

## Stellungnahme zu konzeptionellen Fragen der Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie bei Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerks Obrig- heim (KWO)

Darmstadt,  
03.08.2015

**Im Auftrag  
der Abfallwirtschaftsgesellschaft des  
Neckar-Odenwald-Kreises mbH (AWN)**

### **Autoren**

Dipl.-Phys. Christian Küppers  
unter Mitarbeit von Dipl.-Biol. Mathias Steinhoff

### **Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71  
79017 Freiburg

#### **Hausadresse**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

### **Büro Berlin**

Schicklerstraße 5-7  
10179 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

### **Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Telefon +49 6151 8191-0

[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)



# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Grundzüge des 10 µSv-Konzepts bei der Freigabe</b>	<b>2</b>
2.1. Begründung und Umsetzung des 10 µSv-Konzepts	2
2.2. Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie	3
2.3. Neue Euratom-Grundnormen	6
2.4. Zusammenfassende Schlussfolgerungen hinsichtlich der Risiken bei der Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie	7
<b>3. Spezifische Regelungen bei der Freigabe von Abfällen aus dem Abbau des KWO zur Beseitigung auf einer Deponie</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Freigabebescheide</b>	<b>9</b>
3.1.1. Überblick über die Freigabebescheide	9
3.1.2. Festlegungen der Freigabebescheide	10
3.1.3. Bewertung der Regelungen der Freigabebescheide	11
<b>3.2. Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg zur Entsorgung von freigemessenen Abfällen auf Deponien</b>	<b>12</b>
3.2.1. Festlegungen der Handlungsanleitung	12
3.2.2. Bewertung der Festlegungen der Handlungsanleitung	15
<b>4. Entsorgungskonzept bei Stilllegung und Abbau des KWO</b>	<b>17</b>
<b>4.1. Darstellung des Entsorgungskonzepts</b>	<b>17</b>
<b>4.2. Bewertung des Entsorgungskonzepts</b>	<b>17</b>
4.2.1. Plausibilität der geschätzten Massenströme	17
4.2.2. Alternativen einer Beseitigung auf der Deponie Buchen-Sansenhecken	18
<b>5. Messungen und Kontrollen bei der Freigabe zur Beseitigung bei Stilllegung und Abbau des KWO</b>	<b>23</b>
<b>5.1. Nuklidvektoren</b>	<b>23</b>
5.1.1. Nuklidvektoren für die Freigabe in KWO	24
5.1.2. Bewertung der Nuklidvektoren für die Freigabe in KWO	25
<b>5.2. Messungen und Messgeräte</b>	<b>27</b>
5.2.1. Beschreibung der Messungen und Messgeräte	27
5.2.2. Bewertung der Messungen und Messgeräte	29
<b>5.3. Behördliche Kontrollen</b>	<b>29</b>
5.3.1. Beschreibung der Kontrollmessungen	29

5.3.2.	Bewertung der Kontrollen	30
<b>5.4.</b>	<b>Dokumentation und Berichte</b>	<b>30</b>
5.4.1.	Beschreibung der Dokumentation	30
5.4.2.	Bewertung der Dokumentation	31
<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>32</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>33</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich von Freigabewerten der Richtlinie 2013/59/Euratom mit solchen der Strahlenschutzverordnung für die Radionuklide des Nuklidvektors des KWO (in Bq/g)	7
Tabelle 2:	Abfallschlüsselnummern nach /AVV 2012/	10
Tabelle 3:	Dosis durch Einzelnuclide über die einzelnen Expositionspfade unter den Randbedingungen der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg und der Deponie Buchen-Sansenhecken (in $\mu\text{Sv/a}$ )	16
Tabelle 4:	Vergleich der Massenströme bei den Entsorgungsoptionen beim Abbau von Kontrollbereichen von Kernkraftwerken in Deutschland und Frankreich	20
Tabelle 5:	Zulässige massenbezogene Aktivitätswerte zur Deponierung im „Centre de Morvilliers“ und deutsche Freigabewerte zur Beseitigung auf einer Deponie	21
Tabelle 6:	Vergleich von Freigabewerten für die uneingeschränkte Freigabe und für die Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie für die Radionuklide der Nuklidvektoren des KWO (in Bq/g)	22
Tabelle 7:	Im KWO für die Freigabe mit der Freimessanlage angewandte Nuklidvektoren	25
Tabelle 8:	Dosis über die einzelnen Expositionspfade unter den Randbedingungen der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg und der Deponie Buchen-Sansenhecken und Anwendung des Nuklidvektors für den Kontrollbereich (in $\mu\text{Sv/a}$ )	26
Tabelle 9:	Dosis über die einzelnen Expositionspfade unter den Randbedingungen der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg und der Deponie Buchen-Sansenhecken und Anwendung des Nuklidvektors für den Überwachungsbereich (in $\mu\text{Sv/a}$ )	26
Tabelle 10:	Relatives auf Co-60 bezogenes Ansprechvermögen der Freimessanlage RADOS RTM 644/nc für die bei Voruntersuchungen zur Herleitung der Nuklidvektoren im KWO nachgewiesenen Radionuklide	28



## 1. Einleitung

Der Ausstieg aus der Kernenergie im Rahmen der Energiewende bedingt die Stilllegung und den Rückbau von Kernkraftwerken als eine gemeinschaftliche Aufgabe. Beim Rückbau weist ein großer Teil des anfallenden Materials eine so geringe Kontamination mit radioaktiven Stoffen auf, dass er nach § 29 Strahlenschutzverordnung /StrlSchV 2001/ freigegeben werden kann. Im Falle des Kernkraftwerks Obrigheim (KWO) werden beispielsweise insgesamt etwa 3.000 Mg Abfälle erwartet, die überwiegend als Bauschutt vorliegen werden, und zur Beseitigung auf einer Deponie freigegeben werden können. Die entsorgungspflichtigen Deponiebetreiber in Baden-Württemberg sind gesetzlich verpflichtet, zur Beseitigung freigemessene Abfälle auf den Deponien anzunehmen und abzulagern. Bezogen auf das KWO ist die entsorgungspflichtige Deponie die Deponie der Abfallwirtschaftsgesellschaft des Neckar-Odenwald-Kreises mbH (AWN) in Buchen-Sansenecken.

In der Öffentlichkeit wird die Freigabe unter Verweis auf verbleibende radiologische Risiken teils kritisch gesehen. Die von Stilllegungsverfahren von Kernkraftwerken in Baden-Württemberg, neben KWO aktuell noch die Kernkraftwerke Neckarwestheim 1 (GKN 1) und Philippsburg 1 (KKP 1), sowie Rückbauprojekte am Standort des KIT in Karlsruhe betroffenen Landkreise haben unter dem Dach des Landkreistags Baden-Württemberg eine gemeinsame Handlungsanleitung zur Entsorgung von freigemessenen Abfällen auf Deponien entwickelt /Landkreistag BaWü 2015/. Darin sind Festlegungen getroffen, die eine weitere Reduzierung möglicher Risiken bewirken sollen.

Das Öko-Institut e.V. wurde von der AWN mit Arbeiten in Zusammenhang mit der Freigabe von Abfällen zur Deponierung auf der Deponie Buchen-Sansenecken beauftragt. Diese Arbeiten umfassen eine Stellungnahme zu konzeptionellen Fragen der Freigabe zur Beseitigung sowie spätere Kontrollen bei KWO. Die Stellungnahme wird hiermit vorgelegt. Sie gliedert sich wie folgt:

In Kapitel 2 werden die Grundzüge der Freigabe erläutert. Dies umfasst das zugrunde liegende „De minimis-Konzept“, dessen Umsetzung in Deutschland, die besonderen Aspekte der Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie sowie mögliche Konsequenzen bei der Umsetzung neuer Euratom-Grundnormen (Grundnormen des Strahlenschutzes in der Europäischen Union /Euratom 2014/).

In Kapitel 3 werden spezifische Regelungen bei der Freigabe von Abfällen aus dem Abbau des KWO zur Beseitigung auf der Deponie Buchen-Sansenecken untersucht und bewertet. Dies umfasst die Freigabebescheide einschließlich ihrer auch in weiteren Unterlagen (Betriebsanweisungen des KWO) verbindlich festgelegten Randbedingungen sowie die Handlungsanleitung des Landkreistages Baden-Württemberg.

In Kapitel 4 wird das Entsorgungskonzept dargestellt und bewertet. Im Vordergrund steht hier die Frage, ob es Alternativen zur Freigabe zur Beseitigung auf der Deponie Buchen-Sansenecken gibt. Alternativen könnten insbesondere eine Verwertung oder eine Beseitigung bei anderen Entsorgungsanlagen sein.

In Kapitel 5 wird auf die Messungen bei der Freigabe zur Beseitigung eingegangen. Dies umfasst die Ermittlung und Anwendung von Nuklidvektoren, die Messungen und Messgeräte, die im Rahmen der atomrechtlichen Aufsicht stattfindenden Kontrollen sowie die Dokumentation.

Kapitel 6 fasst die Ergebnisse der Untersuchungen zusammen.

## 2. Grundzüge des 10 µSv-Konzepts bei der Freigabe

Ein Kernkraftwerk besteht nach einigen Jahren Betrieb aus kontaminierten und nicht kontaminierten Stoffen und Raumbereichen. Alle Räume und Gegenstände, die zum Kontrollbereich gehören, werden zunächst als kontaminiert angesehen. Für die Unterscheidung, ob ein Reststoff als radioaktiver Abfall endzulagern ist oder weiterverwendet, wiederverwertet oder nach Kreislaufwirtschaftsgesetz konventionell entsorgt werden kann, sind durch die Strahlenschutzverordnung Freigabegrenzwerte festgelegt. Mit den Freigabewerten sollen nicht zu vernachlässigende radiologische Risiken für Personen der Bevölkerung ausgeschlossen werden.

In Kapitel 2.1 wird das der Freigabe zugrunde liegende „De minimis-Konzept“ sowie dessen Umsetzung in Deutschland in seinen Grundzügen dargestellt. Kapitel 2.2 geht auf die besonderen Aspekte der Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie ein. In Kapitel 2.3 werden mögliche Konsequenzen bei der Umsetzung neuer Euratom-Grundnormen (Grundnormen des Strahlenschutzes in der Europäischen Union /Euratom 2014/) behandelt.

### 2.1. Begründung und Umsetzung des 10 µSv-Konzepts

Das 10 µSv-Konzept (auch als De minimis-Konzept bezeichnet) ist ein Konzept zur Abgrenzung zwischen

- einerseits Abfällen, wiederverwertbaren Stoffen, weiterverwertbaren Stoffen, Gebäuden und Geländen, die aufgrund ihrer Kontamination mit Radionukliden einer besonderen Entsorgung bedürfen,
- von andererseits solchen, die konventionell entsorgt oder wieder- und weiterverwendet werden können.

Das Konzept basiert auf dem allgemeinen Rechtsprinzip, nach dem Bagatellen nicht in einer Norm geregelt werden („de minimis non curat lex“ - das Gesetz kümmert sich nicht um Kleinigkeiten). Das Konzept wurde von der Internationalen Atomenergieorganisation 1988 in seiner noch heute international praktizierten Form formuliert /IAEA 1988/.

Als Risiko, das keiner Regulierung mehr bedarf, wird im 10 µSv-Konzept ein jährliches individuelles Risiko in der Größenordnung von 1:10 Mio. pro Jahr angesehen. Mit international üblichen Risikoeffizienten (insbesondere dem „Detriment“ der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP) ergibt sich daraus eine Begrenzung der Dosis auf „einige 10 µSv im Jahr“.

Das Risiko bezieht sich auf das radiologische Risiko einer Person, die einer Dosis im Bereich von 10 µSv ausgesetzt ist. Bei der Herleitung der Freigabewerte wurden für verschiedene Freigabeoptionen und betroffene Personen abdeckende Expositionsszenarien definiert. Der niedrigste sich ergebende Konzentrationswert einer Freigabeoption ist in der Strahlenschutzverordnung als Freigabewert festgelegt. Falls dieser höher ist als die massenbezogene Freigrenze<sup>1</sup>, so wird der Wert der Freigrenze als Freigabewert angesetzt. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person überhaupt exponiert oder in dieser Höhe exponiert wird, ist in diesem Risiko noch nicht enthalten.

Das De-minimis-Konzept legt keine scharfen Risiko- und Dosiswerte fest, sondern lässt eine Überlagerung von Expositionen durch freigegebene Stoffe in gewissem Rahmen zu, da das Gesamtrisiko (aus Eintrittswahrscheinlichkeit des Szenarios und Risiko durch die erhaltene Dosis) von Expositionsüberlagerungen mit der Zahl solcher Überlagerungen deutlich geringer wird. Auch Ände-

<sup>1</sup> Bei Überschreitung der Freigrenzen unterliegen Tätigkeiten einer Überwachung gemäß Strahlenschutzverordnung. Durch die Begrenzung der Freigabewerte wird sichergestellt, dass ein späterer Umgang mit freigegebenen Stoffen nicht wieder eine Überwachungspflicht hervorruft.



rungen der wissenschaftlichen Erkenntnisse hinsichtlich des quantitativen Strahlenrisikos der vergangenen drei Jahrzehnte sind durch die „Unschärfe“ der Begrenzung auf „einige 10  $\mu\text{Sv}$  im Jahr“ abgedeckt. Da aufgrund des geringen Risikos kein Regelungsbedarf gesehen wird, ist eine Minimierung dieser geringen Risiken nicht gefordert.

Eine Dokumentation zur Herkunft der Freigabewerte für die verschiedenen Freigabeoptionen der Strahlenschutzverordnung findet sich in /SSK 2005/. Die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe fester Stoffe wurden zunächst getrennt abgeleitet /Deckert 1998, SSK 1998/ und erforderlichenfalls reduziert, wenn Modellierungen anderer Freigabeoptionen geringere Freigabewerte ergaben.

Die Richtlinie 96/29/Euratom /Euratom 1996/ hatte vorgegeben, dass die Kollektivdosis<sup>2</sup> durch alle Freigaben innerhalb eines Mitgliedsstaats der Europäischen Union die Höhe von 1 man Sv nicht übersteigen darf. Zur Überprüfung, ob dies auch in Zukunft eingehalten wird, wurde ein Modell entwickelt, das vom gleichzeitigen Rückbau einiger Kernkraftwerke in Deutschland ausging (auf der Basis der „Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen“ vom 14. Juni 2000, dem damaligen Ausstiegsbeschluss). Über mehrere Jahre wirkende Expositionen wurden unter Berücksichtigung der Halbwertszeit der entsprechenden Radionuklide für jedes Jahr mit eingerechnet. Insgesamt ergab sich eine maximale Kollektivdosis von 0,7 man Sv im Kalenderjahr.

Von der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) wird in der ICRP-Publikation 103 /ICRP 2007/ ein nomineller Wahrscheinlichkeitskoeffizient für detriment-adjustierte<sup>3</sup> Krebsrisiken von 0,055 pro Sievert für die Gesamtbevölkerung genannt. Bezogen auf die deutsche Gesamtbevölkerung und deren maximal erwartete Kollektivdosis von 0,7 man Sv in einem Kalenderjahr ergibt sich damit ein Risiko von 0,0385 im Kalenderjahr oder anders ausgedrückt, eine Wahrscheinlichkeit von 1:26, dass eine Person in Deutschland aufgrund der kollektiven Strahlenexposition durch alle Freigaben insgesamt zu Schaden kommt. Dies demonstriert, dass bei weitem nicht jede Person der Bevölkerung durch die Gesamtheit aller Freigaben im Bereich von 10  $\mu\text{Sv}$  im Jahr exponiert wird, denn eine Exposition der Gesamtbevölkerung mit 10  $\mu\text{Sv}$  pro Jahr und pro Person würde eine Kollektivdosis von etwa 800 man Sv bedeuten.

## 2.2. Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie

Werte für die Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie wurden 2001 in die deutsche Strahlenschutzverordnung /StrlSchV 2001/ aufgenommen. Sie basierten auf den Untersuchungen von Poschner und Schaller /Poschner 1995/ und der darauf aufbauenden Empfehlung der Strahlenschutzkommission /SSK 1998/. Der Modellierung hatte unter anderem die Annahme zugrunde gelegen, dass 100 Mg an zur Beseitigung freigegebenen Abfälle im Kalenderjahr auf einer Deponie eingelagert werden. Durch die Strahlenschutzverordnung war in 2001 aber keine Begrenzung der tatsächlichen in einem Kalenderjahr freigegebenen Masse festgelegt worden.

---

<sup>2</sup> Summe aller Individualdosen der exponierten Personen.

<sup>3</sup> Bei diesem Wahrscheinlichkeitskoeffizienten sind Krebsfälle, die nicht zum Tode führen, gewichtet mitberücksichtigt.

Aufgrund von zwei wesentlichen Änderungen der Randbedingungen wurden die Freigabewerte später überarbeitet:

- Durch Änderungen im Abfallrecht und durch Weiterentwicklung des technischen Standes der Deponietechnik ergaben sich bestimmte Anforderungen an weiterbetriebene und zukünftige Deponien und Entsorgungsanlagen sowie die damit verbundenen Arbeitsabläufe, die Einfluss auf die Dosisberechnung haben (insbesondere Bodenabdichtung, Abdeckung, Vorbehandlung der Abfälle). Festgeschrieben wurden solche Änderungen insbesondere in der Deponieverordnung /DepV 2009/. Auch die zu unterstellende Größe (Jahreskapazität) der Entsorgungsanlagen wurde neu bewertet.
- Außerdem wurde bei der jährlich angenommenen Masse freigegebener Abfälle, die einer einzelnen Entsorgungsanlage zugeführt wird, berücksichtigt, dass in Zukunft verstärkt Rückbauvorhaben mit großen Abfallströmen relevant werden können und durch die Modellierung abgedeckt sein sollen.

Es wurde daraufhin ein neuer Satz von Freigabewerten von der Strahlenschutzkommission empfohlen /SSK 2007/ und in die Strahlenschutzverordnung übernommen. Dabei wurden Freigabewerte für freigebbare Jahresmengen von bis zu 100 Mg/a und von 100 Mg/a bis zu 1000 Mg/a festgelegt. Die Jahresmengen beziehen sich dabei auf die Summe aller auf einer Deponie angenommenen zur Beseitigung freigegebenen Abfälle, auch wenn sie von verschiedenen Kernkraftwerken angeliefert werden. Die Regelung der Strahlenschutzverordnung zur erforderlichen Abstimmung zwischen den nach Atomrecht und nach Kreislaufwirtschaftsgesetz zuständigen Behörden stellt sicher, dass es durch die Beseitigung von freigegebenen Stoffen auf einer Deponie zu keinen vom De minimis-Konzept nicht mehr abgedeckten Dosen kommt.

Bei der Herleitung der Freigabewerte der SSK-Empfehlung /SSK 2007/ wurde unterstellt, dass über einen Zeitraum von 54 Jahren<sup>4</sup> in jedem Jahr die maximal zulässige Jahresmenge an freigegebenem Abfall (100 Mg bzw. 1.000 Mg) in den Deponiekörper eingebaut wird, beginnend beim minimalen Abstand von der Basisabdichtung. Der SSK-Empfehlung liegen, bezogen auf die Beseitigung auf einer Deponie, die folgenden Expositionsszenarien zugrunde:

- Transport der Abfälle (Exposition von Transportpersonal durch äußere Bestrahlung und Inhalation bei Transport der Abfälle und bei Ladevorgängen),
- mechanisch-biologische Behandlung<sup>5</sup> (Exposition von Personal der entsprechenden Anlage durch äußere Bestrahlung und Inhalation),
- Deponierung (Exposition von Deponiearbeitern durch äußere Bestrahlung und Staubinhalation bei der Abfertigung der Abfälle im Eingangsbereich sowie bei ihrem Einbau in den Deponiekörper),
- Übergang von Radionukliden in Sickerwasser der Deponie und anschließender Eintrag in eine Kläranlage (Exposition durch Deponierung, Verbrennung oder Verwertung des Klärschlammes zur Düngung in der Landwirtschaft),
- Eintrag von der Kläranlage in ein Oberflächengewässer,
- Übergang von Radionukliden in das Grundwasser nach Integritätsverlust der Basisabdichtung und Eintrag in einen Brunnen,

---

<sup>4</sup> Der Zeitraum von 54 Jahren wurde gewählt, um bei der angenommenen Deponiekapazität und Deponiefläche einen runden Wert der für die Modellierung entscheidenden vertikalen Wachstumsgeschwindigkeit des Deponiekörpers zu erreichen.

<sup>5</sup> Dieser Expositionspfad ist bei der hier untersuchten Deponierung in Buchen-Sansenhecken nicht relevant, da die anzuliefernden Abfälle keiner Vorbehandlung mehr bedürfen.

- Exposition von Personen der Bevölkerung über einen Eintrag von Radionukliden mit Sickerwasser über eine Kläranlage in Oberflächengewässer und über einen langfristigen Eintrag von Radionukliden durch die Barrieren ins Grundwasser aufgrund einer Verwendung des Wassers
  - als Trinkwasser,
  - als Beregnungswasser (Verzehr von beregneten Pflanzen und von Fleisch und Milch von auf beregneten Weideflächen gehaltenem Vieh),
  - zur Viehtränke (Verzehr von Fleisch und Milch),
  - zur Speisung eines Fischteichs (Verzehr von Fisch).

Es wird dabei sehr konservativ (d. h. sehr pessimistisch und die radiologischen Folgen überschätzend) davon ausgegangen, dass eine Person ihren gesamten Jahresbedarf (Mittelwert des Bedarfs in Deutschland) an Trinkwasser aus dem kontaminierten Oberflächengewässer oder Brunnen bezieht und ihren gesamten Jahresbedarf an Lebensmitteln von einer mit kontaminiertem Wasser beregneten Fläche bezieht. Beim Pfad Viehtränke wird unterstellt, dass das Vieh ausschließlich kontaminiertes Wasser erhält und die exponierte Person ihren Jahresbedarf an Fleisch und Milch über so getränktes Vieh deckt.

Da den Modellierungen der Werte für die Freigabe zur Beseitigung eine für begrenzte Zeit funktionsfähige Bodenabdichtung und eine Vermischung mit anderem Abfall auf der Deponie zugrunde liegt, legt die Strahlenschutzverordnung auch Anforderungen an die Deponie und ihre Kapazität<sup>6</sup> fest. Als Deponien für die Beseitigung freigegebener Stoffe sind demnach nur solche Entsorgungsanlagen geeignet, die mindestens den Anforderungen der Deponieklassen nach § 2 Nr. 7 bis 10 der Deponieverordnung (das sind die Deponieklassen I bis IV, die eine Basisabdichtung aufweisen) und eine Jahreskapazität von mindestens 10.000 Mg im Kalenderjahr oder 7.600 Kubikmeter im Kalenderjahr für die eingelagerte Menge von Abfällen, gemittelt über die letzten drei Jahre, aufweisen. Durch diese Regelungen kommen in Verbindung mit der Deponieverordnung Anforderungen an Aufbau und Qualität der geologischen Barriere und des Basisabdichtungssystems zum Tragen, die über die der Modellierung bei der Herleitung der entsprechenden Freigabewerte angesetzten Parameter hinausgehen.

Weitere wichtige Festlegungen der Strahlenschutzverordnung gemäß § 29 StrlSchV sind:

- Eine Freigabe zur Beseitigung setzt voraus, dass die Stoffe auf einer Deponie abgelagert oder eingebaut werden. Eine Verwertung oder Wiederverwendung außerhalb einer Deponie sowie der Wiedereintritt der Stoffe in den Wirtschaftskreislauf muss ausgeschlossen sein. Hierzu sind bestimmte Nachweise zu erbringen.
- Falls der zuständigen Behörde Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass am Standort der Entsorgungsanlage für Einzelpersonen der Bevölkerung eine effektive Dosis im Bereich von 10  $\mu$ Sv im Kalenderjahr überschritten wird, darf von den in der Strahlenschutzverordnung tabellierten Freigabewerten kein Gebrauch gemacht werden, sondern es ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich.
- Die Voraussetzungen für die Freigabe dürfen nicht zielgerichtet durch Vermischen oder Verdünnen herbeigeführt, veranlasst oder ermöglicht werden.

---

<sup>6</sup> Die Festlegung einer Mindestkapazität bedeutet nicht, dass der freigegebene Abfall physikalisch mit anderem Abfall zur Einhaltung des 10  $\mu$ Sv-Konzepts vermischt werden muss. Die Festlegung dient im Wesentlichen dazu, dass z. B. die angenommene Zeit, über die einzelne Personen auf der Deponie ausschließlich mit freigegebenem Abfall umgehen, begrenzt bleibt.

### 2.3. Neue Euratom-Grundnormen

Am 05.12.2013 wurden die neuen Euratom-Grundnormen (Richtlinie 2013/59/Euratom) /Euratom 2014/ verabschiedet und am 17.01.2014 im Amtsblatt der Europäischen Union bekannt gemacht. Die Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, die Richtlinie bis 6. Februar 2018 in nationales Recht umzusetzen. Mit der Richtlinie 2013/59/Euratom werden fünf frühere Richtlinien (89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom) mit dem Ziel der Vereinheitlichung der Regelungen zum Strahlenschutz in allen Expositionssituationen<sup>7</sup> zusammengefasst.

Mit der Richtlinie 2013/59/Euratom werden neue Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe vorgegeben. Durch die bisherige Richtlinie 96/29/Euratom /Euratom 1996/ war lediglich festgelegt worden, dass bei der Freigabe das 10 µSv-Konzept anzuwenden ist.

Freigabewerte für bestimmte Freigabeoptionen, wie der Beseitigung auf einer Deponie, können von den Mitgliedsstaaten aber zusätzlich festgelegt werden. In Deutschland ist daher geplant, die Freigabewerte der Richtlinie 2013/59/Euratom als neue Werte für die uneingeschränkte Freigabe fester Stoffe in die Strahlenschutzverordnung zu übernehmen und die Freigabewerte für die übrigen Freigabeoptionen beizubehalten.

Bei der Herleitung von Freigabewerten werden in der Regel komplexe radiologische Modelle verwendet, in die eine Vielzahl von Annahmen zu den freizugebenden Stoffen, zum Stoffkreislauf, zum Verhalten der exponierten Personen usw. eingehen. In der Stellungnahme /SSK 2005/ der Strahlenschutzkommission wurden für ausgewählte Radionuklide Freigabekriterien verschiedener Länder miteinander verglichen. Als Bewertungsmaßstab des Vergleichs wurde festgestellt: *„Werden – wie bei den meisten Berechnungen von Freigabewerten - einige Dutzend Einzelschritte unter ganz unterschiedlichen Randbedingungen zweier unterschiedlicher Länder modelliert, kann es bereits als gute Übereinstimmung gewertet werden, wenn zwei Ergebnisse für dasselbe Nuklid sich um weniger als eine Größenordnung unterscheiden.“* /SSK 2005, S. 8/

In Tabelle 1 sind die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe gemäß Richtlinie 2013/59/Euratom, bezogen auf unbegrenzte Materialmengen<sup>8</sup>, für die im Nuklidvektor<sup>9</sup> des KWO bei Abfällen zur Beseitigung auf einer Deponie enthaltenen Radionuklide denen der Strahlenschutzverordnung gegenüber gestellt.

<sup>7</sup> Die Expositionssituationen bedeuten hier: Expositionssituationen durch geplante Tätigkeiten, im Notfall (also bei schweren Unfällen) und durch existierende Situationen.

<sup>8</sup> Für „geringe Materialmengen“ gelten deutlich höhere Konzentrationswerte aber zusätzlich Beschränkungen der Gesamtaktivität.

<sup>9</sup> Zum Nuklidvektor des KWO siehe Kapitel 5.1.1.

**Tabelle 1: Vergleich von Freigabewerten der Richtlinie 2013/59/Euratom mit solchen der Strahlenschutzverordnung für die Radionuklide des Nuklidvektors des KWO (in Bq/g)**

Radio-nuklid	uneingeschränkte Freigabe fester Stoffe		Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie nach Strahlenschutzverordnung	
	Richtlinie 2013/59/Euratom	Strahlenschutzverordnung	bis 100 Mg/a	bis 1.000 Mg/a
Fe-55	1.000	200	10.000	7.000
Co-60	0,1	0,1	6	2
Ni-63	100	300	10.000	1.000
Ag-108m	nicht festgelegt	0,1	1	1
Cs-137	0,1	0,5	10	8
U-238+	nicht festgelegt	0,4	6	0,6
Am-241	0,1	0,05	1	1

U-238+: einschließlich der Folgeprodukte Th-234, Pa-234m und Pa-234

Tabelle 1 zeigt, dass sich für die im Nuklidvektor des KWO bei Abfällen zur Beseitigung auf einer Deponie enthaltenen Radionuklide bezüglich der uneingeschränkten Freigabe fester Stoffe zwischen den Werten der Richtlinie 2013/59/Euratom und der Strahlenschutzverordnung Unterschiede von maximal einem Faktor 5 ergeben. Abweichungen dieser Größe sind mit dem „10 µSv-Konzept“ vereinbar und aufgrund unterschiedlicher Herleitungen der Werte verständlich. Es kann aufgrund der Unschärfen und der Konservativität der Modellierungen aus solchen Abweichungen insbesondere nicht der Schluss gezogen werden, beim jeweils höheren Wert würde eine Dosis von 10 µSv/a real überschritten.

Bislang ist davon auszugehen, dass sich durch die Richtlinie 2013/59/Euratom keine Änderungen hinsichtlich des Vorgehens bei der Freigabe zur Beseitigung oder bei den dabei anzuwendenden Freigabewerten ergeben.

#### 2.4. Zusammenfassende Schlussfolgerungen hinsichtlich der Risiken bei der Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie

Das 10 µSv-Konzept begrenzt mögliche Risiken von Personen der Bevölkerung auf ein sehr niedriges Niveau.

Die Herleitung der Freigabewerte für die Beseitigung auf einer Deponie enthält insbesondere hinsichtlich der Exposition von Personen der Bevölkerung, die keinen beruflichen Umgang mit den Abfällen haben, sehr konservative Elemente. Eine Strahlenexposition solcher Personen ist nur dann tatsächlich möglich,

- wenn Sickerwasser der Deponie in eine Kläranlage gelangt, deren Klärschlamm zur Düngung landwirtschaftlicher Flächen herangezogen wird,
- wenn Sickerwasser in Oberflächenwasser gelangt oder ein Brunnen in Grundwasserfließrichtung nahe der Deponie angelegt wird und solches Wasser als Trinkwasser, Beregnungswas-

ser, als Wasser zur Viehtränke oder als Wasser zur Speisung eines Fischteichs genutzt wird, und

- wenn eine Person ausschließlich solches Wasser trinkt, ausschließlich Lebensmittel der damit berechneten Flächen verzehrt, ausschließlich Milch und Fleisch von damit getränktem Vieh verzehrt und ausschließlich Süßwasserfisch aus einem damit gespeisten Teich verzehrt.

(Unter der ausschließlichen Ernährung ist hier ein Konsum in Höhe der Mittelwerte in Deutschland für die einzelnen Lebensmittelarten zu verstehen.)

Auch wenn neben konservativen Einzelparametern auch realistische Einzelparameter verwendet wurden, ist insgesamt durch die getroffenen Annahmen von einem konservativen Ergebnis auszugehen.

Es ist darüber hinaus festzustellen, dass viele in den Berechnungsverfahren berücksichtigte Radionuklide bei realem Austrag aus einer Deponie zu einzelnen Expositionspfaden keinen Beitrag bringen würden, insbesondere nicht zum Brunnenpfad, wenn sie vor einem Eintrag in den Brunnen abgeklungen sind (z. B. Sr-90).

### 3. Spezifische Regelungen bei der Freigabe von Abfällen aus dem Abbau des KWO zur Beseitigung auf einer Deponie

Im folgenden Kapitel werden spezifische Regelungen bei der Freigabe von Abfällen aus dem Abbau des KWO zur Beseitigung auf einer Deponie untersucht und bewertet. Dies umfasst die Freigabebescheide und damit verknüpfte Festlegungen (Kapitel 3.1) sowie die Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg (Kapitel 3.2).

#### 3.1. Freigabebescheide

##### 3.1.1. Überblick über die Freigabebescheide

Für die Freigabe wurden verschiedene separate Bescheide mit Nebenbestimmungen durch das Umweltministerium Baden-Württemberg erteilt. Für die Freigabe zur Beseitigung von Abfällen des KWO liegen die folgenden Bescheide in chronologischer Reihenfolge vor:

- Bescheid Nr. E 06/2006 zur Freigabe von Mineralfaserabfällen, Bauschutt und Metallschrott aus dem KWO zur Deponierung auf der Deponie Sansenhecken vom 24.5.2007, Az.: 35-4643.17-4 6/06,
- 1. Bescheid zur Änderung der Freigabe Nr. E 06/2006 (Erweiterung hinsichtlich der Verbrennung im Müllheizkraftwerk Mannheim für Material des Abfallschlüssels 19 12 12 nach der Abfallverzeichnis-Verordnung /AVV 2012/) vom 16.11.2007, Az.: 35-4643.17-4 6/06,
- 2. Bescheid zur Änderung der Freigabe Nr. E 06/2006 (Erweiterung hinsichtlich der Beseitigung beim Abfallentsorgungszentrum Sinsheim für Material der Abfallschlüssel 17 01 06, 17 01 07, 17 04 07, 17 06 03 und 17 06 05) vom 12.1.2009, Az.: 35-4643.17-4 6/06.

Der Bescheid Nr. E 06/2006 soll durch einen neuen Bescheid ersetzt werden. Ein beurteilbarer Entwurf liegt derzeit aber noch nicht vor.

##### Erläuterung der Abfallschlüssel

Die ersten beiden Ziffern der Abfallschlüsselnummer bezeichnen die Herkunft der Abfälle. Dabei bedeuten

- 17: Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten) und
- 19: Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke.

Die einzelnen im Freigabebescheid und seinen Änderungen genannten Abfallschlüssel sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

**Tabelle 2: Abfallschlüsselnummern nach /AVV 2012/**

Abfallschlüssel	Abfallbezeichnung
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten
17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen
17 04 07	gemischte Metalle
17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält
17 06 05*	asbesthaltige Baustoffe
19 12 12	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 <sup>#</sup> fallen

<sup>#</sup> sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen, die gefährliche Stoffe enthalten

Was unter „gefährlichen Stoffen“ zu verstehen ist, ist in /AVV 2012/ im Detail festgelegt.

### 3.1.2. Festlegungen der Freigabebescheide

Wesentliche Festlegungen des Bescheids Nr. E 06/2006 mit seinen beiden Änderungsbescheiden im Hinblick auf die Beseitigung auf der Deponie Sansenhecken sind:

- Für die freizugebenden Stoffe sind die Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 9 StrlSchV und sofern eine feste Oberfläche vorhanden ist, an der eine Kontaminationsmessung möglich ist, die Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 StrlSchV einzuhalten.
- Für Stoffe mit fester und messbarer Oberfläche, die in einem verpackten Zustand an die Entsorgungsanlage geliefert und dort auch nur in diesem Zustand gehandhabt und deponiert werden, ist kein Nachweis über die Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination erforderlich.
- Die Mittelungsfläche bei Freimessungen mittels der Freimessanlage darf bis zu 5 m<sup>2</sup> betragen, bei Freimessungen mittels In-situ-Gammaspektrometrie bis zu 20 m<sup>2</sup>. Dies gilt bei Einhaltung bestimmter Randbedingungen. Diese ergeben sich durch die im Bescheid unter den Entscheidungsgrundlagen angeführte Betriebsanweisung BA Nr. 2004/02 „Mess- und Verfahrensvorschrift zur uneingeschränkten und zur zweckgerichteten Freigabe nach § 29 StrlSchV“ /EnKK 2012/.
- Sollten vom durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde eingeschalteten Sachverständigen Abweichungen z. B. gegenüber den Freigabewerten, dem Freigabeverfahren oder den Antragsunterlagen festgestellt werden, darf bis zur Entscheidung durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde keine Verwertung oder Weitergabe an Dritte erfolgen.
- Die jährlichen Mitteilungen nach § 70 Abs. 2 StrlSchV an das Umweltministerium Baden-Württemberg müssen bis spätestens 30. April des Folgejahres erfolgen. Diese umfassen die Masse der freigegebenen Stoffe unter Angabe der Freigabeoption sowie im Falle der Freigabe zur Beseitigung die Angabe des tatsächlichen Verbleibs.



### 3.1.3. Bewertung der Regelungen der Freigabebescheide

Bewertungsmaßstab der Regelungen der Freigabebescheide ist die Einhaltung der Vorgaben der Strahlenschutzverordnung sowie die Einhaltung des 10 µSv-Konzepts.

Die Regelungen der Freigabebescheide legen die Freigabewerte auf dem Stand der Strahlenschutzverordnung zum Zeitpunkt der Erteilung der Freigabebescheide fest. Der Bescheid vom 24.5.2007 unterscheidet nicht zwischen Massen von bis zu 100 Mg/a und bis zu 1.000 Mg/a, die auf einer Deponie beseitigt werden, da diese Unterscheidung 2007 in der Strahlenschutzverordnung noch nicht getroffen worden war. Dies trifft ebenfalls für die beiden Änderungsbescheide zu. Mit der beantragten weiteren Änderung und einem neuen Freigabebescheid, der den Bescheid Nr. E 06/2006 ersetzen soll, würden auch die neuen Freigabewerte für die zweckgerichtete Beseitigung mit der Unterscheidung von Deponierung und Verbrennung sowie zwischen Massen von bis zu 100 Mg/a und bis zu 1.000 Mg/a in die Regelungen aufgenommen. In der Betriebsanweisung /EnKK 2012/ ist die aktuelle Fassung der Strahlenschutzverordnung bereits umgesetzt.

Es sind besondere Regelungen hinsichtlich der Einhaltung von Werten der Oberflächenkontamination sowie von Mittelungsflächen getroffen. Formal sind solche Abweichungen von in der Strahlenschutzverordnung genannten Anforderungen zulässig, da § 29 StrlSchV besagt, dass die Behörde von der Einhaltung der Dosis von 10 µSv im Kalenderjahr ausgehen kann, wenn die Freigabewerte sowie weitere genannte Festlegungen eingehalten sind. Wird von den Freigabewerten oder weiteren Festlegungen der Strahlenschutzverordnung abgewichen, so muss sich die Behörde überzeugt haben, dass eine Dosis von 10 µSv im Kalenderjahr eingehalten wird.

Der Nachweis der Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination ist gemäß Freigabebescheid nur dann nicht erforderlich, wenn Stoffe in einem verpackten Zustand an die Entsorgungsanlage geliefert und dort auch nur in diesem Zustand gehandhabt und deponiert werden. In diesem Fall ist eine Verschleppung, Inhalation oder Ingestion von oberflächlich anhaftenden Radionukliden ausgeschlossen, so dass der Einhaltung der Werte der Oberflächenkontamination zusätzlich zur Einhaltung der massenbezogenen Freigabewerte keine radiologische Bedeutung zukommt.

Die Mittelungsfläche bei Freimessungen mittels der Freimessanlage darf bis zu 5 m<sup>2</sup> betragen, bei Freimessungen mittels In-situ-Gammaspektrometrie (Verfahren zur Ausmessung von Gebäudeoberflächen/Bodenflächen ohne Entnahme des auszumessenden Materials) bis zu 20 m<sup>2</sup>, wenn bestimmte Randbedingungen eingehalten sind. Diese Randbedingungen sind dem Freigabebescheid nicht unmittelbar zu entnehmen, sondern einer im Freigabebescheid genannten Betriebsanweisung /EnKK 2012/, die ebenfalls verbindlich ist. In Abschnitt 7 dieser Betriebsanweisung ist festgelegt, unter welchen Randbedingungen eine Mittelungsfläche von mehr als 1 m<sup>2</sup> zugelassen wird. Diese Randbedingungen sind insbesondere:

- Es müssen zusätzliche Informationen durch radiologische Stichprobenmessungen vorliegen.
- Es muss eine homogene Aktivitätsverteilung sowie ein vernachlässigbares Ausmaß an Störstellen<sup>10</sup> vorliegen.
- Mittelungsflächen von mehr als 5 m<sup>2</sup> sind nur zulässig bei Freimessungen mittels In-situ-Gammaspektrometrie (nicht mittels Freimessanlage).
- Es wird detailliert festgelegt, wie die Anzahl notwendiger Stichproben zu ermitteln ist. Je größer die Mittelungsfläche, je inhomogener die Aktivitätsverteilung und je größer der Einfluss durch Störstellen, desto größer die notwendige Anzahl an Stichproben.

---

<sup>10</sup> Störstellen sind Bereiche, die auf Grund ihrer Struktur eine erhöhte Kontaminationswahrscheinlichkeit aufweisen und/oder die bei den Stichprobenmessungen nur eingeschränkt erfasst werden.

Ein solches Konzept der Anwendung höherer Mittelungsflächen bei Freimessungen mittels In-situ-Gammaspektrometrie ist in /Naber 2007/ durch Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des damaligen Forschungszentrums Karlsruhe, des Umweltministeriums Baden-Württemberg, der TÜV SÜD Energietechnik GmbH Baden-Württemberg sowie der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungs-GmbH entwickelt worden. Die Randbedingungen sind dabei so festgelegt, dass durch die größere Mittelungsfläche keine höhere Dosis zustande kommen kann. Die Regelungen des Freigabebescheids entsprechen daher dem 10 µSv-Konzept. Dies wurde auch durch die Stellungnahme /TÜV SÜD 2007/ bestätigt.

Die speziellen Regelungen bei Anwendung von Mittelungsflächen von mehr als 1 m<sup>2</sup> sind dem bisherigen Bescheid Nr. E 06/2006 nicht zu entnehmen. Dies hat in der Öffentlichkeit zu Irritationen geführt, da der Bescheid von dritter Seite publik gemacht wurde und konstatiert wurde, dieser verstoße gegen die Strahlenschutzverordnung. In einem neuen Freigabebescheid sollte daher ausführlicher begründet werden, warum diese Abweichungen gegenüber Standardregelungen der Strahlenschutzverordnung mit dieser und dem 10 µSv-Konzept in Einklang stehen.

### **3.2. Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg zur Entsorgung von freigemessenen Abfällen auf Deponien**

In der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg zur Entsorgung von freigemessenen Abfällen auf Deponien in Baden-Württemberg /Landkreistag BaWü 2015/ sind Festlegungen getroffen, die zum einen eine weitere Reduzierung möglicher Risiken bewirken sollen und zum anderen sicherstellen sollen, dass auf einer Deponie nur Material angenommen wird, das den Bedingungen der Freigabebescheide entspricht. Zur Einhaltung des 10 µSv-Konzepts wären diese zusätzlichen Schutzmaßnahmen auf der Deponie nicht erforderlich, sondern hierzu wäre bereits die Einhaltung der Freigabewerte hinreichend. Nach einer angemessenen Erprobungsphase der Anwendung der Handlungsanleitung soll diese überprüft werden.

#### **3.2.1. Festlegungen der Handlungsanleitung**

Die Handlungsanleitung bezieht sich auf die Entsorgung aller Abfälle, die für die Beseitigung auf Deponien freigemessen und zugelassen sind. Darunter fallen auch Abfälle aus dem Rückbau von Forschungsreaktoren und Abfälle aus Einrichtungen, die Umgang mit nuklearem Material haben. Erklärtes Ziel der kommunalen Deponiebetreiber ist es, beim Umgang mit freigemessenen Abfällen auf den Deponien dem Bevölkerungs-, Umwelt- und Arbeitsschutz auf höchstem Niveau Rechnung zu tragen.

Durch die Handlungsanleitung werden zur weiteren Reduzierung möglicher Strahlenexpositionen die folgenden Maßnahmen genannt, die nicht bereits durch die Strahlenschutzverordnung oder die Freigabebescheide gefordert werden und zur bloßen Einhaltung des 10 µSv-Konzepts nicht erforderlich sind:

- Es soll eine Konzentration der Anlieferungen in Abstimmung mit dem Abfallerzeuger auf Zeitfenster von jeweils wenigen Tagen im Jahr erfolgen. Hierdurch soll erreicht werden, dass der Abfall beim Einbau auf einen kleinflächigen Einbauort konzentriert (kein flächiger Einbau auf der Deponie) und der Einbauort innerhalb kürzester Zeit nach der Anlieferung abgedeckt werden kann.
- Zur Staubminderung sind Anlieferungen von Massenabfällen, wie z. B. Bauschutt, grundsätzlich in verschlossenen Big-Bags vorzunehmen. Auf die Anlieferung in loser Schüttung sollte verzichtet werden. Stückige Abfälle, z. B. große Metallteile, sind in reißfester Folienverpa-

ckung, staubdicht abgeklebt, anzuliefern. Betonteile, die zu groß für die Verpackung in Big-Bags oder reißfesten Folien sind, können von anhaftendem Staub gereinigt unverpackt angeliefert werden, soweit sie die Annahmekriterien der jeweiligen Deponie erfüllen. Eine Freisetzung von Stäuben, die inhaliert werden könnten, soll mit diesen Maßnahmen vermieden werden.

- Der Einbau der Abfälle sollte unmittelbar nach der Anlieferung erfolgen, um eine "ungeschützte" Zwischenlagerung im Freien zu vermeiden. Durch unmittelbaren Einbau wird auch der Kontakt mit Niederschlagswasser bei Regenereignissen minimiert. Ein mehrfacher Umschlag der Abfälle auf der Deponie sowie eine weitere Bearbeitung sollte vermieden werden.
- Ein Einbau in Deponieabschnitte, in die vor dem 01.06.2005 noch organische Abfälle eingebaut wurden, ist nicht möglich. In diesen Abschnitten finden noch organische Abbauprozesse der abgelagerten Abfälle und Deponiegasbildung statt.
- Der Abfall ist nach Ende des Einbaus des für das jeweilige Zeitfenster angemeldeten Entsorgungsloses mit einem geeigneten Abfall (z. B. Bauschutt, Gießereisand, Erdaushub) abzudecken. Damit soll die Zugänglichkeit zum Abfall und die bewusste oder unbewusste Entnahme verhindert werden.
- Der Einbauort der Abfälle ist zu dokumentieren, um einen späteren Eingriff in diesen Bereich, z. B. im Zuge von Deponierückbaumaßnahmen, zu vermeiden.
- Die Schutzausrüstung für das Personal der Deponien hat nach den einschlägigen Gesetzen des Arbeitsschutzes und den Regelungen der jeweiligen Deponie zu erfolgen.

Bislang wird von den von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde zugezogenen Sachverständigen die Messdokumentation der Freigabemessungen vollständig überprüft und 10 % der Messungen mit eigenen Messgeräten oder Messgeräten des Betreibers kontrolliert. Zur Kontrolle des Aktivitätsgehalts und der Anlieferungen an eine Deponie, werden in der Handlungsanleitung die folgenden zusätzlichen Maßnahmen genannt, die auch zur weiteren Vertrauensbildung in der Öffentlichkeit und zu größtmöglicher Transparenz beitragen sollen:

- Die atomrechtliche Aufsichtsbehörde beauftragt ihre hinzugezogenen Sachverständigen nicht nur mit Stichproben der Freigabemessungen, sondern mit einer vollständigen Überprüfung. Wird zur Kontrolle der vom Anlagenbetreiber durchgeführten Freimessungen der einzelnen Chargen ein Bildaufzeichnungssystem eingesetzt, so erfolgt die vollständige Überprüfung der Freimessung der einzelnen Chargen mittels des Bildaufzeichnungssystems.
- Im Rahmen der vollständigen Überprüfung von Gebinden, deren Strahlungsaktivität aus technischen Gründen nicht in einer Freimessanlage bestimmt wird bzw. die nicht mittels Bildaufzeichnungssystem erfasst werden (i.d.R. Sondermessungen, z. T. mit zahlreichen Messpunkten), wird - zusätzlich zu der 100 %-Kontrolle der gesamten Messdokumentation - von dem von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde beauftragten Sachverständigen eine vollständige Identifizierung der laut Aufstellung bzw. Bestandsliste vorliegenden Gebinde sowie eine Überprüfung der Zuordnung von Messprotokollen zu den einzelnen Gebinden durchgeführt. Diese Gebinde werden von dem von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde beauftragten Sachverständigen zusätzlich in der Form messtechnisch kontrolliert, dass für jedes Gebinde eine Aussage getroffen werden kann, dass die Messwerte, die der Betreiber vorgelegt hat, plausibel sind. Soweit technisch möglich (z. B. In-situ-Messung an Kleingebinden), werden mehrere Gebinde in einer Messung zusammen bewertet. Andernfalls erfolgt eine messtechnische Kontrolle des Einzelgebindes durch eine eigene Messung des von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde beauftragten Sachverständigen.

- Die im vorangehenden Spiegeltext beschriebene Verfahrensweise findet auch auf Gebinde und Chargen Anwendung, die vor der Veröffentlichung der Handlungsanleitung freigemessen wurden und noch nicht auf einer Deponie zur Beseitigung angenommen worden sind.
- Die freigemessenen Abfälle werden beim Betreiber durch den von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde beauftragten Sachverständigen in geeigneten Behältnissen verplombt und für den weiteren Transport zur Deponie gelagert. Der von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde beauftragte Sachverständige verplombt ferner auch den Ladungsträger für den Transport der einzelnen Behältnisse zur Deponie. Soweit aus technischen Gründen eine Verplombung ausnahmsweise nicht durchführbar ist, wird eine gleichwertige Lösung vorgesehen.
- Ergänzend geben die Abfallerzeuger einem Vertreter der Deponiebetreiber die Möglichkeit, sich vom ordnungsgemäßen Ablauf der Bereitstellung der Abfälle zu überzeugen. Die Deponiebetreiber haben damit auch die Möglichkeit, zur stichprobeweisen Kontrolle der vom Abfallerzeuger durchgeführten Freimessung der einzelnen Chargen einen eigenen Sachverständigen zu beauftragen. Diese stichprobenartige Kontrolle ist auch bei Gebinden und Chargen möglich, die vor der Veröffentlichung der Handlungsanleitung freigemessen wurden und noch nicht auf einer Deponie zur Beseitigung angenommen worden sind.
- Der vom Deponiebetreiber beauftragte Sachverständige kann, sofern dies vom Deponiebetreiber gefordert wird, auch die Verplombung des Anliefercontainers der zur Entsorgung auf der Deponie vorgesehenen Chargen begleiten und die ordnungsgemäße Verplombung (sofern eine Anlieferung in Behältnissen und nicht als "Stückgut" erfolgt) sowie die Übereinstimmung der vom Abfallerzeuger vorzulegenden Dokumente mit dem Inhalt des verplombten Anliefercontainers testieren. Nur unversehrt verplombte Abfälle dürfen auf dem Betriebsgelände des Abfallerzeugers verladen und vom Deponiebetreiber angenommen werden.
- Alle Anlieferungen sind von Seiten des Deponiebetreibers einer Plausibilitätsprüfung anhand von Dokumenten zu unterziehen. Zu diesen Dokumenten zählen insbesondere:
  - die Chargenanmeldung(en) (Dokumentationsblatt zur Entlassung von Material mit geringer/ohne Radioaktivität aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes),
  - chargenspezifische Bestandslisten,
  - Zustimmung der zuständigen Behörde zur Abgabe an die Deponie auf dem Formblatt zur zweckgerichteten Freigabe; diese kann u. U. erst unmittelbar von der Anlieferung auf der Deponie vorliegen,
  - die nach der Deponieverordnung und der jeweiligen Abfallwirtschaftssatzung des zuständigen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers für die Entsorgung von Abfällen erforderlichen Nachweise.

### 3.2.2. Bewertung der Festlegungen der Handlungsanleitung

Das 10 µSv-Konzept wird bei Einhaltung der Regelungen des Freigabebescheids eingehalten. Eine Kontrolle erfolgt bereits im Auftrag der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde durch einen Sachverständigen. Die Festlegungen der Handlungsanleitung sind dahingehend zu bewerten,

- ob sie die tatsächliche Dosis weiter reduzieren und
- ob sie die Sicherheit, dass die Regelungen des Freigabebescheids eingehalten sind, erhöhen.

Die grundsätzliche Anlieferung in verschlossenen Big-Bags oder in sonstiger reißfester Verpackung oder in von anhaftendem Staub gereinigtem Zustand vermeidet eine unnötige Freisetzung von Stäuben. Dies vermeidet die mögliche Dosis von Beschäftigten im Eingangsbereich und beim Einbau auf der Deponie durch Inhalation.

Im Hinblick auf einen Eintrag von Radionukliden in das Sickerwasser ergibt sich ebenfalls eine weitgehende Vermeidung eines solchen Eintrags durch die Verpackung von Abfällen, außerdem durch den schnellen Einbau der Abfälle. Langfristig kann dagegen nicht von einer festen Umschließung durch die Verpackung ausgegangen werden, so dass keine zusätzliche rückhaltende Wirkung im Hinblick auf den Eintrag in das Grundwasser und das Wasser eines in Grundwasserfließrichtung in der Nähe angelegten Brunnens unterstellt werden kann.

Die geforderten zusätzlichen Kontrollen durch von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde beauftragte Sachverständige, die neben der vollständigen Kontrolle der Dokumentation nun auch eine vollständige eigene Bewertung der freigegebenen Stoffe beinhalten, verhindern soweit als möglich eine Freigabe von Stoffen, die nicht den Anforderungen genügen. Die Verplombung sowie die möglichen Kontrollen durch vom Deponiebetreiber beauftragte Sachverständige stellen sicher, dass nur die freigemessenen und kontrollierten Abfälle zur Deponie gebracht werden.

Insgesamt trägt ein Vorgehen entsprechend der Handlungsanleitung dazu bei, Risiken für Beschäftigte der Deponien sowie für Anwohner der Deponien soweit als sinnvoll möglich zu reduzieren. Das Maß der Reduzierung hängt vom Radionuklid und dem Expositionsszenario ab. So wird beispielsweise bei einem Radionuklid, das wenig zu äußerer Bestrahlung beiträgt, aber über die Inhalation relevant ist, eine Dosis für Personen auf der Deponie vollständig vermieden, da diese nur über die Inhalation von freigesetzten Stäuben möglich wäre.

In Tabelle 3 sind die unter sonst gleichen Randbedingungen gegenüber /SSK 2007/ möglichen Strahlenexpositionen für die hier relevanten Radionuklide (Radionuklide der Nuklidvektoren des KWO) aufgelistet, wenn die Regelungen der Handlungsanleitung dosisreduzierend wirksam sind. Die Dosen in Tabelle 3 beziehen sich auf die Einzelnuclide; zu deren Beiträgen im Nuklidvektor siehe Tabelle 8. Zu den Reduzierungen zählen die Vermeidung der Dosis durch Inhalation und eine wesentliche Rückhaltung gegenüber dem Eintrag in das Sickerwasser (hier angesetzt mit einem Faktor 10) durch die Verpackung über den Zeitraum, über den noch eine Sickerwasserfassung existiert. Diese Rückhaltung ist dann wirksam hinsichtlich der Pfade Oberflächenwassernutzung und Klärschlammnutzung, nicht aber hinsichtlich des Pfades Grundwasserbrunnennutzung.

Außerdem wurde die Rundung der Werte in der Strahlenschutzverordnung gegenüber den in /SSK 2007/ hergeleiteten Werten sowie die Deponieklasse der Deponie Buchen-Sansenhecken berücksichtigt.

**Tabelle 3: Dosis durch Einzelnuclide über die einzelnen Expositionspfade unter den Randbedingungen der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg und der Deponie Buchen-Sansenhecken (in  $\mu\text{Sv/a}$ )**

Radio-nuklid	T	D-E	MBV	D-A	OWN	KN	BN	Maximum	
								Beschäftigte	Bevölke- rung
Co-60	8,5	4,3	0	10,8	0,02	0,01	0	10,8	0,02
Fe-55	0	0	0	0	1	0,08	0	0	1
Ni-63	0	0	0	0	0,3	0,6	10	0	10
Ag-108m	2,3	1,2	0	3,6	0,28	0,92	4,8	3,6	0,92
Cs-137	6,8	3,4	0	10	0,21	0,35	0,002	10	0,35
U-238	0,014	0,007	0	0,025	0,02	0,02	10	0,025	10
Am-241	0,0009	0,0007	0	0,017	0,003	0,0008	3,2	0,017	3,2

*Hinweis: Die Dosen beziehen sich auf die Ausschöpfung des Freibewerts jeweils durch ein einziges Radionuklid. Da dann kein weiteres Radionuklid mehr enthalten sein darf, dürfen die Dosiswerte der Tabelle nicht über die Spalten addiert werden.*

- T: Beschäftigte/Transport
- D-E: Beschäftigte/Deponie – Eingangsbereich
- MBV: Beschäftigte/Mechanisch-biologische Vorbehandlung
- D-A: Beschäftigte/Deponie – Ablagerung
- OWN: Bevölkerung/Sickerwasser - Oberflächenwassernutzung
- KN: Bevölkerung/Sickerwasser - Klärschlammnutzung
- BN: Bevölkerung/Grundwasser - Brunnennutzung

Tabelle 3 zeigt, dass die Dosisreduzierung durch die Handlungsanleitung je nach Radionuklid und Expositionsszenario unterschiedlich ausfällt. Die Dosis von  $10,8 \mu\text{Sv/a}$  für Co-60 bei einer mit der Ablagerung auf der Deponie beschäftigten Person ist aufgrund der Rundung der Strahlenschutzverordnung rechnerisch größer als  $10 \mu\text{Sv/a}$ . Bei drei Radionukliden ist die Dosis Beschäftigter höher als die von Personen der allgemeinen Bevölkerung, bei vier Radionukliden ist es umgekehrt. Dosen von mehr als  $1 \mu\text{Sv/a}$  ergeben sich für die Bevölkerung nur im Falle eines Anlegens eines Grundwasserbrunnens in der Nähe der Deponie in Grundwasserfließrichtung und Deckung des Wasserbedarfs mit dessen Wasser (einschließlich vollständiger Ernährung aus eigenem Anbau und eigener Viehzucht mit Beregnung und Viehtränkung mit dem Wasser dieses Brunnens). Die in Tabelle 3 aufgeführten Dosen enthalten immer noch konservative Bestandteile der Herleitung der Freibewerte, so dass sie nicht als tatsächlich eintretende Dosen anzusehen sind.

Eine weitere Reduzierung von Expositionen über einzelne Expositionsszenarien ergibt sich aufgrund der dann anzuwendenden Summenformel (siehe Kapitel 5.1), wenn mehrere Radionuklide, die über unterschiedliche Pfade dosisrelevant sind, gleichzeitig in den freigegebenen Abfällen vorliegen.

## 4. Entsorgungskonzept bei Stilllegung und Abbau des KWO

Im nachfolgenden Kapitel wird auf die Grundzüge des Entsorgungskonzepts bei Stilllegung und Abbau des KWO eingegangen. Relevant sind hier die Massenströme der Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie sowie die Frage, ob es Alternativen zu einer Beseitigung auf der Deponie Buchen-Sansenhecken gibt.

### 4.1. Darstellung des Entsorgungskonzepts

Im Rahmen der Genehmigungsverfahren für Stilllegung und Abbau des KWO wurden von der Antragstellerin verschiedene Dokumente erstellt, in denen prinzipielle Vorgehensweisen bei der Klassifizierung von Reststoffen dargestellt und Materialströme abgeschätzt wurden. Die Schätzungen beruhen auf generischen Untersuchungen, nicht aber auf KWO-spezifischen Messungen. Aus generischen Untersuchungen zu Druckwasserreaktoren und der allgemeinen Erfahrung mit Stilllegungsprojekten lassen sich Schätzungen ableiten, die beispielsweise für die Planung von voraussichtlich erforderlicher Infrastruktur etc. nützlich sind.

Gemäß den aktuellen Planungen wird von etwa 2.800 Mg Beton/Bauschutt und etwa 250 Mg sonstigen Materialien ausgegangen, die zur Beseitigung auf einer Deponie freigegeben werden können /Döscher 2014/. Auch dies sind aber Schätzungen, die im Laufe des Abbaufortschritts fortgeschrieben werden.

Die weitere Verfeinerung der Schätzung erfolgt jährlich im Rahmen der Mitteilung an die atomrechtliche Aufsichtsbehörde, welche Massen im kommenden Jahr zur Beseitigung freigegeben werden sollen. Auf diese Weise werden die Massen und Entsorgungswege durch die Behörde erfasst und es wird überprüft, ob Einschränkungen zur Einhaltung der entsorgungsanlagenbezogenen Massenbeschränkungen erforderlich werden.

### 4.2. Bewertung des Entsorgungskonzepts

#### 4.2.1. Plausibilität der geschätzten Massenströme

Das Vorgehen bei der Schätzung anfallender Massenströme ist vergleichbar mit dem bei anderen Stilllegungs- und Abbauvorhaben. Eine Festlegung, welche Massen auf welchem Weg bzw. nach welcher Freigabeoption der Strahlenschutzverordnung freigegeben werden können, ist im Vorhinein nicht exakt möglich. Welches Material auf welchem Weg entsorgt werden kann, hängt insbesondere ab von

- seiner vorliegenden Kontamination (vorliegende Radionuklide, Eindringtiefe von Radionukliden, Aktivierung oder nur Kontamination, Anteil abwischbarer Kontamination etc.),
- der Möglichkeit bzw. tatsächlichen Durchführung von Dekontaminationsmaßnahmen (die in der Regel wieder mit Sekundärabfällen verbunden sind), und
- der mit vertretbarem Aufwand erreichbaren Restkontamination im Material, das in die Entscheidungsmessung geht.

Erst im Zusammenspiel von fortschreitender radiologischer Charakterisierung, von Durchführung und Erfolg von Dekontaminationsmaßnahmen, von der aktuellen Verfügbarkeit von Entsorgungsmöglichkeiten, von ökonomischen Randbedingungen sowie ggf. von technischem Fortschritt ergibt sich, welche Massen tatsächlich zweckmäßigerweise auf welchem Weg freigegeben werden sollen. Über die tatsächliche Freigabefähigkeit entscheidet dann die Entscheidungsmessung. Vor diesem Hintergrund sind die von /Döscher 2014/ genannten Massen zur Beseitigung auf einer De-

ponie als nicht unplausibel anzusehen, da sie mit der allgemeinen bisherigen Erfahrung aus anderen Rückbauprojekten von Kernkraftwerken konform sind. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass die tatsächlichen Massen nach Ende des Abbaus 1.000 Mg mehr oder weniger betragen. Eine genauere Prognose tatsächlich anfallender Mengen kann erst im weiteren Fortschritt des Rückbaus möglich werden.

#### **4.2.2. Alternativen einer Beseitigung auf der Deponie Buchen-Sansenhecken**

Auf der Deponie Buchen-Sansenhecken sollen Abfälle mit Abfallschlüsseln entsorgt werden, für die diese Deponie zugelassen ist. Die Anforderungen der Strahlenschutzverordnung an Deponieklasse und Jahresdurchsatz sind erfüllt. Durch die Freigabe fallen die Abfälle unter das Kreislaufwirtschaftsgesetz. Da es sich bei der Deponie Buchen-Sansenhecken um die andienungspflichtige Deponie für Abfälle aus dem KWO handelt, müssen freigegebene Abfälle, die den zulässigen Abfallschlüsseln entsprechen, dort angenommen werden.

#### **Beseitigung über andere Deponien**

Auch andere Deponien könnten die Abfälle annehmen, sofern sie sich dazu bereit erklären. Die frühere Deponierung von freigegebenen Abfällen aus dem KWO auf der Deponie Sinsheim wurde eingestellt, nachdem deren Betreiber aufgrund öffentlichen Widerstands gegen die Entsorgung von Abfällen aus dem KWO zur Annahme nicht mehr bereit war. Eine Bundesländergrenzen überschreitende Verbringung ist derzeit politisch nicht gewollt.

An den beiden Bergwerksstandorten Heilbronn und Bad Friedrichshall-Kochendorf sind durch bergbauliche Tätigkeiten Hohlräume von rund 60 Mio. m<sup>3</sup> entstanden, zu denen durch den Salzabbau in Heilbronn ständig neue hinzukommen /UEV 2015/. Die Hohlräume sollen gemäß /UEV 2015/ zur Entsorgung von Abfällen mit hohem Sicherheitsstandard genutzt werden, wobei insbesondere alle Abfallschlüsselnummern der Tabelle 2 angenommen werden können.

In der Vergangenheit sind große Massen von mehr als 100.000 Mg an Bauschutt und Bodenaushub aus dem Rückbau der Brennelementfabriken in Hanau-Wolfgang im Versatzbergwerk Bad Friedrichshall-Kochendorf der Umwelt, Entsorgung und Verwertung (UEV) GmbH eingelagert worden. Für diese Abfälle hatte keine Annahmemöglichkeit bei einer andienungspflichtigen Deponie bestanden und die damals gültigen Freigabewerte zur Beseitigung waren teils überschritten. Es erfolgte schließlich eine „Freigabe zur Verwertung“ als Bergversatz im Versatzbergwerk Bad Friedrichshall-Kochendorf. Dies beruhte auf der nach § 29 StrlSchV zugelassenen Möglichkeit, für eine konkrete Anlage im Einzelfall die Einhaltung des 10 µSv-Konzepts auch bei von den in der Strahlenschutzverordnung genannten Freigabewerten abweichenden Werten der massenbezogenen Aktivität nachzuweisen. In diesem Fall war insbesondere eine Untersuchung zum Nachweis erforderlich, dass die mögliche Strahlenexposition von Beschäftigten im Versatzbergwerk Bad Friedrichshall-Kochendorf den Wert von 10 µSv im Jahr unterschreitet.

Auch weitere oberflächennahe Deponien und Untertagedeponien kämen technisch und rechtlich für die Entsorgung von aus dem KWO zur Beseitigung freigegebenen Abfällen in Frage. Die Bereitschaft des Deponiebetreibers zur Einlagerung oder des Betreibers eines Versatzbergwerks zur Verwertung sind aber Voraussetzung dafür, dass eine solche Alternative realisiert werden kann.



## „Französisches Konzept“ statt der Freigabe

In der öffentlichen Diskussion der Freigabe wird derzeit oft die französische Vorgehensweise als radiologisch gegenüber der in Deutschland praktizierten Strategie vorteilhaft dargestellt. So wird in /Neumann 2013a/ ausgeführt:

*„Zum Beispiel in Frankreich wird diese Möglichkeit (die Freigabe, Anm. d. Verf.) für die Mehrzahl der anfallenden Reststoffe jedoch aus grundsätzlichen Erwägungen abgelehnt. Stattdessen wurde dort die neue Kategorie „sehr schwach radioaktive Abfälle“ geschaffen und ein eigenes Entsorgungskonzept mit eigenem Endlager entwickelt [...]. Darüber hinaus gilt in Frankreich, dass alle Materialien, die im Kontrollbereich waren, als radioaktiver Abfall entsorgt werden müssen [...]. ...*

*Mit dem in Frankreich gewählten Umgang mit bei der Stilllegung anfallenden Stoffen geringer Radioaktivität werden mögliche Strahlenbelastungen für Personen aus der Bevölkerung sicherer verhindert. Eine unkontrollierte Ausbreitung von Radionukliden im konventionellen Bereich wird vermieden und in Bezug auf Akzeptanz bei der Bevölkerung ist dieser Weg zielführender. Das mit der Freigabe in der Bundesrepublik verfolgte Ziel, die als radioaktive Abfälle endzulagernde Menge zu verringern, wird mit dem französischen Konzept ebenfalls erreicht. Aus Sicht einer nachhaltigen Vermeidung auch geringer zusätzlicher Strahlenbelastungen für Mensch und Umwelt sollte die derzeitige Freigabep Praxis in Deutschland überprüft werden.“ /Neumann 2013a, S. 34ff/*

Ähnliche Ausführungen finden sich in /Neumann 2013b/:

*„In Frankreich wird die Möglichkeit der Freigabe für die Mehrzahl der anfallenden Reststoffe aus grundsätzlichen Erwägungen abgelehnt. Nur im Ausnahmefall ist eine Freigabe von gering radioaktiven Abfällen möglich. Sie darf aber in keinem Fall eine Wiederverwertung in Konsumprodukten oder Bauwerken zur Folge haben. Meist wird sie nur für erneute kerntechnische Anwendungen zugelassen. Darüber hinaus gilt in Frankreich für die Stilllegung, dass alle Materialien, die im Kontrollbereich waren, als radioaktiver Abfall entsorgt werden müssen [...]. Allein dadurch wird sichergestellt, dass beim Abbau von Atomanlagen alle Abfälle endgelagert werden.*

*In Frankreich wurde die neue Kategorie „sehr schwach radioaktive Abfälle“ geschaffen und ein eigenes Entsorgungskonzept entwickelt [...]. Die gering radioaktiven Abfälle werden ähnlich den schwach- und mittelradioaktiven Abfällen in einem oberflächennahen Endlager eingelagert. Die sicherheitstechnischen Anforderungen zur Konditionierung der Abfälle und zur Abdichtung des Endlagers gegen die Umwelt sowie der Aufwand für Überwachungsmaßnahmen zur Rückhaltung der Radionuklide sind jedoch geringer. ...*

*Im Rahmen der hier vorgelegten Studie kann keine sicherheitstechnische Bewertung des Endlagerdesigns vorgenommen werden. Potenzial für eine Erhöhung der Sicherheit ist vorhanden. Aus Strahlenschutzsicht scheint das Konzept aber grundsätzlich geeignet.*

*Mit dem in Frankreich gewählten Umgang mit bei der Stilllegung anfallenden Stoffen geringer Radioaktivität werden mögliche Strahlenbelastungen für Personen aus der Bevölkerung sicherer verhindert als mit einer Freigaberegulung. Die Abfälle sind anders als bei der Freigabe in einer Anlage konzentriert und werden nicht in der Umwelt verteilt. Eine unkontrollierte Ausbreitung von Radionukliden im konventionellen Bereich wird vermieden und in Bezug auf Akzeptanz bei der Bevölkerung ist dieser Weg zielführender. Das mit der Freigabe in der Bundesrepublik verfolgte Ziel, die als radioaktive Abfälle endzulagernde Menge zu verringern, wird mit dem französischen Konzept ebenfalls erreicht. Aus Sicht einer nachhaltigen Vermeidung auch geringer zusätzlicher Strahlenbelastungen für Mensch und Umwelt sollte die derzeitige Freigabep Praxis in der Bundesrepublik Deutschland überprüft werden.“ /Neumann 2013b, S. 50ff/*

Anders als in den obigen Zitaten suggeriert, wird auch in Frankreich der überwiegende Teil der bei Stilllegung und Abbau von Kernkraftwerken anfallenden Reststoffe konventionell entsorgt. Dabei wird zwar nicht der Begriff „Freigabe“ verwendet, für die radiologischen Konsequenzen ist die Begriffswahl aber nicht entscheidend. Dekontaminierte Baustrukturen aus Kontrollbereichen (im Mittel rund 150.000 Mg je Kernkraftwerk) werden in Deutschland durch Freimessung an der stehenden Struktur freigegeben und anschließend uneingeschränkt als verwertbarer Bauschutt entsorgt. In Frankreich werden die Baustrukturen nach Kontrollmessungen der „konventionellen Zone“ zugeordnet und anschließend ebenfalls als verwertbarer Bauschutt entsorgt.

Die deutsche Entsorgungskommission (ESK) hat nach Diskussionen mit dem französischen Gremium Groupe permanent d’experts pour les déchets (GPD) einen groben Vergleich der Massenbilanzen beim Abbau von Kernkraftwerken zwischen Deutschland und Frankreich vorgenommen /ESK 2014/. Das Ergebnis ist in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4: Vergleich der Massenströme bei den Entsorgungsoptionen beim Abbau von Kontrollbereichen von Kernkraftwerken in Deutschland und Frankreich**

Entsorgungsoption	Deutschland	Frankreich
Uneingeschränkte Freigabe/ konventionelle Entsorgung	92 %	87 %
Eingeschränkte Freigabe	5 %	-
VLLW	-	7 % (Centre Morvilliers)
LAW/MAW	3 % (Endlager Konrad)	6 % (Centre de l’Aube)

VLLW: Sehr schwach radioaktiver Abfall

LAW/MAW: Schwach und mittel radioaktiver Abfall

Die Unterschiede in den Massen an schwach und mittel radioaktivem Abfall beruhen im Wesentlichen auf unterschiedlichen Anstrengungen in der Dekontamination, da in Frankreich ein verhältnismäßig kostengünstiges Endlager zur Verfügung steht.

Die Aktivitätsbegrenzung ist für das Centre de Morvilliers bezogen auf „batches“ und „packages“ festgelegt /RF 2008/. Tabelle 5 zeigt die entsprechenden Werte im Vergleich zu den deutschen Freigabewerten für die Beseitigung auf einer Deponie für einige relevante Radionuklide. Es wird mit dem Freigabewert für die Beseitigung von bis zu 1.000 Mg im Kalenderjahr verglichen, da im Centre de Morvilliers sehr große Massen entsorgt werden, die 1.000 Mg im Kalenderjahr deutlich übersteigen.

**Tabelle 5: Zulässige massenbezogene Aktivitätswerte zur Deponierung im „Centre de Morvilliers“ und deutsche Freigabewerte zur Beseitigung auf einer Deponie**

Radionuklid	Zulässig im Centre de Morvilliers (Bq/g)		Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie (Bq/g) bis 1.000 Mg/a
	batch	package	
H-3	1.000	10.000	6.000
C-14	1.000	10.000	400
Co-60	10	100	2
Ni-63	1.000	10.000	1.000
Sr-90	1.000	10.000	0,6
Cs-137	10	100	8
U-238	100	1.000	0,6
Pu-239	10	100	0,5
Am-241	10	100	1

Der Vergleich in Tabelle 5 zeigt, dass im französischen Konzept teils um Größenordnungen höhere Aktivitätskonzentrationen auf der oberflächennahen Deponie Centre de Morvilliers entsorgt werden dürfen als dies nach Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie in Deutschland zugelassen ist. Ein Teil dieser Abfälle müsste in Deutschland in tiefen geologischen Formationen (Endlager Konrad) eingelagert werden. Die Anforderungen an die Abdichtung des Deponiekörpers sind dabei im Centre de Morvilliers gegenüber Deponien der deutschen Deponieklassen I bis IV nicht so gestaltet, dass sie diesen Unterschied ausgleichen könnten. Aus radiologischer Sicht ist das deutsche Konzept der Freigabe zur Beseitigung dem französischen Konzept vorzuziehen.

Das französische Endlager Centre de l'Aube ist ebenfalls kein Endlager in einer tiefen geologischen Formation sondern dient der oberflächennahen Endlagerung.

### Verwertung statt Beseitigung

Mit der Verwertung ist im nachfolgenden Abschnitt die Verwertung von uneingeschränkt freigegebenen Abfällen beispielsweise im Straßenbau gemeint. Eine Verwertung als Bergversatz wäre bei uneingeschränkt freigegebenen Abfällen ebenfalls möglich. Bei einer Überschreitung der Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe kann dagegen eine Verwertung als Bergversatz nur erfolgen, wenn im Einzelfall die Einhaltung des 10 µSv-Konzepts nachgewiesen wird (siehe auch die Ausführungen weiter oben zur Verwertung im Versatzbergwerk Bad Friedrichshall-Kochendorf).

Eine Verwertung der für die Verbringung zur Deponie Buchen-Sansenhecken vorgesehenen Abfälle wäre dann möglich, wenn die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen eingehalten sind. In Tabelle 6 sind die entsprechenden Freigabewerte der im Nuklidvektor des KWO enthaltenen Radionuklide verglichen.

**Tabelle 6: Vergleich von Freigabewerten für die uneingeschränkte Freigabe und für die Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie für die Radionuklide der Nuklidvektoren des KWO (in Bq/g)**

Radionuklid	uneingeschränkte Freigabe fester Stoffe	Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie		Verhältnis	
		bis 100 Mg/a	bis 1.000 Mg/a	(Deponie bis 100 Mg/a) / uneingeschränkt	(Deponie bis 1.000 Mg/a) / uneingeschränkt
Fe-55	200	10.000	7.000	50	35
Co-60	0,1	6	2	60	20
Ni-63	300	10.000	1.000	33	3,3
Ag-108m	0,1	9	1	90	10
Cs-137	0,5	10	8	20	16
U-238+	0,4	6	0,6	15	1,5
Am-241	0,05	1	1	20	20

U-238+: einschließlich der Folgeprodukte Th-234, Pa-234m und Pa-234

Tabelle 6 zeigt, dass die Anforderungen an die uneingeschränkte Freigabe, bei der auch eine Verwertung der Abfälle (z. B. als Unterkoffnung im Straßenbau) erlaubt wäre, deutlich strenger sind als bei der Freigabe zur Beseitigung. Bezogen auf eine deponierte Masse bis 100 Mg/a sind die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe um einen Faktor 15 bis 90 restriktiver, bezogen auf eine deponierte Masse bis 1.000 Mg/a um einen Faktor 1,5 bis 35.

In der Regel erfolgt aufgrund der Voruntersuchungen vor der Entscheidungsmessung für die Freigabe die Festlegung, dass die Abfälle entweder uneingeschränkt oder zur Beseitigung freigegeben werden sollen. Ist das Ergebnis der Freigabemessung kleiner als der Freigabewert für die uneingeschränkte Freigabe, so erfolgt die uneingeschränkte Freigabe. Ist das Ergebnis der Freigabemessung größer als der Freigabewert für die uneingeschränkte Freigabe aber kleiner als der Freigabewert für die Freigabe zur Beseitigung, so erfolgt die Freigabe zur Beseitigung. Ist der Freigabewert für die Freigabe zur Beseitigung überschritten, so wäre eine weitere Dekontamination oder die Entsorgung als radioaktiver Abfall erforderlich.

Eine Verwertung ist nur dann möglich, wenn die Freigabewerte für die uneingeschränkte Freigabe schon bei der ersten Messung oder gegebenenfalls nach einer weiteren Dekontamination unterschritten werden. Aufgrund der großen Unterschiede zwischen den Freigabewerten für die uneingeschränkte Freigabe und für die Freigabe zur Beseitigung auf einer Deponie (siehe Tabelle 6) ist es in der Regel nicht mit vertretbarem Aufwand möglich, eine im Hinblick auf die uneingeschränkte Freigabe hinreichende weitere Dekontamination durchzuführen. Aus Sicht des KWO wäre es nicht sinnvoll, Abfälle, die uneingeschränkt freigegeben und wiederverwertet werden könnten, nur zur Freigabe zur Beseitigung freizugeben, da der Aufwand für die Freigabe zur Beseitigung durch die zusätzlich zu beizubringenden Nachweise und Dokumente deutlich größer wäre.

Insgesamt führen diese Randbedingungen dazu, dass nur solche Abfälle zur Beseitigung auf einer Deponie freigegeben werden, die nicht oder nicht mit vertretbarem Aufwand verwertet werden können.

## 5. Messungen und Kontrollen bei der Freigabe zur Beseitigung bei Stilllegung und Abbau des KWO

Grundsätzlich unterliegen alle Materialien/Anlagenteile und Gebäude aus dem Kontrollbereich des KWO dem Freigabeverfahren nach § 29 StrlSchV. Dies gilt ebenfalls für Materialien/Anlagenteile und Gebäude aus dem Überwachungsbereich, bei denen eine Aktivierung oder Kontamination nicht ausgeschlossen werden kann /EnKK 2012/. Unter Gebäuden werden dabei einzelne Gebäude, Gebäudeteile, Räume, Raumteile sowie Bauteile verstanden. Der Estrich von Böden und Bauschutt, der bei Wand- und Deckendurchbrüchen entsteht, fällt dagegen nicht unter den Begriff Gebäude, sondern wird als Bauschutt bezeichnet.

Für die Freigabe zur Beseitigung werden in /EnKK 2012/ die Freigabewerte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 9a-9d StrlSchV angewandt. Sofern eine feste messbare Oberfläche vorhanden ist, sind an jeder Stelle die Werte der Anlage III Tabelle 1 Spalte 4 StrlSchV einzuhalten. Dies kann entfallen, wenn die Materialien/Abfälle in einem verpackten Zustand (z. B. Big-Bags) an die Entsorgungsanlage geliefert werden und dort auch nur in diesem verpackten Zustand gehandhabt werden.

### 5.1. Nuklidvektoren

Radionuklide unterscheiden sich aufgrund verschiedener Strahlungsarten und –energien in der Möglichkeit einer einfachen Messung:

- Hochenergetische Gamma-Strahlung hat eine große Reichweite und kann verhältnismäßig leicht gemessen werden. Außerdem lässt sich die Energie der Gammaquanten bestimmen, die charakteristisch für einzelne Radionuklide ist. Radionuklide, die gut nachweisbare Gamma-Strahlung aussenden, sind beispielsweise Co-60 und Cs-137.
- Beta-Strahlung wird von Materie leicht abgeschirmt, so dass der Nachweis eingedrungener Aktivität durch eine Messung an der Oberfläche schwierig ist. Sie weist außerdem eine Energieverteilung auf, so dass die nuklidspezifische Messung in der Regel nicht möglich ist. Häufig wird die Beta-Strahlung von Gamma-Strahlung begleitet (z. B. Co-60 und Cs-137), so dass die nuklidspezifische Messung dennoch über das Gammaskpektrum möglich ist. Andernfalls sind Probenahmen und Laborauswertungen erforderlich (z. B. Sr-90, Ni-63 mit zudem sehr niedriger maximaler Beta-Energie, Fe-55 als Elektroneneinfangstrahler).
- Alpha-Strahlung wird schon von minimalen Materieschichten abgeschirmt. Zur Nuklididentifizierung kann die Messung der charakteristischen Alpha-Energie herangezogen werden, was aber eine Probenahme und chemische Aufarbeitung erfordert (z. B. U-238). Beim Alpha-Strahler Am-241 gibt es noch eine nachweisbare Gamma-Linie zur Identifizierung.

Würden alle Radionuklide bei der Freigabe mit einer Erkennungsgrenze, die ihrer radiologischen Relevanz entspricht, in jeder Charge gemessen werden sollen, so würde dies einen nicht mehr vertretbaren Aufwand bedeuten. Auch eine Endlagerung würde dieses Problem nicht lösen, da für die Endlagerung entsprechende Angaben bei der Abfalldeklaration zu machen wären.

Die geeignete Vorgehensweise beruht daher auf Untersuchungen zur Eingrenzung überhaupt möglicher Kontaminationen und Radionuklide sowie auf Probenahmen mit detaillierten Analysen in so großer Zahl, dass die Ergebnisse insgesamt statistisch abgesichert sind. Aus den Ergebnissen der Probenahmen lassen sich dann abdeckende **Nuklidvektoren** herleiten. Unter einem Nuklidvektor ist ein Gemisch von Radionukliden zu verstehen, in dem die anteilige Verteilung der Radionuklide messtechnisch festgestellt wurde und Leitnuklide zur Feststellung der Aktivität des Nuklidvektors verwendet werden. Üblicherweise in Abfällen aus Kernkraftwerken leicht nachweisbare

Leitnuklide sind z. B. Co-60 und Cs-137. Entsprechend dem Messwert der Leitnuklide werden dann die Anteile der anderen Radionuklide rechnerisch ermittelt und in die Summenformel mit eingerechnet. Je mehr Bereiche mit aufgrund der Systemunterschiede und der Betriebshistorie unterschiedlich zusammengesetzten Kontaminationen ein solcher Nuklidvektor abdecken soll, umso konservativer wird das Freigabeverfahren. Der Nuklidvektor muss regelmäßig angepasst werden, wenn die enthaltenen Radionuklide unterschiedlich schnell zerfallen.

### 5.1.1. Nuklidvektoren für die Freigabe in KWO

In KWO werden nur zwei Nuklidvektoren unterschieden:

- konservativ (d. h. pessimistisch) abdeckender Nuklidvektor für radioaktive Reststoffe, Gebäudeteile und Gebäude des Kontrollbereichs /EnKK 2013a, EnKK 2013c/ sowie
- konservativ (d. h. pessimistisch) abdeckender Nuklidvektor für radioaktive Reststoffe, Gebäudeteile und Gebäude des Überwachungsbereichs /EnKK 2013b, EnKK 2013d/.

Es wurden folgende Messungen zur Ermittlung der abdeckenden Nuklidvektoren in Abstimmung mit dem Gutachter der atomrechtlichen Behörde vorgenommen:

- Im Kontrollbereich /Enkk 2013b/
  - gammaspektrometrische Ausmessung von 48 Proben (überwiegend Fräs- und Kratzproben),
  - Bestimmung von Alpha- und Beta-Strahlern in 12 dieser Proben,
  - Bestimmung von Alpha-, Beta- und Gamma-Strahlern in 4 Proben aus den Dampferzeugern nach der Primärkreisdekontamination.
- Im Überwachungsbereich /EnKK 2013a/
  - Kontaminationsmessungen von ca. 90 Orten (gammaspektrometrische Messungen von Fräsproben und In-situ-Gamma-Messungen), bei 28 Proben Aktivität oberhalb der Nachweisgrenze detektiert,
  - Analyse von Ni-63 (reiner Beta-Strahler) und Fe-55 (Elektroneneinfangstrahler) bei 11 der 28 Proben,
  - Analyse der reinen Beta-Strahler Sr-89 und Sr-90 bei 6 der 11 Proben,
  - Analyse des reinen Beta-Strahlers Pu-241 bei 5 der 6 Proben,
  - Bestimmung entweder der Gesamt-Alpha-Aktivität oder alphaspektrometrische Messung bei allen Proben.

Die Zusammensetzung dieser beiden Nuklidvektoren des KWO zeigt Tabelle 7.

**Tabelle 7: Im KWO für die Freigabe mit der Freimessanlage angewandte Nuklidvektoren**

Radionuklid	Anteil	
	Kontrollbereich	Überwachungsbereich
Co-60	2,0 %	1,0 %
Cs-137	0,75 %	2,2 %
Ag-108m	0,75 %	-
Fe-55	11,15 %	19,0 %
Ni-63	85,0 %	76,75 %
Am-241	0,35 %	0,35 %
U-238	-	0,7 %

Die Nuklidvektoren wurden für das spezifische Ansprechvermögen der Freimessanlage RADOS RTM 644/nc ermittelt. Außerdem wurden entsprechende Untersuchungen für die verwendeten Kontaminationsmonitore durchgeführt. Die Nuklidvektoren werden regelmäßig (im Abstand von 2 Jahren) entsprechend des relativen Zerfalls der einzelnen Radionuklide korrigiert. Zu den Änderungen des Nuklidvektors ist der Sachverständige des Umweltministeriums Baden-Württemberg hinzuzuziehen.

### 5.1.2. Bewertung der Nuklidvektoren für die Freigabe in KWO

Die Nuklidvektoren wurden überwiegend aus Fräs- und Kratzproben abgeleitet, so dass auch eingedrungene Aktivität berücksichtigt wurde. Die Bereiche der Anlage, in denen Kontaminationen unterschiedlicher Zusammensetzung zu erwarten waren, wurden abgedeckt. Die Erkennungsgrenze der Messungen war in der Regel einen Faktor 100 kleiner als die Freigabewerte und damit so klein, dass nicht erfasste Aktivität keine radiologische Bedeutung haben kann. Die Nuklidvektoren für die Freigabe in KWO wurden daher sachgerecht ermittelt.

Durch die Wahl von nur zwei verschiedenen Nuklidvektoren ergibt sich eine relativ hohe Konservativität bzw. eine relativ geringe mögliche Ausschöpfbarkeit der Freigabewerte. Unabhängig davon können bei Anwendung des Nuklidvektors auf einzelnen Expositionspfaden keine Dosen von 10  $\mu\text{Sv/a}$  erreicht werden. Tabelle 8 zeigt die noch möglichen Dosen über die einzelnen Expositionspfade ausgehend von Tabelle 3, aber mit Zugrundelegung des Nuklidvektors für den Kontrollbereich. In Tabelle 9 sind die entsprechenden Dosen für den Nuklidvektor des Überwachungsbereichs dargestellt. Diese Dosen beziehen sich auf den Fall, dass die tatsächliche Nuklidzusammensetzung einer freigegebenen Charge dem Nuklidvektor entspricht. Da der Nuklidvektor aber verschiedene Kontaminationssituationen abdeckt, würden sich bei realistisch zu erwartenden Kontaminationen (wie sie z. B. in den Listen der Einzelproben in /EnKK 2013a, EnKK 2013b/ aufgelistet sind) noch deutlich geringere Dosen ergeben.

**Tabelle 8: Dosis über die einzelnen Expositionspfade unter den Randbedingungen der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg und der Deponie Buchen-Sansenhecken und Anwendung des Nuklidvektors für den Kontrollbereich (in  $\mu\text{Sv/a}$ )**

Radio-nuklid	T	D-E	MBV	D-A	OWN	KN	BN *
Co-60	3,6	1,8	0	4,7	0,009	0,006	0
Fe-55	0	0	0	0	0,0007	0,00005	0
Ni-63	0	0	0	0	0,01	0,02	0,37
Ag-108m	2,1	1,1	0	3,3	0,11	0,36	1,9
Cs-137	0,15	0,05	0	0,41	0,008	0,01	0,0001
Am-241	0,00001	0,00001	0	0,0003	0,0005	0,0001	0,50
Summe	6,0	3,1	0	8,4	0,14	0,41	2,8

Bedeutung der Abkürzungen in Zeile 1 siehe Tabelle 3

\* Über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren ist die Dosis 0, erst danach könnten diese Dosen unter sehr pessimistischen Bedingungen erreicht werden

**Tabelle 9: Dosis über die einzelnen Expositionspfade unter den Randbedingungen der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg und der Deponie Buchen-Sansenhecken und Anwendung des Nuklidvektors für den Überwachungsbereich (in  $\mu\text{Sv/a}$ )**

Radio-nuklid	T	D-E	MBV	D-A	OWN	KN	BN *
Co-60	1,75	0,89	0	2,2	0,004	0,003	0
Fe-55	0	0	0	0	0,001	0,00009	0
Ni-63	0	0	0	0	0,01	0,02	0,32
Cs-137	0,77	0,39	0	1,1	0,03	0,05	0,0003
Am-241	0,00001	0,00001	0	0,0002	0,0005	0,0001	0,47
U-238	0,003	0,002	0	0,05	0,01	0,01	4,9
Summe	2,5	1,3	0	3,4	0,05	0,08	5,7

Bedeutung der Abkürzungen in Zeile 1 siehe Tabelle 3

\* Über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren ist die Dosis 0, erst danach könnten diese Dosen unter sehr pessimistischen Bedingungen erreicht werden

Für Beschäftigte bei Transport und auf der Deponie ergibt sich rechnerisch noch maximal eine Dosis von 8,4  $\mu\text{Sv}$  im Jahr (Freigabe aus dem Kontrollbereich) und 3,4  $\mu\text{Sv}$  im Jahr (Freigabe aus dem Überwachungsbereich). Für Personen der Bevölkerung ergibt sich rechnerisch noch eine maximale Dosis von 2,8  $\mu\text{Sv}$  im Jahr (Freigabe aus dem Kontrollbereich) und 5,7  $\mu\text{Sv}$  im Jahr (Freigabe aus dem Überwachungsbereich). Diesen Dosen liegt die Annahme zugrunde, dass über



54 Jahre jeweils 1.000 Mg an freigegebenem Abfall eingelagert werden, insgesamt also 54.000 Mg. Dies stellt eine weit höhere Menge dar, als die aus KWO zur Anlieferung beabsichtigte Menge<sup>11</sup>. Über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren beträgt die maximale Dosis für Personen der Bevölkerung rechnerisch nur 0,41  $\mu\text{Sv}$  im Jahr (Freigabe aus dem Kontrollbereich) bzw. 0,08  $\mu\text{Sv}$  im Jahr (Freigabe aus dem Überwachungsbereich), da über das Brunnenszenario in diesem Zeitraum noch keine Dosis zustande kommen kann.

Sickerwässer der Deponie Buchen-Sansenhecken werden der Kläranlage Buchen zugeführt. Von dort gelangt das Wasser in die Morre. Der anfallende Klärschlamm wird extern verbrannt /Gambke 2015/. Bezüglich des Expositionspfads Klärschlammnutzung, der in der Herleitung der Freigabewerte auf einer Düngung landwirtschaftlicher Flächen mit 1,6 Mg Klärschlamm (Trockensubstanz) pro Jahr über eine Dauer von 50 Jahren (mit entsprechender Anreicherung auf der gedüngten Fläche) basiert, sind die realen Verhältnisse in Buchen deutlich günstiger. Realistisch betrachtet könnte eine Dosis von Einzelpersonen der Bevölkerung im Raum Buchen im Zeitraum der nächsten 100 Jahre durch die freigegebenen Abfälle nur dann eintreten, wenn Wasser der Morre entnommen würde, das als Trinkwasser, zur Beregnung oder zur Viehtränke verwendet wird und Personen ihren Lebensmittelbedarf im Wesentlichen aus diesen Quellen decken. Aufgrund des geringen Abflusses der Morre (etwa 0,3 m<sup>3</sup>/s im Bereich der Kläranlage Buchen) ist von einer solchen Nutzung aber nicht auszugehen. Die Morre mündet in Amorbach in die Mud und diese bei Miltenberg in den Main. Bei einer Nutzung von Wasser des Mains zu den oben beschriebenen Zwecken wäre das Wasser bereits wieder um etwa einen Faktor 500 vermischt und eventuelle Dosen könnten dann nur noch 1/500stel der in den Tabellen 8 und 9 genannten Werte betragen.

## 5.2. Messungen und Messgeräte

### 5.2.1. Beschreibung der Messungen und Messgeräte

Die massenbezogene Entscheidungsmessungen für die Freigabe zur Beseitigung erfolgen mit der Freimessanlage RADOS RTM 644/nc. Diese Freimessanlage arbeitet über eine Gesamtgamma-messung, wobei deren gammaenergieabhängiges Ansprechvermögen bei der Anwendung der Nuklidvektoren des KWO berücksichtigt wird. Die Homogenität der Aktivitätsverteilung lässt sich an der Einzeldetektorauswertung ablesen. Die maximal gleichzeitig ausmessbare Gesamtmasse beträgt 1.000 kg. Tabelle 10 zeigt das relative auf Co-60 bezogene Ansprechvermögen<sup>12</sup> der Freimessanlage RADOS RTM 644/nc für die bei den Voruntersuchungen zur Herleitung der Nuklidvektoren nachgewiesenen Radionuklide /EnKK 2013a/.

<sup>11</sup> Dies wirkt sich aber nur beim Brunnen-Szenario aus, da bei diesem auch die kumulierte Menge und nicht nur die jährlich eingelagerte Menge eine Rolle spielt.

<sup>12</sup> Abhängig von Strahlungsart und Energie kommt es in den Strahlungsdetektoren der Freimessanlage mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu einem gemessenen Impuls. Ist das sogenannte Ansprechvermögen 0, so kann die Strahlung nicht gemessen werden.

**Tabelle 10: Relatives auf Co-60 bezogenes Ansprechvermögen der Freimessanlage RADOS RTM 644/nc für die bei Voruntersuchungen zur Herleitung der Nuklidvektoren im KWO nachgewiesenen Radionuklide**

Radionuklid	Relatives auf Co-60 bezogenes Ansprechvermögen
Ag-110m	1,41
Co-60	1
Ag-108m	0,989
Cs-134	0,908
Nb-94	0,775
Eu-152	0,502
Mn-54	0,478
Cs-137	0,341
Zn-65	0,258
Sb-125	0,253
Co-57	0,0169
Fe-55	0
Ni-63	0
Sr-89	0
Sr-90	0
U-234	0
U-238	0
Pu-238	0
Pu-239/240	0
Pu-241	0
Am-241	0
Cm-242	0
Cm-243/244	0

An der Freimessanlage wird ein wöchentlicher Funktionstest mit einer Co-60-Quelle durchgeführt. Vierteljährlich erfolgt eine Prüfung, bei der Quellen in verschiedenen Geometrien in die Anlage eingefahren werden. Einmal jährlich wird diese Prüfung zusammen mit dem Sachverständigen des Umweltministeriums durchgeführt.

Für den ggf. zusätzlich zum massenbezogenen Freigabewert erforderlichen Nachweis der Einhaltung der maximal zulässigen Oberflächenkontaminationswerte werden verschiedene Kontaminationsmonitore eingesetzt (Herfurth H 1359, RADOS Microcont 13420 und SEA Como 170/300), ggf. auch andere Messverfahren wie Wischtests (diese nur, wenn eine Aktivierung ausgeschlossen ist). Für die Kontaminationsmessungen ist ein konservativer Wert festgelegt worden, der das Ansprechvermögen berücksichtigt.

Grundsätzlich müssen 100 % der Materialien/Anlagenteile, die freigegeben werden sollen, messtechnisch bewertet werden. Ausnahmen sind bei Materialien/Anlagenteile aus dem Kontrollbereich nur z. B. bei bestimmten technischen Geräten wie Gabelstaplern oder Flurförderfahrzeugen zulässig /EnKK 2012/. Die Materialien/Anlagenteile aus dem Überwachungsbereich, die freigegeben

werden sollen, und Materialien/Anlagenteile aus den für die Zwischenlagerung radioaktiver Reststoffe genutzten Gebäuden Bau 39 und 52 können ebenfalls in einem vereinfachten Verfahren freigegeben werden, indem nur ein bestimmter Anteil messtechnisch erfasst wird. Für die in Bau 39 und 52 eingelagerten radioaktiven Abfälle ist die Möglichkeit des vereinfachten Verfahrens dagegen ausgeschlossen.

In allen Ausnahmefällen ist das Vorgehen im Einzelfall mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg und seinem Sachverständigen abzustimmen. Die Einzelfallfestlegungen werden dann in einer Fachanweisung geregelt, die ebenfalls abzustimmen ist. Grundlage der Bewertung durch das Umweltministerium Baden-Württemberg und dessem Sachverständigen ist die Frage, ob jeweils die Einhaltung des 10 µSv-Konzepts sichergestellt ist.

### **5.2.2. Bewertung der Messungen und Messgeräte**

Die zur Freimessung genutzte Freimessanlage RADOS RTM 644/nc verfügt über eine starke Abschirmung der Umgebungsstrahlung, so dass auch in kurzen Messzeiten niedrige Erkennungsgrenzen erreicht werden. Die wiederkehrenden Prüfungen gewährleisten, dass bei nachlassender Qualität der Szintillationszähler rechtzeitig ein Austausch erfolgt. Die Freimessanlage wurde für die Tätigkeiten im Rahmen des Rückbaus des KWO beschafft und entspricht dem Stand der Technik.

Die Messungen der Oberflächenkontamination sind für den Nachweis der Einhaltung der entsprechenden Freigabekriterien geeignet. Durch die Anlieferung und Handhabung in verpacktem Zustand, sofern staubförmige Aktivität freigesetzt werden könnte, sind Oberflächenkontaminationen radiologisch aber nicht relevant, wenn nach der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg (siehe Kapitel 3.2) vorgegangen wird.

Das Freigabeverfahren erfordert grundsätzlich die vollständige messtechnische Bewertung von freigegebenen Materialien und Anlagenteilen. Ausnahmen sind nur im Einzelfall möglich und sind mit dem Umweltministerium Baden-Württemberg und dessem Sachverständigen abzustimmen. Grundlage der Bewertung durch das Umweltministerium Baden-Württemberg und dessem Sachverständigen ist die Frage, ob jeweils die Einhaltung des 10 µSv-Konzepts sichergestellt ist.

## **5.3. Behördliche Kontrollen**

Die nachfolgend beschriebenen und bewerteten Kontrollen beziehen sich auf den Umfang, der bisher festgelegt war. Zu den zusätzlichen Kontrollen aufgrund der Handlungsanleitung siehe Kapitel 3.2.1.

### **5.3.1. Beschreibung der Kontrollmessungen**

Freizumessende und freigemessene Chargen werden dem Umweltministerium Baden-Württemberg und seinem Sachverständigen schriftlich mitgeteilt. Wird eine Kontrolle durch das Umweltministerium Baden-Württemberg oder seinen Sachverständigen gewünscht, so wird dies innerhalb eines Arbeitstages mitgeteilt. Die Charge wird dann ab Freimessung fünf Werktage für die Kontrolle aufbewahrt.

Bei Chargen, die zur Beseitigung freigegeben wurden, erfolgt immer eine Kontrolle der entsprechenden Chargen durch den Sachverständigen des Umweltministeriums Baden-Württemberg. Die Bestätigung wird der an die Entsorgungsanlage zu übergebende Dokumentation beigelegt.

Im Durchschnitt wurden bisher 10 % der an den freigemessenen Materialien/Anlagenteilen durchgeführten Messungen durch den Sachverständigen kontrolliert. Es können mehrere Messungen an

einem einzelnen Gegenstand durchgeführt worden sein, beispielsweise bei der flächendeckenden Messung der Oberflächenkontamination auf Einzelflächen von etwa 300 cm<sup>2</sup>.

Zu den Kontrollmessungen, aus denen eine oder mehrere ausgewählt werden können, zählen

- Direktmessungen,
- Wischtests,
- Probennahmen,
- In-Situ-Messungen mit Messgeräten des Sachverständigen,
- In-Situ-Messungen mit Messgeräten des KWO,
- Nachmessungen mit der Freimessanlage des KWO.

Außerdem erfolgt eine Kontrolle der Dokumentation.

Sollten im Rahmen dieser Kontrollen Abweichungen z. B. gegenüber den Freigabewerten, dem Freigabeverfahren oder den Antragsunterlagen festgestellt werden, darf bis zur Entscheidung durch die Genehmigungsbehörde keine Verwertung oder Weitergabe an Dritte erfolgen.

### 5.3.2. Bewertung der Kontrollen

Die Kontrollen dienen der Überprüfung der Einhaltung der Vorgaben aus den Genehmigungsbescheiden und der Betriebsanweisung /EnKK 2012/. Die bisherige Kontrolldichte der Messungen von 10 % wird durch die Festlegungen der Handlungsanleitung des Landkreistags Baden-Württemberg auf eine vollständige Kontrolle der Messungen ausgedehnt. Das Verfahren stellt sicher, dass eine Weitergabe an Dritte nur erfolgt, wenn Unstimmigkeiten nicht aufgetreten oder geklärt worden sind.

## 5.4. Dokumentation und Berichte

### 5.4.1. Beschreibung der Dokumentation

Für die Freigabe zur Beseitigung ist in /EnKK 2012/ festgelegt, dass die folgenden Punkte erfüllt und in einem Formular dokumentiert sein müssen, bevor seitens KWO einer Freigabe zugestimmt werden darf:

- Vorliegen einer generellen Annahmeerklärung der entsprechenden Verwertungs- oder Beseitigungsanlage,
- Vorliegen der ausgefüllten Freimessprotokolle für jede Charge des zu beseitigenden Entsorgungsloses,
- Prüfvermerk des Gutachters über die begleitenden gutachterlichen Tätigkeiten,
- Vorliegen einer losspezifischen Annahmeerklärung von der Verwertungs- oder Beseitigungsanlage für dieses Entsorgungslos,
- Nachweis über die Zuleitung des Originals der losspezifischen Annahmeerklärung an das Umweltministerium Baden-Württemberg,
- Nachweis über die Zuleitung einer Kopie der losspezifischen Annahmeerklärung an die nach Kreislaufwirtschaftsgesetz zuständige Behörde,

- Aussage des Umweltministeriums Baden-Württemberg zur Herstellung des Einvernehmens mit der nach Kreislaufwirtschaftsgesetz zuständigen Behörde.

Die vollständig ausgefüllten Formulare der Chargenanmeldung mit den zugehörigen Messprotokollen, die Ablieferungsscheine, das Formblatt zur zweckgerichteten Freigabe (u. a. mit Nennung der Entsorgungsanlage) sowie ggf. das Ergebnisprotokoll von Stichprobenmessungen zur Erzielung größerer Mittelungsflächen werden 30 Jahre aufbewahrt /EnKK 2012/.

Nach Abschluss eines Kalenderjahres wird seitens KWO dem Umweltministerium Baden-Württemberg bis zum 30. April des Folgejahres ein Bericht über alle getätigten Freimessungen vorgelegt. Darin werden die Massen sowie für die Freigabe zur Beseitigung der tatsächliche Verbleib bilanziert /EnKK 2012/.

#### **5.4.2. Bewertung der Dokumentation**

Die Dokumentation erlaubt eine lückenlose Erfassung des Verbleibs der zur Beseitigung auf einer Deponie freigegebenen Abfälle. Diese steht aufgrund der Aufbewahrungsfrist für verschiedene Dokumenten über 30 Jahre ausreichend lange zur Verfügung. Der jährliche Bericht ist, in Verbindung mit denen der übrigen kerntechnischen Anlagen in Baden-Württemberg geeignet, einen Überblick über die in Baden-Württemberg erfolgten Freigaben zur Beseitigung zu geben.

## 6. Zusammenfassung

Das Öko-Institut e.V. wurde von der Abfallwirtschaftsgesellschaft des Neckar-Odenwald-Kreises mbH (AWN) mit Arbeiten in Zusammenhang mit der Freigabe von Abfällen des Kernkraftwerks Obrigheim (KWO) zur Deponierung auf der Deponie Buchen-Sansenhecken beauftragt.

Der Freigabe liegt das sogenannte 10 µSv-Konzept zugrunde. Das 10 µSv-Konzept (auch als De minimis-Konzept bezeichnet) ist ein Konzept zur Abgrenzung zwischen Stoffen, die aufgrund ihrer Kontamination mit Radionukliden einer besonderen Entsorgung bedürfen, von solchen, die konventionell entsorgt oder wieder- und weiterverwendet werden können. Das 10 µSv-Konzept begrenzt mögliche Risiken von Personen der Bevölkerung auf ein sehr niedriges Niveau. Die Freigabewerte wurden, insbesondere bezogen auf mögliche Strahlenexpositionen von Personen der Bevölkerung, insgesamt unter sehr konservativen - d. h. pessimistischen und die tatsächlich zu erwartenden radiologischen Folgen überschätzenden - Annahmen hergeleitet. Auf diese Weise sind real mögliche Strahlenexpositionen und Risiken nochmals deutlich geringer oder treten aufgrund nicht praktizierter Nutzungsarten von Oberflächen- und Grundwasser gar nicht auf.

Die vom Umweltministerium Baden-Württemberg erteilten Bescheide für die Beseitigung auf einer Deponie sowie weitere Festlegungen des KWO gewährleisten, dass die Anforderungen der Strahlenschutzverordnung eingehalten sind. Durch zusätzliche an die Deponiebetreiber und Abfallerzeuger gerichtete Handlungsanleitungen des Landkreistags Baden-Württemberg, die zur Einhaltung des 10 µSv-Konzepts nicht notwendig wären, werden mögliche Strahlenexpositionen von Beschäftigten der Deponien sowie Personen der Bevölkerung weiter reduziert. Außerdem wurde ein Konzept entwickelt, mit dem auch die Wahrscheinlichkeit einer Anlieferung von Material, das die Freigabewerte überschreitet, minimiert wird.

Die seitens KWO geschätzten Abfallströme, die nur zur Beseitigung freigegeben werden können, sind nicht unplausibel. Sie beruhen auf Erfahrungswerten aus ähnlichen Vorhaben und können erst im weiteren Abbaufortschritt genauer angegeben werden. Das Vorgehen bei der Freigabe gewährleistet, dass kein Material, das beispielsweise im Straßenbau wiederverwertet werden könnte, zur Beseitigung abgegeben wird. Die Deponie Buchen-Sansenhecken erfüllt die Anforderungen, die die Strahlenschutzverordnung an Deponien stellt, auf die zur Beseitigung freigegebene Abfälle verbracht werden dürfen. Auch weitere oberflächennahe Deponien und Untertagedeponien kämen technisch und rechtlich für die Entsorgung von aus dem KWO zur Beseitigung freigegebenen Abfällen in Frage, wobei deren Betreiber aber ihr Einverständnis mit der Einlagerung erklären müssten. Das französische Konzept der Entsorgung von Stilllegungsabfällen ist unter radiologischen Gesichtspunkten keine sinnvolle Alternative, da die möglichen Strahlenrisiken eher größer wären.

Die Nuklidvektoren für die Freigabe in KWO wurden sachgerecht ermittelt. Da insgesamt nur zwei verschiedene Nuklidvektoren festgelegt wurden, ergibt sich auch auf diese Weise im Mittel eine deutliche Konservativität bei der Freimessung.

Die Freimessung erfolgt mit Geräten, die regelmäßig - auch mit aufsichtlicher Kontrolle - auf ihre Funktionsfähigkeit hin geprüft werden. Die durchgeführten Messungen werden vollständig vom Sachverständigen des Umweltministeriums Baden-Württemberg kontrolliert. Das Verfahren stellt sicher, dass eine Weitergabe an Dritte nur erfolgen kann, wenn Unstimmigkeiten nicht auftreten oder geklärt worden sind.

Die Dokumentation erlaubt eine lückenlose Erfassung des Verbleibs der zur Beseitigung auf einer Deponie freigegebenen Abfälle.

## Literaturverzeichnis

- AVV 2012 Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 22 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist
- Deckert 1998 A. Deckert, S. Thierfeldt: Berechnung massenspezifischer Freigabewerte für schwach radioaktive Reststoffe. Brenk Systemplanung, Aachen 1998, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), BMU-1998-520
- DepV Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung –DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt geändert durch Artikel 7 der Verordnung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973)
- Döscher 2014 K. Döscher (EnBW Kernkraft GmbH, KWO): persönliche Mitteilung, E-Mail vom 26.11.2014
- EnKK 2012 EnBW Kernkraft GmbH KWO: Mess- und Verfahrensvorschrift nach § 29 StrlSchV. Betriebsanweisung BA 2008/08, Index d, 22.05.2012
- EnKK 2013a EnBW Kernkraft GmbH KWO: Bestimmung eines konservativ abdeckenden Nuklidvektors und Bestimmung von konservativ abdeckenden Freigabewerten für Freigabemessungen von radioaktiven Reststoffen und Gebäudeteilen aus Überwachungsbereichen von KWO und Gebäuden des Überwachungsbereichs von KWO. Bericht 2013/23, 22.10.2013
- EnKK 2013b EnBW Kernkraft GmbH KWO: Bestimmung eines konservativ abdeckenden Nuklidvektors und Bestimmung von konservativ abdeckenden Freigabewerten für Freigabemessungen von radioaktiven Reststoffen und Gebäudeteilen aus Kontrollbereichen von KWO und Gebäuden des Kontrollbereichs von KWO. Bericht 2013/25, 22.10.2013
- EnKK 2013c EnBW Kernkraft GmbH KWO: Konservativ abdeckende Vorgehensweise bei der Summenformelbildung von Freigabemessungen mit gammaspektrometrischen Messverfahren von radioaktiven Reststoffen und Gebäudeteilen aus Kontrollbereichen von KWO und Gebäuden des Kontrollbereichs von KWO. Bericht 2013/24, 24.10.2013
- EnKK 2013d EnBW Kernkraft GmbH KWO: Konservativ abdeckende Vorgehensweise bei der Summenformelbildung von Freigabemessungen mit gammaspektrometrischen Messverfahren von radioaktiven Reststoffen und Gebäudeteilen aus Überwachungsbereichen von KWO und Gebäuden des Überwachungsbereichs von KWO. Bericht 2013/26, 24.10.2013
- ESK 2014 Entsorgungskommission (ESK): Vergleich der Massenströme bei der Stilllegung von Kernkraftwerken in Deutschland und Frankreich, 04.12.2014 [http://www.entsorgungskommission.de/downloads/vergleichmassenstroeme\\_homepage.pdf](http://www.entsorgungskommission.de/downloads/vergleichmassenstroeme_homepage.pdf)

Euratom 1996	Rat der Europäischen Union: Council Directive 1996/29/Euratom laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation. Official Journal of the European Communities, L159, Vol. 39, 29.06.96
Euratom 2014	Rat der Europäischen Union: Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom, Amtsblatt der Europäischen Union, L 13/1, 17.01.2014
Gambke 2014	T. Gambke (AWN): persönliche Mitteilung, E-Mail vom 02.02.2015
IAEA 1988	International Atomic Energy Agency (IAEA): Principles for the Exemption of Radiation an Practices from the Regulatory Control. Safety Series No. 89, Wien 1988
ICRP 2007	International Commission on Radiological Protection (ICRP): Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007, ICRP-Veröffentlichung 103, verabschiedet im März 2007. Deutsche Ausgabe: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), BfS-SCHR-47/09, Salzgitter, November 2009
Landkreistag BaWü 2015	Landkreistag Baden-Württemberg: Handlungsanleitung zur Entsorgung von freigemessenen Abfällen auf Deponien in Baden-Württemberg. August 2015
Naber 2007	C. Naber et al.: Messstrategien für die In-situ-Gammaspektrometrie bei Freimesungen von Gebäuden und Bodenflächen nach § 29 StrlSchV. Ausgabe 2 (Stand 31.01.2007)
Neumann 2013a	W. Neumann: Stellungnahme zu Defiziten der Regelung von Freigaben radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland. Im Auftrag des BUND, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., intac - Beratung · Konzepte · Gutachten zu Technik und Umwelt GmbH, Hannover, Oktober 2013
Neumann 2013b	W. Neumann: Stellungnahme zu ausgewählten Anforderungen bei Stilllegung und Abbau von Atomkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland. Im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90 / Die Grünen, intac - Beratung · Konzepte · Gutachten zu Technik und Umwelt GmbH, Hannover, Oktober 2012, aktualisierte Fassung August 2013
Poschner 1995	J. Poschner, G. Schaller: Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden. Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Reihe BfS-ISH-Berichte, BfS-ISH-169/95 (ISSN 0937-4558), Neuherberg, Januar 1995
RF 2008	République Française: Third National Report on compliance with the Joint Convention Obligations, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. September 2008



- SSK 1998 Strahlenschutzkommission (SSK): Freigabe von Materialien, Gebäuden und Bodenflächen mit geringfügiger Radioaktivität aus anzeige- oder genehmigungspflichtigem Umgang. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Berichte der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 16, 1998
- SSK 2005 Strahlenschutzkommission (SSK): Vergleich deutscher Freigabekriterien mit denen anderer Länder am Beispiel ausgewählter Radionuklide. Stellungnahme der SSK, Berichte der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 45, 2005
- SSK 2007 Strahlenschutzkommission (SSK): Freigabe von Stoffen zur Beseitigung. Empfehlung der SSK, Berichte der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 54, 2007
- StrlSchV 2001 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 7 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)
- TÜV SÜD 2007 TÜV SÜD Energietechnik GmbH: Stellungnahme KWO – Änderungsanzeige (ÄA)-Nr. 2006/41-B, Betriebsanweisung 2004/02 “Mess- und Verfahrensvorschrift zur uneingeschränkten und zur zweckgerichteten Freigabe“ – hier: Stellungnahme vor Durchführung des Änderungsverfahrens. Mannheim, 30.04.2007, Az.: MAN-ETS3-07-0248
- UEV 2015 Umwelt, Entsorgung und Verwertung GmbH (UEV): Internetauftritt, [www.uev.de](http://www.uev.de)