

Genehmigungsverfahren 1. Stilllegungs- und Abbaugenehmigung

Fachbericht U_7.2

Konzept zur radiologischen Charakterisierung der Anlage KKB in
Hinblick auf den Rückbau

Anzahl der Anlagen

0

Schlagwörter: Radiologische Charakterisierung, Probenahme, Nuklidvektoren,
Freigabe, radioaktiver Abfall

Betroffene Anlagenkennzeichen

Verteiler

erweiterter Verteiler

MELUND, TÜV NORD ARGE Rückbau

erstellt von **GD-NBUW** geprüft von

Name:

Datum:

Unterschrift:

geprüft von **GD-NBQ** **GD-NBP** **GD-NBU**

Name:

Datum:

Unterschrift:

freigegeben von **KKB**

Datum:

Unterschrift:

Unterlagen Ident-Nr.

01150091979 /0031



Änderungsverzeichnis

Revision	Datum	Änderungsgrund
0	23.09.2015	Ersterstellung
1	21.09.2016	Einarbeitung der Anmerkungen von Aufsichtsbehörde und Gutachter
2	07.08.2018	Anpassungen an den aktuellen Verfahrensstand im Abschnitt 2 und Abschnitt 6.1 bezüglich Bodenflächen

Zusammenfassung

Am 01. November 2012 hat die Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB) GmbH & Co. oHG den Antrag auf Stilllegung und Abbau gemäß AtG, § 7, Abs. 3 /10/ gestellt. Im Rahmen des sich daran anschließenden Genehmigungsverfahrens wurde der Sicherheitsbericht /2/ vorgelegt, der durch eine Reihe von detaillierteren Unterlagen (spezifische Fachberichte) ergänzt wird.

Der vorliegende Bericht stellt als Fachbericht und Genehmigungsunterlage die grundlegenden Aspekte der radiologischen Charakterisierung dar. Ausgangspunkt hierfür ist die Zusammenstellung relevanter Anforderungen an die radiologische Charakterisierung, wie sie in den aktuell gültigen Regelwerksunterlagen für kerntechnische Anlagen formuliert werden.

Folgende Schwerpunkte werden hierbei beschrieben:

- Vorgehensweise
- Auswahl geeigneter Probenahmeorte
- technische Durchführung der Beprobung
- messtechnische Randbedingungen
- Auswertung der Messergebnisse
- Dokumentation und Aufbewahrung.

Die radiologische Charakterisierung schafft im ersten Schritt die Voraussetzungen für die Konzepte für Stilllegung und Abbau der Anlage KKB (Entsorgungskonzept und Abbaukonzept). Die hierfür herangezogenen Daten sind in dem Fachbericht U_1.2 / 1 / dargestellt.

Die weitere radiologische Charakterisierung erfolgt jeweils rechtzeitig vor Demontagebeginn oder auch demontagebegleitend zielgerichtet als Grundlage für:

- die Festlegung von Nuklidvektoren und abdeckender Messgeometrien für die Freigabe,
- die Deklaration von radioaktivem Abfall und
- den radiologischen Arbeitsschutz.

Konkretisierende Festlegungen zu den hier aufgezählten Inhalten erfolgen in der Freigabegenehmigung, die vom KKB separat beantragt wird, der Strahlenschutzordnung und der Instandhaltungs- und Abbauordnung.

Die Herausgabe nichtradioaktiver Stoffe aus Überwachungsbereichen wird in diesem Bericht nicht berücksichtigt, siehe Fachbericht U_7.4 /3/ (entspricht § 69 StrlSchV /4/).

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Zielstellung	5
2.	Geltungsbereich	5
3.	Anforderungen des Regelwerkes an die Freigabe von radioaktiven Reststoffen	6
3.1	Strahlenschutzverordnung	6
3.2	ESK- Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen	6
3.3	DIN 25457	7
4.	Zeitpunkt der Probenahme	7
5.	Struktur und Ablauf der radiologischen Charakterisierung	7
5.1	Zuordnung zu einer Entsorgungsoption	7
5.2	Radioaktive Reststoffe, die für Freigabe vorgesehen sind, und radioaktiver Abfall	8
5.3	Radiologischer Arbeitsschutz	8
6.	Erstellung des Probenahmeplans	9
6.1	Radioaktive Reststoffe, die für die Freigabe vorgesehen sind	9
6.2	Radioaktiver Abfall	10
6.3	Radiologischer Arbeitsschutz	11
7.	Durchführung der Beprobung	11
8.	Durchführung der Messung	11
8.1	Messverfahren	11
8.2	Umfang der gammaspektrometrischen Analyse	12
8.3	Qualitätsanforderungen	12
8.4	Bestimmung von alpha- und betastrahlenden Nukliden	12
9.	Auswertung der Ergebnisse	13
9.1	Zuordnung zu einer Entsorgungsoption	13
9.2	Freigabe	13
9.2.1	Anlagenweite Charakterisierung (vorlaufend)	13
9.2.2	Systemweise Charakterisierung (zeitnah)	14
9.2.3	Charakterisierung anhand des Dekontaminationsabtrags	14
9.2.4	Charakterisierung bei Dekontamination durch Einschmelzen	15
9.3	Radioaktiver Abfall	15
9.4	Radiologischer Arbeitsschutz	15
10.	Dokumentation und Aufbewahrung	16
11.	Abkürzungen	17
12.	Literatur	18

1. Einleitung und Zielstellung

Zur Vorbereitung von Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerks Brunsbüttel (KKB) werden radiologische Daten benötigt. Im ersten Schritt werden damit die Grundlagen für das Entsorgungskonzept und das Abbaukonzept geschaffen. Die hierfür herangezogenen Daten sind in dem Fachbericht U_1.2 /1/ enthalten und wurden für die Erstellung des Sicherheitsberichts /2/ verwendet.

Für die Planung von Abbaumaßnahmen erfolgt eine Abschätzung der Massen und die Bestimmung der radiologischen Zustände aller Systeme im Kontrollbereich. Diese dienen zusammen mit anderen Informationen, wie z. B. der Materialart, der Oberflächenbeschaffenheit und der Geometrie einer vorläufigen Zuordnung der radioaktiven Reststoffe zu einem Entsorgungsziel. Die Zuordnung wird mittels Expertenbewertung und, falls für eine Expertenbewertung keine ausreichende Grundlage vorliegt, durch gezielte Messungen oder Beprobungen ausgewählter Systeme realisiert.

Die geplanten Demontagemaßnahmen werden der Aufsichtsbehörde mit der Abbauanzeige mitgeteilt.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Vorgehensweise der Gewinnung der für die Durchführung des Abbaus erforderlichen Daten, speziell für

- die Feststellung von Nuklidvektoren und abdeckender Messgeometrien für die Freigabe,
- die Deklaration von radioaktivem Abfall,
- den radiologischen Arbeitsschutz, insbesondere
 - die Auswahl optimierter Abbau-, Zerlege- und Dekontaminationsverfahren und
 - die Planung konkreter Maßnahmen zum Schutz vor innerer und äußerer Strahlenexposition.

2. Geltungsbereich

„Radioaktive Reststoffe“ werden im Fachbericht U_7.1 /6/ wie folgt definiert:

Radioaktive Reststoffe sind radioaktive Stoffe, bei denen über den Verwertungs- bzw. Entsorgungsweg noch nicht entschieden ist. Diese können entweder zur Wiederverwendung oder -verwertung abgegeben, gemäß § 29 StrlSchV /2/ freigegeben und somit schadlos verwertet oder als radioaktive Abfälle geordnet beseitigt werden. Dazu gehören auch ausgebaute oder abgebaute Anlagenteile, Gebäudeteile (Bauschutt) und aufgenommener Boden sowie bewegliche Gegenstände, die kontaminiert oder aktiviert sind. Radioaktive Reststoffe sind zu bearbeiten.

Der Geltungsbereich des in der vorliegenden Unterlage beschriebenen Konzeptes zur radiologischen Charakterisierung der radioaktiven Reststoffe erstreckt sich demnach auf:

- alle Gebäude und Gebäudeteile des Kontrollbereichs mit allen darin enthaltenen Stoffen, Materialien, beweglichen Gegenständen, Anlagen bzw. Systemen oder Teilen von Anlagen bzw. Systemen,
- alle Stoffe, Materialien, beweglichen Gegenstände, Gebäude und Gebäudeteile, Anlagen bzw. Systeme oder Teile von Anlagen bzw. Systemen außerhalb des Kontrollbereichs, die einem Freigabeverfahren zugeführt werden,
- alle Bodenflächen des KKB-Betriebsgeländes, die einem Freigabeverfahren unterworfen werden sollen.

Die Vorgaben dieses Konzeptes werden auf Stoffe, Materialien, bewegliche Gegenstände, Teile von Gebäuden, Anlagen bzw. Systeme oder Teile von Anlagen bzw. Systemen, die in einer kerntechnischen Anlage wiederverwendet oder wiederverwertet werden sollen, nur soweit angewendet, wie dies für den radiologischen Arbeitsschutz oder zur Wiederverwendung oder Wiederverwertung erforderlich ist.

Der Geltungsbereich dieses Konzeptes umfasst nicht Stoffe, Materialien, Gebäude, Gebäudeteile oder Bodenflächen, die herausgegeben werden können, da das Herausgabeverfahren sich auf nichtradioaktive Stoffe aus Überwachungsbereichen bezieht (siehe Fachbericht U_7.4 /3/). Deshalb ist für die betroffenen nichtradioaktiven Materialien auch keine Charakterisierung gemäß diesem Konzept erforderlich. Auch die Herausgabe der Gebäudeaußenflächen von Kontrollbereichsgebäuden fällt nicht in den Geltungsbereich dieses Konzeptes.

Die radiologische Charakterisierung von Bodenflächen wird im Aufsichtsverfahren im Zuge des Abbaus geregelt.

Bewegliche Gegenstände, die nach § 44, Abs. 3 StrlSchV /4/ herausgebracht werden, gehören ebenfalls nicht zum Geltungsbereich dieses Konzeptes.

3. Anforderungen des Regelwerkes an die Freigabe von radioaktiven Reststoffen

3.1 Strahlenschutzverordnung

Mit der Strahlenschutzverordnung werden internationale Standards in nationales Recht überführt. Insbesondere im § 29 der StrlSchV /4/ und den dazugehörigen Anlagen sind die Regelungen für die Freigabe aufgeführt.

Im Absatz (2), Nr. 1 und 2 des § 29 /4/ sind für verschiedene Materialien unterschiedliche Freigabeoptionen mit unterschiedlichen Freigabewerten mit teilweise weiteren Festlegungen definiert sowie charakteristische Randbedingungen des Freigabeverfahrens aufgeführt. Basis hierzu sind die Anlage III Tabelle 1 sowie die zugehörigen Festlegungen gemäß Anlage IV.

Für die radiologische Charakterisierung ist der Verweis auf die Anlagen III und IV von besonderer Bedeutung, da hiermit eine Auswertung der Messergebnisse mit Bezug zu nuklidspezifischen Freigabewerten vorgeschrieben wird. Da die Entscheidungsmessungen überwiegend mit nicht nuklidspezifischer Messtechnik ausgeführt werden, werden in Freigabeverfahren Nuklidvektoren angewendet, auf deren Basis die Gesamt-Gamma-Aktivität oder die Gesamt-Beta-Aktivität mit den Freigabewerten verglichen werden können.

3.2 ESK-Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen

In den ESK-Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen /5/ wird im Kapitel 5 „radiologische Charakterisierung“ Folgendes ausgeführt:

„Die erforderliche Detaillierung und Genauigkeit der radiologischen Charakterisierung hängt von deren Zielrichtung im Verlauf der Stilllegung ab. Der erste Schritt der radiologischen Charakterisierung dient der Schaffung von Grundlagen für das Entsorgungskonzept und das Abbaukonzept (z. B. Aktivitätsinventar, Störfälle, Abbaustrategie, mögliche Freigabe von Gebäuden und Standort) [...]. Es ist darüber hinaus – soweit für das Abbaukonzept erforderlich – zu prüfen, ob und wie tief Kontamination in Gebäudestrukturen eingedrungen ist. Hier bietet es sich an, bereits

frühzeitig zu prüfen, ob tief eingedrungene Kontamination oder Aktivierung abweichende Vorgehensweisen bei dem Abbau der Anlage nach sich ziehen können (statisch relevante Betonstrukturen im Bereich des Sicherheitsbehälters, Boden- und tragende Wandflächen in sehr hoch kontaminierten Räumen). Weitere Untersuchungen zum Eindringverhalten, die keinen Einfluss auf die Durchführung des Gesamtvorhabens haben, können zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

Spätere Schritte der radiologischen Charakterisierung während der Durchführung des Abbaus dienen der Planung konkreter Maßnahmen zum Schutz vor äußerer und innerer Strahlenexposition, der Auswahl optimierter Abbau-, Zerlege- und Dekontaminationsmaßnahmen, der Validierung berechneter Aktivitäten radioaktiver Abfälle sowie der Festlegung endgültiger Nuklidvektoren und abdeckender Messgeometrien für die Freigabe.

Insgesamt ist der Detaillierungsgrad der radiologischen Charakterisierung im Rahmen der Stilllegungsplanung niedriger als während des Abbaus.“

3.3 DIN 25457

Die DIN 25457 „Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlagenteilen“ /7/ enthält detaillierte Angaben zum Stand der Technik für die radiologische Charakterisierung im Freigabeverfahren. Der Umfang und die Detaillierung dieser Angaben entsprechen der Regelungstiefe, die in der Freigabegenehmigung und den zugehörigen Ausführungsanweisungen realisiert wird. Deshalb wird hier auf die Wiedergabe des Textes der DIN verzichtet. Gleichwohl ist der Stand der Technik gemäß DIN 25457 /7/ hier berücksichtigt und wird auch Grundlage des vom KKB geplanten Freigabebeantrags.

4. Zeitpunkt der Probenahme

Die radiologische Beprobung der Anlage bzw. von Anlagensystemen erfolgt so, dass die Analyseergebnisse vor Beginn der Abbaumaßnahme oder vor den jeweiligen Demontageschritten vorliegen, sofern die Probenahme nicht demontagebegleitend durchgeführt werden muss, z. B. wegen fehlender Zugänglichkeit oder aus Gründen des radiologischen Arbeitsschutzes.

Die Probenahme erfolgt grundsätzlich vor einer Dekontamination, wenn eine Veränderung des Nuklidvektors nicht zu besorgen ist. Sollten Anlagenbereiche einer Systemdekontamination unterzogen werden, so werden diese erst nach Abschluss der Systemdekontamination beprobt.

Bei Flüssigkeiten oder Metallen, die zum Zeitpunkt der Probenahme als Schmelze vorliegen, oder wenn eine Probenahme aus dem Dekontabtrag geplant ist, kann die Probe aus der Flüssigkeit bzw. dem Dekontabtrag entnommen werden. In diesem Fall ist eine weitere Probennahme nicht erforderlich.

5. Struktur und Ablauf der radiologischen Charakterisierung

5.1 Zuordnung zu einer Entsorgungsoption

Eine erste Einschätzung des voraussichtlichen Entsorgungszieles ist bereits während der Stilllegungsvorbereitung erfolgt, siehe U_1.2 /1/. Diese basiert auf Expertenbewertungen anhand der Systeme, der zugehörigen Fahrweisen, der Betriebshistorie sowie der vorhandenen Kenntnisse über den radiologischen Zustand der Anlage und bei Bedarf mit Hilfe von Dosisleistungsmessungen, ggf. unterstützt durch Probenahmen an ausgewählten Stellen.

Die weitere radiologische Charakterisierung erfolgt vorhabenbezogen. Im Zuge der Demontageplanung werden die in den Kapiteln 5.2 und 5.3 dargestellten Schritte der radiologischen Charakterisierung ausgeführt und deren Ergebnisse zur Validierung der Entsorgungsziele herangezogen.

5.2 Radioaktive Reststoffe, die für Freigabe vorgesehen sind, und radioaktiver Abfall

Grundlegender Prozessschritt des Beprobungsverfahrens ist die Erstellung des Probenahmeplans. Anzahl und Arten der zu nehmenden Proben sowie die exakten Punkte der Beprobung werden während der Systembewertung definiert.

Der Probenahmeplan wird anhand des Betriebsverhaltens der Gesamtanlage sowie der komponentenspezifischen Verfahrenstechnik und ggf. aus besonderen radiologischen Vorkommnissen während des Anlagenbetriebes abgeleitet. Ebenfalls in die Bewertung einbezogen werden die eingesetzten Werkstoffe der Komponenten. Die Auswahl der Probenahmeorte kann unterstützt werden durch orientierende Messungen mit Dosisleistungs- oder Kontaminationsmessgeräten (siehe Kapitel 6).

Die Anzahl und Art der zu nehmenden Proben orientiert sich an dem voraussichtlichen Entsorgungsziel. Soll der radioaktive Reststoff dem radioaktiven Abfall zugeführt werden, so wird der Probenahmeplan anhand der Anforderungen aus der vorgesehenen Abfallkampagne erstellt.

Nach Erstellung des Probenahmeplans beginnt die eigentliche Beprobung an den festgelegten Probenahmeorten. Die Regelungen der Instandhaltungs- und Abbauordnung werden dabei beachtet. Proben werden in der Regel gammaspektrometrisch analysiert.

Für die Bestimmung von Radionukliden, die gammaspektrometrisch nicht bzw. nur sehr aufwendig erfassbar sind, werden anlagenweit gültige Hochrechnungsfaktoren herangezogen. Ist die Gültigkeit eines oder mehrerer Hochrechnungsfaktoren im konkreten Fall nicht begründet, so werden diese Nuklide mittels Sondernuklidanalysen bewertet.

5.3 Radiologischer Arbeitsschutz

Die Anforderungen und Umsetzung der radiologischen Charakterisierung sind in der Strahlenschutzordnung bzw. Instandhaltungs- und Abbauordnung des KKB festgelegt. Danach basiert die Charakterisierung zur Festlegung von Maßnahmen des radiologischen Arbeitsschutzes im Wesentlichen auf

- den Kenntnissen über den radiologischen Zustand des KKB,
- der Bestimmung der Ortsdosisleistung im vorgesehenen Arbeitsbereich,
- der Ermittlung der abwischbaren Kontamination und
- bei Bedarf auf den Probenahmen und den entsprechenden Analysen.

Im ersten Schritt werden die Ortsdosisleistung und die Oberflächenverteilung der abwischbaren Kontamination mittels Wischtests ermittelt. Es wird ein Richtwert festgelegt, ab dem der Anteil der Alphanuklide anhand von Proben und Analyseergebnissen zu bestimmen ist.

Die radiologischen Verhältnisse im Arbeitsbereich werden regelmäßig überprüft, um bei Bedarf die Strahlenschutzmaßnahmen anzupassen.

6. Erstellung des Probenahmeplans

6.1 Radioaktive Reststoffe, die für die Freigabe vorgesehen sind

Ausgangspunkt bei der Erstellung des Probenahmeplans ist die Bewertung der Systeme. Der Bereich, für den die Charakterisierung abdeckend sein soll, wird festgelegt. Als Kriterien für die Abgrenzung können verwendet werden:

- Gebäude- und Raumgrenzen
- Grenzen technischer Systeme (z. B. Behälter, Rohrleitungen, Einhausungen)
- Wechsel der Materialzusammensetzungen
- Wechsel der Oberflächenbeschaffenheit
- Randbedingungen für eine Aktivierung (z. B. Reichweite der Neutronen)
- Zuordnung zu Ausbreitungswegen (z. B. Wasser-, Dampfkreisläufe oder Lüftungsstränge)
- Wechsel chemischer Parameter von Betriebsmedien
- Wechsel der physikalischen Parameter (z. B. Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur, Druck oder Aggregatzustand)
- Veränderung der Radiologie durch Filter oder Ionenaustauscherharze.

Die Charakterisierung kann auch für Systeme oder Räume gemeinsam erfolgen, innerhalb derer eine oder mehrere der hier angegebenen Kriterien gemeinsam erfüllt sind. Dann ist der Probenahmeplan so zu erstellen, dass alle durch die hier angegebenen Kriterien voneinander abgegrenzten Bereiche durch mindestens eine Probe erfasst sind.

Bei der Auswahl der Probenahmeorte werden Erkenntnisse aus der Betriebshistorie berücksichtigt, beispielsweise

- Fahrweise der Systeme,
- Wartung (z. B. Öffnung, Reinigung oder Austausch von Komponenten),
- Erkenntnisse aus dem Betrieb (z. B. Leckagen, tatsächlicher Verwendung von Systemen oder mögliche Fixierungen von aufgetretener Kontamination).

Die Betriebshistorie wird von der Inbetriebnahme bis zum Zeitpunkt der Erstellung des Probenahmeplans berücksichtigt. Dabei ist es ausreichend, die Ereignisse aufzuführen, die relevante Beiträge zur Kontamination/Aktivierung geleistet haben.

Für die radiologische Charakterisierung von Bodenflächen werden die zu untersuchenden Flächen mit den oberirdischen Strukturen und den unterirdischen Wirtschaftssystemen (Kabeltrassen, Regenwasser- und Abwasserkanalisation) nach der DIN 25457-7 /7/ behandelt. Dies bedeutet beispielsweise, dass:

- die Betriebshistorie dargestellt und bewertet wird,
- der Nuklidvektor festgelegt und mittels Voruntersuchungen verifiziert wird,
- die Hochrechnungs- und Korrelationsfaktoren für die gammaspektrometrisch nicht messbaren Nuklide werden bestimmt werden,
- die zu messenden Flächen in geeignete Raster eingeteilt und
- die innerhalb der Rasterflächen vorgesehenen Probenahmeorte für die gammaspektrometrischen Messungen inklusive der Bestimmung der Tiefenprofile festgelegt und im Probenahmeplan dargestellt werden.

6.2 Radioaktiver Abfall

Wie im Kapitel 5.2 ausgeführt, richtet sich der Probenahmeplan für radioaktive Abfälle nach den Vorgaben der jeweiligen Abfallkampagne, die vom BfS freigegeben werden.

Die im Kapitel 6.1 zusammengestellten Kriterien können dabei zur Orientierung herangezogen werden. Bei Abfällen, deren Aktivität durch die Aktivierung bestimmt wird, ist die Materialzusammensetzung von besonderer Bedeutung. Hierfür können Angaben aus der Dokumentation zur Errichtung der Anlage oder Analysen von Materialproben herangezogen werden.

Die Vorgaben der Abfallkampagne legen auch fest, ob und in welchem Umfang - vorlaufend bzw. demontagebegleitend – Probenahmen oder Dosisleistungsmessungen erforderlich sind.

6.3 Radiologischer Arbeitsschutz

Wie im Kapitel 5.3 ausgeführt, orientieren sich radiologische Arbeitsplanung und Arbeitsschutz an Kenntnissen über den radiologischen Zustand des KKB, an Ortsdosisleistungsmessungen und an der Auswertung von Wischtests. Die Kenntnisse über den radiologischen Zustand sind in dem Strahlenschutzjournal, den Ergebnissen der Wischtest- und Arbeitsplatzroutinen (Datenbank, Messprogramme), dem Dosisleistungsatlas und den in den Jahresberichten ausgewiesenen Sperrbereichen dokumentiert.

Bei Bedarf werden demontagebegleitend zusätzliche Messungen durchgeführt.

7. Durchführung der Beprobung

Für die Probenahme können in Abhängigkeit vom zu beprobenden Material und dem Beprobungsziel beispielsweise folgende Beprobungsmethoden eingesetzt werden:

- Kratzproben
- Materialproben (Span- und Fräsproben)
- Bohrmehlproben
- Stockerproben
- Werk- und Baustoffproben
- Schlamm- und Schüttgutproben
- Flüssigkeitsproben
- Metallschmelzproben
- Wischtests.

Die Probenahmen erfolgen entsprechend den Festlegungen des Probenahmeplans repräsentativ für den radiologischen Zustand des Systems oder der Gebäudestruktur. Das gewählte Probenahmeverfahren muss für die jeweilige Zielsetzung geeignet sein. Die Verfahren dürfen die Nuklidverhältnisse der zu analysierenden Nuklide nicht verändern. Bei der Auswahl der Probenahmetechnik werden die später zu analysierenden Nuklide berücksichtigt.

Bei Flüssigkeiten, Metallschmelzen oder bei Proben aus dem Dekontabtrag kann, wie in Kap. 4 erwähnt, die Probe aus der Flüssigkeit oder dem Dekontabtrag entnommen werden. Die Probe muss repräsentativ für die gesamte beprobte Flüssigkeit, Metallschmelze oder den Dekontabtrag sein.

8. Durchführung der Messung

8.1 Messverfahren

Als Messverfahren für die Probenauswertung kommen in Betracht:

- Gamma-Spektrometrie
- Gesamt-Beta-Messungen
- Gesamt-Alpha-Messungen
- nuklidspezifische Beta-Messungen von Sondernukliden nach radiochemischer Auftrennung
- nuklidspezifische Alpha-Messungen von Sondernukliden nach radiochemischer Auftrennung.

Ergänzend können Dosisleistungsmessungen, Direktmessungen der Kontamination und Wischtests, in erster Linie zur orientierenden Messung oder für die Festlegung von radiologischen Arbeitsschutzmaßnahmen, durchgeführt werden.

8.2 Umfang der gammaspektrometrischen Analyse

Die Messungen erfolgen vorwiegend zur Ermittlung

- der vorliegenden Radionuklide (Kontamination und ggf. Aktivierung),
- der Nuklidverteilung, d. h. der prozentualen Anteile der Aktivität der vorliegenden Radionuklide je Probe oder
- der Aktivitätshöhe.

Für KKB ist der Einsatz einer Nuklidbibliothek geplant. Nuklide, für die zum Zeitpunkt der Analyse mindestens 10 Halbwertszeiten seit Beendigung des Leistungsbetriebs des KKB vergangen sind, brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

8.3 Qualitätsanforderungen

Die Messungen und die Probenauswertungen erfolgen ausschließlich mit dafür geeigneten Messgeräten, die einer Inbetriebsetzungsprüfung unterzogen wurden und wiederkehrend geprüft werden. Ausgewählte Proben können extern in qualifizierten Laboratorien ausgewertet werden.

Die Proben werden entsprechend den Anforderungen des vorgesehenen Messgeräts vor der messtechnischen Auswertung einer Probenaufbereitung (z. B. Homogenisierung) unterworfen und, soweit erforderlich, als Teilprobe in eine Standardprobengeometrie überführt.

Wird als Messergebnis die Aktivität der Nuklide (und nicht die Verhältnisse der Aktivität zueinander) weiterverwendet, so wird der Entnahmefaktor, der bei der Probennahme bzw. –aufbereitung realisiert wurde, bei der Auswertung oder bei der anschließenden Bewertung der Messergebnisse berücksichtigt.

8.4 Bestimmung von alpha- und betastrahlenden Nukliden

Für die Bestimmung von Radionukliden, die gammaspektrometrisch nicht bzw. nur sehr aufwendig erfassbar sind, werden Hochrechnungsfaktoren bestimmt, die für das KKB anlagenweit qualifiziert sind. Zu deren Bestimmung wird eine systemübergreifende repräsentative Beprobung des KKB durchgeführt. Die Proben werden bezüglich alpha-, beta- und evtl. auch gammastrahlender Nuklide analysiert.

Die Anwendbarkeit der Hochrechnungsfaktoren wird gesondert begründet, sofern sie nicht durch den Geltungsbereich begründet ist. Dies kann anhand der Betriebshistorie der betrachteten Systeme, von Plausibilitätsbetrachtungen oder durch Überprüfung der Relation von gammastrahlenden Nukliden, die repräsentativ für eine Gruppe alpha- oder betastrahlender Nuklide sind, zu dem zugehörigen Schlüsselnuclid erfolgen.

Zum Beispiel ist die Relation zwischen Am-241 und den anderen Transuranen sowie den Uranisotopen in einem Kernkraftwerk systemübergreifend konstant. Durch Vergleich der Relation Am-241 zu Co-60 bei den Hochrechnungsfaktoren und den Analyseergebnissen der Gamma-Spektrometrie kann die Anwendbarkeit der Hochrechnungsfaktoren auf diese Nuklide überprüft werden.

9. Auswertung der Ergebnisse

9.1 Zuordnung zu einer Entsorgungsoption

Im Fachbericht U_7.1 /6/ sind die Kriterien für die Auswahl von einem oder mehreren Entsorgungszielen aufgeführt. Anhand der Mess- und Analyseergebnisse aus der Beprobung werden die vorgesehenen Entsorgungsziele überprüft. Dabei können berücksichtigt werden:

- Aktivitätshöhe
- Nuklidgemisch und dessen Messbarkeit
- Dekontaminierbarkeit
- Materialeigenschaften (z. B. Stoffart, Wandstärke oder Geometrie)
- Verwertbarkeit und Verfügbarkeit von Senken.

Die Zuordnung zu einem Entsorgungsziel bleibt bis zur tatsächlichen Entsorgung (z. B. bestätigte Freigabecharge, bestätigte Abfallgebindedokumentation) vorläufig.

9.2 Freigabe

Für die Freigabe wird KKB gemäß § 29 StrlSchV /4/ einen Freigabeantrag im Aufsichtsverfahren stellen. Je nach Beschaffenheit des freizugebenden Materials kommt dabei eines der in den folgenden Kapiteln 9.2.1 bis 9.2.4 ausgeführten Modelle zur Anwendung. Grundlage aller Modelle ist der Stand der Technik gemäß DIN 25 457 /7/.

9.2.1 Anlagenweite Charakterisierung (vorlaufend)

Für das KKB wird ein vordefinierter Satz von Nuklidvektoren abgeleitet. Die vordefinierten Nuklidvektoren genügen folgenden Kriterien:

- Umfassen der Bandbreite der radiologischen Verhältnisse der im Kontrollbereich vorhandenen Systeme und der Gebäude des Kontrollbereichs
- Konservativität in Bezug auf die vorgesehene Messtechnik
- Konservativität in Bezug auf die vorgesehene Freigabeoption.

Bei der Ableitung der vordefinierten Nuklidvektoren werden folgende Schritte berücksichtigt:

- Identifizieren der für KKB relevanten Nuklide
- Feststellen der Variationsbreite der Aktivitätsanteile dieser Nuklide
- Auswahl der Nuklide, die in den vordefinierten Nuklidvektoren aufgenommen werden
- Definition der Nuklidvektoren (Auswahl der Variationsbreite und Schrittweite der Aktivitätsanteile der ausgewählten Nuklide)
- Berechnen von Kennzahlen, die bei Anwendung einer Messtechnik mit der Freigabe vereinbar sind (z. B. Anzahl der Impulse, die zu einer Ausschöpfung der Summenformel = 1 führen würde).

Anhand der Analyseergebnisse aus der radiologischen Charakterisierung wird für jede Probe nach einer im Freigabeverfahren qualifizierten Berechnungsvorschrift die o. g. Kennzahl bestimmt, die sich ergeben würde, wenn das Freimessgut genau diese Nuklidverteilung aufweist. Aus den vordefinierten Nuklidvektoren wird einer ausgewählt, dessen Kennzahl konservativer ist als die Kennzahl der ungünstigsten Probe. Das Abbaumaterial, für das der Probensatz der Charakterisierung repräsentativ ist, wird diesem Nuklidvektor zugeordnet.

Sollte kein Nuklidvektor alle Proben abdecken, so werden entweder der Satz der vordefinierten Nuklidvektoren entsprechend erweitert oder die Auswertung nach einem anderen Modell (siehe Kapitel 9.2.2 bis 9.2.4) vorgenommen.

9.2.2 Systemweise Charakterisierung (zeitnah)

Bei Anwendung dieses Modells wird für das beprobte System jeweils ein Nuklidvektor anhand der Proben gebildet. Der Nuklidvektor genügt folgenden Kriterien:

- möglichst realitätsnahe Abbildung der Nuklidverhältnisse der Proben
- Konservativität in Bezug auf die vorgesehene Messtechnik
- Konservativität in Bezug auf die vorgesehene Freigabeoption.

Für die Bestimmung von systembezogenen Nuklidvektoren werden die folgenden Schritte abgearbeitet:

- Festlegung der grundlegenden Schlüsselnuclide (wie z. B. Co-60 und Cs-137) als Basis, zu denen alle anderen relevanten Radionuklide über Hochrechnungsfaktoren korreliert werden können und Zusammenstellung der relevanten Nuklide in einer Nuklid-Bibliothek, in der die in kontaminierten und aktivierten Stoffen enthaltenden Radionuklide zusammengestellt sind
- Ableiten der Aktivitätsanteile der zu berücksichtigenden Radionuklide anhand der gammaspektrometrischen Auswertung der entnommenen Materialproben, d. h. Bestimmung der Radionuklidgemische
- Berechnung der Nuklidvektoren
(durch Mittelwertbildung, auf statistischer Grundlage oder abdeckend)
- Bestimmung weiterer Nuklide mit Schlüsselnuclid-Korrelationen und Hochrechnungsfaktoren
- Bestimmung der für das Freigabeverfahren zu berücksichtigenden Radionuklide.

Der hier aufgeführte erste Schritt kann auch anlagenweit erfolgen. Die Nuklid-Bibliothek ist dann für alle festzulegenden Nuklidvektoren anwendbar.

Auch bei diesem Verfahren kann eine Zuordnung von Systemen oder Systemabschnitten zu einem bereits vorhandenen Nuklidvektor erfolgen, wenn der vorhandene Nuklidvektor für alle Proben des neu betrachteten Systems oder Systemabschnitts konservativ ist.

9.2.3 Charakterisierung anhand des Dekontaminationsabtrags

Die Charakterisierung anhand des Dekontaminationsabtrags setzt voraus, dass nach Anwendung des Dekontaminationsverfahrens das Freigabematerial und der Dekontaminationsabtrag dieselbe Nuklidverteilung aufweisen. Hierzu kann es erforderlich werden, Dekontaminationsbäder nach im Freigabeverfahren festgelegten Kriterien regelmäßig zu beproben. Damit ist die Probe jeweils repräsentativ für die Kontamination des Materials, das zwischen zwei Proben dekontaminiert wurde.

Zur Probenahme wird das Dekontaminationsmedium homogenisiert. Der Nuklidvektor wird aus dem Analyseergebnis der Probe unter Berücksichtigung der für die Entscheidungsmessung vorgesehenen Messtechnik gebildet.

9.2.4 Charakterisierung bei Dekontamination durch Einschmelzen

Die Probenahme erfolgt nach dem Einschmelzen durch Entnahme von Material aus der Schmelze. Das Einschmelzverfahren stellt bereits eine ausreichende Homogenisierung der Schmelze sicher.

Bei Flüssigkeiten wird diese Vorgehensweise sinngemäß angewendet. Flüssigkeiten sind vor der Probenahme entsprechend den im Freigabeverfahren festzulegenden Vorgaben zu homogenisieren.

Die Analyseergebnisse werden jeweils direkt mit den Freigabewerten verglichen, d. h. die Probenahme und die anschließende Analyse stellen die Entscheidungsmessung dar.

9.3 Radioaktiver Abfall

Die Auswertung der Ergebnisse der Dosisleistungsmessungen und ggf. der Analysen variiert je nach Abfallart stark und ist in der Abfallkampagne geregelt.

Hier werden nur die zwei folgenden Beispiele für mögliche Vorgehensweisen aufgeführt:

- Betriebsabfälle (pressbar oder brennbar):
Berechnung der Aktivität aus Dosisleistungsmessungen am Rohabfallgebände unter Anwendung der qualifizierten SWR-Korrelation, die im AVK hinterlegt ist
- RDB-Einbauten:
Bildung von Nuklidvektoren für die Aktivierung der Komponenten in Abhängigkeit von Materialart und Neutronenfluenz sowie eines Nuklidvektors für die Kontamination. Bei der Auswertung können die Analyseergebnisse auch anhand der chemischen Zusammensetzung der Werkstoffe überprüft werden, um Kontamination und Aktivierung voneinander zu unterscheiden.

Die Charakterisierung der radioaktiven Abfälle wird im ersten Schritt im Produktkontrollverfahren (Abfallkampagne) qualifiziert. Nach Bestätigung durch das BfS werden die Ergebnisse, ggf. ergänzt um weitere Vorgaben im Zwischenlagerverfahren, der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde zur Zustimmung vorgelegt.

Ergänzungen im Zwischenlagerverfahren beziehen sich auf vorläufige Aktivitätsbestimmungen als Basis für eine unmittelbare Einlagerung in das Zwischenlager.

9.4 Radiologischer Arbeitsschutz

Im Zuge der radiologischen Arbeitsplanung werden die radiologischen Arbeitsschutzmaßnahmen gemäß der Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen /8/ festgelegt. Es wird ein Nuklidvektor herangezogen, der die Nuklidverhältnisse am Arbeitsort repräsentiert (z. B. Nuklidvektor „Mischabfall, brennbar“).

Durch Anwendung innerbetrieblicher Interventionswerte wird ausgeschlossen, dass sich eine innere Strahlenexposition oberhalb der Nachforschungsschwelle gemäß RiPhyKo /11/ zu besorgen.

In Abhängigkeit von der Ortsdosisleistung, der Kontaminationshöhe und deren Mobilisierbarkeit werden im Rahmen des Arbeitsauftragsverfahrens Vorgaben zur Dekontamination vor Abbaubeginn und während der Demontage, zur Abschirmung, zur Demontagerihenfolge, zu den zulässigen Demontageverfahren und der einzusetzenden persönlichen Schutzausrüstung festgelegt.

Während der Durchführung der Demontearbeiten wird die Wirksamkeit der radiologischen Arbeitsschutzmaßnahmen kontinuierlich überprüft, und ggf. werden die erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen an geänderte Gegebenheiten angepasst.

10. Dokumentation und Aufbewahrung

Die Messprotokolle werden dokumentiert und aufbewahrt. Die Aufbewahrungsfrist richtet sich nach den Regelungen des jeweiligen Verfahrens, in dem die Messergebnisse bei der Dokumentation herangezogen werden.

Materialproben, die im Rahmen von Beprobungskonzepten gewonnen und zur Ermittlung von Nuklidvektoren verwendet wurden, werden für ein Jahr aufbewahrt.

Grundsätzlich werden zu jeder Messung und Probenahme die Raumnummer und sofern vorhanden das Anlagenkennzeichen (AKZ) angegeben. Liegt kein AKZ vor, wird das zugehörige System angegeben, ansonsten eine anderweitige eindeutige, vom KKB jeweils festzulegende Bezeichnung.

11. Abkürzungen

AKZ	- Anlagenkennzeichen
AtG	- Atomgesetz
AVK	- Abfallfluss Verfolgungs- und Produkt-Kontrollsystem
Abs.	- Absatz
BfS	- Bundesamt für Strahlenschutz
DIN	- Deutsches Institut für Normung
ESK	- Entsorgungskommission
KKB	- Kernkraftwerk Brunsbüttel
RDB	- Reaktordruckbehälter
StrlSchV	- Strahlenschutzverordnung
SWR	- Siedewasserreaktor

12. Literatur

- /1/ Fachbericht U_1.2 „Radiologisches Inventar“, KKB Bericht 2014-0216
- /2/ Vattenfall Europe NE, Stilllegung und Abbau Kernkraftwerk Brunsbüttel, „Sicherheitsbericht“, Rev. 2 vom 12.02.2015
- /3/ Fachbericht U_7.4, „Herausgabe von nicht radioaktiven Stoffen aus der atomrechtlichen Überwachung“, KKB Bericht 2015-0105
- /4/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV), vom 20. Juli 2001, (zuletzt geändert am 27 April 2016)
- /5/ ESK, Empfehlung der ESK „Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen“ vom 16.03.2015
- /6/ Fachbericht U_7.1 „Umgang mit radioaktiven Stoffen - Entsorgungskonzept“, KKB Bericht 2014-0112
- /7/ DIN 25457, Aktivitätsmessverfahren für die Freigabe von radioaktiven Stoffen und kerntechnischen Anlageteilen
Teil 1: Grundlagen
Teil 1: Grundlagen; Beiblatt 1: Erläuterungen
Teil 4: Kontaminierter und aktivierter Metallschrott
Teil 6: Bauschutt und Gebäude
Teil 7: Bodenflächen und Bodenaushub
- /8/ Richtlinie für den Strahlenschutz des Personals bei Tätigkeiten der Instandhaltung, Änderung, Entsorgung und des Abbaus in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen, Teil 2: Die Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs und der Stilllegung einer Anlage oder Einrichtung (IWRS II), 17.01.2005 (GMBI. 2005, Nr. 13, S. 258)
- /9/ Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV), 12.01.2007
- /10/ Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz), in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985, (zuletzt geändert am 26. Juli 2016)
- /11/ Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosen Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV) vom 12. Januar 2007
- /12/ ESK, Empfehlung der ESK „ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung“, revidierte Fassung vom 10.06.2013