftes Messkonzept vorteilhaft ist. Das in Abb. 30 (Blatt 170) dargestellte Vorgehen bei der Auswertung orientiert auf eine zyklische Prozessführung und enthält keine Hinweise auf ggf. ergänzende Messverfahren, die bei nicht hinreichend belastbarer Charakterisierung bestimmter Parameter genutzt werden könnten.
3. Wie die AGO bereits im Rahmen der Bewertung des Rückholplans kritisiert hatte, fehlen bisher grundsätzliche Entscheidungen seitens BGE in einem Reststoff- und Abfallkonzept, auf welches auch die ARGE Brenk-NUKEM (Kap. 3.3.6, Blatt 67) hinweist. In einem solchen Konzept wäre die Kategorisierung der rückgeholtten Abfälle nach strahlenschutzrechtlichen Kriterien ein zentrales Element. Neben dem Abklingverhalten der Radionuklide und der Zuordnung zu Kernbrennstoffen im rechtlichen Sinne, müssten z. B. beim Element Thorium auch die beiden unterschiedlichen Kategorien (Thorium als Kernmaterial und Thorium als NORM (naturally occurring radioactive materials)) sowie sonstige NORM-Abfälle betrachtet werden.

### **4.3 Behälter**

Als wesentlicher Aspekt und als Klammer der Tätigkeiten bei der Rückholung und der Abfallbehandlung ist der verwendete Behälter (Umverpackung) zu sehen. Die ARGE Brenk-NUKEM leitet aus den Anforderungen der Konditionierung, der Puffer- und Zwischenlagerung, des Transports (innerbetrieblich, zum Endlager) und der Endlagerung selbst an die Charakterisierung eine wichtige Festlegung ab, nämlich die Vorgabe zugelassener Behälter als Transport- und Umverpackung. Die ARGE Brenk-NUKEM sagt dazu in Kap. 3.6.2 (Blatt 78) aus, dass die Entwicklung eines Behälterkonzeptes diese Rahmenbedingungen für die Erfüllung der Anforderungen für den Transport usw. gewährleisten soll. Auf Blatt 77 wird ausgeführt, dass eine Behälterzulassung für Container zum Transport und Zwischenlagerung

der rückgeholt Abfälle aus der Schachanlage Asse II derzeit noch nicht vorliegt und u. a. auf Basis des Behälterkonzeptes sowie unter Berücksichtigung der Störfallbetrachtungen im Rahmen der Rückholungsplanungen zu entwickeln und auszulegen ist.

Die AGO hat mehrfach darauf verwiesen, dass sie das Behälterkonzept als essentiell wichtig für die Rückholung und als terminkritisch ansieht und hat die BGE bereits mehrmals aufgefordert, sich mit der Thematik zu befassen (AGO 2020). Die AGO wiederholt an dieser Stelle ihre Bedenken, dass ausschließlich der momentan vorgegebene Behältertyp für die Umverpackung (Konrad Typ IV) als einziger Behältertyp beplant werden soll. Dies ist wegen dessen eingeschränkter oder nicht vorhandener atomrechtlicher Zulassung insbesondere für Abfälle mit Kernbrennstoff kritisch zu sehen, insbesondere auch unter dem Zeitaspekt, da das Ende der Zwischenlagerung der rückgeholt Abfälle aus der Schachanlage Asse II nicht absehbar ist.

#### **4.4 Durchsatz**

In Kap. 7.10 (Blatt 156) erfolgt die Abschätzung des möglichen Durchsatzes unter den vorgeplanten räumlichen Gegebenheiten. Obwohl der Verweis auf bestehende Erfahrungswerte fragwürdig ist, werden auf Basis des aktuellen Planungsstandes im Schnitt 5,3 Umverpackungen (UV) pro Tag als Anlieferung an die Abfallbehandlungsanlage angesetzt, (was etwa einer Anzahl von 10 bis 20 Innenbehälter (IB) entspricht), und es wird ein Vergleich mit dem rechnerischen Durchsatz auf Basis der sog. Mittleren Anlagenbelegungszeiten (s. Tab. 50, S. 160) durchgeführt. Im Ergebnis stellt die ARGE Brenk-NUKEM fest, dass für die betrachteten 4 Fälle der Durchsatz immer unterhalb der gewünschten 5,3 UV (3 UV/d gemäß Kap. 10) bleibt. Das führt die AGO zu der Schlussfolgerung, dass noch erheblicher planerischer Aufwand auch im Bereich der Charakterisierung erforderlich ist, um die BGE-Vorgabe zu erfüllen oder die Terminplanung der Rückholung zu korrigieren.

### **5. Weitere Aspekte**

Die folgenden Aspekte werden von der AGO nochmals besonders herausgestellt, weil sie Einfluss auf die Charakterisierung und weiteren Rückholungsplanungen haben.

#### **5.1 Fehlende Randbedingungen. Wie kann Abhilfe geschaffen werden?**

Eine effiziente und zielführende Planung von Anlagen und Prozessen zur Charakterisierung, Konditionierung, Zwischen- und Endlagerung erfordert klare und verlässliche Randbedingungen bzw. sachgerechte Festlegungen. Einige fundamentale Randbedingungen und Festlegungen fehlen aber bisher. Dies sind insbesondere:

- Klare, vollständige und praktisch umsetzbare Zielvorgaben für eine Endlagerung der Abfälle. Eine optimale Konditionierung von Endlagergebinden kann nur dann

geschehen, wenn die Eigenschaften des Wirtsgesteins berücksichtigt werden. Eine Universalkonditionierung zu Endlagergebinden, die für alle denkbaren Endlagerlösungen bzw. Wirtsgesteine geeignet ist, wäre immer suboptimal. Die AGO hält es daher für dringend erforderlich, seitens der zuständigen Behörden und der politisch verantwortlichen Personen, endlich klare Festlegungen zu erarbeiten (z.B. Teilkonditionierung speziell für lange Zwischenlagerzeiten und bei Kenntnis des Endlagers die Vollkonditionierung). Ein Zuwarten in der Hoffnung, dass vielleicht in Zusammenhang mit dem Standortauswahlprozess für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle am selben Standort noch Platz für die Abfälle aus der Schachanlage Asse II sein könnte, ist weder realistisch noch verantwortungsvoll.

- Die AGO hat bereits in ihrer Stellungnahme zum Rückholplan (AGO 2020) darauf hingewiesen, dass nach internationalen Kriterien (IAEA 2009) schwach radioaktive Abfälle auch oberflächennah beseitigt werden können. Für einen Großteil der rückgehenden Abfälle aus der Schachanlage Asse II ist nach diesen Kriterien eine Endlagerung in einem geologischen Tiefenendlager nicht nötig. Ein Aufschieben der Suche eines geeigneten Tiefenendlagers für die Abfälle erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass spätere Generationen einen solchen (kostengünstigen) Entsorgungsweg der im Optionenvergleich noch als Maßstab benannten sicheren Endlagerung in einem Tiefenendlager vorziehen.
- Die einzelnen Prozessschritte der Rückholung, insbesondere Pufferlagerung, Charakterisierung, Konditionierung, Zwischenlagerung, sind aus verschiedenen Gründen hoch integriert und müssen im Kontext geplant und operativ kohärent umgesetzt werden. Dies erfordert bezüglich der Standortauswahl, insbesondere bei räumlich verteilten Standorten, klare Vorgaben, ohne welche eine konkrete planerische Bewältigung nicht möglich ist. Die AGO hält eine zügige und einvernehmliche Klärung der Standortfrage unter Einbeziehung der Region und insbesondere der Asse-II-Begleitgruppe für dringend geboten.
- Die AGO stellt fest, dass seit geraumer Zeit versucht wird, eine Vorfestlegung auf die zu verwendenden Container (insbesondere Konrad Typ IV) zu erzielen. Nach Auffassung der AGO sind die am besten geeigneten Container nach den operativen Erfordernissen der einzelnen Prozessschritte auszuwählen (ggf. neu zu entwerfen). Dabei haben praktische Aspekte wie Handhabbarkeit, Gewicht, Abmessungen, Tragfähigkeit (Steifigkeit), radiologische Abschirmwirkung, Gasdichtigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Störfallsicherheit, Dekontaminierbarkeit, etc. Vorrang vor anderen Überlegungen. Die AGO empfiehlt eine zügige und zielgerichtete, deduktive Herleitung



der erforderlichen Containereigenschaften und -typen auf Grundlage der operativen Erfordernisse.

- Ob durch eine geeignete Materialauswahl und Behälterkonstruktion (ggf. nach entsprechender Materialentwicklung) eine nochmalige Charakterisierung und Konditionierung für entsprechende Wirtsgesteine und chemische Randbedingungen im später ausgesuchten Endlager vereinfacht oder sogar vermieden werden kann, sollte geprüft werden. Hier sollten Werkstoffuntersuchungen zu einer universelleren Betrachtungsweise der Endlagerung von nicht wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen durchgeführt werden.

## **5.2 Planungsgrundlagen nach ASSEKAT**

Als Ausgangspunkt für die Entwicklung des messtechnischen Konzeptes analysiert die ARGE Brenk-NUKEM auf der Grundlage der Datenbank ASSEKAT 9.3.1 das in den Einlagerungskammern (ELK) erwartete Inventar an Radionukliden (Kap. 2). Dabei werden hauptsächlich Daten aus ASSEKAT zusammengestellt, ohne diese Daten hinsichtlich fachlicher Bedeutung oder Plausibilität zu prüfen.

Die dabei vorgenommene Reduzierung der Anzahl der zu berücksichtigenden Radionuklide von 155 Nukliden (gemäß ASSEKAT) auf verbleibende 87 Radionuklide infolge der Reduzierung der Gesamtaktivität durch radioaktiven Zerfall zum Stichtag 01.01.2033 ist sinnvoll, aber nicht konsequent, da die Gesamtaktivität des Inventars keine relevante Größe bei der Charakterisierung einzelner Gebinde / Chargen darstellt. Vielmehr ist die Betrachtung der Größen Dosisleistung, Kernbrennstoffgehalt (bzw. Anteil spaltbarer Stoffe) und Abfallart für jedes Gebinde / jede Charge von entscheidender Bedeutung.

Der Hinweis der AGO im Kommentar zum Zwischenbericht der ARGE Brenk-NUKEM, dass hier als Planungsgrundlage ein Modell vorteilhaft wäre, das diese Größen und die Vorkenntnisse aus ASSEKAT in Zusammenhang bringt, wurde nicht umgesetzt (und übersteigt wahrscheinlich auch den Rahmen der vorgelegten Konzeptplanung). Allerdings verweist das Konzept richtigerweise auf die reale Schwäche der Datenlage in ASSEKAT 9.3.1 (siehe BGE (2022a: Blatt 20), indem klargemacht wird, dass aufgrund fehlender Daten keine Aktivitätsberechnung in der ASSEKAT durchgeführt werden konnte. Dieser Mangel in der Datengrundlage ist nach Ansicht der AGO ein wesentlicher Aspekt in der Rückholungsplanung, der unbedingt behoben werden muss.

In der Zusammenstellung des Inventars in Tab. 1 (BGE 2022a) werden offenbar alle fehlerhaften Daten der ASSEKAT kommentarlos übernommen. So finden sich an mehreren Stellen Inventarangaben von kurzlebigen Radionukliden aus den Zerfallsreihen, die bereits bei einfacher Betrachtung als physikalisch unmöglich auffallen. Z.B. ist eine um den Faktor 8500

geringere spezifische Aktivität von Ac-228 im Vergleich zu Ra-228 physikalisch unsinnig, da das kurzlebige Tochternuklid Ac-228 mit einer Halbwertszeit von 6 Std. auf die Aktivität von Ra-228 nachwächst. Ähnliches gilt für die um den Faktor 690 geringere Aktivität von Bi-210 als Pb-210, da das kurzlebige Tochternuklid Bi-210 mit einer Halbwertszeit von 5 Tagen auf die Aktivität von Pb-210 nachwächst. Auch wenn in den beiden hier zitierten Beispielen die langlebigen Nuklide Ra-228 und Pb-210 konsistent mit anderen Radionukliden der jeweiligen Zerfallsreihe deklariert sind, ist es nach Auffassung der AGO zwingend erforderlich, die als Grundlage dienenden Daten der Datenbank ASSEKAT fachlich zu prüfen und zu bewerten.

Die AGO hat schon des Öfteren darauf hingewiesen, dass unsinnige Daten in der Datenbank ASSEKAT eliminiert werden sollten. In der jetzigen Form und bei nicht hinreichend erfahrenen Bearbeitern kommt es zu planerischen Fehleinschätzungen, wie sie sich z.B. bei der Bewertung der Messbarkeit von Th-232 (BGE (2022a), Blatt 130) ergeben. Dort wird behauptet, dass das für die Abfalldeklaration hochwichtige und teilweise als Kernmaterial zu bilanzierende Th-232 eine Probenanalyse erfordert oder schätzende Verfahren genutzt werden müssen, obwohl Th-232 gamma-spektrometrisch sehr gut über die Tochternuklide Ac-228, Pb-212 und Tl-208 bestimmt werden kann.

Die AGO hat bei ihrer Prüfung des Zwischenberichtes bereits darauf hingewiesen, dass durch Einbeziehen kurzlebiger Radionuklide eine physikalische Gesamtaktivität ermittelt wird, die für die Charakterisierung der Abfälle nachrangig ist. In Kenntnis des Sachverhalts, dass es sich bei den Abfällen der Schachanlage Asse II um Radionuklidgemische handelt, die beim Beginn der Rückholung mindestens 55 Jahre alt sein werden, stellt sich die Frage, warum kurzlebige Tochternuklide (z.B. Po-214, Po-215, Po-218, Rn-219, u.a.) einiger langlebiger Radionuklide (Ra-226, U-238, Ac-227) separat ausgewiesen werden, andere kurzlebige Tochternuklide (Ba-137m) aber nicht.

Da auch keine Systematik bei der Berücksichtigung der Tochternuklide zu erkennen ist, sind die so ermittelten Gesamtaktivitäten ohne planerischen Wert. Aus Sicht der AGO geben die Anlage 4 Tabelle 1 und Tabelle 2 StrlSchV grundsätzlich eine fachlich hinreichende Grundlage zur Ausweisung von Aktivitätsinventaren und spezifischer Aktivitäten.

Nach Auffassung der AGO wäre es vorteilhaft gewesen, statt der Orientierung: *„...muss die Probenahme und Analyse der radiologischen Zusammensetzung vollumfänglich auf die in der ASSEKAT dokumentierten Nuklide erfolgen (s. Kapitel 2.1.1 zu Nuklidinventar und Aktivitäten, Tab. 1) und auch nicht in der ASSEKAT deklarierte aber entsprechend der geltenden Endlagerungsbedingungen geforderten Nuklide nachweisen können ...“*, die Zahl der für die Deklaration zu bestimmenden Radionuklide auf diejenigen Radionuklide einzuengen, deren Bestimmung tatsächlich erforderlich ist.

Nach Einschätzung der AGO wird im zitierten Satz mit dem Wort „*vollumfänglich*“ ein Anspruch formuliert, der im Ergebnis der Ausführungen im Bericht selbst als praktisch nicht umsetzbar zu bewerten ist. Die ARGE Brenk-NUKEM sieht daher statt direkter messtechnischer Nachweise für einige Radionuklide die Verwendung von Nuklidverhältnissen (Nuklid-Vektoren) vor. Obwohl dieses Vorgehen in bestimmten Fällen als Praxisverfahren etabliert ist, ergeben sich für die rückzuholenden Abfälle noch Fragen, wie z.B. die Nuklidverhältnisse unter Berücksichtigung der jeweiligen Abfallherkunft (Charge) differenziert festgelegt werden können, ob bzw. wie deren zeitliche Veränderung zu berücksichtigen ist und wie die Verwendung der Nuklidvektoren genehmigungsseitig zu bewerten ist.

Insbesondere chemische Reaktionen (Korrosion, Auflösung) zwischen radioaktiven Abfällen und Lösungen sind möglich und zum Teil bereits eingetreten und evident (kontaminierte Lösungen auf der 750-m-Sohle, Pegelstände über Sohlenniveau einiger ELK). Diese Prozesse können selektive Auslaugungen bewirken, wodurch sowohl die (radio-)chemische Zusammensetzung von Abfällen verändert wird als auch eine radioaktive Kontamination von Salzgrus und Lösungen erfolgt, die dadurch ebenfalls Teil des radioaktiven Inventars werden und einer Charakterisierung bedürfen.

In den von diesen chemischen Prozessen betroffenen Abfallgebinden oder -chargen können sowohl die ursprünglichen Nuklidvektoren als auch die radioaktiven Zerfallsketten und radiogenen Gleichgewichte gestört werden. In solchen Fällen ist die Möglichkeit von Störungen der radioaktiven Gleichgewichte in den Zerfallsreihen bei der Auslegung der Messungen zur Abfallcharakterisierung zu berücksichtigen. Für die Praxis der rechnerischen Charakterisierung bedeutet dies, dass Nuklidvektoren oder radiogene Gleichgewichte vor Anwendung des Nuklidvektorverfahrens fallspezifisch zu prüfen und zu begründen sind.

Nach Einschätzung der AGO ist der von der ARGE Brenk-NUKEM gewählte konzeptionelle Ansatz des Nuklidvektorverfahrens durchaus anwendbar, sollte aber unter den spezifischen Randbedingungen der Schachanlage Asse II durch die weiteren geplanten schätzenden Verfahren ergänzt werden. Neben den Detailfragen zur Berücksichtigung einzelner Radionuklide ist nach Ansicht der AGO die Frage, wie die Abfälle nach der Charakterisierung kategorisiert werden, wichtig. Die ARGE Brenk-NUKEM weist im Kapitel 3.3.6 auf die Endpunkte der Entsorgung hin, spart aber dabei den Sachverhalt der Kernbrennstoffe aus. Dieser Aspekt ist aber wegen den rechtlich geforderten, besonderen Sicherheitsanforderungen bei der Lagerung von erheblicher Bedeutung für die Region.

Durch die BGE wird seit jeher eine „Mystifizierung“ des Radionuklidinventars der radioaktiven Abfälle betrieben, in dem „*kernbrennstoffhaltige*“ Abfälle als Grund für die Auslegung aller Anlagen und Gebäudeteile einschließlich Zwischenlager auf Kernbrennstoff genutzt wird. Die Abtrennung der relativ kleinen Menge an „echten“ Kernbrennstoffen für eine externe Lagerung,

z.B. in dem gezielt für die staatliche Verwahrung von Kernbrennstoffen angemieteten Lager des BASE im Zwischenlager Nord bei Lubmin<sup>3</sup>, wird gar nicht erst als Option betrachtet.

Auch die ausschließliche Kategorisierung von Thorium als Kernmaterial stellt die Abfälle in einen Zusammenhang, der für große Teile des Asse-Inventars zu hinterfragen ist. So stammen nach Angaben in TÜV (2013, Tabelle 19) ca. 43,1 Mg der nach BGE (2020) 81,069 Mg umfassenden Gesamtmasse an Thorium (Th-232) aus Gasglühstrümpfen, die vor allem zu Beleuchtungszwecken (z.B. von Straßenlaternen) produziert wurden und als solche nicht der Definition der Kernmaterialien in Anlage 1 AtG entsprechen. Auch andere Teile des Thoriuminventars, wie z.B. die ca. 20 Mg aus dem Hahn-Meitner-Institut (TÜV (2013, Tabelle 23), die als Abluftfilter, gepresstes Papier, Metallteile, Glasbruch beschrieben werden, sind nicht als Kernmaterialien nach Anlage 1 AtG zu kategorisieren.

### 5.3 Mögliche Verfahren zur Verbesserung der Charakterisierung in der Zukunft

Es sind keine Verfahren bewertet worden, die derzeit als Stand der Wissenschaft gelten müssen, die aber in 10 oder 20 Jahren als Stand der Technik zu erwarten sind. In Tabelle 2 sind von der AGO daher einige Verfahren aufgeführt, die den Stand der Wissenschaft skizzieren und auf die sie an dieser Stelle hinweisen möchte. Verfahren wie die Neutronenresonanz-Transmissionsanalyse (NRTA), LAr-Detektoren (Liquid-Argon) und auch die Myonenstreuung könnten Verbesserungsmöglichkeiten zur Charakterisierung der Abfälle enthalten.

Tabelle 2: Stichprobenhaft ausgewählte Arbeiten zum Stand der Wissenschaft bei Messverfahren zur Charakterisierung von radioaktiven Stoffen bzw. Kernbrennstoffen.

Quelle	Inhalte
Bernadette K. Cogswell and Patrick Huber. Cerium Ruthenium Low-Energy Antineutrino Measurements for Safeguarding Military Naval Reactors. Phys. Rev. Lett. 128, 241803 – Published 14 June 2022	Verfahren zur Identifizierung / Unterscheidung von HEU und Pu-239 basierten Reaktoren über Distanzmessungen bei U-Booten
Thomas Braunroth, Nadine Berner, Florian Rowold, Marc Péridis and Maik Stuke (GRS): Muon radiography to visualise individual fuel rods in sealed casks". EPJ Nuclear Sciences & Technologies 2021: <a href="https://www.epjn.org/.../2021/01/epjn210005/epjn210005.html">https://www.epjn.org/.../2021/01/epjn210005/epjn210005.html</a>	Kosmische Myonen können zur zerstörungsfreien Untersuchung von abgebrannten Kernbrennstoffen in versiegelten Trockenlagerbehältern verwendet werden. Die Streudaten der Myonen nach der Durchquerung liefern Informationen über die durchdrungenen Materialien. Basierend auf diesen Eigenschaften wird die theoretische Machbarkeit, einzelne fehlende Brennstäbe in einem versiegelten Behälter zu entdecken, diskutiert. Die Arbeit kommt zu dem Schluss, dass fehlende Stäbe in Abhängigkeit von ihrer Position im Brennelement und im Behälter innerhalb eines angemessenen Messzeitraums zuverlässig identifiziert werden können.

<sup>3</sup> Siehe: [https://www.base.bund.de/DE/themen/ne/staatliche-verwahrung/staatliche-verwahrung\\_node.html](https://www.base.bund.de/DE/themen/ne/staatliche-verwahrung/staatliche-verwahrung_node.html)

<p>Hauke Bosco, Linda Hamann, Nina Kneip, Manuel Raiwa, Martin Weiss, Klaus Wendt, Clemens Walther  SCIENCE ADVANCES:  <a href="https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abj1175">https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abj1175</a></p>	<p>Die Autoren kombinieren die Sekundärionen-Massenspektrometrie mit der Resonanzlaserionisierung, um die Element- und Isotopenzusammensetzung einzelner Partikel mit einer räumlichen Auflösung im Submikrometerbereich selektiv zu untersuchen (resonante Laser-Sekundär-Neutral-Massenspektrometrie (rL-SNMS)). Durch die Vermeidung jeglicher chemischer Probenvorbereitung werden isobare Interferenzen um fünf Größenordnungen unterdrückt. Im Gegensatz zu den meisten massenspektrometrischen Verfahren wird nur eine vernachlässigbare Masse verbraucht, so dass die Partikel für weitere Untersuchungen intakt bleiben. Die Identifizierung von Aktinidenelementen und ihren Isotopen auf einem heißen Teilchen aus Tschernobyl, einschließlich <sup>242</sup>mAm im Ultraspurenbereich, hat die Leistungsfähigkeit bewiesen. Darüber hinaus ist die Technik auf fast alle Elemente anwendbar und eröffnet bisher unerforschte wissenschaftliche Anwendungen.</p>
<p>Ethan A. Klein, Farheen Naqvi, Jacob E. Bickus, Hin Y. Lee, Robert J. Goldston, Areg Danagoulian  Neutron Resonance Transmission Analysis with a Compact Deuterium-Tritium Neutron Generator:  <a href="https://arxiv.org/abs/2012.03937">https://arxiv.org/abs/2012.03937</a></p> <p>Science X:  <a href="https://phys.org/.../2021-06-portable-technology-boost...">https://phys.org/.../2021-06-portable-technology-boost...</a></p>	<p>Die "Neutronenresonanz-Transmissionsanalyse (NRTA)" erlaubt zerstörungsfreie Messungen der Isotopenzusammensetzung. Wird das Objekt mit Neutronen durchstrahlt, dann schwächen Elemente mittlerer und hoher Ordnungszahl den Neutronenfluss bei charakteristischen Energien ("Neutronenresonanzen"). Bisher waren für die NRTA große Beschleunigeranlagen nötig. Die Arbeit beschreibt ein System mit einem kompakten, transportablen und kostengünstigen Deuterium-Tritium (DT)-Neutronengenerator. Durchstrahlungen von Targets, die u.a. Silber, Cadmium, Wolfram und abgereichertes Uran enthielten, lieferten im Rahmen der Studie brauchbare Ergebnisse nach Messzeiten von einigen zehn Minuten. Der Technik wird erhebliches Potenzial für Anwendungen im Bereich der nuklearen Sicherheit und Proliferationskontrolle beigemessen.</p>
<p>Canadian Nuclear Laboratories: „Code name: ALARM – CNL develops exciting new border security technology“  <a href="https://www.cnl.ca/code-name-alarm-cnl-develops-exciting-new-border-security-technology/?fbclid=IwAR1qAIJRQISZLiKRFZybeRIbFdvVM-GoprDiN_bXWA9IxiUcK9Y-9foOHj8">https://www.cnl.ca/code-name-alarm-cnl-develops-exciting-new-border-security-technology/?fbclid=IwAR1qAIJRQISZLiKRFZybeRIbFdvVM-GoprDiN_bXWA9IxiUcK9Y-9foOHj8</a></p>	<p>Zur Proliferationsüberwachung wurden Strahlungsdetektoren auf Basis von flüssigem Argon (Liquid Argon, LAr) entwickelt. Flüssige Edelgase wie Argon benötigen sehr niedrige Temperaturen (Ar – 186°C) sind aber hocheffizient für Strahlungsmessungen. Das von der Strahlung ausgelöste Szintillationslicht liegt im Wellenlängenbereich unter 200 nm ("Vakuumultraviolett"). Solche Detektoren sind erheblich empfindlicher für Neutronen- und Gammastrahlung als bisherige Technologien. Prototypen sollen als Strahlungsmonitore an kanadischen Einreiseflughäfen eingesetzt werden.</p>
<p>Stefan Stryker, Joel A. Greenberg, Shannon J. McCall &amp; Anuj J. Kapadia:  Scientific Reports volume 11, Article number: 10585 (2021). Open Access. Published: 19 May 2021  X-ray fan beam coded aperture transmission and diffraction imaging for fast material analysis</p>	<p>Die Duke Universität (North Carolina, USA) hat den Prototypen eines Röntgenscanners vorgestellt, der nicht nur Form und Struktur eines Objekts zeigt, sondern zugleich auf dessen atomare und molekulare Zusammensetzung schließen lässt. Die Technologie könnte in einer Vielzahl von Bereichen u. a. auch in der Geologie angewandt werden.</p>

## 5.4 Verschiedenes

Auf Blatt 179, Kap. 8.7 beschreibt die ARGE Brenk-NUKEM kurz die denkbare Anwendung „*Künstlicher Intelligenz (KI)*“ bei der effizienten Strukturierung großer und komplexer Datensätze. Die so gewonnenen Ergebnisse bieten die Möglichkeit, bestimmte Muster (radiologische u.a.) in den Abfällen zu erkennen, was wiederum die Messungen beschleunigen könnte. Näheres wird dazu jedoch nicht ausgeführt. Die AGO fragt sich, warum die ARGE Brenk-NUKEM das Thema KI zwar anspricht, aber dennoch nicht ein Beispiel parat hat.

Des Weiteren sind die in diesem Kapitel beschriebenen Anforderungen stark auf die Zwischenlagerung und Endlagerung der Abfälle ausgerichtet. Zumindest bei Salzgrus besteht die Frage, welche Teile davon als so kontaminiert einzustufen sind, dass sie für die weitere Lagerung den rückgeholt Abfällen zuzuordnen sind und welche Teile in die Schachanlage Asse II rückgeführt werden können.

Die Charakterisierung der Abfälle ist als Folge der Erblast ihrer Einlagerung und als Generationenaufgabe zu sehen. Da derzeit kein Zeitraum angegeben werden kann, in dem die Abfälle nach der Rückholung oberirdisch in einem Zwischenlager gelagert werden müssen, sollten die mit der Charakterisierung zu ermittelnden Daten geeignet sein, langfristig den zeitlich veränderlichen radiologischen Zustand von Gebinden zu bewerten. Es ist aber auch zu berücksichtigen, dass die von der BGE vorgesehene Konditionierung der Abfälle und die damit verbundene Verfestigung die nachträgliche Bestimmung von Parametern erheblich erschweren.

Man muss zukünftigen Generationen die Möglichkeit geben selbst (nach eigenen Maßstäben) zu entscheiden, welche Optionen sie für die finale Beseitigung der rückgeholt Abfälle präferieren. Es ist aber die Verantwortung der gegenwärtigen Generation, mit einer nach Stand der gegenwärtigen Technik umfassenden Charakterisierung und einer darauf basierenden Kategorisierung der Abfälle späteren Generationen eine Grundlage für ihre Entscheidungen zu geben.

## Literaturverzeichnis

- AGO (2020): Stellungnahme zur BGE-Unterlage: "Plan zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II – Rückholplan (Stand 19.02.2020)". Abgestimmte Endfassung vom 06.08.2020.
- BGE (2022a): Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle – Endbericht (Stand 15.03.2022). ARGE Brenk-NUKEM, Aachen/Alzenau.
- BGE (2022b): Untersuchung der Machbarkeit der Charakterisierung von radioaktiven Abfällen aus der Schachanlage Asse II mittels Myographie – Endbericht (Stand 24.02.2022). Lynkeos Technology Ltd., Glasgow.
- BGE (2020): Plan zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II. Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) (Stand: 19.02.2020).
- GERSTMANN, U., MEYER, H. & THOLEN, M. (2002): Bestimmung des nuklidspezifischen Aktivitätsinventars der Schachanlage Asse. - GSF-Abschlussbericht, Auftrags-Nr. 31/179 294/99, FE Nr. 76277 – GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, August 2002 [PU-IV.10 c].
- IAEA (2009): Classification of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSG1, International Atomic Energy Agency, Vienna (2009).
- TÜV (2013): Bericht zur Überprüfung des Abfallinventars. 3. Einzelbeauftragung: Überprüfung der sonstigen Abfalldaten. Bericht ETS4-43/2011, Rev. 1, November 2013.