

**Stellungnahme**  
**zu einem Verbleib von gering**  
**radioaktiven Materialien aus der**  
**Stilllegung von Atomkraftwerken**  
**an deren Standorten**

**Auftraggeber:**

IPPNW - Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte  
für die Verhütung des Atomkrieges, Ärzte in sozialer Verantwortung e.V.

**Auftragnehmer:**

**intac** - Beratung · Konzepte · Gutachten  
zu Technik und Umwelt GmbH

Hannover, Juli 2016

Bearbeiter

Ing. grad. Dipl.-Phys. Wolfgang Neumann

**intac** - Beratung · Konzepte · Gutachten  
zu Technik und Umwelt GmbH

Kleine Düwelstraße 21

30 171 Hannover

Tel.: 0511 / 85 30 55

Fax: 0511 / 85 30 62

e-mail: [WNeumann@intac-hannover.de](mailto:WNeumann@intac-hannover.de)

---

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Stilllegung und Freigabe .....</b>	<b>10</b>
2.1 Stilllegung und Abbau.....	10
2.1.1 Stilllegungsstrategie .....	10
2.1.2 Radioaktivitätsinventar .....	14
2.2 Bei der Stilllegung anfallende Reststoffe/Abfälle .....	14
2.2.1 Massen, Arten und Verbleib von Reststoffen/Abfällen .....	15
2.2.2 Radioaktive Abfälle .....	18
2.2.3 Freigabe.....	20
2.2.4 Herausgabe .....	22
<b>3. Bewertete Stilllegungsoptionen .....</b>	<b>24</b>
3.1 Optionen ohne Abbau.....	24
3.2 IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ .....	25
3.3 Option mit vollständigem Abbau .....	26
<b>4. Bewertung der Optionen .....</b>	<b>27</b>
4.1 Voraussetzungen und Rahmenbedingungen .....	27
4.2 Option „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ .....	31
4.2.1 Umsetzbarkeit .....	31
4.2.2 Vor- und Nachteile .....	36
4.3 IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ .....	45
4.3.1 Varianten .....	45
4.3.2 Umsetzbarkeit .....	48
4.3.3 Vor- und Nachteile .....	51

---

4.4	Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ .....	56
4.4.1	Umsetzbarkeit .....	57
4.4.2	Vor- und Nachteile .....	58
	<b>Verwendete Unterlagen und Literatur .....</b>	<b>63</b>
	<b>Glossar .....</b>	<b>69</b>
	<b>A N H A N G .....</b>	<b>72</b>

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>Abbildung 1: Gesamtmassen beim Abbau eines Atomkraftwerkes .....</b>	<b>15</b>
<b>Abbildung 2: Radioaktiv belastetes Material des Kontrollbereichs .....</b>	<b>17</b>
<b>Abbildung 3: Umgang mit den radioaktiv belasteten Materialien aus dem Kontrollbereich.....</b>	<b>18</b>
<b>Abbildung 4: Anteile der Konditionierungsmethoden für radioaktive Abfälle.</b>	<b>19</b>
<b>Abbildung 5: Lageplan der Gebäude des Atomkraftwerkes Esenshamm (KKU) .....</b>	<b>30</b>

## **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Option „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabelle 2: Vor- und Nachteile IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Option „Vollständiger Rück- bau mit Bunker“ .....</b>	<b>62</b>

## Zusammenfassung

Die Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges, Ärzte in sozialer Verantwortung e.V. (IPPNW) hat einen Vorschlag zum Umgang mit gering radioaktiven Materialien aus der Stilllegung von Atomkraftwerken zur Prüfung vorgelegt. Bei dieser Option sollen die Gebäude nach einem teilweisen Abbau („Entkernung“) nach außen abgeschlossen stehen bleiben. Die gering radioaktiven Materialien, die nach der gegenwärtig üblichen Praxis freigegeben (§ 29 StrlSchV) oder herausgegeben werden, sollen stattdessen in der eingeschlossenen Restanlage am Standort des stillzulegenden Atomkraftwerkes verbleiben. Für diese **IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“** werden auftragsgemäß zwei Varianten der „Entkernung“ betrachtet. Die „Entkernung“ betrifft dabei entweder nur die höher radioaktiv belasteten Komponenten und Strukturen oder alle höher, mittel und schwach radioaktiven Systeme, Komponenten und Gebäudestrukturen.

Neben der IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ wurden auftragsgemäß die Optionen **„Dauerhaft Sicherer Einschluss“** (ohne „Entkernung“) sowie vollständiger Abbau des Atomkraftwerkes und Verwahrung der dabei anfallenden gering radioaktiven Materialien in einem Bunker (**„Vollständiger Rückbau mit Bunker“**) bewertet.

Bei den Optionen mit teilweisen oder vollständigen Abbau sollen die anfallenden radioaktiven Abfälle bis zur Endlagerung in einem geeigneten Gebäude am Standort zwischengelagert werden.

Ein Atomkraftwerk besitzt nach der Abschaltung, der Entfernung aller Brennelemente aus der Anlage und der Dekontamination des Hauptkühlmittelkreislaufes immer noch ein Radioaktivitätsinventar von ca.  $10^{17}$  Bq. Deshalb sind zur Verringerung sowie Vermeidung unnötiger Strahlenbelastungen auch während der Stilllegung weiterhin hohe Sicherheitsanforderungen zu erfüllen.

Die bisher in der Bundesrepublik Deutschland angewendeten Stilllegungsstrategien sind der „Sofortige Abbau“ und der „Sichere Einschluss“. Letzterer ist auf einen Einschluss von ca. 30 Jahren begrenzt, danach wird das Atomkraftwerk vollständig abgebaut. Bei beiden Strategien werden die anfallenden Materialien als radioaktive Abfälle nach § 72 ff StrlSchV behandelt, werden nach § 29 StrlSchV über verschiedene Pfade freigegeben oder werden herausgegeben.

An die „Freigabe“ und an die „Herausgabe“ von Materialien aus einem nach § 7 Abs. 1 AtG genehmigten Atomkraftwerk in den konventionellen Stoffkreislauf gibt es vielfach Kritik. Die freigegebenen und ein Teil der herausgegebenen Materialien sind nicht radioaktivitätsfrei, sondern gering radioaktiv.

Durch die IPPNW-Option bzw. die weiteren in dieser Stellungnahme bewerteten Optionen sollen, anders als bei den bisher in der Bundesrepublik Deutschland verfolgten Stilllegungsstrategien, die Verbreitung der gering radioaktiven Materialien in die Umwelt und die dadurch möglichen Strahlenbelastungen vermieden werden. Als Voraussetzungen für einen Verbleib dieser Materialien am Standort werden in dieser Stellungnahme, in Abhängigkeit von der betrachteten Option, der einwandfreie Zustand der Gebäudestruktur, keine nachteiligen hydrologischen Standortbedingungen, keine Beeinträchtigung der Oberflächen- und Grundwasserqualität durch den Anlagenbetrieb sowie keine nachteiligen geologischen Standortbedingungen identifiziert.

Es gibt einen großen Teil von Gebäuden oder Gebäudeteilen der Atomanlage außerhalb der Kontrollbereiche, die durch den Betrieb der Anlage nicht radioaktiv belastet sind. Es wird in dieser Stellungnahme empfohlen, alle radioaktivitätsfreien und nicht mehr benötigten Gebäude abzureißen. Bisher wurden die bei deren Abbau anfallenden Materialien unter Nutzung der „**Herausgabe**“ aus der atomrechtlich genehmigten Anlage entfernt. Diese Vorgehensweise sollte zur Erhöhung der Strahlenschutzsicherheit (u.a. Vermeidung der „Herausgabe“ von querkontaminierten Materialien) und aus formalrechtlichen Gründen (es gibt in der Strahlenschutzverordnung keine Grundlage dafür) verändert werden. Diese Materialien sollten nach messtechnischem Nachweis der Radioaktivitätsfreiheit nach § 29 StrlSchV uneingeschränkt freigegeben werden.

Zunächst wurde in der hier vorgelegten Stellungnahme die Option ohne Abbau von Systemen, Komponenten und Gebäudestrukturen, der „**Dauerhaft Sichere Einschluss**“ auf grundsätzliche Umsetzbarkeit und dessen Vor- und Nachteile geprüft. Diese Option wurde in dieser Stellungnahme durch die international diskutierte Option „**Entombment**“ ergänzt, da mit ihr gleiche Intentionen verfolgt werden.

Bei beiden Optionen verbleibt das gesamte beim Ausgangszustand für die Stilllegung vorhandene Radioaktivitätsinventar am Standort. Dazu gehören auch langlebige Radionuklide, vor allem  $\alpha$ -Strahler. Die Standsicherheit und Dichtheit von Bauwerken sind zeitlich begrenzt, beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ auf abgeschätzt 100 –

150 Jahre, beim „Entombment“ auf abgeschätzt ca. 300 Jahre. Zu diesem Zeitpunkt sind die länger- und langlebigen Radionuklide in dem nicht „entkernten“ Atomkraftwerk noch nicht ausreichend zerfallen. Dies ist der Hauptgrund, weshalb die Umsetzbarkeit dieser Optionen bei Berücksichtigung der etablierten Strahlenschutzanforderungen und der dichten Besiedelung als sehr kritisch angesehen wird.

Der „Dauerhaft Sichere Einschluss“ ohne „Entkernung“ verursacht bei unterstelltem normalem Verlauf aller Tätigkeiten und Abläufe geringere Strahlenbelastungen für Personal (vor allem keine Abbauarbeiten) und Bevölkerung (bzgl. Anlagenumgebung und Freigabe) als dies bei den bisherigen Stilllegungsstrategien in der Bundesrepublik der Fall ist. Das Störfallrisiko muss dagegen bei Berücksichtigung des gesamten zu betrachtenden Zeitraums als eher höher eingeschätzt werden. Der dauerhafte Verbleib aller Materialien des Atomkraftwerkes am Standort kann als oberflächennahes Endlager interpretiert werden. Damit würde die bundesdeutsche Sicherheitsphilosophie, alle radioaktiven Abfälle weit von der Biosphäre entfernt in tiefen geologischen Formationen zu lagern, aufgehoben. Es entstehen quasi Endlager für radioaktive Abfälle an mehreren Standorten. Die Gesellschaft muss dauerhaft (mehr als 1000 Jahre) Verantwortung für Sicherheit und Strahlenschutz an den Atomkraftwerksstandorten übernehmen.

Für die IPPNW-Option „**Stehenlassen nach Entkernung**“ wird in der hier vorgelegten Stellungnahme nach Prüfung der beiden vorgeschlagenen Varianten empfohlen, die mit dem Abbau aller höher, mittel und schwach radioaktiven Systeme, Komponenten und Gebäudestrukturen weiter zu verfolgen. Dies wird mit der nachhaltigen Verringerung des Radioaktivitätsinventars von ca.  $10^{17}$  Bq auf geringer als  $10^9$  Bq, mit Vorteilen beim Strahlenschutz und mit der Verringerung des Störfallrisikos begründet.

Diese Option, bei der alle bei der Entkernung angefallenen gering radioaktiven Materialien und die noch nicht abgebauten gering radioaktiven Systeme, Komponenten und kontaminierten Gebäudestrukturen kontrolliert und nach außen möglichst weitgehend isoliert stehengelassen werden, ist umsetzbar. Sollten Standsicherheit und Dichtheit der Gebäude nach mehr als 100 Jahren nicht mehr im zu Beginn der Stilllegungsphase erforderlichen Umfang gegeben sein, sind die eher kurzlebigen Radionuklide weitgehend abgeklungen. Auch wenn die Isolierung nicht in dem bis dahin möglichen Umfang weiter aufrechterhalten werden kann, sind die dann möglichen

Maßnahmen zur Rückhaltung in Abwägung mit den Vorteilen dieser Option ausreichend.

Bei der IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ sind die Strahlenbelastungen des Personals nach Plausibilitätsbetrachtung nicht sehr unterschiedlich zu den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien, dürften aber tendenziell eher etwas geringer sein. Die Strahlenbelastungen der Bevölkerung sind aufgrund der nicht erfolgten Freigabe geringer einzuschätzen als bei den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien. Gleiches gilt bei globaler Betrachtung für die Störfallsicherheit. Die anwohnende Bevölkerung muss über einen sehr langen Zeitraum nicht radioaktivitätsfreie Gebäude am Standort akzeptieren.

Insgesamt ergab die Prüfung der IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“, dass sie umsetzbar ist und gegenüber den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien mit Freigabe radiologisch vorteilhaft ist.

Ebenfalls als umsetzbar wird die Option „**Vollständiger Rückbau mit Bunker**“ eingeschätzt. Hier werden alle beim vollständigen Abbau des Atomkraftwerkes angefallenen gering radioaktiven Materialien in ein neu am Standort errichtetes Bauwerk eingebracht.

Nach einer Plausibilitätsbetrachtung gibt es für Strahlenbelastungen des Personals keinen relevanten Unterschied zu den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien. Am Standort besteht über einen längeren Zeitraum ein geringes Störfallrisiko. Das Störfallrisiko durch mögliche Störfälle bei einer Freigabe des gleichen Materials im Rahmen der bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien ist als größer einzuschätzen. Der Bevölkerung wird durch die nicht erfolgte Freigabe Strahlenbelastung erspart. Die anwohnende Bevölkerung muss aber quasi ein Endlager für gering radioaktive Materialien am Standort akzeptieren.



## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

In der Bundesrepublik Deutschland wird in Zusammenhang mit den bei der Nutzung der Atomenergie anfallenden radioaktiven Abfällen und Reststoffen zurzeit vor allem über drei sicherheitstechnische Aspekte diskutiert:

- ◆ Anforderungen und Dauer der Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle.
- ◆ Suche eines Standortes für die Endlagerung insbesondere wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle
- ◆ Verbleib gering radioaktiver Stoffe aus der Stilllegung von Atomanlagen.

Wenngleich es bei den ersten beiden Themen um deutlich höhere Radioaktivitätsinventare geht, ist auch der Umgang mit den gering radioaktiven Materialien relevant. In Deutschland wird gegenwärtig oder in naher Zukunft begonnen, 22 Leistungsreaktoren in Atomkraftwerken stillzulegen. Dabei fällt eine sehr große Menge dieser Stoffe an. In der gegenwärtigen bundesdeutschen Praxis werden diese Stoffe nach § 29 StrlSchV in den konventionellen Stoffkreislauf freigegeben. Die Freigabe bedeutet zum Teil einen völlig unkontrollierten Verbleib von Radioaktivität in Umwelt und Gegenständen und für den Rest einen wenig kontrollierten Umgang.

Um die Verteilung von Radioaktivität in der Umwelt und die damit verbundene Strahlenbelastung sowie den Verlust der Kontrolle zu vermeiden, schlägt die IPPNW den Verbleib der gering radioaktiven Stoffe am Standort des Atomkraftwerkes vor. Darüber hinaus wird eine Verringerung der Strahlenbelastung des Personals angestrebt. Konkret schlägt IPPNW als Vorgehensweise ein „Stehenlassen nach Entkernung“ vor:

*Zunächst Abbau von höher radioaktiven Systemen, Komponenten und Anlagenteilen oder von höher, mittel und schwach radioaktiven Systemen, Komponenten und Anlagenteilen sowie die Entfernung der jeweils dabei anfallenden Reststoffe und Abfälle aus dem Atomkraftwerk.*

*Anschließend kontrolliertes „Stehenlassen“ der Gebäude und von Strukturen mit radioaktiven Belastungen.*

Neben dieser „IPPNW-Option“ werden weitere Optionen diskutiert:

- ◆ „Dauerhafter Sicherer Einschluss“<sup>1</sup> des Atomkraftwerkes ohne Abbau von Systemen, Komponenten und Anlagenteilen.
- ◆ „Vollständiger Abbau mit Bunker“, das heißt Stilllegung und Abbau des gesamten Atomkraftwerkes und Lagerung der dabei anfallenden gering radioaktiven Materialien in einem neu gebauten robusten Bauwerk („Bunker“) am Standort des Atomkraftwerkes.

Da bisher keine dieser Vorgehensweisen in der Bundesrepublik Deutschland realisiert oder in Regelwerken berücksichtigt wurden, gibt es hierzu noch keine Machbarkeitsbetrachtungen und keine sicherheitstechnischen Bewertungen.

IPPNW hat die intac GmbH beauftragt, eine erste kursorische Prüfung der grundsätzlichen Machbarkeit der IPPNW-Option und der weiteren genannten Optionen vorzunehmen und ebenfalls kursorisch die Vor- und Nachteile aller Optionen für den Umgang mit den gering radioaktiven Stoffen herauszuarbeiten. Die Aussagen zur Machbarkeit müssen allgemein bleiben, da für konkrete Aussagen sehr umfangreiche Recherchen erforderlich wären, die nicht im Rahmen einer ersten kursorischen Prüfung möglich sind. Außerdem wäre der Zugang zu nicht unmittelbar öffentlich vorliegenden Unterlagen erforderlich. Es ist nicht Auftrag, in dieser Stellungnahme die sicherheitstechnisch beste Option zu ermitteln und auch nicht einen detaillierten Umsetzungsvorschlag für eine der Optionen zu erarbeiten. Gleichwohl werden in dieser Stellungnahme zu den Optionen auch Vorschläge aus Strahlenschutzsicht vorgebracht.

Die beauftragte Stellungnahme wird hiermit vorgelegt.

Zur Grundlage für die beauftragte Prüfung werden im folgenden Kapitel 2 zunächst der aktuelle Sachstand sowie geführte Diskussionen zur Stilllegung und zu den dabei anfallenden Materialien beschrieben. In Kapitel 3 werden die bisherigen Überlegungen der IPPNW dargelegt. Das Kapitel 4 enthält die Prüfung.

---

<sup>1</sup> „Sicherer Einschluss“ ist die Bezeichnung nach Atomgesetz. Sie bezieht sich dort auf einen in der Genehmigung festzulegenden begrenzten Zeitraum.

## 2. Stilllegung und Freigabe

### 2.1 Stilllegung und Abbau

Für die Stilllegung und den Abbau von Atomkraftwerken ist eine Genehmigung nach § 7 Abs. 3 AtG erforderlich.

Auch nach Abschluss des Reaktorbetriebes handelt es sich bei den Kraftwerken nach wie vor um Atomanlagen. Das Gesamtradioaktivitätsinventar der Anlage kann zwar vor allem durch die Entfernung der bestrahlten Brennelemente und einer De-kontamination des Hauptkühlkreislaufes deutlich reduziert werden (von ca.  $10^{21}$  Bq auf ca.  $10^{17}$  Bq [EON 2003]), ist aber dennoch sehr groß. Das heißt, während der Stilllegungs- und Abbauarbeiten ist das Personal und auch die Bevölkerung in der Umgebung weiterhin einer Strahlenbelastung ausgesetzt. Auch sind während der Stilllegung nach wie vor Störfälle mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe möglich. De-ren Auswirkungen können zwar wegen der nicht mehr vorhandenen Brennelemente sowie wegen der nicht mehr vorhandenen Druckbeaufschlagung und der geringeren Temperaturen nicht mehr so katastrophal sein, wie bei einem in Betrieb befindlichen Reaktor, sie sind aber dennoch nicht vernachlässigbar.

#### 2.1.1 Stilllegungsstrategie

In der Bundesrepublik Deutschland werden bisher zwei Stilllegungsstrategien verfolgt und umgesetzt, der „Sofortige Abbau“ und der „Sichere Einschluss“.

Bei der Stilllegungsstrategie „**Sofortiger Abbau**“ wird die Stilllegung bis zur Freigabe des Anlagengeländes aus atomrechtlicher Verantwortung Schritt auf Schritt ohne konzeptbedingte Verzögerung durchgeführt. Wegen des nach wie vor hohen Gefahrenpotenziales, der Komplexität der Anlage und der notwendigen Sorgfalt beim Abbau und Zerlegen von Systemen und Komponenten sowie beim Abriss von Gebäudestrukturen benötigt auch dieses Vorgehenskonzept mehrere Jahre zur Umsetzung. In der Bundesrepublik Deutschland wird gegenwärtig von 12 bis 15 Jahren von der Erteilung der ersten Stilllegungsgenehmigung bis zur Entlassung von Gebäude und Gelände aus dem Zuständigkeitsbereich von Atomgesetz und Strahlenschutzverordnung ausgegangen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass das im Zusammenhang mit „Sofortigem Abbau“ genannte Ziel „Grüne Wiese“ nach Beendigung des Abbaus an den Standorten der in der Bundesrepublik noch stillzulegenden Atomkraftwerke nicht realisierbar ist. Die Standort-Zwischenlager für bestrahlte Brennelemente werden in der Regel noch einige Dekaden betrieben werden müssen und ein Zwischenlager für die bei der Stilllegung anfallenden radioaktiven Abfälle wird, selbst wenn das hierfür von der Bundesregierung vorgesehene Endlager Konrad plangemäß 2023 in Betrieb gehen sollte, aus logistischen Gründen für mehrere Jahre darüber hinaus erforderlich sein.

Außerdem ist auch zu bezweifeln, ob die Betreiber der Atomkraftwerke überhaupt noch das Ziel „Grüne Wiese“ verfolgen. Mindestens an einigen Standorten ist vorgesehen, unterirdische Bauwerksteile wie Keller, Kanäle und Gründungspfähle im Erdboden zu belassen (siehe z.B. [E.ON 2015]).

Für die meisten bisher stillgelegten, in Stilllegung befindlichen oder zur Stilllegung beantragten Leistungsreaktoren wurde bzw. wird in der Bundesrepublik Deutschland die Strategie „Sofortiger Abbau“ eingesetzt.

Die Strategie „**Sicherer Einschluss**“ beinhaltet eine Phase der Unterbrechung nach bestimmten Schritten der Stilllegung. Nach der - soweit erforderlich - vorgenommenen Ertüchtigung von Systemen und Strukturen sowie dem Abbau eines Teiles von Einrichtungen mit geringem Aktivitätsinventar wird die Phase des „Sicheren Einschlusses“ eingeleitet. Dazu werden Belüftung, Beleuchtung und Möglichkeiten zur Radioaktivitätsmessung im Reaktorgebäude (ggf. Containment) sowie eventuell einigen angrenzenden Gebäudeteilen eines Atomkraftwerkes sichergestellt und alle anderen Rohr- bzw. elektrischen Leitungen an diesen räumlichen Grenzen unterbrochen und abgedichtet. Gleichfalls werden mit Ausnahme eines Zuganges alle anderen Öffnungen zum Beispiel durch mauern, betonieren oder schweißen verschlossen. Damit entsteht (sofern die Gebäudestruktur dafür geeignet ist) ein relativ leicht zu überwachender, dicht verschlossener Bereich, aus dem praktisch keine radioaktiven Stoffe entweichen sollen. Der so isolierte Bereich muss zur Kontrolle in längeren Abständen durch Personen begangen werden. Außerhalb des eingeschlossenen Anlagenbereiches können die Arbeiten in und an den aus dem atomrechtlichen Rechtsrahmen entlassenen Gebäuden fortgesetzt werden. Welche Gebäude bzw. Bereiche der „Sichere Einschluss“ genau umfasst, ist vom Reaktortyp abhängig und kann je nach Zustand der Anlage entschieden werden.

In der Bundesrepublik wurden bisher die mit Leistungsreaktoren betriebenen Atomkraftwerke Lingen (KWL) und der Thorium-Hochtemperaturreaktor Hamm-Uentrop (THTR-300) „sicher eingeschlossen“.

Im **Atomgesetz** gibt es keine Vorgaben welche der beiden Strategien einzusetzen ist. Auch im untergesetzlichen Regelwerk werden beide Strategien als möglich genannt. Die Entscheidung hierüber trifft nach gegenwärtiger Rechtslage der Betreiber des Atomkraftwerkes und stellt einen Genehmigungsantrag zur Stilllegung nach § 7 Abs. 3 AtG mit einer der beiden Strategien. Die Genehmigungsbehörden haben in den bisherigen Verfahren nicht geprüft, ob mit der beantragten Strategie die für den Standort optimale gewählt wurde und ob die gewählte im Vergleich zur anderen Strategie voraussichtlich die geringere Strahlenbelastung für Personal und Bevölkerung verursacht.

Die Niedersächsische und die Schleswig-Holsteinische Landesregierung wollten aufgrund der nach ihrer Meinung erreichten technischen Fortschritte bei Stilllegung und Abbau (Niedersachsen) [BIRKNER 2011] und wegen der langen Verzögerung des endgültigen Abbaus (Schleswig-Holstein) [HABECK 2012] den „Sicheren Einschluss“ aus dem Atomgesetz streichen. Dazu wurde von Schleswig-Holstein ein Gesetzesvorschlag in den Bundesrat eingebracht. Die Einbringung dieses Gesetzesvorschlags in den Deutschen Bundestag wurde jedoch vom Bundesrat abgelehnt [BR 2012].

Einen neuen Anlauf zur Streichung des „Sicheren Einschluss“ aus dem Atomgesetz unternimmt nun eine vom Bundeswirtschaftsministerium eingesetzte Kommission. Zur Sicherstellung der Finanzierung von Stilllegung und Abbau schlägt sie eine entsprechende Änderung des Atomgesetzes vor [KFK 2016].

International wird eher das Gegenteil verfolgt. Im Rahmen der IAEA wurde vor allem die Stilllegung mit schnellem Rückbau zur „Grünen Wiese“ als bevorzugte Strategie infrage gestellt. Aufgrund der Einflussnahme einiger Staaten sowie der veränderten Lage wegen der – nach Meinung der IAEA – weltweiten Atomenergie-Renaissance hat die Strategie „Sicherer Einschluss“ wieder mehr Bedeutung und die neuen Strategien „eingeschränkte Freigabe“ (industrielle Nutzung der Gebäude) und „dauerhafter Einschluss“ („Entombment“) sollen verstärkt geprüft und eingesetzt werden [LARAIA 2011].

Vor allem aus sicherheitstechnischer Sicht und Strahlenschutzsicht sollte nicht generell gesetzlich vorgegeben werden, welche der Stilllegungsstrategien anzuwenden ist.

Die Vorteile eines „Sofortigen Abbaus“ können zum Beispiel relativiert werden, wenn der Antragsteller größere Komponenten und/oder Gebäude vor Abbau bzw. Abriss über längere Zeit abklingen lassen will (siehe Kapitel 4.3.2). Auch die Frage, ob der Betrieb eines Zwischenlagers für die radioaktiven Abfälle am Standort vorgesehen ist oder eine externe Zwischenlagerung beantragt wird, ist bei der Strategieentscheidung zu berücksichtigen. Deshalb sollte immer das Gesamtkonzept des Antragstellers für Stilllegung, Abbau und Reststoff-/Abfallmanagement betrachtet werden.

Die Entscheidung sollte vom beantragten Gesamtkonzept, von den jeweils zu erwartenden Strahlenbelastungen für Personal und Bevölkerung, vom konkreten Zustand der Anlage, von möglichen Wechselwirkungen mit einem in Betrieb befindlichen Nachbarreaktor, von zur Verfügung stehenden Kapazitäten zum Umgang mit den anfallenden radioaktiven Reststoffen sowie von externen Randbedingungen (z.B. Verfügbarkeit eines Endlagers) abhängen. Deshalb sollte ein im Regelwerk festzuschreibender Kriterienkatalog entwickelt werden, mit dem unter Berücksichtigung des Minimierungsgebotes (§ 6 StrlSchV) eine sachgerechte und transparente Entscheidung über die Stilllegungsstrategie getroffen werden kann. Ein erster Vorschlag für einen Kriterienkatalog wurde im Rahmen der Diskussionen im Europäischen Parlament vorgelegt [GÖK 2005].

Anhand des Kriterienkatalogs kann die Entscheidung des Antragstellers für eine Strategie in den Antragsunterlagen nachvollziehbar dargelegt werden. Die Genehmigungsbehörde kann die Entscheidung dann im Sinne einer Alternativenprüfung bewerten. Entsprechende Möglichkeiten hierfür bietet beispielsweise die für das Genehmigungsverfahren nach § 7 Abs. 3 erforderliche Umweltverträglichkeitsprüfung [INTAC 2013b].

Die vorstehenden Ausführungen geben den bisherigen Diskussionsstand wieder. Die Freigabe gering radioaktiver Materialien nach § 29 StrlSchV wurde in diesem Rahmen noch nicht problematisiert.

### **2.1.2 Radioaktivitätsinventar**

Zu Beginn der Stilllegung beträgt das Radioaktivitätsinventar eines Atomkraftwerkes insgesamt etwa  $2,6 \cdot 10^{17}$  Bq [NIS 2012].

Etwa dieses Inventar wurde durch die Aktivierung von Metall und Beton in der Umgebung des Reaktorkerns durch die Neutronenstrahlung erzeugt. Durch den radioaktiven Zerfall der relativ kurzlebigen Aktivierungsprodukte Co-60 und Eu-152 verringert sich die Radioaktivität nach 5 Jahren auf  $8 \cdot 10^{16}$  Bq und nach 40 Jahren auf  $2 \cdot 10^{16}$  Bq.

Die innere Kontamination durch direkten Kontakt mit radioaktiven Medien (in Pumpen, Rohrleitungen usw.) beträgt zu Beginn der Stilllegung etwa  $1 \cdot 10^{13}$  Bq. Nach 5 Jahren verringert sich diese Radioaktivität durch den radioaktiven Zerfall auf  $3 \cdot 10^{10}$  Bq und nach 40 Jahren auf etwa  $1 \cdot 10^{10}$  Bq.

Die äußere Kontamination innerhalb der Gebäude durch luftgetragene radioaktive Partikel an Oberflächen von Einbauten und Gebäudestrukturen sowie eingedrungene Kontamination beträgt zu Beginn der Stilllegung etwa  $1 \cdot 10^9$  Bq. Nach 5 Jahren verringert sich diese Radioaktivität durch den radioaktiven Zerfall auf etwa  $1 \cdot 10^8$  Bq und nach 40 Jahren auf etwa  $2 \cdot 10^7$  Bq.

## **2.2 Bei der Stilllegung anfallende Reststoffe/Abfälle**

Bei der Stilllegung bzw. beim Abbau eines Atomkraftwerkes fallen – im Vergleich zum Betrieb – vermehrt sogenannte Reststoffe an. Diese Reststoffe besitzen ein sehr unterschiedliches Radioaktivitätsinventar. Das reicht von Gebäuden und ihrem Inventar ohne jede Belastung mit radioaktiven Stoffen durch den Betrieb der Atomanlage, bis zu den Kerneinbauten im Reaktordruckbehälter mit einer hohen Radioaktivität durch Aktivierung (Entstehung von Radionukliden durch Neutronenbeschuss) und Kontamination (Ablagerung von Radionukliden auf den Oberflächen). Die Reststoffe werden entweder weiter- bzw. wiederverwendet oder als Abfälle beseitigt. Für alle drei Umgangsformen gibt es in Abhängigkeit vom Radioaktivitätsinventar unterschiedliche Pfade.

Der einfachste und sinnvollste Pfad ist, die Komponenten oder Materialien in einer anderen kerntechnischen Anlage wieder zu verwenden. Dieser Pfad sollte absoluten

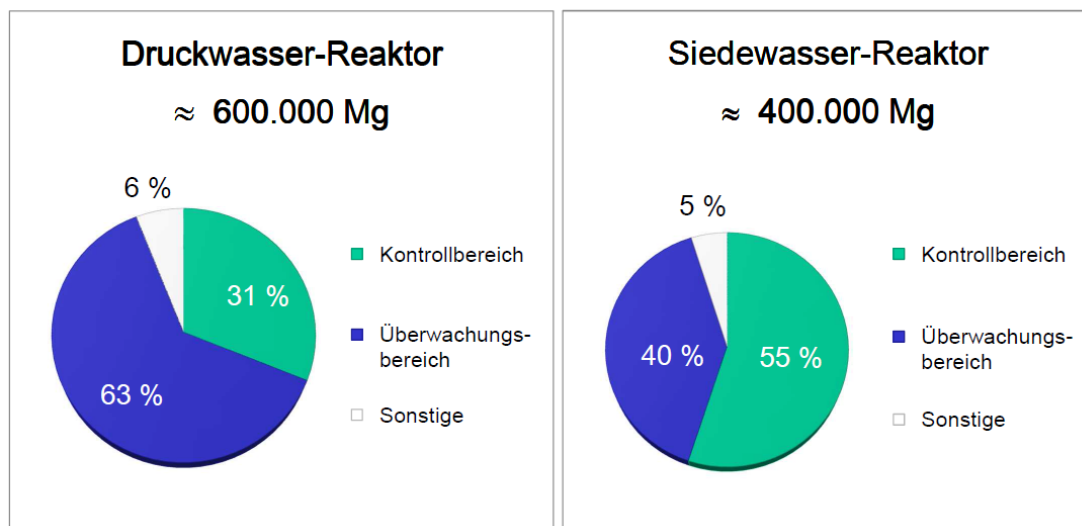
Vorrang haben und nicht von wirtschaftlichen Überlegungen abhängig sein. Dies muss in den Genehmigungen zur Stilllegung festgelegt werden. Hierauf wird im Folgenden nicht weiter eingegangen.

Der zweite Pfad ist, die angefallenen Reststoffe zu radioaktiven Abfällen zu erklären.

Die Pfade drei und vier erlauben die Reststoffe/Abfälle aus dem kerntechnischen Bereich in den konventionellen Stoffkreislauf zu überführen. In Abhängigkeit vom Radioaktivitätsinventar bedeutet das Freigabe nach § 29 StrlSchV oder Herausgabe. Bezüglich der Freigabe hat IPPNW Optionen für einen Verbleib dieser Stoffe am Atomkraftwerksstandort vorgeschlagen [IPPNW 2016b], auf die in den Kapiteln 3 und 4 eingegangen wird.

### 2.2.1 Massen, Arten und Verbleib von Reststoffen/Abfällen

Atomkraftwerke mit ihren Reaktoren sind große Industrieanlagen mit mehreren Bauwerken. Für die Reaktoren, die sich zurzeit im Stilllegungsverfahren befinden oder noch in Betrieb sind, können die in der folgenden Abbildung angegebenen Gesamtmassen als Referenz angenommen werden.



**Abb. 1: Gesamtmassen beim Abbau eines Atomkraftwerkes [ESK 2013].**  
(1 Mg = 1 t, alte Einheit)



Von den in Abbildung 1 gezeigten Massen sind jeweils etwa 94 % Betonstrukturen. Das sind im Wesentlichen die Gebäude und die Abschirmwände im Reaktorgebäude. Der Grund für den anteilig größeren Kontrollbereich bei Siedewasserreaktoren ist im Wesentlichen der einteilige Kühlkreislauf, der erhöhten Strahlenschutz und damit einen Kontrollbereich auch im Maschinenhaus erfordert.

Beim Abbau einer Atomanlage werden die anfallenden Massen zunächst Reststoffe genannt. Der Teil dieser Stoffe, die nicht an anderer Stelle weiterverwendet oder verwertet werden kann, wird als Abfall deklariert. Die anfallenden Reststoffe und Abfälle können radioaktiv belastet sein oder nicht.

Für die Zuordnung der bei der Stilllegung anfallenden Reststoffe wird zunächst die bei Erteilung der Betriebsgenehmigung vorgenommene strahlenschutzmäßige Einteilung in Kontrollbereich, Überwachungsbereich und sonstige Bereiche herangezogen. Welche Gebäude oder Gebäudeteile zu welchem Strahlenschutzbereich gehören, ist vom Reaktortyp (Druck- oder Siedewasserreaktor) abhängig und teilweise auch standortbedingt. Darauf wird in dieser Stellungnahme nicht detaillierter eingegangen. Grob sieht die Einteilung wie folgt aus: Zum Kontrollbereich gehören das Reaktorgebäude, das Reaktorhilfsanlagegebäude (u.a. mit Zu- und Abluftanlage, Wasseraufbereitungsanlage), Gebäudeteile oder Räume in denen mit radioaktiven Reststoffen/Abfällen umgegangen oder diese zwischengelagert werden (das kann inner- oder außerhalb des Reaktorhilfsanlagegebäudes sein) und bei Siedewasserreaktoren das Maschinenhaus. Der Rest der Gebäude und das Gelände innerhalb des Anlagenzaunes sind mit Ausnahme weniger sonstiger Bereiche Überwachungsbereich. Zu den sonstigen Bereichen können z.B. der oder die Kühltürme gehören.

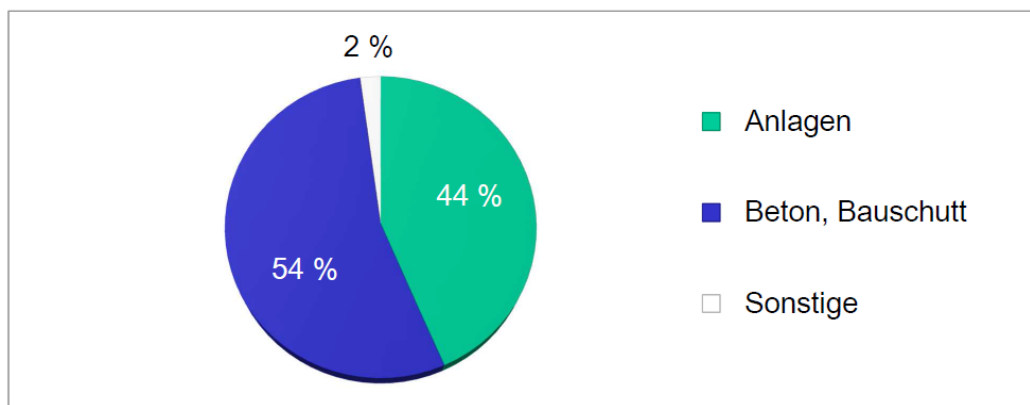
Für die **sonstigen Bereiche** wird davon ausgegangen, dass dort keine radioaktive Belastung aus dem Betrieb des Reaktors oder dem Umgang mit dabei anfallenden radioaktiven Stoffen gegeben ist. Sofern diese Bereiche nicht zur nach § 7 Abs. 1 AtG genehmigten Anlage gehören, kann mit den beim Abbau dort anfallenden Stoffe frei umgegangen werden. Gehören die Bereiche zur atomrechtlich genehmigten Anlage, kommt nach gegenwärtiger Praxis der Pfad „Herausgabe“ infrage.

Der **Überwachungsbereich** besitzt eine Materialmasse von etwa 400.000 Mg bei Druckwasserreaktoren und etwa 200.000 Mg bei Siedewasserreaktoren. In diesem Bereich der Anlage wurde nicht mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen. Für den größeren Teil dieses Bereiches wird davon ausgegangen, dass keine radioaktive

Belastung vorliegt. Das gilt zum Beispiel für das Notstromdieselgebäude oder das Verwaltungsgebäude. Einrichtungen und Komponenten sowie das Abbruchmaterial werden im Rahmen der „Herausgabe“ aus der Anlage entfernt. Für den großen Rest der Materialien im Überwachungsbereich wird radioaktive Kontamination unterstellt. Diese Materialien werden nach § 29 StrlSchV freigegeben. In dazu relativ geringem Umfang können im Überwachungsbereich auch als radioaktiver Abfall zu deklarierende Materialien anfallen.

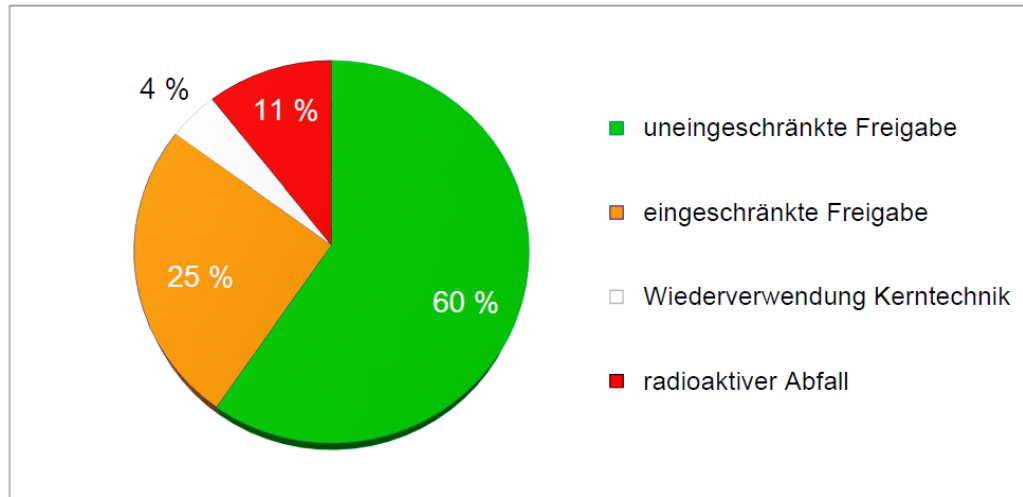
Der **Kontrollbereich** hat für beide Reaktortypen eine Masse von durchschnittlich ca. 200.000 Mg. Davon sind ca. 90% Bauschutt und Gebäudestruktur einschließlich Armierung. Metallische Reststoffe sind ca. 7 % und den Rest machen andere Stoffarten aus [GRS 2012]. Bezüglich der oben genannten Pfade werden von der Gesamtmasse des Kontrollbereichs 97 % nach § 29 StrlSchV freigegeben und nur 3 % als radioaktiver Abfall deklariert.

Nach Erfahrungswerten der Kernenergieindustrie wird davon ausgegangen, dass von den Massen des Kontrollbereichs ca. 50.000 Mg radioaktiv belastet sind. Eine grobe stoffliche Verteilung dieser Massen zeigt Abbildung 2:



**Abb. 2: Radioaktiv belastetes Material des Kontrollbereichs [ESK 2013].**

Von den 50.000 Mg Material aus dem Kontrollbereich werden nach gegenwärtiger Praxis 85 % nach § 29 StrlSchV freigegeben, 11 % werden als radioaktiver Abfall behandelt und 4 % werden in der Kerntechnik wiederverwendet (siehe Abbildung 3).



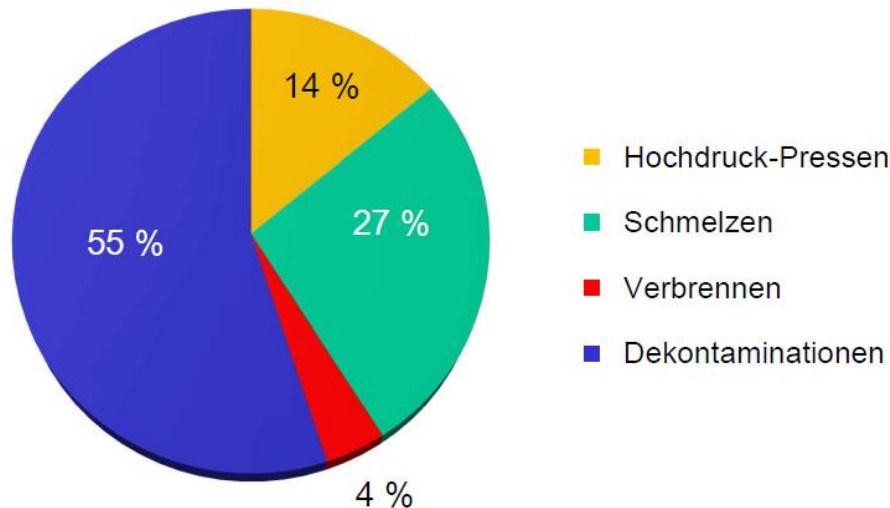
**Abb. 3: Umgang mit den radioaktiv belasteten Materialien aus dem Kontrollbereich. [ESK 2013]**

### 2.2.2 Radioaktive Abfälle

Die bei Stilllegung und Abbau anfallenden radioaktiven Abfälle können hoch, mittel oder schwach radioaktiv sein. Diese Abfallkategorien sind nicht durch festgelegte Radioaktivitätskonzentrationen voneinander abgegrenzt, sondern es gibt Übergangsbereiche mit einer gewissen Bandbreite (siehe hierzu im Glossar). Darüber hinaus gibt es die in dieser Stellungnahme gering radioaktiv genannten Abfälle, auf die in den Kapiteln 2.2.3 und 2.2.4 eingegangen wird.

Wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, ist der beim Abbau eines Atomkraftwerkes als radioaktive Abfälle deklarierte Anteil relativ gering. Bei der Stilllegung des Atomkraftwerkes Esenshamm wird der z.B. mit 2,2 % der Gesamtmasse des Kontrollbereichs abgeschätzt [EON 2015].

Die radioaktiven Abfälle werden nach Sortierung und Sammlung chargenweise konditioniert. Das kann Vorort oder in zentralen Konditionierungsanlagen erfolgen. Die Konditionierungsmethode hängt von der Art der Abfälle (fest/flüssig und anorganisch/organisch) und von wirtschaftlichen Erwägungen der Betreiber ab. Die Verteilung der konditionierten Abfälle ist Abbildung 4 zu entnehmen.



**Abb. 4: Anteile der Konditionierungsmethoden für radioaktive Abfälle.**  
[ESK 2013]

Die konditionierten Abfälle werden dann in ein Zwischenlager überführt, in dem sie bis zur Möglichkeit der Endlagerung aufbewahrt werden.

Die Zwischenlagerung der radioaktiven Stilllegungs- und Abbauabfälle ist nach gegenwärtigem Regelwerk ebenfalls sowohl am Stilllegungsstandort als auch extern möglich. In Bayern soll der größte Teil der Stilllegungs- und Abbauabfälle im Zwischenlager in Mitterteich, also extern, zwischengelagert werden. Die Abfälle des AKW Mülheim-Kärlich werden ebenfalls extern in Gorleben, Hanau und Ahaus zwischengelagert. An allen anderen AKW-Standorten erfolgt die Zwischenlagerung überwiegend am Standort. Dazu werden meist neue Gebäude errichtet.

Ein Zwischenlager am Standort vereinfacht die Logistik für den Umgang mit den radioaktiven Abfällen. Dadurch kann auch das Störfallrisiko während der Stilllegung und die Strahlenbelastung für das Personal verringert werden. Darüber hinaus werden durch ein Zwischenlager am Stilllegungsstandort unnötige Transporte des größeren Teils der Abfälle vermieden, da – sofern auch die Konditionierung Vorort stattfindet – für diese Abfälle nur der spätere Transport zum Endlagerstandort erforderlich ist.

### 2.2.3 Freigabe

Für die Möglichkeit der Freigabe von bei Stilllegung und Abbau anfallenden gering radioaktiven Reststoffen bzw. Abfällen aus dem Gültigkeitsbereich des Atomgesetzes in den konventionellen Bereich muss ihr Radioaktivitätsinventar bestimmte, in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Werte unterschreiten. Davon abgesehen gibt es noch die Einzelfallregelung, bei der ein individueller Nachweis geführt werden muss. Bedingung für beide Freigabeverfahren ist eine maximale Strahlenbelastung für eine Person aus der Bevölkerung von ca. 10  $\mu\text{Sv/a}$  bei Berücksichtigung eines Freigabepfades nach § 29 StrlSchV. Die Freigabe kann, je nach Radionuklidkonzentration, uneingeschränkt oder eingeschränkt erfolgen.

In Anlage III der Strahlenschutzverordnung sind Freigabewerte für Nuklid spezifische Radioaktivitätskonzentrationen bzw. -kontaminationen festgelegt. Diese Werte müssen für eine Freigabe unterschritten werden. Bei Auftreten von Radionuklidgemischen in den Reststoffen bzw. Abfällen ist eine Summenformel zur Feststellung der Unterschreitung anzuwenden.

Nuklidspezifische Werte für die uneingeschränkte Freigabe wurden in § 29 StrlSchV festgelegt für:

- a) Feste Stoffe (mit Ausnahme von c) in Bq/g. Sofern eine feste Oberfläche vorhanden ist, sind zusätzlich Werte für Oberflächenkontaminationen zu berücksichtigen.
- b) Flüssige Stoffe in Bq/g.
- c) Bauschutt und Bodenaushub in Bq/g bei einer Menge von mehr als 1.000 Mg Freigabemasse pro Jahr.
- d) Bodenflächen in Bq/cm<sup>2</sup>. Bei der Kontaminationsermittlung dürfen nur die Kontaminationen berücksichtigt werden, die durch die Anlage auf dem Betriebsgelände entstanden sind.
- e) Gebäude zur Wieder- und Weiterverwendung in Bq/cm<sup>2</sup>. Die Freimessung kann mit einem Stichprobenverfahren erfolgen.

Nuklidspezifische Werte für die eingeschränkte Freigabe wurden in § 29 StrlSchV festgelegt für:

- a) Beseitigung fester Stoffe in Bq/g. Sofern eine feste Oberfläche vorhanden ist, sind zusätzlich Werte für Oberflächenkontaminationen zu berücksichtigen. Die Freigabewerte sind gleich oder höher als für die uneingeschränkte Freigabe. Die freigegebenen Stoffe müssen ohne biologische und chemische Behandlung auf einer Deponie oder in einer Verbrennungsanlage beseitigt werden. Die Freigabewerte gelten nicht für Bauschutt und Bodenaushub bei einer freizugebenden Masse von mehr als 1.000 Mg/a.
- b) Beseitigung flüssiger Stoffe in einer Verbrennungsanlage in Bq/g.
- c) Rezyklierung von Metallschrott in Bq/g. Sofern eine feste Oberfläche vorhanden ist, sind zusätzlich Werte für Oberflächenkontaminationen zu berücksichtigen. Der Metallschrott muss eingeschmolzen werden. Es darf sich nicht um Verbundstoffe mit nichtmetallischen Komponenten handeln.
- d) Gebäude zum Abriss in Bq/cm<sup>2</sup>. Die Freimessung kann mit einem Stichprobenverfahren erfolgen.

Die Freigaberegulung wurde bereits vor ihrer endgültigen Aufnahme in die Strahlenschutzverordnung kritisiert [MESSERSCHMIDT 2000 und NEUMANN 2000]. Diese Kritik wurde für die Pfade uneingeschränkte Freigabe von Flüssigkeiten sowie eingeschränkte Freigabe von Metallen zur Rezyklierung und fester Stoffe zur Deponierung konkretisiert [GÖK/IFEU 2002]. Bei der Änderung der Strahlenschutzverordnung 2011 wurde ein Teil der Kritik berücksichtigt. In den wesentlichen Punkten blieb die Kritik jedoch erhalten [INTAC 2013a]:

- ◆ Die Erhöhung der Risikokoeffizienten für stochastische Wirkungen (Krebs mit Todesfolge<sup>2</sup> und genetische Schäden bei Nachkommen) nach Strahlenexposition bei niedriger Dosis [ICRP 2007] sowie die wissenschaftlich nicht mehr haltbare Berücksichtigung des Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktors (DDREF) [BFS 2005, SSK 2014] sind in der Freigaberegulung der Strahlenschutzverordnung nicht berücksichtigt.
- ◆ Die von der IAEA geforderte Einhaltung einer Maximaldosis von 10 µSv/a pro Freigabepunkt und von einigen 10 µSv/a für die Gesamtheit aller Freigabepunkten, die Einhaltung einer Kollektivdosis von 1 Personen Sv/a und die inhärente Sicher-

---

<sup>2</sup> Es handelt sich nach ICRP um einen mit den nicht tödlichen Krebsfällen gewichteten Wert.

heit aller Freigabepraktiken [IAEA 1988] sind in der Strahlenschutzverordnung nicht umgesetzt.

- ◆ Unzureichende Abschätzung des Mengengerüstes möglicher Freigabemassen und des zeitlichen Anfalls.
- ◆ Bei der uneingeschränkten Freigabe ist der Verbleib der in den Stoffen enthaltenen Radionuklide unkontrollierbar, eine Ansammlung von Radionukliden jeder Art in beliebigen Objekten (auch Dingen des täglichen Umgangs) ist nicht auszuschließen und die Erhöhung der Hintergrundstrahlung für die Bevölkerung ist unausweichlich.
- ◆ Es wird die uneingeschränkte Freigabe gering radioaktiver Stoffe ohne Massenbegrenzung zugelassen.
- ◆ Die Vorgaben zur Einhaltung der 10 µSv/a am jeweiligen Standort einer Beseitigungs- oder Rezyklierungsanlage (Recycling) sind unzureichend.
- ◆ Die Modellierung zur Ableitung der Freigabewerte für die Deponierung ist mangelbehaftet.

Für Teilströme der gegenwärtig zur Freigabe nach Strahlenschutzverordnung zugelassenen Stoffe gibt es seit längerer Zeit Alternativvorschläge für deren Deponierung. Dabei wird entweder die Nutzung einer Deponie mit der Klasse 3 empfohlen oder der Betrieb eines eigenen Endlagers für gering radioaktive Abfälle zur Prüfung vorgeschlagen. Darauf wird in dieser Stellungnahme nicht weiter eingegangen, sondern auf Literatur verwiesen [INTAC 2013a, NEUMANN 2015].

Die im Februar 2014 in Kraft getretene EU-Richtlinie zum Strahlenschutz [EU 2013] hat Einfluss auf die Freigaberegulierung in der Strahlenschutzverordnung. Sie muss bis 2018 in nationales Recht umgesetzt werden. Entwürfe aus dem Bundesumweltministerium für eine neue Verordnung liegen in der Öffentlichkeit noch nicht vor.

#### **2.2.4 Herausgabe**

Die „Herausgabe“ ist eine aktuell übliche Vorgehensweise zur Überführung von Stoffen aus der Zuständigkeit des Atomgesetzes in den konventionellen Bereich, die nicht aus dem Kontrollbereich stammen und eigentlich nicht radioaktiv belastet sein sollen. Die Kontaminations- bzw. Aktivierungsproduktfreiheit wird aus der Betriebs- historie und der Art der Nutzung der Gebäude bzw. Gebäudestrukturen bzw. des

Stoffes in der Anlage abgeleitet und ist durch Beweissicherungsmessungen zu bestätigen. Die ESK hat hierzu empfohlen [ESK 2010], dass auch Materialien, deren Radioaktivität nicht mehr als 10 % der Werte für die uneingeschränkte Freigabe nach § 29 StrlSchV beträgt, als unbelastet anzusehen sind.

Die Schlussfolgerung der Radioaktivitätsfreiheit von Materialien durch Betrachtung der Betriebshistorie und der Nutzung des Stoffes in der Vergangenheit ist mit großen Unsicherheiten belastet. Die Beweissicherungsmessungen sind nur grobe Stichproben, die als Beweis für größere Teile oder Mengen nicht hinreichend sind. Die zur „Herausgabe“ vorgesehenen Stoffe sind mit größerer Wahrscheinlichkeit nicht großflächig kontaminiert. Deshalb nutzen grobe Stichproben wenig. Darüber hinaus gibt es Zweifel, ob die „Herausgabe“ formalrechtlich überhaupt zulässig ist, da sie weder im Atomgesetz noch in der Strahlenschutzverordnung verankert ist. Lediglich im untergesetzlichen Regelwerk (Stilllegungsleitfaden [BMU 2009] und Leitlinien [ESK 2010]) wird die Möglichkeit erwähnt. Eine detailliertere Kritik zur Herausgabe ist [INTAC 2013b] zu entnehmen. Auf dieser Grundlage dürfte die Freigabe nach § 29 StrlSchV die einzige zulässige Möglichkeit sein, die Stoffe in den konventionellen Kreislauf zu überführen. Voraussetzung dafür muss aber der abdeckende messtechnische Nachweis der Kontaminationsfreiheit sein.



### **3. Bewertete Stilllegungsoptionen**

Ziel der Überlegungen von IPPNW ist, die Freigabe der beim Abbau der Atomkraftwerke anfallenden gering radioaktiven Materialien in den konventionellen Stoffkreislauf zu vermeiden. Damit soll eine durch die Freigabe außerhalb der Atomanlage mögliche Strahlenbelastung von Mensch und Umwelt verhindert werden.

Die Reihenfolge der in dieser Stellungnahme für die Vorgehensweise bei der Stilllegung von Atomkraftwerken zu prüfenden Optionen ist an der Nachvollziehbarkeit der Abläufe bei den einzelnen Optionen orientiert.

#### **3.1 Optionen ohne Abbau**

In der Veröffentlichungsreihe „ippnw akzente“ werden die Stilllegung der Atomkraftwerke und der Umgang mit den dabei anfallenden Materialien in der Bundesrepublik Deutschland kritisiert [IPPNW 2016a]. Schwerpunkt der Kritik ist die Freigabe der gering radioaktiven Stoffe aus dem Abbau der Atomkraftwerke in den konventionellen Stoffkreislauf. Hierin wird eine unnötige und damit nicht zulässige Strahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung gesehen. Deshalb wird ein anderer Umgang mit diesen Stoffen gefordert.

Eine Möglichkeit die gering radioaktiven Stoffe am Standort zu belassen und darüber hinaus die Strahlenbelastungen von Personal durch den Abbau zu verringern ist ein „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ des Atomkraftwerkes. Das bedeutet, nach Beendigung des Leistungsbetriebes des Atomkraftwerkes werden die Brennelemente in das Standort-Zwischenlager überführt und eine Primärkreisdekontamination durchgeführt. Ein Abbau von Systemen, Komponenten oder anderen Anlagenteilen sowie Dekontaminationen von Gebäude- oder anderen Strukturen erfolgen nicht [IPPNW 2016c].

Der im Atomgesetz genannte und in der Vergangenheit praktizierte „Sichere Einschluss“<sup>3</sup> ist zeitlich befristet. Dafür ist jedoch keine bindende Zeitdauer vorgegeben.

---

<sup>3</sup> „Sicherer Einschluss“ ist die Bezeichnung nach Atomgesetz. Sie bezieht sich dort auf einen in der Genehmigung festzulegenden begrenzten Zeitraum.

Sie muss aber für den Stilllegungsantrag festgelegt und beantragt werden. In der Bundesrepublik Deutschland sind dafür um die 30 Jahre Einschlusszeit üblich. Im Gegensatz dazu, handelt es sich bei der von IPPNW zur zusätzlichen Prüfung vorgeschlagenen Option um einen dauerhaften, also unbefristeten „Sicheren Einschluss“.

Die Sicherheit des Einschlusses, also Zustand des Gebäudes und der erforderlichen Einrichtungen, soll regelmäßig kontrolliert werden.

In dieser Stellungnahme wird, zusätzlich zu den nach IPPNW-Auftrag [IPPNW 2016c] zu prüfenden Optionen, die international diskutierte Option „Entombment“ betrachtet. Dies wird als sinnvoll angesehen, da diese Option einige Elemente der drei zu prüfenden Optionen beinhaltet. Beim „Entombment“ erfolgt ebenfalls kein Abbau des Atomkraftwerkes. Vielmehr soll über den Gebäuden des Atomkraftwerkes eine Betonstruktur errichtet werden, die einerseits Radioaktivität zurück hält und andererseits gegen Einwirkungen von außen ausgelegt sein soll. Der Anlagenzustand soll dauerhaft kontrolliert werden.

### **3.2 IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“**

Als Alternative zu den bisherigen Abrissmodellen und zum Verbleib der gering radioaktiven Materialien am Standort des Atomkraftwerkes wird von IPPNW formuliert [IPPNW 2016b]:

*„Nach der Entfernung der Brennelemente soll auch die Bergung mindestens aller stark kontaminierten Materialien aus dem Kontrollbereich (Reaktor-druckbehälter, Teile des Biologischen Schildes etc.) erfolgen. Nach dieser „Entkernung“ soll das AKW dann aber nicht mehr verzögert abgerissen, sondern dauerhaft „versiegelt“ werden - dies unter dem Vorbehalt, dass die geologischen Bedingungen am jeweiligen Standort eine entsprechende Standfestigkeit garantieren müssen. Wir wollen also geprüft sehen, ob ganz auf die Freigabe gering-kontaminierten Mülls verzichtet werden kann, indem am Standort die AKW-Restgebäude im Sinne einer Dauerlagerung verbleiben.“*

Für den Verbleib der freigegebenen gering radioaktiven Reststoffe und Abfälle am Standort ist nach IPPNW denkbar [IPPNW 2016c]:

Kontrolliertes „Stehenlassen nach Entkernung“ der Gebäude und Strukturen mit radioaktiven Belastungen.

Nicht endgültig festgelegt ist, wie weit der von IPPNW „Entkernung“ genannte Abbau von Systemen, Komponenten und Anlagenteilen gehen soll. Es sollen hierzu in Anlehnung an die international übliche Kategorisierung radioaktiver Abfälle zwei Möglichkeiten geprüft werden [IPPNW 2016c]:

- a) *Abbau aller höher radioaktiv belasteten Systeme, Komponenten und Anlagenteile.*
- b) *Abbau aller höher, mittel und schwach radioaktiv belasteten Systeme, Komponenten und Anlagenteile.*

Die unter a) und b) genannten radioaktiv belasteten Stoffe sollen als radioaktive Abfälle bis zu einer möglichen Endlagerung am Atomkraftwerksstandort in einem dafür ausgelegten Gebäude zwischengelagert werden (§ 78 StrlSchV).

### **3.3 Option mit vollständigem Abbau**

Als weitere Option soll in dieser Stellungnahme der „Vollständige Rückbau mit Bunker“ geprüft werden.

Die bei Stilllegung und vollständigem Abbau des Atomkraftwerkes anfallenden gering radioaktiven Materialien sollen in einem auf dem Gelände neu gebauten robusten Bauwerk („Bunker“) gelagert werden.

Alle beim Abbau des Atomkraftwerkes anfallenden höher, mittel und schwach radioaktiv belasteten Stoffe sollen als radioaktive Abfälle bis zu einer möglichen Endlagerung am Atomkraftwerksstandort in einem dafür ausgelegten Gebäude zwischengelagert werden (§ 78 StrlSchV).

## 4. Bewertung der Optionen

In diesem Kapitel werden zunächst Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für die Umsetzbarkeit von Stilllegungsoptionen genannt (Kapitel 4.1). In den folgenden Kapiteln 4.2 bis 4.4 werden dann die Optionen geprüft. Die Reihenfolge, in der die Prüfung vorgenommen wird, ist so gewählt, dass die Nachvollziehbarkeit für die Unterschiede der Optionen möglichst groß ist.

### 4.1 Voraussetzungen und Rahmenbedingungen

Für alle der in dieser Stellungnahme zu prüfenden Stilllegungsoptionen gibt es aus sicherheitstechnischer Sicht Voraussetzungen, deren Erfüllung vor Festlegung der Stilllegungsstrategie geprüft werden müssen. Die zu prüfenden Voraussetzungen sind:

#### **Zustand von Gebäudestrukturen**

Der bauliche Zustand von Trägern sowie Betondecken, -böden und -wänden muss die Standsicherheit der stehen bleibenden Gebäude gewährleisten. Es muss eine ausreichende Belastungsfähigkeit gegeben sein und es dürfen keine Risse vorhanden sein, durch die radioaktive Stoffe nach außen gelangen können (z.B. Flüssigkeiten in Boden und Grundwasser).

#### **Hydrologische Standortbedingungen**

Ist ein Standort durch Hochwasser bzw. durch oberflächennah anstehendes und/oder im Pegel schwankendes Grundwasser betroffen, ist die Intaktheit der Gebäudestrukturen an oder unterhalb der Oberfläche über lange Zeiträume gefährdet. Ggf. während des Reaktorbetriebes dagegen getroffene Maßnahmen können möglicherweise nicht für weitere Jahrzehnte aufrechterhalten werden.

#### **Wasserqualität am Standort**

Durch den bisherigen Anlagenbetrieb sollte keine nachhaltige Beeinträchtigung der standortnahen Oberflächen- und Grundwässer gegeben sein. Andernfalls sind in der Regel eine möglichst zügige Sanierung und damit eine Entfernung aller baulichen Strukturen sinnvoll.

#### **Geologische Bedingungen am Standort**

Für den Standort darf nicht das Risiko eines Erdbebens durch unterirdisch vorhandene oder entstehende Hohlräume bestehen.

Ist am Standort Erdbebengefahr gegeben, müssen länger stehen bleibende Gebäude, in denen sich radioaktive Abfälle befinden, die aktuell geltenden atomrechtlichen Anforderungen für Erdbebensicherheit erfüllen.

Für die Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ aus Kap. 3.3 spielt die genannte Voraussetzung zum Zustand von Gebäudestrukturen keine Rolle, da ein neues Bauwerk errichtet wird. Für die IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ aus Kapitel 3.2 und die Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ aus Kapitel 3.3 ist die Voraussetzung zur Erdbebengefahr von geringerer Bedeutung.

Eine wichtige Rahmenbedingung für die Durchführung einer der drei Optionen ist die Herstellung eines bestimmten Ausgangszustands für die Anlage.

Als erstes müssen alle Brennelemente in das Standort-Zwischenlager überführt werden. Danach können die Kühlkreisläufe und das Reaktorlagerbecken entleert werden. Mit Entfernung der Brennelemente werden das Radioaktivitätsinventar des Atomkraftwerkes um ca. drei Größenordnungen und das Störfallrisiko insgesamt deutlich verringert.

Danach kann für alle ehemals mit Primärkühlmittel beaufschlagten Komponenten und Rohrleitungen eine Dekontamination durchgeführt werden (Primärkreisdekontamination). Erfolgt diese Dekontamination nach Stand von Wissenschaft und Technik, wird eine deutliche Verringerung der durch Kontamination verursachten radioaktiven Belastung der entsprechenden Bauteile erreicht. Dadurch wird die Kollektivdosis für das abbauende Personal um ca. Faktor 100 verringert und das Freisetzungspotenzial in die Umgebung beim Abbau und vor allem im Falle von Störfällen ebenfalls deutlich verringert. Außerdem wird die Kollektivdosis von Personal bei Konditionierung, Zwischenlagerung und sonstigem Umgang mit den Reststoffen verringert. Insofern ist diese Dekontamination dringend zu empfehlen und ist auch allein aufgrund des Minimierungsgebotes der Strahlenschutzverordnung durchzuführen.

Als weitere Schritte sind alle radioaktiv belasteten Flüssigkeiten und alle aus dem Anlagenbetrieb stammenden radioaktiven Abfälle zu entfernen.

Eine weitere Rahmenbedingung ist eine detaillierte radiologische Charakterisierung der Anlage nach Abschluss der Primärkreisdekontamination. Sie muss messtechnisch alle Bereiche betreffen, die zugänglich sind. Die anderen Bereiche sind zunächst rechnerisch zu erfassen.

Ein Atomkraftwerk besteht nicht nur aus den unmittelbar für den Reaktorbetrieb notwendigen Gebäuden. Die nach § 7 Abs. 1 AtG für Bau und Betrieb genehmigte Atomkraftwerksanlage ist wesentlich umfangreicher. Als Beispiel dient hier der in Abbildung 5 dargestellte Lageplan des Atomkraftwerkes Esenshamm (KKU).

Im Atomkraftwerk Esenshamm befindet sich ein Druckwasserreaktor, der zur Stromproduktion gedient hat. Abgesehen von den Zwischenlagern, gehören zum Kontrollbereich neben dem Reaktorgebäude lediglich das Reaktorhilfsanlagen- und das Konditionierungsanlagengebäude. Bei einem Siedewasserreaktor käme noch das Maschinenhaus dazu.

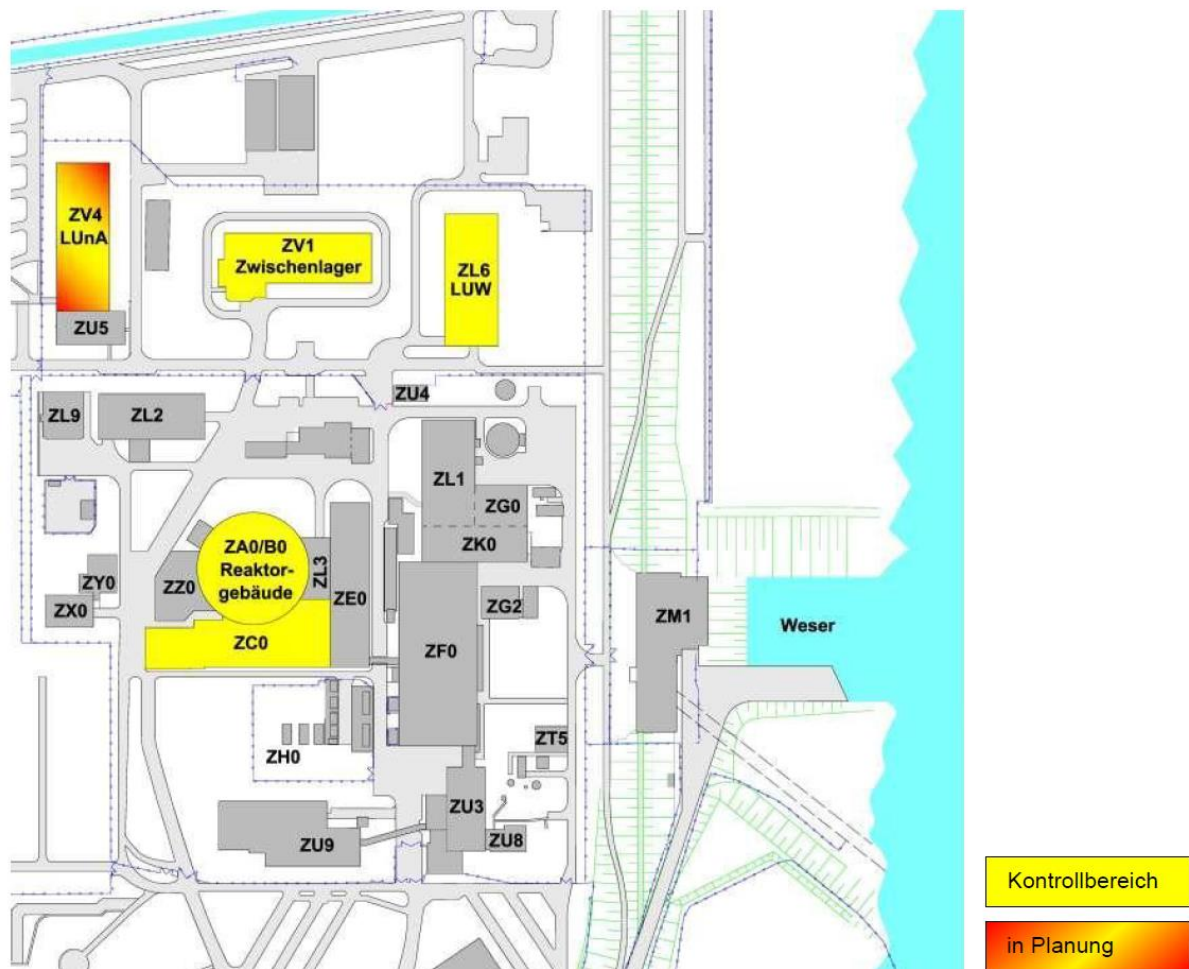
Sofern es an einem Standort keine Störfälle mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe gegeben hat ist davon auszugehen, dass mindestens ein großer Teil der Gebäude aus dem Überwachungsbereich und den sonstigen Bereichen außerhalb des Kontrollbereichs zumindest innen nicht radioaktiv belastet ist. Als Beispiele können für Druckwasserreaktoren das Kühlwasserpumpenbauwerk, die Sozial- und Bürogebäude und die Notstandsgebäude genannt werden.

Inwieweit durch die luftgetragenen Ableitungen radioaktiver Stoffe während des Betriebes Dächer und Außenwände kontaminiert sein können, müsste messtechnisch überprüft werden. Messungen dieser Art werden wahrscheinlich durchgeführt, es sind aber keine Messergebnisse bekannt. Sollten solche Kontaminationen festgestellt werden ist allerdings davon auszugehen, dass hier eine wirksame Dekontamination möglich wäre, bzw. Dachabdeckungen entfernt und je nach Belastung als radioaktiver Abfall oder gering radioaktives Material behandelt werden könnten. Diese Dekontamination wäre unter Strahlenschutz Gesichtspunkten auf jeden Fall sinnvoll, weil dadurch die Ausbreitung der Kontaminationen in die Umwelt verhindert wird.

Der Abbau nicht kontaminierter Gebäude bzw. Gebäudestrukturen, die nicht mehr benötigt werden, kann und sollte im Rahmen der Stilllegung erfolgen. Hierfür spricht neben allgemeinen Sicherheitsgründen auch der Geländegewinn.

Die dabei anfallenden Materialien (Bauschutt usw.) dürfen das Atomkraftwerk aber nicht auf dem Pfad „Herausgabe“ verlassen (siehe Kapitel 2.2.4). Ein solcher Pfad ist in der Strahlenschutzverordnung nicht vorgesehen. Dies wäre aber notwendig, wenn Materialien aus einer nach § 7 Abs. 1 AtG genehmigte Anlage entfernt werden sollen. Bei einer „Herausgabe“ besteht zum Beispiel die Gefahr unentdeckter Querkon-

taminationen, da nur ein sehr grobes Messraster für die Beweissicherung der Kontaminationsfreiheit angewendet wird.



ZA0/B0	Reaktor-, Reaktorringraum	ZM1	Kühlwasserpumpenbauwerk
ZC0	Hilfsanlagegebäude mit Konditionierungsanlagenbau	ZT5	Bürogebäude
ZE0	Schaltanlagegebäude	ZU3	Büro- und Sozialgebäude
ZF0	Maschinenhaus	ZU4	Nordpfortnereigebäude
ZG0	Wasseraufbereitung, Hilfskessel, Nebenanlagegebäude	ZU5	Sozialgebäude
ZG2	Kondensatentsalzungsgebäude	ZU8	Bürogebäude
ZH0	Freigelände Kuppel-, Block- und Abfahrumspeicher	ZU9	Sozialgebäude
ZK0	Notstromdiesel, Deionatspeicher, Nebenanlagegebäude	ZV1	Zwischenlager ZL-KKU
ZL1	Werkstatt, Lager, Nebenanlagegebäude	ZV4	<b>LUnA</b>
ZL2	Materiallagergebäude	ZX0	Notstandsgebäude 1
ZL3	Schwermetalllager, Armaturenkommer	ZY0	Notstandsgebäude 2
ZL6	LUW (Fasslager)	ZZ0	Gesichertes Gebäude
ZL9	Feuerwehrhaus		

**Abb. 5: Lageplan der Gebäude des Atomkraftwerkes Esenshamm (KKU)**

[EON 2015]

Diese Materialien sollten nach einem messtechnisch ausreichend detaillierten Nachweis der Kontaminationsfreiheit über § 29 StrlSchV uneingeschränkt freigegeben werden. Es wird hier ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich um nicht radioaktiv belastete Materialien handelt, die aus formalen atomrechtlichen Gründen über diesen Pfad aus der atomrechtlichen Zuständigkeit entlassen werden sollen. Auch die von der ESK als herausgebbar angesehenen Materialien mit Radioaktivitätsgehalten von unter 10 % der Freigabewerte [ESK 2010] sollen weder herausgegeben noch freigegeben werden.

Die in den folgenden Kapiteln diskutierten Optionen beziehen sich damit auf die Gebäude der Atomkraftwerke, die Kontrollbereiche enthalten, und die Gebäude, in denen Kontaminationen nicht ausgeschlossen werden können.

## **4.2 Option „Dauerhaft Sicherer Einschluss“**

Für die Diskussion dieser Option wird von der Erfüllung der Voraussetzungen in Kapitel 4.1 und den dort ausgeführten Rahmenbedingungen ausgegangen.

Auf die Ausführungen in Kapitel 2.1.1 zur Notwendigkeit eines sicherheitstechnischen und strahlenschutzbezogenen Vergleichs der möglichen Stilllegungsstrategien wird verwiesen.

### **4.2.1 Umsetzbarkeit**

Für die generelle Einschätzung der Umsetzbarkeit eines „Dauerhaft Sicherem Einschlusses“ kann auf die bisherigen Erfahrungen mit dem „Sicheren Einschluss“ von Atomkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland Bezug genommen werden. Diese Stilllegungsstrategie wurde bereits in Kapitel 2.1.1 beschrieben. Der Unterschied zur von IPPNW diskutierten Option besteht in der Dauer des Einschlusses. Im Gegensatz zur in der Bundesrepublik geübten Praxis wird ein dauerhafter, also unbefristeter „Sicherer Einschluss“ vorgeschlagen.

In der Bundesrepublik wird die Stilllegungsstrategie „Sicherer Einschluss“ gegenwärtig für das Kernkraftwerk Lingen (KWL) seit 1988 und den Thorium-Hochtemperaturreaktor Hamm-Uentrop (THTR-300) seit 1997 verfolgt. Dem gingen nach deren Abschaltung jeweils ca. 10 Jahre Nach- und Restbetrieb voraus. Beim KWL steht die Aufhebung des „Sicheren Einschlusses“ nach knapp 30 Jahren kurz bevor. Für den



seit knapp 20 Jahren im „Sicheren Einschluss“ befindlichen THTR waren 30 Jahre vorgesehen. Nach aktuellen Angaben soll nun mit dem Abbau 2030 begonnen werden [WA 2016].

International wird der „Sichere Einschluss“ in vielen Staaten durchgeführt. Die Einschlusszeiten für Leichtwasserreaktoren betragen 40 bis 60 Jahre [WNA 2016].

Oberstes Ziel bei einem „Sicheren Einschluss“ muss die weitgehende Rückhaltung der in ihm befindlichen Radionuklide sein. Dies kann nur gewährleistet werden, wenn vor allem das Gebäude für den Einschlusszeitraum standsicher und luftdicht bzw. am Boden wasserdicht abgeschlossen bleibt. Bei Verlust der Standsicherheit kann es zu Störfällen kommen, bei denen als Kontamination vorhandene radioaktive Stoffe in nicht vernachlässigbarem Umfang freigesetzt werden können. Entstehen Risse in der baulichen Struktur oder in Fugen, kommt es, u.a. in Abhängigkeit von Wetterlagen, zu diffusen luftgetragenen Freisetzungen radioaktiver Stoffe aus dem Einschluss.

Für Bodenplatten und Fundamente des Reaktorgebäudes können nach längerfristigem Betrieb des Reaktors Risse nicht ausgeschlossen werden. Durch diese oder durch den Betriebszustandswechsel des Reaktors neu entstehende Risse können kontaminierte Flüssigkeiten in den Boden gelangen. Durch Versickern kann das Grundwasser kontaminiert werden und damit möglicherweise eine Verseuchung des Trinkwassers am Standort verursacht werden.

Technische Möglichkeiten, Erosionsprozesse aufzuhalten, sind begrenzt. Denkbar wäre eine Fixierung von Kontaminationen in besonders stark belasteten Bereichen. Für die Rohrleitungssysteme mit innerer Kontamination ist das allerdings kaum möglich. Korrosion jeder Art und dadurch mögliche Ablösungen und Freisetzungen radioaktiver Stoffe sind auf lange Sicht nicht zu vermeiden.

Im IPPNW wurde auch diskutiert, das Gebäude mit Beton ausgießen [IPPNW 2016c]. Diese Vorgehensweise erscheint jedoch kritisch, da durch die große Betonmasse die Tragfähigkeit von Bodenplatte und Fundamenten überschritten werden könnte. Belastbare Aussagen sind hierzu jedoch nur nach weitergehenden Untersuchungen möglich. Für den Fall eines später notwendigen Abtrags des Gebäudes würde mit zumindest einem Teil des eingebrachten Betons noch mehr Material radioaktiv belastet.

Maßnahmen wie Fixierung und Ausbetonierung sind mit Strahlenbelastungen des durchführenden Personals verbunden. Damit wird die durch den nicht vorgenommenen Abbau eingesparte Dosis deutlich geringer.

Darüber, wie lange ein Gebäude, das während der Betriebszeit des Reaktors auch thermischen und chemischen Belastungen ausgesetzt ist, die erforderlichen Eigenschaften Standsicherheit und Dichtheit gewährleisten kann, können keine verlässlichen Voraussagen getroffen werden. Aufgrund der Betriebszeiten für Atomkraftwerke und der für den „Sicheren Einschluss“ national und international durchgeführten bzw. vorgesehenen Einschlusszeiten kann in grober Abschätzung von einem Zeitraum von etwa 100 Jahren bis maximal 150 Jahren ausgegangen werden. Die Voraussetzungen dafür sind aber positive Ergebnisse einer intensiven Bauwerksbewertung vor Beginn der Stilllegung, Bauwerksertüchtigung wo erforderlich, eine regelmäßige Überprüfung des Gebäudezustandes einschließlich eines wirksamen Alterungsmanagements und ggf. die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen. Mit diesen Maßnahmen sind Strahlenbelastungen des Personals verbunden, die in der Gesamtbilanz zu einer Verringerung der durch nicht vorgenommenen Abbau eingesparten Dosis führen.

Die genannten Maßnahmen sind erforderlich, da es sich aufgrund des Radioaktivitätsinventars von ca.  $10^{17}$  Bq während der ersten Zehnerjahre nach wie vor um eine Atomanlage handelt, an die sicherheitstechnische und strahlenschutzmäßige Anforderungen zu stellen sind. Der „Dauerhafte Sichere Einschluss“ muss auch nach § 7 Abs. 3 AtG genehmigt werden.

Der „Dauerhaft Sichere Einschluss“ muss über den gesamten Zeitraum radiologisch überwacht werden. Selbst wenn nach 100 Jahren das Inventar relativ kurzlebiger Radionuklide wie Co-60 oder Fe-55 weitgehend abgeklungen sind, befinden sich im Primärkreis, an Strukturen im Brennelementlagerbecken und möglicherweise in weiteren Bereichen  $\alpha$ -Strahler sowie bspw. Sr-90 und Cs-137. Dadurch können nach wie vor Strahlenbelastungen verursacht werden.

**Zwischenfazit:** Ein „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ im Sinne „für immer“ erscheint mit Einhaltung etablierter Strahlenschutzanforderungen nach gegenwärtiger Einschätzung nicht umsetzbar. Ob ein dauerhafter Einschluss überhaupt im Sinne des Strahlenschutzes sinnvoll ist, müsste in einem Kriterien gesteuerten, alle relevanten

Aspekte berücksichtigenden Vergleich zwischen den Stilllegungsstrategien (siehe Kapitel 2.1.1) festgestellt werden.

In der hier vorgelegten Stellungnahme wird zusätzlich zu den Optionen, deren Prüfung von IPPNW beauftragt ist, ein in den letzten Jahren international wieder verstärkt diskutierter längerfristiger Einschluss betrachtet, der „Entombment“ oder „Entomb“ genannt wird. Dafür muss die Anlage zunächst in einen Zustand gebracht werden, der den Verbleib der radioaktiven Materialien am Standort erlaubt.<sup>4</sup> Das betroffene Anlagengebäude soll dann mit einer langlebigen Betonstruktur überbaut werden. Die anderen Gebäude werden abgebaut und das Gelände der dann noch benötigten Fläche angepasst [WNA 2016]. Die Anlage soll instandgehalten<sup>5</sup> und einschließlich Gelände überwacht werden [USNRC 2015]. Nach IAEA muss die Betonstruktur den weitgehenden Einschluss der Radionuklide sicher gewährleisten und gegen Eindringlinge ausgelegt sein. Dennoch sind auch Betrachtungen zu Strahlenbelastungen der Bevölkerung über mögliche Pfade zu berücksichtigen. Auf die bauliche Stabilität der Betonstruktur und die Fähigkeit Grundwasserzutritt zu verhindern muss besonderer Wert gelegt werden [IAEA 2007].

Der für das „Entombment“ angestrebte Zeitraum wird mit dauerhaft angegeben [WNA 2016] oder bis der radioaktive Zerfall soweit fortgeschritten ist, dass eine Freigabe der gesamten Anlage erfolgen kann [ASN 2009 und USNRC 2015]. Ob eine Freigabe überhaupt erfolgen kann, ist in der IAEA jedoch offenbar nicht entschieden. Während dieses einerseits in Bezug auf den Zeitraum als Ziel genannt wird [IAEA 2006], wird andererseits festgestellt, dass auch im Endzustand die Bedingungen für eine uneingeschränkte Freigabe nicht gegeben sein können [IAEA 2007]. Deshalb wird auch auf die Möglichkeit einer eingeschränkten Freigabe hingewiesen [BELENCAN 2013].

Von der IAEA wird diese Stilllegungsstrategie bisher nur empfohlen, wenn die Stilllegung des Atomkraftwerks nach einem Störfall erfolgt [IAEA 2014]. Sie hielt aber die Anwendung von „Entombment“ als Stilllegungsstrategie grundsätzlich für alle Anlagen für möglich [IAEA 2006]. Die Anwendbarkeit der Stilllegungsstrategie wurde in-

---

<sup>4</sup> Damit ist wahrscheinlich die Entfernung aller flüssigen und leichtflüchtigen radioaktiven Stoffe aus der Anlage und – wenn nötig – eine bauliche Ertüchtigung gemeint.

<sup>5</sup> Der Quelle ist nicht zu entnehmen, ob sich die Instandhaltung auf die neue Betonstruktur oder auch auf das darin befindliche Anlagengebäude bezieht.

zwischen von der IAEA geprüft. Dies geschah aber rein formal hinsichtlich der Erfüllung von IAEA-Anforderungen (safety standards) zu Stilllegung, Abfallkonditionierung, Endlager und Sanierung kontaminierter Gebiete [BELENCAN 2013]. Ergebnisse sind bisher auf der Web-Site der IAEA nicht veröffentlicht. Den IAEA-Veröffentlichungen ist keine Prüfung zu entnehmen, ob Entombment nach einer planmäßigen Stilllegung für Leistungsreaktoren mit größeren Reaktorgebäuden unter Einhaltung der zu stellenden Anforderungen überhaupt technisch machbar ist.

Die bisher größte bekannte Gebäudestruktur, die über einem Reaktorgebäude errichtet worden ist, ist der Sarkophag von Tschernobyl. Dessen Dichtheit war aber bereits nach wenigen Jahren nicht mehr gegeben, bzw. wurde nicht entsprechend hergestellt. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass der Sarkophag bei widrigen Verhältnissen errichtet werden musste (hohe Strahlenbelastungen, Bauausführung teilweise durch Nichtfachleute). Auch der neuen, zurzeit in Bau befindlichen Gebäudestruktur, die über den Sarkophag spannen soll, wird nur eine Funktionsfähigkeit von 100 Jahren zugeschrieben [BECKER 2016]. Eine Auslegung gegen stärkere Einwirkungen von außen erfolgt nicht.

Bekannt ist die bisherige Anwendung des „Entombments“ für einige kleine Produktions- und Testreaktoren sowie andere Anlagenteile in den USA (hauptsächlich in militärischen Einrichtungen), einen unterhalb der Erdoberfläche befindlichen havarierten Forschungsreaktor in der Schweiz und Teile von Gebäuden kleinerer Reaktoren in Georgien, Russland und Italien. Für die vier havarierten Reaktoren in Fukushima wird das „Entombment“ diskutiert [BELENCAN 2013]. Aus den Beispielen ergibt sich, dass die Erfahrungen mit „Entombment“ bisher sehr begrenzt sind.

In den USA wurden Vergleichsstudien zu Stilllegungsstrategien, darunter „Entombment“, für einen Referenz-Druckwasserreaktor und einen Referenz-Siedewasserreaktor, allerdings unter Berücksichtigung der konkreten Standortbedingungen durchgeführt [PNL 1995 und 1996]. Die Ergebnisse können hier allerdings nicht verwendet werden. Die sicherheitstechnischen Anforderungen sind seitdem gestiegen und dort sind – anders als in den vorgegebenen Randbedingungen für diese Stellungnahme – in größerem Umfang Systeme und Komponenten abgebaut worden, um diese im unteren Teil des Reaktorgebäudes gemeinsam mit Reaktordruckbehälter und Biologischem Schild einzubetonieren. Das heißt, das „Entombment“ bezieht sich auch nur auf den unteren Teil des Reaktorgebäudes.

Die IAEA erwägt, das „Entombment“ in den Status eines oberflächennahen Endlagers einzuordnen. Dafür müssten dann allerdings noch Anforderungskriterien entwickelt bzw. die für solche Endlager existierenden Anforderungen angepasst werden [IAEA 2007]. Eine solche Anpassung dürfte vor allem wegen dem nicht durchgeführten vergleichenden Standortauswahlverfahren (geologische Standorteigenschaften) und der nicht möglichen Anbringung von Isolationsschichten zwischen Boden/Geologie und „Endlager“ schwierig sein.

In den eingesehenen Veröffentlichungen finden sich keine Angaben, wie die Dichtigkeit des „Entombments“ in Bezug auf in den darunter liegenden Boden austretende radioaktive Stoffe bzw. gegen das Eindringen dort anstehenden Grundwassers sichergestellt werden soll.

**Fazit:** Nach den Ausführungen in der vorliegenden Literatur ist davon auszugehen, dass „Entombment“ für nicht havarierte Atomanlagen nur als Stilllegungsstrategie angewendet werden kann, in denen das Radionuklidinventar relativ kurzlebig ist. Darauf weist vor allem der mögliche Status als oberflächennahes Endlager hin. Für diese Endlager wird davon ausgegangen, dass sie nach etwa 300 Jahren nicht weiter überwacht werden müssen, da das Radioaktivitätsinventar weitgehend abgeklungen ist. Diese Bedingungen treffen für ein Atomkraftwerk mit Leistungsreaktor nicht zu, da in ihm auch  $\alpha$ -Strahler und andere länger und langlebige Radionuklide vorhanden sind. Trotz der zusätzlichen Gebäudehülle im Vergleich zum „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ wird auch die Umsetzbarkeit des „Entombment“ als dauerhafte Lösung nach gegenwärtigem Kenntnisstand nicht gesehen.

Beiden Strategien ist gemein, dass quasi ein Endlager für radioaktive Abfälle und andere Materialien auf einem nicht entsprechend den sicherheitstechnischen Anforderungen ausgewähltem Standort eingerichtet würde. Auch dies spricht gegen eine Umsetzbarkeit.

#### 4.2.2 Vor- und Nachteile

IPPNW schlägt die Prüfung des „Dauerhaft Sicheren Einschlusses“ vor dem Hintergrund der Freigabe radioaktiver Stoffe in die Umwelt und zur Verringerung von Strahlenbelastungen für das Personal vor. Ein „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ hat aber auch darüber hinaus Auswirkungen. Die Vor- und Nachteile im Vergleich zu den bisher in der Bundesrepublik Deutschland angewendeten Stilllegungsstrategien wer-

den im Folgenden thematisch abgehandelt. Dabei wird der Stand der sicherheitstechnischen Anforderungen in der Bundesrepublik berücksichtigt. Ausgangszeitpunkt der Betrachtungen ist der am Beginn des Kapitels 4.2 beschriebene Zustand der Anlage.

### Freigabe

Mit dem „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ oder dem „Entombment“ kann die Freigabe von im Rahmen von Stilllegung und Abbau anfallenden gering radioaktiven Materialien in den konventionellen Stoffkreislauf vermieden werden. Das heißt, es findet keine unkontrollierte Verbreitung von Radionukliden durch uneingeschränkte Freigabe in die Umwelt statt und es gibt neben den Atomkraftwerksstandorten keine weiteren Standorte (Deponien, Verbrennungsanlagen, Metallschmelzen, Schrotthändler), an denen mit gering radioaktiven Materialien umgegangen werden muss.

Das gilt auch für gering radioaktive Flüssigkeiten, die entweder am Standort verfestigt werden oder, wenn technisch nicht möglich bzw. am Standort zu aufwändig, in ausreichend sicheren, doppelwandigen Behältern in den Gebäuden aufbewahrt werden. Aufgrund des Radioaktivitätsinventars ist das in Abwägung zwischen dem erhöhten Ausbreitungsrisiko nach Störfällen am Standort einerseits und den Risiken und Belastungen durch Transport und Behandlung in einer Verbrennungsanlage andererseits gerechtfertigt.

Unter einer Annahme der unbegrenzten Stabilität der baulichen Struktur von „Dauerhaft Sicherem Einschluss“ oder „Entombment“ und bei einem ungestörten Verlauf kann eine Freigabe wegen des hohen radioaktiven Ausgangsinventars und den Radionuklidspektren erst nach einigen 1000 Jahren erfolgen, wobei dann die gesamte verbliebene Anlage am Standort in den konventionellen Bereich übergeht.

Aufgrund der Endlichkeit baulicher Strukturen stellt sich aber die Frage nach dem Verbleib der gering radioaktiven Stoffe bereits nach 100 bis 150 Jahren beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ und nach ca. 300 Jahren beim „Entombment“. Noch früher kann die Frage auftreten, wenn der „Dauerhaft Sichere Einschluss“ oder das „Entombment“ wegen nicht mehr aufrecht zu haltender Sicherheit oder neuer Erkenntnisse aufgehoben werden muss. Die zum Zeitpunkt der Stilllegung gering radioaktiven Materialien, die zur Freigabe angestanden hätten, besitzen dann durch den Zerfall der Radionuklide ein nochmal deutlich geringeres Strahlenbelastungspoten-

zial oder sind nicht mehr radioaktiv. Dafür sind aber zum Zeitpunkt der Stilllegung als radioaktiver Abfall zu behandelnde Materialien soweit abgeklungen, dass sie nunmehr den Status gering radioaktiv haben, und nach heutigen Maßstäben freigegeben werden könnten.

#### Feststellbarkeit Radioaktivitätsinventar

Zum Zeitpunkt der Stilllegung lässt sich das Radioaktivitätsinventar aller Materialien relativ gut bestimmen. Dafür sind eine repräsentative Probennahme zur Bestimmung von Radionuklidvektoren und Messungen des Materials mit Hilfe von Leitnukliden möglich. Als Leitnuklide werden Radionuklide ausgewählt, die als  $\gamma$ -Strahler relativ leicht messbar sind und eine verlässliche Korrelation zu schwer messbaren Radionukliden ermöglichen. In Atomkraftwerken ist das für viele Bereiche beispielsweise Co-60.

Die leicht messbaren Leitnuklide sind aber in der Regel kurzlebig, z.B. 5 Jahre Halbwertszeit für Co-60. Nach einigen Zehner Jahren sind sie gar nicht mehr oder nur noch in so geringen Mengen in den Materialien enthalten, dass Messungen zur Feststellung des Radioaktivitätsinventars deutlich schwieriger oder gar nicht mehr möglich sind.

Das kann vor allem von Relevanz sein, wenn der „Dauerhaft Sichere Einschluss“ vorzeitig aufgehoben werden muss.

#### Strahlenbelastung Personal

In dieser Stellungnahme können keine konkreten Dosiswerte (Kollektivdosis und Individualdosis) für den Vergleich angegeben werden, weil diese entweder schwer zugänglich sind oder bisher nicht erhoben oder abgeschätzt wurden. Es ist aber sicher gestellt, dass die Individualgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung bei jeder Stilllegungsstrategie eingehalten werden, da sie sonst nicht genehmigungsfähig wären.

Es kann hier aber aus Plausibilitätsgründen eingeschätzt werden, dass der Abbau der Anlage, der Umgang mit den dabei anfallenden radioaktiven Stoffen, die Transportabfertigung und die Endlagerung der radioaktiven Abfälle eine höhere Strahlenbelastung verursacht als die Herstellung eines „Dauerhaft Sicheren Einschlusses“ oder eines „Entombment“ und deren sicherheitliche und radiologische Überwachung einschließlich eventueller Instandhaltungsmaßnahmen. Voraussetzung für die gerin-

gere Strahlenbelastung des Personals ist allerdings, dass die beiden dauerhaft angelegten Strategien über viele 100 Jahre hinaus ohne ernsthafte Beeinträchtigung Bestand haben.

Beim „Entombment“ können die Strahlenbelastungen des Personals etwas geringer sein als beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“, da bei letzterem eine regelmäßige Begehung des Einschlusses stattfinden muss.

#### Strahlenbelastung Bevölkerung im Normalbetrieb

Die folgende Betrachtung beinhaltet keine Bewertung, ob Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung überschritten werden oder nicht.

Der Abbau eines Atomkraftwerkes und der Umgang mit den dabei anfallenden radioaktiven Materialien verursachen durch nach Strahlenschutzverordnung zulässige Abgaben über Abluft und Abwasser Strahlenbelastungen für anwohnende Personen aus der Bevölkerung. Die dadurch verursachten Strahlenbelastungen fallen beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ oder beim „Entombment“ weg. Die durch die Herstellung des Ausgangszustandes für die dauerhaften Optionen verursachte Kollektivdosis ist deutlich geringer.

Beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ werden radioaktive Stoffe über die Abluft abgegeben, da der Einschluss aus Sicherheitsgründen belüftet bleiben muss und er regelmäßig von Personal betreten wird. Diese Abgaben sind zwar geringer als im Normalbetrieb des Reaktors, sie treten aber über einen sehr langen Zeitraum, nämlich während des gesamten Einschlusszeitraums auf und führen zu Strahlenbelastungen der Bevölkerung in der Umgebung. Plausibilitätsbetrachtungen führen zu dem Ergebnis, dass auch diese Strahlenbelastungen insgesamt geringer sind als diejenigen durch Abbau des Atomkraftwerkes und dem Umgang der mit den dabei anfallenden radioaktiven Materialien.

Beim „Entombment“ wird es, über den langen Zeitraum gesehen, diffuse luftgetragene Freisetzungen radioaktiver Stoffe geben. Diese werden aber geringer als die Abgaben aus einem „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ sein und deshalb auch geringere Strahlenbelastungen verursachen.

Im Falle eines Abbaus des Atomkraftwerkes werden radioaktive Abfälle früher oder später zu externen Anlagen transportiert (Konditionierungsanlagen, Zwischenlager,



Endlager). Auch dies verursacht Strahlenbelastungen für Personen aus der Bevölkerung, die bei „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ oder „Entombment“ wegfallen.

Insgesamt dürften die Strahlenbelastungen für Personen aus der Bevölkerung bei „Dauerhaft Sicherem Einschluss“ oder „Entombment“ geringer sein als für die bisher in der Bundesrepublik angewendeten Stilllegungsstrategien.

### Stör-/Unfallsicherheit

Die folgende Betrachtung beinhaltet keine Bewertung, ob die Störfallplanungswerte der Strahlenschutzverordnung überschritten werden oder nicht.

Beim Abbau eines Atomkraftwerkes gibt es Risiken für Störfälle während dieser Tätigkeiten. Diese Risiken fallen beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ oder „Entombment“ weg.

Bei beiden hier betrachteten Optionen besteht die Gefahr, dass im Laufe der Jahrzehnte und Jahrhunderte trotz Instandhaltung mehr oder weniger spontane Wegsamkeiten für radioaktive Stoffe luftgetragen oder in den Boden entstehen. Beim „Entombment“ dürfte das Risiko für luftgetragene Freisetzungen wegen der doppelten Gebäudebarriere etwas geringer sein als beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“. Der Weg für Freisetzungen aus den radioaktiven Stoffen in die Biosphäre und damit zu Strahlenbelastungen für Menschen ist wesentlich kürzer als wenn sie als radioaktive Abfälle in einem Endlager in tiefen geologischen Formationen lagern.

Durch Korrosion und/oder Erosion besteht über Jahrzehnte und Jahrhunderte hinweg das Risiko eines Störfalls, zum Beispiel durch Herabstürzen eines Dachstuhlträgers auf radioaktiv belastete Materialien. Hält die Gebäudebarriere stand, so kann sich die radioaktive Belastung von Atmosphäre und Oberflächen im Innern drastisch erhöhen. Dies ist vor allem für den „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ relevant, bei dem Personal den Einschluss in gewissen Abständen zu Überwachung und Instandhaltung betreten muss.

Bei einem „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ oder „Entombment“ sind in einem Zeitraum von 50 Jahren oder mehr drastische Wetterveränderungen nicht auszuschließen. Es ist bereits in den letzten Jahren festzustellen, dass plötzliche sinnflutartige Überschwemmungen in einem Umfang und an Orten auftreten, wie dies nicht prognostiziert wurde. Bereits bei diesen Ereignissen, aber mindestens bei solchen mit

noch stärkerem Ausmaß kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Wasser auch in das Reaktor- oder andere eingeschlossene Gebäude eindringt und dort Radionuklide löst, die dann in die Biosphäre freigesetzt werden.

Der „Dauerhaft Sichere Einschluss“ ist nicht gegen den Absturz von Großraum Flugzeugen und den Absturz von gegenüber dem Stand der Betriebsgenehmigung für das Atomkraftwerk weiter entwickelten schnell fliegenden Militärflugzeugen ausgelegt. Das gilt unabhängig davon, ob der Absturz zufällig oder gezielt erfolgt. Die Wahrscheinlichkeit für einen zufälligen Absturz steigt durch den mehrere Jahrhunderte währenden Betrieb an und ist nicht vernachlässigbar. Bei einer Stilllegungsstrategie mit Abbau des Atomkraftwerkes besteht dieses Risiko nach Abschluss des Abbaus nur noch in reduziertem Maße und zeitlich sehr viel geringeren Umfang in Bezug auf die Zwischenlagerung der radioaktiven Abfälle und nach deren Endlagerung gar nicht mehr.

Für einen terroristischen Angriff gilt ähnliches wie für den Flugzeugabsturz.

Die kursorische Prüfung ergibt ein höheres Störfallrisiko (Störfallmöglichkeiten, Störfallhäufigkeiten auch unter Berücksichtigung des langen Zeitraumes, Störfallauswirkungen) als für die bisher in der Bundesrepublik angewendeten Stilllegungsstrategien.

### Menschliche Tätigkeiten

Für die Strategien „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ oder „Entombment“ sind über sehr lange Zeiträume Kontrolle und Überwachung durch den Menschen erforderlich. Bei einem Abbau des Atomkraftwerkes fallen diese Arbeiten nach dessen Abschluss weg.

Für die beiden dauerhaften Strategien tritt durch die Beendigung der Atomenergienutzung zwangsläufig ein Verlust von Kenntnissen und Erfahrungen ein. Das kann durch Kompetenzerhaltungsmaßnahmen nur begrenzt ausgeglichen werden. Ob Kompetenzerhaltung über so lange Zeiträume überhaupt möglich ist, kann nicht garantiert werden. Vor allem im Falle von Störungen, Störfällen oder Unfällen kann dies sehr negative Folgen haben.

## Endlager

Mit „Dauerhaft Sicherem Einschluss“ oder „Entombment“ ist das in ein Endlager zu verbringende Volumen radioaktiver Abfälle geringer als mit Abbau der Atomkraftwerke.

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Sicherheitsphilosophie für den langfristigen Umgang, alle radioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Formationen endzulagern. Dies würde mit „Dauerhaft Sicherem Einschluss“ oder „Entombment“ nicht eingehalten.

Durch die beiden dauerhaften Strategien entsteht ein quasi-Endlager, ohne dass dafür ein vergleichendes und Kriterien gesteuertes Standortauswahlverfahren stattgefunden hätte. Die Auswahlkriterien für den Standort eines Atomkraftwerkes sind andere als für ein Endlager. Es ist die Frage, ob überhaupt AKW-Standorte die Anforderungen für Endlagerstandorte erfüllen. Wenn ja, wird das nicht für alle und vermutlich auch nicht die Mehrheit der Standorte der Fall sein.

Rohrsysteme und Komponenten sind mit  $\alpha$ -Strahler und anderen langlebigen Radionukliden kontaminiert. Abgesehen von der Sicherheitsphilosophie in der Bundesrepublik sind solche Radioaktivitätsinventare auch international nicht für oberflächennahe Endlager zulässig.

## Langzeitsicherheitsnachweis

Ein qualifizierter Langzeitsicherheitsnachweis kann für „Dauerhaft Sicherem Einschluss“ oder „Entombment“ nicht belastbar geführt werden:

- ◆ Das Radionuklidinventar ist nicht für alle Bereiche des Atomkraftwerkes ausreichend genau bekannt (z.B. hinsichtlich langlebiger Radionuklide), z.B. da wegen Unzugänglichkeit keine Proben genommen werden konnten.
- ◆ Vorhandene oder entstehende Freisetzungswegen durch die Gebäudestruktur in den Boden sind nicht beurteilbar.
- ◆ Die für oberflächennahe Endlager üblichen isolierenden Schichten zur Verzögerung des Übergangs von Radionukliden durch den Boden ins Grundwasser können unter den einzuschließenden Gebäuden nicht eingebracht werden.
- ◆ Es gibt keine hinreichend systematischen geologischen Untersuchungen des Standortes.

## Gesellschaft

Die Gesellschaft muss hinsichtlich technischem und strahlenschutzbezogenem Wissen sowie bezüglich finanzieller Ressourcen über lange Zeiträume stabil bleiben, um eine Gefährdung von Mensch und Umwelt auszuschließen.

Bisher ist für radioaktive Abfälle, wie sie beim Abbau von Atomkraftwerken anfallen, in der Bundesrepublik Deutschland ein Endlager vorgesehen. Durch die Stilllegungsstrategien „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ oder „Entombment“ würde sich die Zahl der Endlagerstandorte um 10 oder mehr erhöhen. Es dürfte schwierig sein, dafür die gesellschaftliche Akzeptanz zu bekommen.

## Vor- und Nachteile in der Übersicht

Die in der folgenden Tabelle aufgeführten Vor- und Nachteile der IPPNW-Option „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ beziehen auf die in der Bundesrepublik bisher angewendeten Optionen „Sofortiger Abbau“ und „Sicherer Einschluss“.

Bei einer detaillierten Bewertung im Rahmen eines Vergleiches von Stilllegungsstrategien, müssen die Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden. Das heißt entscheidend ist nicht unbedingt die Anzahl von Vor- und Nachteilen.

Vorteile	Nachteile/Probleme
Keine Strahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung durch Freigabe	Möglicher Rückhalteverlust für Radionuklide in die unmittelbare Umgebung durch nachlassende Gebäudestabilität in Zeiträumen > 100 Jahre
Keine unkontrollierte Verteilung von künstlich erzeugten Radionukliden in der näheren und weiter entfernten Umwelt	Zunehmende Verringerung für die Messung des Radioaktivitätsinventars durch Zerfall von Leitnukliden
Geringere Gesamtstrahlenbelastung des Personals	Größeres Störfallrisiko
Geringere Gesamtstrahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung	Zwang der nächsten Generationen, sich mit der Hinterlassenschaft eines über hunderte Jahre nicht vernachlässigbaren Radioaktivitätsinventar zu befassen
Geringeres Volumen endzulagernder radioaktiver Abfälle	Kompetenzverlust
	Die Sicherheitsphilosophie radioaktive Abfälle so weit wie möglich von der Biosphäre zu entfernen und zu konzentrieren (Endlager in tiefen geologischen Formationen) würde aufgehoben.
	Quasi-Endlager (oberflächennah) ohne Standortauswahlverfahren
	Schwieriger Langzeitsicherheitsnachweis
	Erhöhung der Endlagerstandorte für radioaktive Abfälle von einem auf möglicherweise zehn oder mehr

## 4.3 IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“

### 4.3.1 Varianten

Für das „Stehenlassen“ der Gebäude werden auftragsgemäß zwei Varianten betrachtet:

- a) Abbau aller höher radioaktiv belasteten Systeme, Komponenten und Anlagenteile.
- b) Abbau aller höher, mittel und schwach radioaktiv belasteten Systeme, Komponenten und Anlagenteile.

Bei den höher radioaktiv belasteten Anlagenteilen handelt es sich um diejenigen, die durch Aktivierung während des Reaktorbetriebes im Vergleich zu anderen Anlagenteilen eine besonders hohe Radioaktivität aufweisen. Diese Radioaktivität beträgt mehr als 90% der Gesamtradioaktivität im Atomkraftwerk zu Beginn der Stilllegung. Dabei handelt es sich um

- den Reaktordruckbehälter und seine Einbauten,<sup>6</sup>
- das Biologische Schild mit seinen Bestandteilen Beton und Stahlstrukturen (Auskleidungsbleche, Schalungen und Bewehrung),
- das Isoliermaterial zwischen Reaktordruckbehälter und Biologischem Schild sowie
- sonstige Strukturen, die sich in unmittelbarer Umgebung der Brennelemente befinden haben.

Im Vergleich zu den durch Aktivierung stark radioaktiv belasteten Teilen eher mittel belastet sind bei einem Druckwasserreaktor die durch das Primärkühlmittel kontaminierten Komponenten Dampferzeuger, Hauptkühlmittelpumpen, Druckhalter und Primärkreisrohrleitungen sowie bei einem Siedewasserreaktor die durch Primärkühlmittel Wasser und Dampf kontaminierten Komponenten Zwangsumwälzpumpe, Wasserabscheider, Zwischenüberhitzer, Turbinen, Kondensatoren, Hauptkondensatpumpe, Niederdruckvorwärmer, Speisewasserbehälter, Reaktorspeisepumpe, Hoch-

---

<sup>6</sup> Die Radioaktivität dieser Teile ist, wie im Text beschrieben, vor allem durch Aktivierung verursacht. Der RDB innen und seine Einbauten sind auch kontaminiert, diese Aktivität ist aber im Vergleich zur Aktivierung deutlich geringer.

druckvorwärmer und Rohrleitungen. Bei einigen der vorstehenden Komponenten können Teile auch nur schwach oder gar nicht radioaktiv belastet sein. Im Überwachungsbereich liegen i.A. keine vergleichbar kontaminierten Materialien vor.

Die Komponenten, Anlagenteile und Betonstrukturen (einschließlich Wände und Decken), die durch luftgetragene radioaktive Partikel im Normalbetrieb kontaminiert wurden, sind relativ gesehen eher schwach radioaktiv belastet. Sie befinden sich vor allem in den Gebäuden mit Kontrollbereich. Im Einzelfall können durch HotSpots auch höher belastete Materialien in geringem Umfang vorhanden sein. Ebenfalls in diese Belastungskategorie gehören Komponenten, Anlagenteile und Betonstrukturen, die durch Kontaminationsverschleppung oder Leckagen kontaminiert wurden. Auf eine konkrete Benennung von Komponenten oder Anlagenteilen wird hier wegen deren Vielfalt verzichtet. Den volumenmäßig größten Anteil wird aber Bauschutt aufgrund von Abbau und Dekontamination sein.

Die von IPPNW genannten Varianten a) und b) können in der Form nicht alternativ umgesetzt werden. Stark radioaktiv belastete Komponenten und Anlagenteile befinden sich hauptsächlich im Reaktorgebäude. Ein Abbau dieser stark belasteten Komponenten bzw. Anlagenteile (Reaktordruckbehälter, Teile des Biologischen Schildes) ist nicht ohne vorherigen Abbau eines Teils von mittel oder schwach belasteten Systemen, Komponenten und Anlagenteilen (z.B. Rohrleitungen, Betonstrukturen) möglich. Gründe dafür sind die sonst nicht gegebene Zugänglichkeit für den Abbau und die notwendige Einrichtung von Infrastruktur zum Abbau und von freien Flächen zum Abstellen oder Pufferlagern von abgebauten Teilen.

In geringerem Umfang gilt das auch für andere Gebäude mit Kontrollbereich ohne stark belastete Anlagenteile.

Der Verbleib von mittel und schwach radioaktiv belasteten Systemen, Komponenten und anderen Anlagenteilen, die nicht im oben genannten Sinne störend sind, ist theoretisch möglich. Damit würde die durch Abbautätigkeiten verursachte Strahlenbelastung des Personals verringert. Andererseits würden aber zusätzliche Strahlenbelastungen verursacht. Verbleibende Systeme und Komponenten müssen zur Verhinderung von Freisetzungen radioaktiver Stoffe möglichst sicher verschlossen oder abgeschlossen werden. Mittel radioaktiv belastete Systeme und Komponenten müssen zum Teil abgeschirmt werden. Strahlenbelastungen werden dabei nicht nur während dieser Tätigkeiten zur Verwahrung verursacht, sondern auch durch notwendige Kon-

trollen während der gesamten Zeit des „Stehenlassens“. Insgesamt ist in Bezug auf die Strahlenbelastung durch den Verbleib von mittel und schwach radioaktiven Materialien in ihrem Einbauzustand nicht von einer wesentlichen Verringerung auszugehen.

Bei allen Abbautätigkeiten werden auch gering radioaktive Materialien anfallen. Diese sollten verdichtet und in Behältern verpackt werden. Die Behälter können dann in das oder die „stehengelassenen“ Gebäude eingelagert werden.

Ähnliches wie für Systeme, Komponenten und andere Anlagenteile gilt auch für kontaminierte Boden- und Wandbereiche. Diese Kontaminationen könnten theoretisch in den „stehengelassenen“ Gebäuden verbleiben. Auch hier besteht jedoch die Gefahr einer Ablösung und Freisetzung der Radionuklide und/oder ihre Verschleppung durch menschliche Tätigkeiten. Die Wände und Böden können so weit dekontaminiert werden, dass die Freigabewerte nach Anhang III, Tabelle 1, Spalte 8 für die uneingeschränkte Freigabe von Gebäuden unterschritten werden. Der dabei abgetragene Bauschutt wäre als radioaktiver Abfall zu behandeln.

Die zurückbleibende Anlage hat dann ein relativ geringes Radioaktivitätsinventar, das theoretisch die Entlassung der Anlage aus der atomrechtlichen Zuständigkeit nach § 29 Strahlenschutzverordnung ermöglichen würde. Um das Strahlenschutzziel von IPPNW zu erreichen, muss allerdings gewährleistet werden, dass die Gebäude und ihr Inventar unter Aufsicht am Standort ungenutzt stehen bleiben. Deshalb und weil größere Teile der Materialien gering radioaktiv belastet sind wäre zu empfehlen, nur einen Übergang von der atomrechtlichen Genehmigung auf eine Genehmigung nach Strahlenschutzverordnung mit reduzierten Anforderungen zuzulassen.

Der Abbau und die Entfernung aller hoch, mittel und schwach radioaktiv belasteten Materialien aus den Gebäuden eines Atomkraftwerkes ist möglich und bei der Stilllegung bundesdeutscher Atomkraftwerke geübte Praxis.

Die Gründe für die Empfehlung einer vollständigen „Entkernung“ sind zusammengefasst:

- ◆ Das Radioaktivitätsinventar des Atomkraftwerkes wird von ca.  $2 \cdot 10^{17}$  Bq auf weniger als  $1 \cdot 10^9$  Bq verringert [NIS 2012].
- ◆ Die Störfallgefahren beim Ein- und Auslagern sowie der dauerhaften Lagerung der gering radioaktiven Materialien sind geringer.



- ◆ Das Freisetzungspotenzial im Falle eines Störfalls ist deutlich geringer.
- ◆ Die Strahlenbelastung für das Personal beim Ein- und Auslagern der gering radioaktiven Materialien sowie durch Kontrolle, Instandhaltung und ggf. Instandsetzung ist geringer.
- ◆ Die Ableitungen radioaktiver Stoffe im „Normalbetrieb“ während der Lagerung sind geringer.
- ◆ Es kann über den langen Zeitraum keine Kontaminationsübertragung von höher radioaktiv belasteten auf die gering radioaktiven Materialien geben.
- ◆ Die Anforderungen an die Strahlenschutzüberwachung kann geringer gehalten werden.
- ◆ Zum Ausbau der stark belasteten Komponenten müssen für die Zugänglichkeit ohnehin mittel und schwach belastete Systeme, Komponenten und Gebäudestrukturen abgebaut werden.
- ◆ Das im Einschluss zur Verfügung stehende Volumen für einzulagernde gering radioaktive Materialien ist größer.
- ◆ Die Sicherheitsphilosophie, alle radioaktiven Abfälle in tiefen geologischen Schichten endzulagern, wird eingehalten.

Die vorstehenden Gründe sind unter Strahlenschutzaspekten insgesamt gesehen nicht durch eventuelle Vorteile durch geringere Strahlenbelastung von Personal bei späterem Abbau aufzuwiegen.

#### **4.3.2 Umsetzbarkeit**

Für die IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ müssen die Voraussetzungen und Rahmenbedingungen aus Kapitel 4.1 erfüllt werden bzw. gegeben sein. In Bezug auf die Voraussetzung Erdbebengefahr können die Anforderungen verringert werden, da das Radioaktivitätsinventar deutlich geringer ist. Sie bezieht sich auf alle Gebäude, in denen sich während des Reaktorbetriebes ein Kontrollbereich befunden hat. Das betrifft das Reaktorgebäude, das Reaktorhilfsanlagegebäude, Konditionierungsanlagegebäude, das Maschinenhaus bei Siedewasserreaktoren und je nach Standort eventuell weitere Gebäude.

Nach Entfernung aller zum Abbau vorgesehenen, als radioaktive Abfälle zu behandelnden Teile und Bereiche aus den Gebäuden müssen mit Ausnahme eines Zu-

gangs zur Begehung alle weiteren Zugänge und Gebäudedurchführungen (Ver- und Entsorgungsleitungen, Rohrleitungen) bautechnisch verschlossen werden. Beim Abbau („Entkernung“) angefallene gering radioaktive Materialien müssen in einem der Gebäude in Behältern verwahrt werden.

Entsprechende Maßnahmen wurden bei den „Sicheren Einschlüssen“ in der Bundesrepublik Deutschland in der Vergangenheit genehmigt und durchgeführt. Eine entsprechende Vorgehensweise wird für einen „Sicheren Einschluss“ auch in der Referenzstudie zur Stilllegung deutscher Atomkraftwerke empfohlen [NIS 2012].

Es gibt also keine grundsätzlichen Zweifel, dass auch ein „Stehenlassen nach Entkernung“, wie es von IPPNW vorgeschlagen wird, möglich ist. Dies gilt insbesondere, weil das Radioaktivitätsinventar bei der Option „Stehenlassen“ um mehrere Größenordnungen geringer ist als beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ oder „Sicheren Einschluss“.

Für das „Stehenlassen nach Entkernung“ unter Einschluss der bereits abgebauten gering radioaktiven Materialien müssen deshalb auch nicht ähnlich hohe Anforderungen erfüllt werden, wie für den „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ oder den „Sicheren Einschluss“ eines Atomkraftwerkes nach Atomgesetz. Wie hoch die Anforderungen konkret sind, hängt davon ab, ob Gelände, Gebäude und in Behältern eingebrachte Materialien mittels Freigabe nach § 29 StrlSchV aus dem Atomrecht entlassen wurden. Ist das der Fall, sind zwar rein formal keine Anforderungen aus der Strahlenschutzverordnung mehr zu erfüllen, da IPPNW das „Stehenlassen“ aber gerade für eine Verbesserung des Strahlenschutzes vorschlägt, sollte er – insbesondere vor dem Hintergrund des Minimierungsgebotes – auch hier beachtet werden.

Die Anforderungen bzw. die einzuhaltenden Schutzziele sind:

- ◆ Sicherer Einschluss der Radioaktivität für die gesamte Dauer des Einschlusses,
- ◆ Schutz des Personals vor unnötigen Strahlenbelastungen,
- ◆ Schutz von Bevölkerung und Umgebung vor unnötigen Strahlenbelastungen.

IPPNW gibt die angestrebte Zeitdauer des „Stehenlassens“ mit dauerhaft an. Wie oben bereits ausgeführt, kann das wegen des Radioaktivitätsinventars aus radiologischer Sicht auf wenige 100 Jahre beschränkt werden. Die Gebäude haben eine begrenzte Lebensdauer, die je nach den gestellten Anforderungen mehrere Jahrzehnte bis 100 – 150 Jahre betragen kann (siehe hierzu Kapitel 4.2.1). Da die Radionuklide

in den gering radioaktiven Materialien ganz überwiegen eher kurzlebig oder relativ kurzlebig sind, sorgt der radioaktive Zerfall für eine sehr viel schnellere Abnahme des Radioaktivitätsinventars beim „Stehenlassen“ als beim „Dauerhaft Sicheren Einschluss“. Deshalb können die oben genannten Schutzziele nach 100 Jahren auch angemessen eingehalten werden, wenn die Gebäude in ihrer Dichtheit nachlassen. Allerdings muss mindestens bis dahin die Stabilität der Gebäudestrukturen durch Kontrollen und Ertüchtigungsmaßnahmen sichergestellt sein. Im Sinne des Strahlenschutzes sollte dies auch über die 100 Jahre hinaus erfolgen.

Das Atomkraftwerk Gundremmingen A (KRB A) blieb nach einem Störfall im Jahr 1977 abgeschaltet. 1980 erfolgte der Stilllegungsantrag und 1983 wurde die Stilllegungsgenehmigung erteilt. Für das Atomkraftwerk wurde zwar formal der „Sofortige Abbau“ gewählt, in Realität aber nicht umgesetzt. Allein die Auslagerung der Brennelemente dauerte bis 1989. Auch danach gab es offenbar noch Verzögerungen. Der Reaktordruckbehälter, das Biologische Schild und weitere Komponenten sind inzwischen abgebaut. Für das Reaktorgebäude wurde der Abbau 2000 genehmigt, soll aber erst langfristig realisiert werden. Maschinenhaus, Aufbereitungsgebäude mit Fortluftkamin und weitere Gebäude werden als Technologiezentrum für die Konditionierung von Betriebsabfällen, die Reparatur von Komponenten und die Abbauabfälle des Atomkraftwerkes KRB II (Blöcke B und C) genutzt bzw. sind dafür vorgesehen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass der Betreiber die Stabilität der Gebäude für mindestens 70 Jahre als gegeben ansieht.

In letzter Zeit gibt es Bestrebungen, die Abklinglagerung von radioaktiven Komponenten auch auf Gebäude von Atomkraftwerken mit Kontrollbereich auszudehnen. Sie sollen nicht nach gegenwärtigem Freigabereglement (Freimessung an stehender Struktur oder am abgerissenen Bauschutt) behandelt werden. Vielmehr soll auch hier das Abklingen genutzt werden. Die Freimessung soll mit Bezug auf so genannte Sanierungswerte erfolgen. Diese werden auf Basis der Freigabewerte errechnet. Je nachdem, wie lange das Abklingen von den Sanierungswerten auf die Freigabewerte dauert, werden die Gebäude „stehen gelassen“. Nach Ablauf dieser Zeit sind die Gebäude automatisch freigegeben und können konventionell abgerissen werden. In den Betrachtungen zum „Stehenlassen“ wurden Berechnungen von 2010 bis 2070 durchgeführt [BRENK 2009]. Das heißt, es wird von einer ausreichenden Stabilität der Gebäude ab Stilllegung von mehr als 75 Jahren ausgegangen. Dabei ist zu beachten, dass Kontrollen nicht über den gesamten Zeitraum vorgesehen sind.

Auch für das 1990 abgeschaltete Atomkraftwerk der DDR in Rheinsberg ist vorgesehen, das Reaktorgebäude für längere Zeit stehen zu lassen. Nach Abschluss von Demontagearbeiten und Gebäudedekontamination ist eine „Verwahrzeit“ von 2019 bis 2069 vorgesehen [BMF 2011]. Hier wird also von einer ausreichenden Gebäudestabilität von ca. 80 Jahren ausgegangen.

Auch die drei vorstehenden Beispiele zeigen, dass die Umsetzbarkeit für den IPPNW-Vorschlag „Stehenlassen nach Entkernung“ als gegeben angesehen werden kann. Das Radioaktivitätsinventar der zum Stilllegungszeitpunkt gering radioaktiven Materialien ist nach 100 Jahren weitgehend abgeklungen.

### **4.3.3 Vor- und Nachteile**

IPPNW schlägt das „Stehenlassen nach Entkernung“ vor dem Hintergrund der Vermeidung der Freigabe radioaktiver Stoffe in die Umwelt vor. Die Vor- und Nachteile dieser Option werden bezüglich den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien im Folgenden thematisch abgehandelt. Dabei wird der Stand der sicherheitstechnischen Anforderungen in der Bundesrepublik Deutschland berücksichtigt.

#### Freigabe

Mit dem „Stehenlassen nach Entkernung“ kann die Freigabe gering radioaktiver Materialien in den konventionellen Stoffkreislauf, die im Rahmen von Stilllegung und Abbau von Atomkraftwerken anfallen, vermieden werden. Das heißt, es findet keine unkontrollierte Verbreitung von Radionukliden durch uneingeschränkte Freigabe in die Umwelt statt und es gibt neben den Atomkraftwerksstandorten keine weiteren Standorte (Deponien, Verbrennungsanlagen, Metallschmelzen, Schrotthändler), an denen mit gering radioaktiven Materialien umgegangen werden muss.

Das gilt auch für gering radioaktive Flüssigkeiten, die entweder am Standort verfestigt werden oder, wenn technisch nicht möglich oder am Standort zu aufwändig, in ausreichend sicheren, doppelwandigen Behältern in den Gebäuden aufbewahrt werden. Aufgrund des Radioaktivitätsinventars ist das, in Abwägung zwischen dem erhöhten Ausbreitungsrisiko nach Störfällen am Standort einerseits und den Risiken und Belastungen durch Transport und Behandlung in einer Verbrennungsanlage andererseits, gerechtfertigt.

In den „stehen gelassenen“ Gebäuden befinden sich zu Beginn der Phase nur die gering radioaktiven Materialien, in Form von nicht abgebauten Systemen, Komponenten und Kontaminationen an Gebäudestrukturen sowie während der „Entkernung“ angefallenen gering radioaktiven Materialien in Behältern. Aufgrund der Endlichkeit baulicher Strukturen stellt sich die Frage nach deren Verbleib nach 100 bis spätestens 150 Jahren. Die zum Zeitpunkt der Stilllegung gering radioaktiven Materialien, die zur Freigabe angestanden hätten, besitzen dann durch den Zerfall der Radionuklide ein nochmal deutlich geringeres Strahlenbelastungspotenzial oder sind nicht mehr radioaktiv. Ein genauere Zeitpunkt, wann alle Materialien mit großer Wahrscheinlichkeit nicht mehr (durch den Reaktorbetrieb verursacht) radioaktiv sind, lässt sich definitiv nur nach umfangreichen Berechnungen feststellen, die hier nicht durchgeführt werden können.

Durch Fortführung von Kontrolle und Überwachung sowie ggf. Instandsetzung bei größeren Schäden über 100 Jahre hinaus kann die Verbreitung von dann noch in sehr geringem Umfang vorhandenen Radionukliden in die Umwelt weitestgehend verhindert werden.

#### Feststellbarkeit Radioaktivitätsinventar

Das für die Optionen „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ und „Entombment“ beschriebene Problem mit dem zeitabhängigen Zerfall von Leitnukliden und der auf Leitnuklide aufgebauten Feststellung des Radioaktivitätsinventars ist für die Option „Stehenlassen nach Entkernung“ weniger bedeutsam. Gründe dafür sind das deutlich geringere Gesamtradioaktivitätsinventar und die nicht oder nur in sehr geringem Umfang vorhandenen, durch den Reaktorbetrieb entstanden  $\alpha$ -Strahler.

#### Strahlenbelastung Personal

Zusätzliche Strahlenbelastung für Personal tritt bei der Option „Stehenlassen nach Entkernung“ im Vergleich zu den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien durch die mehr als 100-jährigen Kontrollen und Instandhaltungsmaßnahmen in und an den Gebäuden und Behältern auf. Gleichzeitig ist die Kollektivdosis durch den nicht erfolgten Abbau eines großen Teiles der gering radioaktiven Materialien etwas verringert.

Im Falle des „Sofortigen Abbaus“ würden durch die gering radioaktiven Materialien Strahlenbelastungen für das Personal beim Abbau und bei der Freigabe nach § 29

StrlSchV, hier insbesondere bei der eingeschränkten Freigabe Personal<sup>7</sup> in Deponien, Verbrennungsanlagen und Metallschmelzen, verursacht. Dazu kommt die Strahlenbelastung von Transportpersonal.

Im Rahmen dieser Stellungnahme kann nicht quantitativ bewertet werden, bei welcher der beiden Optionen die Kollektivdosis größer ist. Aufgrund von Plausibilitätsbetrachtungen wird hier davon ausgegangen, dass es keine gravierenden Unterschiede gibt, die Kollektivdosis beim „Stehenlassen nach Entkernung“ tendenziell eher etwas geringer ist.

#### Strahlenbelastung Bevölkerung im Normalbetrieb

Im Falle der Option „Stehenlassen nach Entkernung“ beschränken sich mögliche Strahlenbelastungen auf Personen aus der Bevölkerung, die sehr dicht am Atomkraftwerk wohnen. Die Belastung könnte durch wahrscheinlich nicht völlig zu vermeidende, aber sehr geringe diffuse Freisetzungen von Radionukliden aus den verschlossenen Gebäuden in die Umgebung erfolgen. Die resultierenden potenziellen Strahlenbelastungen sind deutlich geringer als bei einer Atomanlage im Normalbetrieb.

Durch die im Gegensatz zu den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien vermiedene Freigabe in den konventionellen Stoffkreislauf können zum Beispiel keine Strahlenbelastungen durch nicht vorhersagbare Radioaktivitätsansammlung in Gegenständen des täglichen Gebrauchs, durch Nutzung von radiologisch belasteten Materialien im Straßen- oder Wegebau, durch Nutzung von radiologisch belasteten Zement-/Betonschutt im Hausbau, durch längeren Aufenthalt über einer stillgelegten Deponie oder durch aus einem Deponiekörper ins Grundwasser übergegangene Radionuklide verursacht werden.

Die vermiedenen Strahlenbelastungen durch die nicht erfolgte Freigabe sind als größer einzuschätzen als die Strahlenbelastungen durch das „Stehenlassen“ der Gebäude.

---

<sup>7</sup> Das Personal auf Deponien, in Verbrennungsanlagen und Metallschmelzen ist im Normalfall nicht als strahlenexponiert eingestuft. Es wird hier aber trotzdem im Rahmen des Personals betrachtet und nicht den Personen aus der Bevölkerung zugeschlagen.

### Störfallsicherheit<sup>8</sup>

Die Störfallsicherheit kann hier nur sehr grob betrachtet werden. Mögliche Strahlenbelastungen nach Störfällen wären, verglichen mit den Störfallplanungswerten der Strahlenschutzverordnung, sehr gering.

Beim „Stehenlassen“ bleibt ein großer Teil der Radionuklide in der baulichen Struktur fest eingebunden. Ein größerer Teil dieser Radionuklide kann nur nach starken Einwirkungen von außen freigesetzt werden. Das können bspw. Überflutungen, Erdbeben und Flugzeugabstürze sein.

Bei einer Freigabe nach § 29 StrlSchV in den konventionellen Stoffkreislauf – wie bei der Option „Sofortiger Abbau“ – können neben den oben genannten Einwirkungen auch Störfälle durch den Umgang mit den gering radioaktiven Materialien entstehen. Ein größerer Teil der Radionuklide liegt nach der Freigabe in leichter freisetzbarer Form vor als wenn sie in Gebäudestrukturen eingebunden sind.

Das Störfallrisiko ist bei der Freigabe im Rahmen des „Sofortigen Abbaus“ höher einzuschätzen als das Störfallrisiko beim „Stehenlassen nach Entkernung“.

### Menschliche Tätigkeiten

Für die Strategie „Stehenlassen nach Entkernung“ sind über einen längeren Zeitraum Kontrolle und Überwachung durch den Menschen erforderlich. Bei einem vollständigen Abbau des Atomkraftwerkes fallen diese Arbeiten nach dessen Abschluss weg.

Der Kompetenzverlust ist zwar auch bei dieser Option gegeben, ist wegen des deutlich geringeren Radioaktivitätsinventars aber von geringer Bedeutung.

### Endlager/Langzeitsicherheitsnachweis

Da sich keine radioaktiven Abfälle in den „stehengelassenen“ Gebäuden befinden, spielt das hier keine Rolle.

---

<sup>8</sup> Der Begriff Störfall wird hier in Anlehnung an mögliche Ereignisse im Betrieb einer Atomanlage benutzt. Es handelt sich aufgrund des möglicherweise betroffenen Radionuklidinventars aber nicht um Störfälle nach Strahlenschutzverordnung im engeren Sinne.

## Gesellschaft

Die Gesellschaft muss hinsichtlich technischem und strahlenschutzbezogenem Wissen sowie bezüglich finanzieller Ressourcen über einen längeren Zeitraum stabil bleiben, um eine, allerdings nur auf sehr geringem Niveau mögliche Gefährdung von Mensch und Umwelt auszuschließen.

Die Gesellschaft muss damit einverstanden sein, an den ehemaligen Atomkraftwerksstandorten über die benötigte Zeit für die Zwischenlager hinaus eine weitere Anlage, mit allerdings deutlich geringerem Gefahrenpotenzial, zu haben.

## Vor- und Nachteile in der Übersicht

Die in der folgenden Tabelle aufgeführten Vor- und Nachteile der IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ beziehen auf die in der Bundesrepublik bisher angewendeten Optionen „Sofortiger Abbau“ und „Sicherer Einschluss“.

Bei einem Vergleich mit den Optionen mit den ebenfalls auf Dauer angelegten „Dauerhafter Sicherer Einschluss“ und „Entombment“ wäre zu berücksichtigen, dass das am Standort verbleibende Radioaktivitätsinventar hier um Größenordnungen geringer ist. Wegen dieses Unterschiedes sind einige, bei den Optionen ohne „Entkernung“ genannten Vor- und Nachteile hier nicht relevant.

Vorteile	Nachteile
Keine unkontrollierte Verteilung von künstlich erzeugten Radionukliden in der näheren und weiter entfernten Umwelt	Zwang für wenige Generationen, sich mit der Hinterlassenschaft eines – wenn auch geringen – Radioaktivitätsinventar zu befassen
Tendenziell etwas geringere Strahlenbelastung für Personal	Akzeptanz der Gesellschaft für eine zusätzliche Anlage mit – wenn auch geringem – Radioaktivitätsinventar für einen längeren Zeitraum
Geringere potenzielle Strahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung	
Etwas geringeres Störfallrisiko	



Bei einer detaillierten Bewertung im Rahmen eines Vergleiches von Stilllegungsstrategien, müssen die Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden. Das heißt entscheidend ist nicht unbedingt die Anzahl von Vor- und Nachteilen.

#### **4.4 Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“**

Für die Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ soll auf dem Gelände des Atomkraftwerkes ein neues robustes Bauwerk („Bunker“) errichtet werden. Dort sollen alle bei Stilllegung und vollständigem Abbau des Atomkraftwerkes anfallenden gering radioaktiven Materialien gelagert werden.

Mit Ausnahme der Voraussetzung zum Gebäudezustand und in Abschwächung der Voraussetzung zur Erdbebengefahr müssen alle anderen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen aus Kapitel 4.1 erfüllt werden bzw. gegeben sein.

Bei der Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ soll zu Beginn der Stilllegung nach dem Abriss aller nicht benötigten und nachweislich nicht kontaminierten Gebäude auf dem zum nach § 7 Abs. 1 AtG genehmigten Atomkraftwerk gehörenden Gelände ein neues Bauwerk errichtet werden. Das Bauwerk soll bezüglich äußerer Einwirkungen der Robustheit eines Bunkers entsprechen und am Boden gegenüber dem Untergrund eine aus mindestens zwei Barrieren bestehende Abdichtung besitzen.

Die beim Abbau der Systeme, Komponenten, Betonstrukturen und Anlagenteile anfallenden gering radioaktiven Materialien können dann, nach ihrer Verpackung in Behältern/Containern, direkt in dieses Bauwerk eingelagert werden. Gleiches kann anschließend mit den gering radioaktiven sowie den als kontaminiert unter Verdacht stehenden Abrissmaterialien der Gebäude erfolgen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass auch bei Gebäuden mit Kontrollbereich Gebäudestrukturen existieren, für die von keiner Kontamination ausgegangen werden kann und die im Rahmen von § 29 StrlSchV nach zuverlässigem messtechnischen Nachweis der Kontaminationsfreiheit freigegeben werden können. Bei der Identifizierung dieser Gebäudestrukturen sind nach messtechnischer Feststellung der Kontaminationsfreiheit zusätzliche Sicherheitsabstände zu berücksichtigen, ab wann die Struktur als kontaminationsfrei angesehen wird.

Bei dem Bauwerk wäre auch ein an den international etablierten oberflächennahen Endlagern orientiertes Bauwerk möglich. Die Anforderungen können bspw. an denen des Endlagers in Morvilliers (Frankreich) angelehnt werden [INTAC 2013a]. Voraussetzung hierfür wäre, dass der Untergrund am Standort dafür geeignet ist.

#### **4.4.1 Umsetzbarkeit**

Da die beim Abbau anfallenden radioaktiven Abfälle in ein Zwischenlager überführt werden, müssen für den „Bunker“ mit allen abgebauten gering radioaktiven Materialien nicht ähnlich hohe Anforderungen erfüllt werden, wie für den „Dauerhaft Sicheren Einschluss“ oder den „Sicheren Einschluss“ eines Atomkraftwerkes nach Atomgesetz. Wie hoch die Anforderungen konkret sind, hängt davon ab, ob Gelände und die in Behältern/Containern eingebrachte Materialien mittels Freigabe nach § 29 StrlSchV aus dem Atomrecht entlassen wurden. Ist das der Fall, sind zwar rein formal keine Anforderungen aus der Strahlenschutzverordnung mehr zu erfüllen, da IPPNW die Prüfung der Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ aber gerade im Hinblick auf eine Verbesserung des Strahlenschutzes vorschlägt, sollte er – insbesondere vor dem Hintergrund des Minimierungsgebotes – auch hier beachtet werden.

Die Anforderungen bzw. die einzuhaltenden Schutzziele sind:

- ◆ Sichere Rückhaltung der Radioaktivität für die gesamte Dauer des Einschlusses,
- ◆ Schutz des Personals vor unnötigen Strahlenbelastungen,
- ◆ Schutz von Bevölkerung und Umgebung vor unnötigen Strahlenbelastungen.

IPPNW gibt die angestrebte Verwahrungszeit für die gering radioaktiven Materialien im „Bunker“ mit dauerhaft an. Wie in den Kapiteln 4.3.2 und 4.3.3 bereits ausgeführt, kann der Zeitraum wegen des Radioaktivitätsinventars aus radiologischer Sicht auf einige 100 Jahre beschränkt werden. Der neu errichtete „Bunker“ bzw. das oben genannte oberflächennahe Endlagerbauwerk haben eine Lebensdauer, die je nach den im Zeitraum gestellten Anforderungen, einige Jahrhunderte betragen kann. Siehe bezüglich Lebensdauer des „Bunker“ auch die Ausführungen in Kapitel 4.1.2 zum „Entombment“. Da die Radionuklide in den gering radioaktiven Abfällen ganz überwiegend eher kurzlebig oder relativ kurzlebig sind, sorgt der radioaktive Zerfall für eine sehr viel schnellere Abnahme des Radioaktivitätsinventars als beim „Sicheren

Einschluss“. Deshalb können die oben genannten Schutzziele nach gegenwärtigem Kenntnisstand auf Dauer eingehalten werden.

In der IAEA wurde als Stilllegungsstrategie „On-Site Transfer and Disposal“ diskutiert. Bei der Strategie wird das gesamte Atomkraftwerk oder Teile davon abgebaut und in ein neu errichtetes Oberflächenlager verbracht [IAEA 1999].

Aus diesem Grund sowie dem Betrieb von oberflächennahen Endlagern in EU-Staaten (siehe z.B. Frankreich [ANDRA 2013]) und Nicht-EU-Staaten, ist die Umsetzbarkeit eines solchen Endlagers an Atomkraftwerksstandorten, bei Erfüllung bestimmter Voraussetzungen für den Untergrund, als gegeben anzunehmen.

Entsprechendes gilt nach gegenwärtiger Einschätzung für die Umsetzbarkeit der Lösung „Vollständiger Rückbau mit Bunker“, bei der geringere Voraussetzungen für den Untergrund erforderlich sind und höhere Anforderungen an die bautechnischen Barrieren zu stellen sind.

#### **4.4.2 Vor- und Nachteile**

IPPNW schlägt die Prüfung der Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ vor dem Hintergrund der Vermeidung der Freigabe radioaktiver Stoffe in die Umwelt vor. Die Vor- und Nachteile dieser Option bezüglich der bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien werden im Folgenden thematisch abgehandelt. Dabei wird der Stand der sicherheitstechnischen Anforderungen in der Bundesrepublik Deutschland berücksichtigt.

##### Freigabe

Mit dem „Vollständigen Rückbau mit Bunker“ kann die Freigabe gering radioaktiver Materialien in den konventionellen Stoffkreislauf, die im Rahmen von Stilllegung und Abbau von Atomkraftwerken anfallen, vermieden werden. Das heißt, es findet keine unkontrollierte Verbreitung von Radionukliden durch uneingeschränkte Freigabe in die Umwelt statt und es gibt neben den Atomkraftwerksstandorten keine weiteren Standorte (Deponien, Verbrennungsanlagen, Metallschmelzen, Schrotthändler), an denen mit gering radioaktiven Materialien umgegangen werden muss.

Das gilt auch für gering radioaktive Flüssigkeiten, die entweder am Standort verfestigt werden oder, wenn technisch nicht möglich bzw. am Standort zu aufwändig, in

ausreichend sicheren, doppelwandigen Behältern im „Bunker“ aufbewahrt werden. Aufgrund des Radioaktivitätsinventars ist das, in Abwägung zwischen dem erhöhten Ausbreitungsrisiko nach Störfällen am Standort einerseits und den Risiken und Belastungen durch Transport und Behandlung in einer Verbrennungsanlage andererseits, gerechtfertigt.

Die sich im neu errichteten „Bunker“ befindenden Materialien sind zu Beginn gering radioaktiv. Für die bauliche Struktur des „Bunkers“ wird eine ausreichende Stabilität über wenige 100 Jahre angenommen. Die zum Zeitpunkt der Stilllegung gering radioaktiven Materialien, die zur Freigabe angestanden hätten, besitzen dann durch den Zerfall der Radionuklide ein nochmal deutlich geringeres Strahlenbelastungspotenzial oder sind nicht mehr radioaktiv. Ein genauere Zeitpunkt, wann alle Materialien mit großer Wahrscheinlichkeit nicht mehr (durch den Reaktorbetrieb verursacht) radioaktiv sind, lässt sich definitiv nur nach umfangreichen Berechnungen feststellen, die hier nicht durchgeführt werden können.

Es ist davon auszugehen, dass die Verbreitung von Radionukliden in die Umwelt weitestgehend verhindert wird.

#### Feststellbarkeit Radioaktivitätsinventar

Das für die Optionen „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ und „Entombment“ beschriebene Problem mit dem zeitabhängigen Zerfall von Leitnukliden und der auf Leitnuklide aufgebauten Feststellung des Radioaktivitätsinventars ist für die Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ weniger bedeutsam. Gründe dafür sind das deutlich geringere Gesamtradioaktivitätsinventar und die nicht oder nur in sehr geringem Umfang vorhandenen, durch den Reaktorbetrieb entstanden  $\alpha$ -Strahler.

#### Strahlenbelastung Personal

Zusätzliche Strahlenbelastung für Personal tritt bei der Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ im Vergleich zu den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien nicht auf. Der „Bunker“ muss während der Verwahrzeit nicht begangen werden.

Im Falle des „Sofortigen Abbaus“ würden durch die gering radioaktiven Materialien Strahlenbelastungen für das Personal<sup>9</sup> bei der Freigabe nach § 29 StrlSchV, hier insbesondere bei der eingeschränkten Freigabe für das Personal in Deponien, Verbrennungsanlagen und Metallschmelzen, verursacht. Dazu kommt die Strahlenbelastung von Transportpersonal.

Die Strahlenbelastung durch Personal ist für die Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ geringer als für die bisher in der Bundesrepublik angewendeten Stilllegungsstrategien.

#### Strahlenbelastung Bevölkerung im Normalbetrieb

Durch die beim „Vollständigen Rückbau mit Bunker“ im Gegensatz zu den bisher in der Bundesrepublik etablierten Stilllegungsstrategien vermiedene Freigabe gering radioaktiver Materialien in den konventionellen Stoffkreislauf können zum Beispiel keine Strahlenbelastungen durch nicht vorhersagbare Radioaktivitätsansammlung in Gegenständen des täglichen Gebrauchs, durch Nutzung von radiologisch belasteten Materialien im Straßen- oder Wegebau, durch Nutzung von radiologisch belasteten Zement-/Betonschutt im Hausbau, durch längeren Aufenthalt über einer stillgelegten Deponie oder durch aus einem Deponiekörper ins Grundwasser übergegangene Radionuklide verursacht werden.

Damit ist die Strahlenbelastung für diese Option geringer.

#### Störfallsicherheit<sup>10</sup>

Die Stör- bzw. Unfallsicherheit kann hier nur sehr grob betrachtet werden. Mögliche Strahlenbelastungen nach Störfällen wären bei der Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“, verglichen mit den Störfallplanungswerten der Strahlenschutzverordnung, sehr gering.

---

<sup>9</sup> Das Personal auf Deponien, in Verbrennungsanlagen und Metallschmelzen ist im Normalfall nicht als strahlenexponiert eingestuft. Es wird hier aber trotzdem im Rahmen des Personals betrachtet und nicht den Personen aus der Bevölkerung zugeschlagen.

<sup>10</sup> Der Begriff Störfall wird hier in Anlehnung an mögliche Ereignisse im Betrieb einer Atomanlage benutzt. Es handelt sich aufgrund des möglicherweise betroffenen Radionuklidinventars nicht um einen Störfall nach Strahlenschutzverordnung im engeren Sinne.

Eine Freisetzung radioaktiver Stoffe nach Störfällen kann nur durch besonders starke Einwirkungen von außen, wie starke Überflutungen oder Flugzeugabsturz erfolgen. Durch das geringe Radioaktivitätsinventar wären aber auch Auswirkungen dieser Störfälle sehr begrenzt.

Bei einer Freigabe nach § 29 StrlSchV in den konventionellen Stoffkreislauf – wie bei der Option „Sofortiger Abbau“ – können neben den oben genannten Einwirkungen auch Störfälle durch den Umgang mit den gering radioaktiven Materialien entstehen. Ein größerer Teil der Radionuklide liegt nach der Freigabe in leichter freisetzbarer Form vor.

Das Störfallrisiko ist bei der Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ geringfügig geringer als bei den bisher in der Bundesrepublik angewendeten Stilllegungsstrategien.

#### Menschliche Tätigkeiten

Für die Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ ist nach Einlagerung aller abgebauten gering radioaktiven Materialien und den Verschluss nur noch eine Überwachung durch den Menschen erforderlich.

#### Endlager/Langzeitsicherheitsnachweis

Da keine radioaktiven Abfälle mehr entsorgt werden müssen, spielt das hier keine Rolle.

#### Gesellschaft

Die Gesellschaft muss hinsichtlich technischem und strahlenschutzbezogenem Wissen sowie bezüglich finanzieller Ressourcen über einen längeren Zeitraum stabil bleiben, um eine, allerdings nur auf sehr geringem Niveau mögliche Gefährdung von Mensch und Umwelt auszuschließen.

Die Gesellschaft muss damit einverstanden sein, an den ehemaligen Atomkraftwerksstandorten über die benötigte Zeit für die Zwischenlager hinaus eine weitere Anlage, mit allerdings deutlich geringerem Gefahrenpotenzial zu haben.

### Vor- und Nachteile in der Übersicht

Die in der folgenden Tabelle aufgeführten Vor- und Nachteile der Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ beziehen auf die in der Bundesrepublik bisher angewendeten Optionen „Sofortiger Abbau“ und „Sicherer Einschluss“.

Bei einem Vergleich mit den Optionen mit den ebenfalls auf Dauer angelegten „Dauerhafter Sicherer Einschluss“ und „Entombment“ wäre zu berücksichtigen, dass das am Standort verbleibende Radioaktivitätsinventar hier um Größenordnungen geringer ist. Wegen dieses Unterschiedes sind einige, bei den Optionen ohne „Entkernung“ genannten Vor- und Nachteile hier nicht relevant.

Vorteile	Nachteile
Keine unkontrollierte Verteilung von künstlich erzeugten Radionukliden in der näheren und weiter entfernten Umwelt	Zwang für wenige Generationen, sich mit der Hinterlassenschaft eines – wenn auch geringen – Radioaktivitätsinventar zu befassen
Etwas geringere Strahlenbelastung für Personal	Akzeptanz der Gesellschaft für eine zusätzliche Anlage mit – wenn auch geringem – Radioaktivitätsinventar für einen längeren Zeitraum
Geringere potenzielle Strahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung	
Etwas geringeres Störfallrisiko	

Bei einer detaillierten Bewertung im Rahmen eines Vergleiches von Stilllegungsstrategien, müssen die Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen werden. Das heißt entscheidend ist nicht unbedingt die Anzahl von Vor- und Nachteilen.

---

## Verwendete Unterlagen und Literatur

- ANDRA 2013 Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs: „The surface disposal concept for VLL waste“; [www.andra.fr/international/](http://www.andra.fr/international/)
- ASN 2009 Autorité De Sûreté Nucléaire: “ASN policy concerning the decommissioning and delicensing of basic nuclear installations (BNIs) in France”. Revision 0.v3 – April 2009
- BECKER 2016 O.Becker: “Tschernobyl 30 Jahre danach: Die Lage am Standort – keine Lösung in Sicht“. Studie im Auftrag von Greenpeace e.V., Hannover, 1.04.2016
- BELENCAN 2013 H. Belencan et al.: „Is Entombment an Acceptable Option for Decommissioning? An International Perspective“. WM2013 Conference, Phoenix, Arizona USA, February 24 – 28, 2013
- BFS 2005 Bundesamt für Strahlenschutz: „Positionsbestimmungen des BfS zu Grundsatzfragen des Strahlenschutzes - Leitlinien Strahlenschutz“, Salzgitter, 1.06.2005
- BIRKNER 2011 S. Birkner (Staatssekretär im Niedersächsischen Umweltministerium) auf dem Symposium „Stilllegung und Brennstoffentsorgung – quo vadis?“, TÜV Nord Akademie, Hannover, 22. und 23. November 2011
- BMF 2011 Bundesministerium für Finanzen: Antwort vom 1.11.2011 auf die kleine Anfrage der Bundestagsabgeordneten Sylvis Kotting-Uhl u.a., „Atomkraftwerk Rheinsberg – Rückbau und atomare Abfälle“ BT-Drucksache 17 / 7326 vom 17. Oktober 2011
- BMU 2009 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Leitfaden zur Stilllegung, zum sicheren Einschluss und zum Abbau von Anlagen oder Anlagenteilen nach § 7 des Atomgesetzes vom 12. August 2009 (BAnz 2009, Nr. 162a)
- BR 2012 Bundesrat: Stenografischer Bericht 904. Sitzung, Berlin, Freitag, den 14. Dezember 2012



- 
- BRENK 2009 Brenk Systemplanung GmbH: „Untersuchung möglicher Optionen für die Freigabe von Gebäuden der Anlage KGR“; erstellt im Auftrag der EWN Energiewerke Nord GmbH, Aachen, 14. August 2009
- E.ON 2003 E.ON Kernkraft GmbH: Sicherheitsbericht für den Abbau des Kernkraftwerks Stade; Stand April 2003
- E.ON 2015 E.ON Kernkraft GmbH: „Stilllegung und zum Abbau des Kernkraftwerkes Unterweser (KKU) und Betrieb des Lagers für radioaktive Abfälle Unterweser (LUnA)“; Sicherheitsbericht, 18. Juni 2015
- ESK 2010 Entsorgungskommission: Leitlinien zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen (BA nz 2010, Nr. 187)
- ESK 2013 Entsorgungskommission beim Bundesumweltministerium: „Stoffströme beim Abbau von Kernkraftwerken“; Vortrag von H.W. Drotleff, 6. Symposium Stilllegung Rückbau kerntechnischer Anlagen, 3./4. Dezember 2013
- EU 2013 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, 6/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom, inkraftgetreten am 6. Februar 2014
- GÖK 2005 Gruppe Ökologie – Institut für ökologische Forschung und Bildung e.V.: „Stellungnahme zu Mitteilung/Bericht der Kommission über die Stilllegung von Leistungsreaktoren in der EU, KOM(2004) 719“; erstellt im Auftrag von MdEP Rebecca Harms (The Greens / European Free Alliance in the European Parliament), Hannover, Mai 2005

- GÖK/IFEU 2002 Gruppe Ökologie – Institut für ökologische Bildung und Forschung e.V. und ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: „Studie zur Gewährleistung von Schutzziele der Strahlenschutzverordnung durch die Freigaberegulierung für gering radioaktive Reststoffe in der Bundesrepublik Deutschland“; im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., Hannover, Mai 2002
- GRS 2012 Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH: „Stilllegung kerntechnischer Anlagen“; GRS – S – 50, Februar 2012
- HABECK 2012 R. Habeck (Minister für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume): Aussage laut Süddeutsche Zeitung, „Der lange Weg zur grünen Wiese“, Artikel vom 21.06.2012
- IAEA 1988 International Atomic Energy Agency: “Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control”; safety series No. 89, Vienna 1988
- IAEA 1999 International Atomic Energy Agency: “On-site disposal as a decommissioning strategy”; IAEA-TECDOC-1124, Vienna, November 1999
- IAEA 2006 International Atomic Energy Agency: “Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material“. IAEA Safety Requirements Series No. WS-R-5, IAEA, Vienna, 2006
- IAEA 2007 International Atomic Energy Agency: “Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material“. Safety Reports Series No. 50, IAEA, Vienna, 2007
- IAEA 2014 International Atomic Energy Agency: “Decommissioning of Facilities“. General Safety Requirements, Safety Standards Series No. GSR Part 6, IAEA, Vienna, 2014
- ICRP 2007 International Commission on Radiological Protection, ICRP-Publication 103, 2007

- 
- INTAC 2013a *intac* - Beratung · Konzepte · Gutachten zu Technik und Umwelt GmbH: „zu Defiziten der Regelung von Freigaben radioaktiver Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland“; Stellungnahme im Auftrag von Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., Hannover, Oktober 2013
- INTAC 2013b *intac* - Beratung · Konzepte · Gutachten zu Technik und Umwelt GmbH: „zu ausgewählten Anforderungen bei Stilllegung und Abbau von Atomkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland“; Stellungnahme im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90 / Die Grünen, Hannover, aktualisierte Fassung August 2013
- IPPNW 2016a IPPNW - Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges, Ärzte in sozialer Verantwortung e.V.: „Freigabe radioaktiven Materials beim AKW-Abriss – Dauerhafter Einschluss statt Rückbau“; *ippnw akzente* 2016
- IPPNW 2016b IPPNW - Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges, Ärzte in sozialer Verantwortung e.V.: „Freigabe radioaktiven Materials beim AKW-Abriss“; *ATOM-Energie Newsletter* April 2016  
<https://www.ippnw.de/atomenergie/atommuell/artikel/de/freigabe-radioaktiven-materials-beim.html>
- IPPNW 2016c IPPNW - Deutsche Sektion der Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges, Ärzte in sozialer Verantwortung e.V.: „Prüfauftrag dauerhafte Versiegelung“; Auftrag des IPPNW an die *intac GmbH* vom 11.05.2016 sowie Ergänzungen und Präzisierungen vom 11.07.2016 und 18.07.2016
- KFK 2016 Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs: „Verantwortung und Sicherheit - Ein neuer Entsorgungskonsens“. Abschlussbericht der Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, 25. Mai 2016

- 
- LARAIA 2011 M. Laraia (International Atomic Energy Agency): “New Strategic Trends in Nuclear Decommissioning: Site Reuse, Restricted Release, Entombment, Incremental Decommissioning”; KONTEC 2011, Dresden, 06. - 08. April 2011
- MESSERSCHMIDT 2000 H. Messerschmidt: Stellungnahme zu Teilen des Novellierungsentwurfs nebst Begründung vom 03.04.2000 für die Verbändeanhörung am 8./9.05.2000
- NEUMANN 2000 Wolfgang Neumann: “Die Freigabe von schwachaktiven Reststoffen für den konventionellen Umgang auf Grundlage des 10- $\mu$ Sv-Konzepts”; Otto-Hug-Strahleninstitut - MHM, Bericht Nr. 21-22, 2000
- NEUMANN 2015 Wolfgang Neumann: “Stilllegung von Atomkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Schwerpunkt Freigabe radioaktiver Reststoffe”; Vortrag auf der Veranstaltung von B 90 / Die Grünen “Wo bleibt das Atomkraftwerk?”, Itzehoe, 12.11.2015
- NIS 2012 Siempelkamp - NIS Ingenieurgesellschaft mbH: “Referenzkonzept Stilllegung Leichtwasserreaktoren”; VGB Referenzstudie, 29.03.2012
- PNL 1995 Pacific Northwest Laboratory: “Revised Analyses of Decommissioning for the Reference Pressurized Water Reactor Power Station“. Final Report im Auftrag von U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-5884 Vol. 1, November 1995
- PNL 1996 Pacific Northwest National Laboratory: “Revised Analyses of Decommissioning for the Reference Boiling Water Reactor Power Station“. Final Report im Auftrag von U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6174 Vol. 1, July 1996
- SSK 2014 Strahlenschutzkommission beim Bundesumweltministerium: „Dosis- und Dosisleistungs-Effektivitätsfaktor (DDREF)“; Empfehlung der Strahlenschutzkommission, 268. Sitzung, 13./14. Februar 2014
- USNRC 2015 United States Nuclear Regulatory Commission: “Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants“. Stand: 14. Mai 2015  
<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/factsheets/decommissioning.html>

- WA 2016      WA.de: „Abbau des Millionengrabs THTR könnte in Hamm-Uentrop 2030 beginnen“. Artikel am 28.04.2016  
<https://www.wa.de/nordrhein-westfalen/atomkraftwerk-thtr-hamm-uentrop-verschlingt-millionen-abbau-koennte-2030-beginnen-6353662.html>
- WNA 2016      World Nuclear Association: „Decommissioning Nuclear Facilities“. Januar 2016,  
<http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/decommissioning-nuclear-facilities.aspx>

## Glossar

Bedeutung von in dieser Stellungnahme benutzten Begriffen:

Aktivierung	Durch Neutronenstrahlung in Radionuklide umgewandelte Atome in Materialien um den Reaktorkern.
Dauerhaft Sicherer Einschluss	Option bei der kein Abbau von Systemen, Komponenten oder Gebäudestrukturen in wesentlichem Umfang erfolgt, sondern Gebäude bzw. Gebäudeteile, in denen sich ein Kontrollbereich befindet nach außen möglichst sicher abgeschlossen werden.
Entkernung	Von IPPNW geprägter Begriff für den Abbau von radioaktiven Systemen, Komponenten und Gebäudestrukturen in einem bestimmten Umfang.
Entombment	Option, die international diskutiert wird und bei der die eingeschlossenen Gebäude mit Kontrollbereich mit einer zusätzlichen baulichen Struktur überdeckt werden.
gering radioaktive Materialien	Teilmenge der beim Abbau von Atomanlagen anfallenden schwach radioaktiven Materialien, die nach gegenwärtiger Praxis nicht mehr der Strahlenschutzverordnung unterliegen. Sie werden nach § 29 StrlSchV freigegeben oder ohne Grundlage in der Strahlenschutzverordnung herausgegeben.

Die Abgrenzung der schwach und der gering radioaktiven Materialien erfolgt durch die Freigabewerte in Anlage III, Tabelle 1 der Strahlenschutzverordnung zur Beseitigung (Spalten 9a – 9d), zum Abriss von Gebäuden (Spalte 10) und zur Rezyklierung von Metallen (Spalte 10a).

Kontamination

An Oberflächen anhaftende oder in Oberflächen eingedrungene Radionuklide

mittel radioaktive Abfälle

Radioaktive Abfälle mit Radioaktivitätskonzentrationen aus dem Betrieb der Atomanlage zwischen etwa  $10^{10}$  Bq/m<sup>3</sup> und etwa  $10^{14}$  Bq/m<sup>3</sup>. Der jeweilige Übergang ist nicht fest definiert, sondern hat eine bestimmte Bandbreite.

schwach radioaktive Abfälle

wird hier für die Teilmenge radioaktiver Abfälle benutzt, die Radioaktivitätskonzentrationen aus dem Betrieb der Atomanlage oberhalb der Freigabewerte in Anlage III, Tabelle 1 der Strahlenschutzverordnung besitzt. Die Radioaktivitätsobergrenze zum Übergang zu mittel radioaktiven Abfällen ist nicht fest definiert, sondern hat eine bestimmte Bandbreite. Sie befindet sich bei etwa  $10^{10}$  Bq/m<sup>3</sup>.

Sicherer Einschluss

Nach Atomgesetz mögliche Option für eine Stilllegungsstrategie bei der das Reaktorgebäude und möglicherweise weitere Gebäude oder Gebäudeteile mit Kontrollbereich für einen begrenzten Zeitraum vor ihrem Abbau möglichst sicher eingeschlos-

sen werden. Der Zeitraum beträgt etwa 30 Jahre.

Sofortiger Abbau

Nach Atomgesetz mögliche Option für eine Stilllegungsstrategie bei der das Atomkraftwerk ohne Unterbrechungen Schritt für Schritt abgebaut wird.

Stehenlassen nach Entkernung

IPPNW-Option bei der radioaktive Systeme, Komponenten und Gebäudestrukturen in einem bestimmten Umfang abgebaut werden, bevor die Gebäude mit Kontrollbereich und der in ihnen verbleibende Rest (gering radioaktive Materialien) nach außen möglichst sicher abgeschlossen werden.

Vollständiger Rückbau mit Bunker

Option bei der das Atomkraftwerk vollständig abgebaut wird und die gering radioaktiven Materialien in einem gegen Einwirkungen von außen robusten und versiegelten Bauwerk verwahrt werden.



## **A N H A N G**

Die in den folgenden Tabellen aufgeführten Vor- und Nachteile der Optionen beziehen sich auf die in der Bundesrepublik Deutschland bisher angewendeten Optionen „Sofortiger Abbau“ und „Sicherer Einschluss“.

Bei einer detaillierten Bewertung im Rahmen eines Vergleiches von Stilllegungsstrategien, müssen die Vor- und Nachteile in den folgenden Tabellen jeweils gegeneinander abgewogen werden. Das heißt entscheidend ist nicht unbedingt die Anzahl von Vor- und Nachteilen.

Bei einem Vergleich der IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“ bzw. der Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“ mit den Optionen mit den ebenfalls auf Dauer angelegten „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ und „Entombment“ wäre zu berücksichtigen, dass das am Standort verbleibende Radioaktivitätsinventar hier um Größenordnungen geringer ist. Wegen diesem Unterschied sind einige, bei den Optionen ohne Abbau genannten Vor- und Nachteile hier nicht relevant.

**Optionen „Dauerhaft Sicherer Einschluss“ und „Entombment“**

Vorteile	Nachteile/Probleme
Keine Strahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung durch Freigabe	Möglicher Rückhalteverlust für Radionuklide in die unmittelbare Umgebung durch nachlassende Gebäudestabilität in Zeiträumen > 100 Jahre
Keine unkontrollierte Verteilung von künstlich erzeugten Radionukliden in der näheren und weiter entfernten Umwelt	Zunehmende Verringerung für die Messung des Radioaktivitätsinventars durch Zerfall von Leitnukliden
Geringere Gesamtstrahlenbelastung des Personals	Größeres Störfallrisiko
Geringere Gesamtstrahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung	Zwang der nächsten Generationen, sich mit der Hinterlassenschaft eines über hunderte Jahre nicht vernachlässigbaren Radioaktivitätsinventar zu befassen
Geringeres Volumen endzulagernder radioaktiver Abfälle	Kompetenzverlust
	Die Sicherheitsphilosophie radioaktive Abfälle so weit wie möglich von der Biosphäre zu entfernen und zu konzentrieren (Endlager in tiefen geologischen Formationen) würde aufgehoben.
	Quasi-Endlager (oberflächennah) ohne Standortauswahlverfahren
	Schwieriger Langzeitsicherheitsnachweis
	Erhöhung der Endlagerstandorte für radioaktive Abfälle von einem auf möglicherweise zehn oder mehr

### IPPNW-Option „Stehenlassen nach Entkernung“

Vorteile	Nachteile
Keine unkontrollierte Verteilung von künstlich erzeugten Radionukliden in der näheren und weiter entfernten Umwelt	Zwang für wenige Generationen, sich mit der Hinterlassenschaft eines – wenn auch geringen – Radioaktivitätsinventar zu befassen
Tendenziell etwas geringere Strahlenbelastung für Personal	Akzeptanz der Gesellschaft für eine zusätzliche Anlage mit – wenn auch geringem – Radioaktivitätsinventar für einen längeren Zeitraum
Geringere potenzielle Strahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung	
Etwas geringeres Störfallrisiko	

### Option „Vollständiger Rückbau mit Bunker“

Vorteile	Nachteile
Keine unkontrollierte Verteilung von künstlich erzeugten Radionukliden in der näheren und weiter entfernten Umwelt	Zwang für wenige Generationen, sich mit der Hinterlassenschaft eines – wenn auch geringen – Radioaktivitätsinventar zu befassen
Etwas geringere Strahlenbelastung für Personal	Akzeptanz der Gesellschaft für eine zusätzliche Anlage mit – wenn auch geringem – Radioaktivitätsinventar für einen längeren Zeitraum
Geringere potenzielle Strahlenbelastung für Personen aus der Bevölkerung	
Etwas geringeres Störfallrisiko	

## Versicherung

Diese Stellungnahme wurde nach bestem Wissen und Gewissen, unparteiisch und ohne Weisung hinsichtlich ihrer Ergebnisse erstellt.

Wolfgang Neumann  
**intac** GmbH